

Kreislauffähigkeit von Dämmstoffen

Am Beispiel von Stroh, EPS und Steinwolle

Circular Economy of insulation material

Using the example of straw, EPS and stone wool

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering (BSc)

der FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Green Building

Vorgelegt von:

Christina Panek

Personenkennzeichen

c1610733065

Erstbegutachter:

Dipl.-Ing. Tobias Steiner

Eingereicht am:

02.07.2018

Erklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Ich versichere, dass ich dieses Bachelorarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Weiters versichere ich, dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum:

Unterschrift:

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird das derzeitige, lineare Wirtschaftssystem behandelt und die Kreislaufwirtschaft als mögliches Zukunftsmodell beschrieben. Die Dämmstoffe Stroh, EPS und Steinwolle werden erläutert und es wird analysiert, inwiefern sie für das Modell der Kreislaufwirtschaft in Frage kommen.

Der aktuelle Stand des Abfallaufkommens wird analysiert und besonders auf den Baubereich eingegangen. Ferner werden die Geschichte des aktuellen Wirtschaftssystems und die Entwicklung der Nachhaltigkeit als Leitbild beschrieben.

Als Alternative wird die Kreislaufwirtschaft als mögliches Zukunftsmodell dargestellt und unter den Schlagworten Ökoeffizienz, Ökoeffektivität, *cradle-to-cradle* und *cradle-to-grave* dem aktuellen System gegenübergestellt. Außerdem wird ein Einblick in den aktuellen Stand der Kreislaufwirtschaft gegeben und erläutert, wie der Rückbau eines Gebäudes und die Entsorgung eines Baustoffes funktioniert.

Im Kapitel Dämmstoffe werden die Grundlagen dargelegt und die drei Dämmstoffe unter den Punkten Grundlagen, Herstellung, Vor- und Nachteile und was nach dem Abbau passiert erläutert. Es wird überlegt, wie und ob sie sich im Sinne der Kreislaufwirtschaft entweder in einem biologischen oder in einem technischem Kreislauf eignen.

Abstract

This thesis discusses the current linear economy and makes the case for the circular economy as a possible future model. In particular, it describes the insulation materials straw, EPS and rock wool and examines how they qualify for the circular economy model.

The current state of waste generation is further analyzed, particularly in relation to the construction sector. This includes a framework of the history of the current economic system and the development of sustainability as a guiding principle.

Circular economy is presented as an alternative possible model for the future and compared with the current system under the keywords eco-efficiency, eco-effectiveness, cradle-to-cradle and cradle-to-grave. This also provides an insight into the current state of the circular economy and explains how the dismantling of a building and the disposal of a building material works.

The chapter "insulation materials" then explains the basics of insulation and examines the three insulating materials under the aspects of fundamentals, production, advantages and disadvantages and disposal after dismantling as well as how they are suitable in the context of the circular economy either in a biological or technical cycle.

Abkürzungsverzeichnis

C2C	Cradle-to-Cradle
EPS	Expandiertes Polystyrol
XPS	Extrudiertes Polystyrol

Schlüsselbegriffe

Biologischer und Technischer Kreislauf	Biological and technical cycle
Dämmstoffe	Insulation material
Expandiertes Polystyrol (EPS)	Expanded polystyrene (EPS)
Industrielle Revolution	Industrial Revolution
Kreislaufwirtschaft	Circular Economy
Lineares Wirtschaftssystem	Linear Economy
Ökoeffektivität	Eco-effectiveness
Ökoeffizienz	Eco-efficiency
Steinwolle	Stone wool
Strohballen	Straw bale
Von der Wiege bis zur Bahre	Cradle-to-grave
Von der Wiege bis zur Wiege	Cradle-to-cradle

Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG	III
ABSTRACT	IV
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	V
SCHLÜSSELBEGRIFFE	VI
INHALTSVERZEICHNIS	VII
1. EINLEITUNG	9
2. DERZEITIGE SITUATION – LINEARES WIRTSCHAFTSSYSTEM	14
2.1. Entwicklungsgeschichte	15
2.2. Geschichte der Nachhaltigkeit als Leitbild.....	17
2.3. Der Begriff Nachhaltigkeit.....	20
3. ZUKUNFTSMODELL - KREISLAUFWIRTSCHAFT	22
3.1. Biologischer und technischer Kreislauf	23
3.2. Ökoeffizienz vs. Ökoeffektivität.....	24
3.3. Kreislaufwirtschaft aktuell	25
3.4. Entsorgung im Baubereich - Rückbau von Gebäuden.....	27
3.5. Entsorgung eines Baustoffes	29
4. DÄMMSTOFFE	31
4.1. Grundlagen.....	32
4.2. Strohdämmung	37
4.2.1. Herstellung.....	38
4.2.2. Vor- und Nachteile	38
4.2.3. Zusätze	39
4.2.4. Was passiert nach dem Abbau?.....	39
4.2.5. Fazit	40
4.3. EPS.....	42
4.3.1. Herstellung.....	42
4.3.2. Vor- und Nachteile	43
4.3.3. Zusätze	44
4.3.4. Was passiert nach dem Abbau?.....	44
4.3.5. Fazit.....	46
4.4. Steinwolle	48
4.4.1. Herstellung.....	48
4.4.2. Vor und Nachteile	49

4.4.3. Zusätze	50
4.4.4. Was passiert nach dem Abbau?	50
4.4.5. Fazit	50
5. FAZIT	52
QUELLENVERZEICHNIS.....	53
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	58
TABELLENVERZEICHNIS	59

1. Einleitung

Die Idee der Nachhaltigkeit ist in vielen Bereichen des Bauwesens bereits weit verbreitet. Verschärfte Normen, Passivhaustechnologien, alternative Stromversorgung und neue Energiekonzepte rücken im „konventionellen Bauen“ immer mehr ins Blickfeld. Was aber nach der Nutzphase und dem Abriss mit dem Gebäude passiert, wird oft nicht mit- oder durchgedacht.¹

„Konsumgesellschaft“, „müllgenerierende Gesellschaft“ und „Jahrhundert der Dinge“ sind nur einige Begriffe, mit denen das 21. Jahrhundert und unsere Gesellschaft kritisiert werden. Doch das System stößt an seine Grenzen und die Auswirkungen auf den Planeten sind groß. Zu viel Abfall ist ein aktuelles Problem. Die Menschheit produziert jeden Tag 2,5 Millionen Tonnen Müll und bis 2025 soll sich die Zahl fast verdoppeln. Besonders Industrieländer in Europa und Nordamerika produzieren den meisten Abfall, vor allem in den urbanen Regionen. Aufgrund von Faulprozessen und Methanemissionen tragen die Müllberge wesentlich zu den Treibhausgasen und somit zur Klimaerwärmung bei.²

Das Abfallaufkommen in Österreich steigt kontinuierlich an und betrug im Jahr 2016 in Österreich 62,08 Millionen Tonnen. Der Großteil davon wird deponiert und der Wert geht somit unwiederbringlich verloren.³

1 Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballenbaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 1.

² Grewe, Maria: Teilen Reparieren Tausch. Bielefeld: transcript Verlag 2017. S. 7.

Hrsg.: Kunz, Frieder u.a.: Konfliktfelder und Perspektiven im Umweltschutz. München: oekom 2014. S. 79-80.

Springer, Alex: Die Erde steht vor ihrer völligen Vermüllung. In: URL:

<https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article121373995/Die-Erde-steht-vor-ihrer-voelligen-Vermuellung.html> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

³ Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 7, 11.

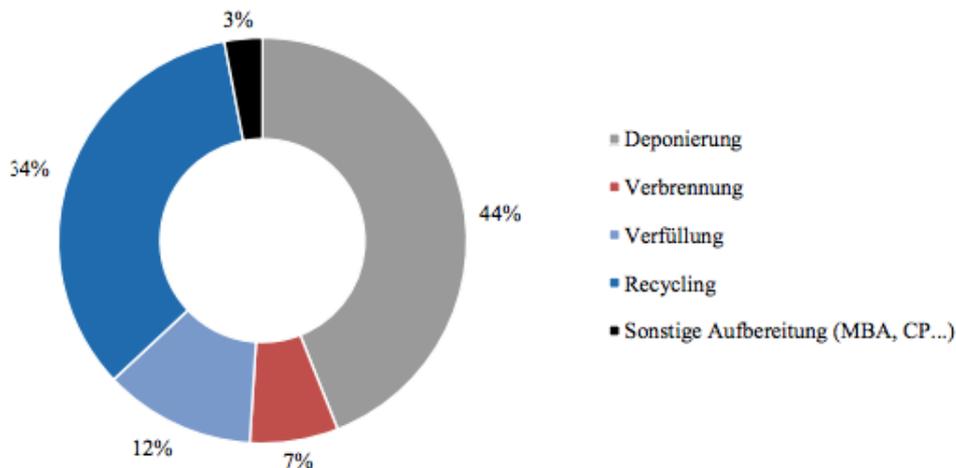


Abb. 1: Verwertung und Beseitigung von Abfällen im Jahr 2016 (Quelle: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 11.)

Bau- und Abbruchabfälle, auch Baurestmassen genannt, haben vom gesamten Abfall den zweitgrößten Anteil und betragen 16,8%. Diese setzen sich hauptsächlich zusammen aus Bauschutt, Straßenaufbruch, Betonabbruch, Gleis-schotter, Bitumen und Baustellenabfällen und entstehen zu 90% beim Abbruch, Umbau oder der Sanierung von Bauwerken. Seit 2009 sind die Baurestmassen um rund 52% angestiegen und betragen im Jahr 2016 mehr als 10 Mio. Tonnen, also mehr als 1.000 kg pro Person.⁴

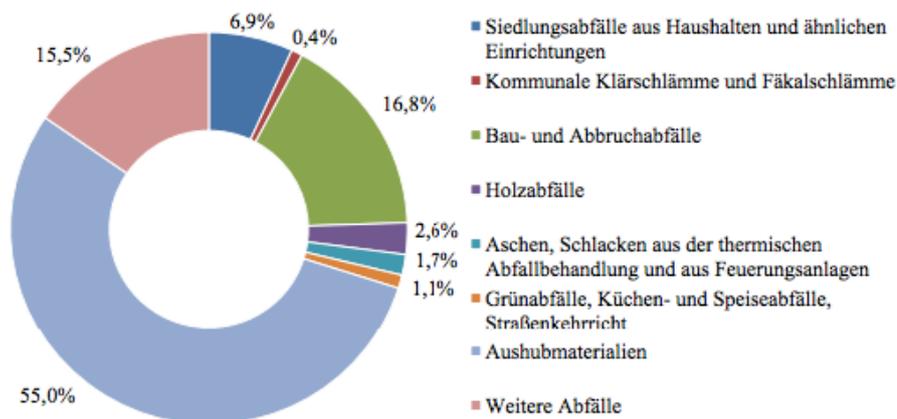


Abb. 2: Zusammensetzung des Gesamtabfallaufkommens 2016 (Quelle: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 11.)

⁴ Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 8, 46.

Zurzeit wird der Großteil davon, 8,7 Mio. Tonnen, recycelt. In Wien werden im Moment hauptsächlich Gebäude aus der Gründerzeit abgerissen, die aufgrund des hohen Ziegelanteils und geringen Verunreinigungen kaum Probleme bei der Aufbereitung haben. Die Situation wird sich jedoch in naher Zukunft ändern, da vermehrt neuere Gebäude, zum Beispiel aus der Nachkriegszeit, abgerissen werden. Dadurch wird die Wiederverwendung durch Verunreinigungen, Verbundkonstruktionen und andere Materialien erschwert.⁵

Vor allem Dämmstoffe sind ein relativ neuer Bestandteil eines Gebäudes, der für das ökologische Bauen von Bedeutung ist. Deshalb sollten Dämmstoffe das Ziel haben, die Umwelt so wenig wie möglich zu belasten. Dafür ist die richtige Auswahl der Materialien essentiell. Außerdem muss der ökonomische und soziale Aspekt beachtet werden. So umweltfreundlich eine Dämmung ist, so muss sie auch leistbar sein und für die Bewohner des Gebäudes keine Schäden hervorrufen und eine angenehme und gesunde Atmosphäre schaffen.⁶

Doch zu Wachstum, Überfluss, Konsum und Abfall auf der einen Seite, kommt auf der anderen Seite ein verstärktes Bewusstsein für Nachhaltigkeit entgegen. Die Wahrnehmung der ökologischen Krisen und der Problemdruck führten zur Entstehung der Umweltbewegung und der Etablierung der nachhaltigen Entwicklung als positives Leitbild.⁷

⁵ Scheibengraf, Martin u.a.: Abfallvermeidung und –verwertung: Baurestmassen. Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und –verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Wien: 2005. S. 35.

⁶ Kalista, Christian: Untersuchungen von Wärmedämmungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Wien: fh-campus wien. Diplomarbeit 2004. S. 9.

Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 42.

⁷ Grewe, Maria: Teilen Reparieren Tausch. Bielefeld: transcript Verlag 2017. S. 8.

Aus Überlegungen zur Nachhaltigkeit und unserer Wegwerfgesellschaft entstand um 2000 herum der radikale Gegenentwurf dazu, die Kreislaufwirtschaft. Der von dem Chemiker Michael Braungart und dem Architekten William McDonough entwickelte Gedanke ist ein Wirtschaftssystem ohne Abfall, das auf dem Vorbild der Natur beruht.⁸

⁸ Eidems, Volker u.a.: Cradle to Cradle – die Vision von der Kreislaufwirtschaft ohne Abfall. In: URL: <https://utopia.de/ratgeber/cradle-to-cradle-die-vision-von-der-kreislaufwirtschaft-ohne-abfall/> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Forschungsfrage

Nachhaltigkeit gewinnt im Baubereich zunehmend an Bedeutung. Umgesetzt wird sie vor allem unter dem Aspekt der Energieeinsparungen. Laut der EU-Gebäuderichtlinie müssen alle Neubauten ab 2021 auf dem Standard eines „Niedrigstenergiegebäudes“ gebaut werden und eine gute Dämmung ist einer der ersten und wichtigsten Schritte, um dies zu erreichen und ein energieeffizientes Gebäude zu bauen. Was jedoch nach der Nutzungsphase mit den Materialien passiert, wird wenig beachtet. Im heutigen Wirtschaftssystem wird das Nachleben eines Produktes nicht mitgedacht und es endet häufig auf Mülldeponien. Als neues Modell steht das Konzept der Kreislaufwirtschaft als Gegensatz zum vorherigen Produzieren und Wegwerfen und setzt sich das Ziel, Abfall vollkommen zu eliminieren.⁹ Daraus ergibt sich folgende Fragestellung:

Wie kann die Kreislaufwirtschaft auf den Baubereich und insbesondere auf die Dämmstoffe Stroh, EPS und Steinwolle angewendet werden?

Für die Beantwortung dieser Frage muss das derzeitige Wirtschaftssystem und die Kreislaufwirtschaft als mögliches Zukunftsmodell erläutert werden. Anschließend werden die Grundlagen der Dämmstoffe dargelegt und analysiert, wie derzeit mit ihnen umgegangen wird und welche Möglichkeiten es für eine Verwendung in der Kreislaufwirtschaft geben kann.

⁹ Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballenbaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 1.

Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 232-234.

Österreicher, Doris: Innovative Energiekonzepte 1. Vorlesung 1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. SS 2017. S. 12.

Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 46.

Grimm, Roland: Niedrigstenergiegebäude – der Neubau-Standard ab 2012. In: URL: <http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/haus-garten-wegebau/energiesparhaeuser/niedrigstenergiegebäude-der-neubau-standard-ab-2021/> (letzter Zugriff: 10. 06. 2018)

2. Derzeitige Situation – Lineares Wirtschaftssystem

Das heutige Wirtschaftssystem ist auf kontinuierliches wirtschaftliches Wachstum ausgerichtet. Dies geht oftmals zu Lasten anderer Aspekte, wie der Ökologie oder der Gesundheit des Menschen. Riesige Mengen an Schadstoffen werden in die Luft, ins Wasser und in den Boden geleitet.¹⁰

Die heutige industrielle Infrastruktur kann man als linear bezeichnen. „Sie ist darauf konzentriert, ein Produkt herzustellen und es schnell und billig an den Mann oder die Frau zu bringen, ohne andere Aspekte zu berücksichtigen.“¹¹ Die Produktionsweise funktioniert nach dem *cradle-to-grave*-Prinzip, also „von der Wiege bis zur Bahre“. Produkte werden gewonnen, verarbeitet und verkauft. Letztendlich landet das Produkt auf einer Deponie.¹²

Doch unsere Wachstumsgesellschaft kann in der Art und Weise, wie es bisher war, nicht weiter funktionieren. Die Weltbevölkerung wächst exponentiell und die Wirtschaft wächst mit. Zwischen 1950 und 2000 hat sich die Weltwirtschaft verzehnfacht. Die Erdbevölkerung wird reicher und zelebriert diesen Wohlstand. Konsumgüter werden von einem Teil der Erde zum anderen transportiert. Doch das Ökosystem stößt an seine Grenzen. Bevölkerungswachstum und Ressourcenerschöpfung sind prägende Entwicklungen, die nicht endlos ertragen werden können. Es folgen Umweltprobleme, die zu Herausforderungen für das gesamte Mensch-Umwelt-System werden. Probleme wie der Treibhauseffekt, Flächenversiegelung, Zerstörung der Ozonschicht, die Übersäuerung des Bodens,

¹⁰ Braungart, Michael: *Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren*. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 38, 47-48, 64.

¹¹ Braungart, Michael: *Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren*. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 46.

¹² Braungart, Michael: *Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren*. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 47.

der Rückgang der Biodiversität und das steigende Abfallaufkommen sind nur einige der Herausforderungen, die sich uns stellen.¹³

Umweltschäden tragen auch große Kosten mit sich. Der Stern-Bericht aus dem Jahre 2006 kam zum Ergebnis, dass Schäden von knapp 5,5 Billionen Euro pro Jahr bis 2100 auf die Menschheit zukommen werden, wenn nichts gegen den Klimawandel unternommen wird. Außerdem werden jetzt schon etwa 270 Milliarden Euro jährlich ausgegeben, um dem Klimawandel entgegen zu wirken.¹⁴

Dazu kommen noch zahlreiche soziale und kulturelle Auswirkungen, wie dass bis zu 100 Millionen Menschen durch Überschwemmungen obdachlos werden oder bereits einer von sechs Personen weltweit durch schmelzende Gletscher akute Wasserknappheit droht. Etwa durch Dürren gibt es bereits 150 Millionen Klimaflüchtlinge, die zur Umsiedlung gezwungen sind.¹⁵

2.1. Entwicklungsgeschichte

Das heutige Wirtschaftssystem ist stark von der industriellen Revolution geprägt, die 1760 in Großbritannien begann und sich dann weiter ausbreitete. Gekennzeichnet von technologischen Entwicklungen und neuen Maschinen, änderte sich die damalige Art und Weise zu produzieren stark. Mehr Produkte konnten schneller und dadurch günstiger hergestellt werden. Geprägt durch den Übergang vom agrarischen zum industriellen Produzieren, veränderte sich die Wirtschaft von Grund auf.¹⁶

¹³ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 21-22, 185.

¹⁴ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 45-46.

¹⁵ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 48-53.

¹⁶ Geiss, Imanuel: Geschichte griffbereit 6. Epochen. München 2002. S. 386-388.

2. Derzeitige Situation – Lineares Wirtschaftssystem

Vor allem das Fließband war ein großer Einschnitt zur vorherigen Produktionsweise. Bei jedem Schritt wurden jeweils einzelne Arbeitsschritte wiederholt, wodurch die Gesamtarbeitszeit verkürzt und effizienter wurde. So wurde die Massenproduktion geboren. Als Einführer des Fließbandes kann der Autohersteller Henry Ford bezeichnet werden. Durch seine Neuerung des Fließbandes und effizienteren, standardisierten und zentralisierten Produktionsprozessen konnte ein Auto geschaffen werden, welches für eine breite Masse erschwinglich war. Das Ziel war es, viele Produkte so rationell wie möglich an die größte Anzahl der Menschen zu verkaufen. Man wollte Produkte nicht nur für die Reichen, sondern für die breite Masse billig und in großen Mengen herstellen.¹⁷

Die Städte wuchsen, die Bevölkerung vermehrte sich exponentiell und es gab ein immer größeres Angebot an Waren. Durch die Manufakturen entstanden Arbeitsplätze und viele Bauern wanderten vom Land in die Stadt ab. Dazu kamen positive Veränderungen wie ein höherer Lebensstandard, geringe Sterblichkeitsrate der Kinder, längere Lebenserwartung, bessere Bildung, medizinische Versorgung und eine erhebliche Steigerung der Ernte. Die Zeit war jedoch auch geprägt von sozialen Missständen und Menschenrechtsverletzungen. Die Industrie machte sich zu der Zeit noch kaum Gedanken über die Umwelt. Man ging von einem unbegrenzten Vorrat an natürlichem Kapital aus und die Ressourcen schienen unermesslich.¹⁸

¹⁷ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 38-44

¹⁸ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 45-47.

Geiss, Imanuel: Geschichte griffbereit 6. Epochen. München 2002. S. 386-388.

2.2. Geschichte der Nachhaltigkeit als Leitbild

In der Mitte des 19. Jahrhunderts stießen Ökonomie und Ökologie also aneinander und schienen nicht miteinander vereinbar zu sein. Der Kapitalismus und das Ziel der Gewinnmaximierung rückten in den Vordergrund. Erst in den 1970er Jahren wurden die Themen Ökologie und Nachhaltigkeit wieder aufgegriffen.¹⁹

Im 20. Jahrhundert hat sich das Bewusstsein der Weltgemeinschaft für Probleme wie Umweltverschmutzung, Überbevölkerung, Armut und Ressourcenerschöpfung sehr verstärkt. Außerdem wurde Wachstum grundsätzlich mit negativen Folgen verbunden und man stand ihm sehr kritisch gegenüber. Viele Umweltschützer und unter anderem der Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ vom Club of Rome verwiesen darauf, dass alle Umweltprobleme durch den stetig wachsenden Konsum von Waren und Dienstleistungen entstehen und durch die Minimierung davon gelöst werden können.²⁰

Als Ausgangspunkt der weltweiten Umweltbewegung wird das Buch „Der stumme Frühling“ von der Biologin und Wissenschaftsjournalistin Rachel Carson aus dem Jahre 1962 bezeichnet. Mit statistischen Angaben, Fallbeispielen und Expertenaussagen verfolgte sie das Ziel, die Auswirkungen des Einsatzes von Pestiziden aufzuzeigen. Das Buch löste eine politische Debatte aus und führte schließlich zum Verbot des Insektizids DDT.²¹

¹⁹ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 39.

²⁰ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 63.

Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 73-76.

²¹ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 41.

2. Derzeitige Situation – Lineares Wirtschaftssystem

1983 wurde von den Vereinten Nationen eine unabhängige Sachverständigenkommission, die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung, gegründet. Sie veröffentlichte den Brundtland-Bericht, mit dem sie Handlungsempfehlungen für eine dauerhafte Entwicklung geben wollen. Das Ziel war „eine dauerhafte Erfüllung der Grundbedürfnisse aller Menschen weltweit unter Berücksichtigung der Tragkapazität der natürlichen Umwelt sowie der Konfliktlinien zwischen Umwelt- und Naturschutz, Armutsbekämpfung und Wirtschaftswachstum.“²² Der Bericht brachte nachhaltige Entwicklung als globales Leitbild der Entwicklung der Öffentlichkeit nahe.²³

Mit dem Rio-Gipfel fand 1992 schließlich die bis dahin größte Umwelt- und Entwicklungskonferenz der Welt statt. Ziel war es, Umwelt- und Entwicklungsanliegen zusammenzubringen und sie in ein verbindliches Abkommen zu überführen. Mit einem Umfang von 12 Tagen, Teilnehmern aus 178 Staaten und Vertretern aus 2.400 NGOs gilt sie als Höhepunkt der weltweiten politischen Bemühungen um Nachhaltigkeit. Das Resultat war die Agenda 2, die die Verankerung von Nachhaltigkeit befördert hat und als Handlungsprogramm von globaler Reichweite dient. Sie ist ein Paket von Maßnahmen, an das sich alle richten sollen und für dessen Erfolg auch eine Beteiligung der Öffentlichkeit wichtig ist. Insgesamt führte der Gipfel zu einem Einzug der Nachhaltigkeit als Leitbild in die Politik, vermeldete jedoch im Jahre 2002 nur mittelmäßige Erfolge.²⁴

Das aktuellste Vorhaben ist die Agenda 2030, die von den Vereinten Nationen im September 2015 verabschiedet wurde und für alle Staaten der Welt gültig ist. Kernstück ist ein Katalog mit 17 Zielen, den *Sustainable Development Goals*, die mit einer Laufzeit von 15 Jahren in Kraft treten. Klimapolitik, nachhaltige

²² Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 43.

²³ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 42-43.

²⁴ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 45-46.

2. Derzeitige Situation – Lineares Wirtschaftssystem

Entwicklung und Armutsbekämpfung werden verstärkt als untrennbares, großes Ganzes verstanden.²⁵



Abb. 3: 17 Sustainable Development Goals (Quelle: Steiner, Tobias: Baumaterialien und Green Building. V1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 18.)

Ein weiteres Großereignis war die Pariser Klimakonferenz 2015, die das weltweite, rechtlich verbindliche Ziel definiert hat, die globale Erwärmung bis 2020 auf deutlich unter 2°C zu begrenzen. Außerdem hat sich die EU ein Jahr vorher verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 40% gegenüber 1990 zu reduzieren.²⁶

Der Prozess der Etablierung von Nachhaltigkeit auf politischer Ebene kann als ambivalent bezeichnet werden. Einerseits wird der Gedanke des Umweltschutzes und der sozialen Gerechtigkeit wichtiger, was man an der zunehmenden Regelmäßigkeit, Institutionalisierung und Internationalisierung politischer Treffen ablesen kann. Andererseits verläuft der Prozess viel zu langsam, stückchenweise und unkoordiniert, vor allem in Verhältnis zur Relevanz des Themas. Bemühungen auf internationaler Ebene sind meist sehr zaghaft und rückschrittlich.²⁷

²⁵ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 55-57.

²⁶ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 61-62.

²⁷ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 62.

2.3. Der Begriff Nachhaltigkeit

Dennoch ist der Begriff Nachhaltigkeit das Wort der Stunde und genießt eine große Popularität. Der Begriff wird grundsätzlich positiv besetzt, ist aber auch abstrakt und verschwommen. Nachhaltigkeit ist in vielen Bereichen in Verwendung und wird von verschiedensten Branchen, wie unter anderem Energie, Mobilität, Gebäuden, Ernährung und Werbung, als Schlagwort benutzt.²⁸

Nachhaltigkeit als Leitbild und positiver Wertebegriff trifft auf Akzeptanz und will umgesetzt werden. Doch die Umsetzung in konkrete Schlussfolgerungen und ins eigene Verhalten, wird oftmals nicht verwirklicht.²⁹

Immer wieder taucht auch die Anschuldigung des Greenwashing auf. Greenwashing bedeutet, dass Nachhaltigkeit nur an vereinzelt Stellen und noch dazu in kleinen Dosen vorkommt und nur darauf abzielt, ein umweltfreundlicheres und verantwortungsvolleres Image zu vermitteln, ohne wirklich nachhaltig zu sein. Anstatt also wirklich an nachhaltiger Entwicklung zu arbeiten und sie als Kernkompetenz des Unternehmens zu sehen, wird nur die Inszenierung für die Öffentlichkeit und vor allem für die Konsumenten optimiert, um besonders nachhaltig zu wirken. Dafür nutzen Spezialisten aus der Werbung Techniken zur Manipulation, wie zum Beispiel einzelne, umweltfreundliche Aktivitäten öffentlich herauszustellen und zu betonen oder Kooperationsprojekte mit NGOs, die in der Öffentlichkeit ein positives Image besitzen.³⁰

²⁸ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 23.

²⁹ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 25.

³⁰ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 211-212.

2. Derzeitige Situation – Lineares Wirtschaftssystem

Die klassische Definition von Nachhaltigkeit ist laut Brundtland-Bericht „eine Entwicklung, die gewährleistet, dass künftige Generationen nicht schlechter gestellt sind, ihre Bedürfnisse zu befriedigen, als gegenwärtig lebende.“³¹

Zusätzlich kann eine Sache nur dann wirklich als nachhaltig bezeichnet werden, wenn die drei Säulen der Nachhaltigkeit erfüllt werden. Das bedeutet, dass Ökologie, Ökonomie und Soziales berücksichtigt werden.³² Alle drei Bereiche sind gleichrangig und zu einem großen Ganzen verwoben. „Die Wirtschaft darf sich nicht auf Kosten von Umwelt und Gesellschaft entwickeln, andererseits soll die Lösung ökologischer Probleme nicht zu ökonomischen und sozialen Risiken führen.“³³

Als Motivation für eine nachhaltige Entwicklung gibt es zwei Möglichkeiten, die in Push- und Pull-Faktoren unterteilt werden. Push-Faktoren sind Gründe, aus denen man versucht, etwas zu vermeiden, weil es schädliche Auswirkungen haben wird. Dazu zählen unter anderem Umweltprobleme, wie der Klimawandel, Gletscherschmelze und Biodiversitätsverlust. Pull-Faktoren sind dagegen positive Anreize, nachhaltiger zu werden. Dazu zählen zum Beispiel Gewinnerwirtschaftung, Kosteneinsparungen oder Wettbewerbsvorteile. Beide Faktoren gewinnen an Bedeutung.³⁴

³¹ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 24.

³² Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 42.

³³ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 99.

³⁴ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 26-32.

3. Zukunftsmodell - Kreislaufwirtschaft

Es gibt einen neuen Ansatz, der sich Kreislaufwirtschaft oder „Circular Economy“ nennt. Damit lässt sich ein neuartiges Wirtschaftssystem beschreiben, welches Schlagworte wie unter anderem „Recycling“, „Lebenszyklus“ und „Re-Use“ unter einem Dach vereint und sie weiterdenkt. Die grobe Idee dahinter ist, dass sich die Wirtschaft an der Natur orientieren und sie imitieren soll, die wie ein Kreislauf funktioniert. Anstatt also, wie es bisher oftmals üblich war, den Abfall auf einer Deponie zu entsorgen, soll nun überlegt werden, wie man stattdessen damit umgehen kann, um noch etwas Gehaltvolles daraus zu schaffen.

Der Gegensatz zum *cradle-to-grave*-Prinzip in einem linearen Wirtschaftssystem ist das *cradle-to-cradle*-Prinzip. Bei diesem Konzept steht die nahtlose Weiterverwendung einzelner Komponenten im Vordergrund. Es geht darum, nachwachsende Rohstoffe einzusetzen und diese in Kreisläufen zu halten, um Abfall bestmöglich zu vermeiden oder am besten gar nicht erst entstehen zu lassen.³⁵

Der *cradle-to-cradle*-Ansatz geht an die Wurzeln eines Problems, also an die Ursprünge des Produktionsprozesses, und will ihn gänzlich neu denken. „Wie würde ich das Produkt konzipieren, wenn ich es frei von bisherigen Restriktionen und Bestimmungen von Grund auf im Sinne ökologischer Verträglichkeit und sozialer Gerechtigkeit gestalten könnte?“ Schon bei der Planung und Entwicklung soll die Weiter- und Wiederverwendbarkeit der einzelnen Komponenten berücksichtigt werden. Es entsteht kein Abfall, sondern nur noch wiederverwertbare Rohstoffe.³⁶

³⁵ Rueter, Carmen: Cradle-to-Cradle. Das Wiegenlied der Baustoffe. In: URL: https://diepresse.com/home/immobilien/wissen/nachhaltigkeit/739183/C2C_Das-Wiegenlied-der-Baustoffe (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

³⁶ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 232-234.

Als Begründer des *cradle-to-cradle*-Prinzip als Leitsatz für eine nachhaltigere Wirtschaft werden Prof. Michael Braungart und William McDonough bezeichnet. Der Start der Zusammenarbeit war 1991 die „Hannover Principles“-Design Richtlinien für die Weltausstellung, die sie zusammen verfasst haben. Die wichtigste dieser Richtlinien war die komplette Eliminierung der Entstehung von Abfall.³⁷

Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, dass sich die Folgen des Wachstums positiv auswirken. Als Vorbild und Metapher dient das Prinzip eines Baumes. Während seines Lebens dienen seine Blüten und Früchte als Nahrung für Menschen und Tiere. Die Materialien, die zu Boden fallen, kompostieren und dienen dann als Nahrung für den Boden und aus den Kernen entstehen wieder neue Bäume.³⁸

3.1. Biologischer und technischer Kreislauf

Unterschieden wird hier zwischen biologischen und technischen Kreisläufen. Ein biologischer Nährstoff ist dazu bestimmt, in den biologischen Kreislauf zurückzukehren, indem er kompostiert und von Mikroorganismen oder anderen Tieren aufgefressen werden kann. Solche Produkte können problemlos biologisch abgebaut werden. Ein technischer Nährstoff ist dementsgegen ein Material, das so konstruiert ist, dass es in den technischen Kreislauf zurückkehren kann. Es kann in gleichbleibender Qualität innerhalb eines geschlossenen Systems weiterzirkulieren.³⁹

³⁷ Rueter, Carmen: Cradle-to-Cradle. Das Wiegenlied der Baustoffe. In: URL:

https://diepresse.com/home/immobilien/wissen/nachhaltigkeit/739183/C2C_Das-Wiegenlied-der-Baustoffe (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 32.

³⁸ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 108, 100.

³⁹ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 137, 142.

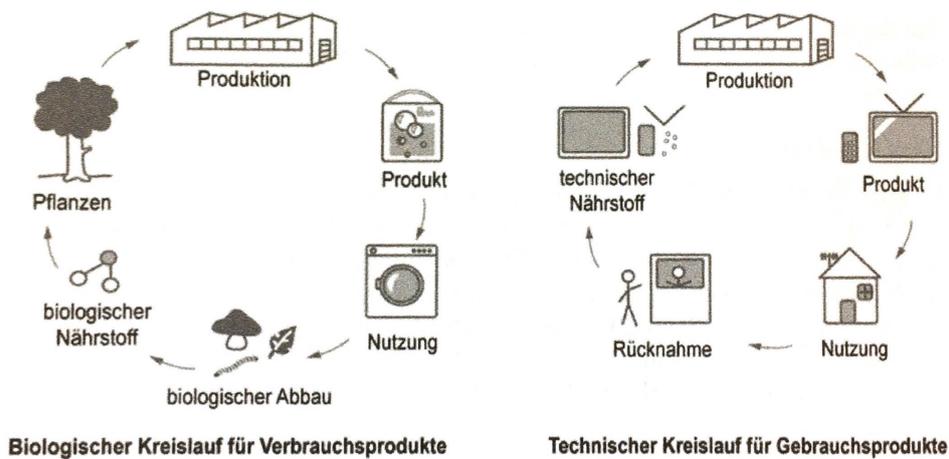


Abb. 4: Biologischer und Technischer Kreislauf (Quelle: Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 237.)

3.2. Ökoeffizienz vs. Ökoeffektivität

Der Gegensatz des derzeit vorherrschenden Modells und der Kreislaufwirtschaft kann durch die Schlagworte Ökoeffizienz und Ökoeffektivität verdeutlicht werden.

Das bisherige System will mit dem *cradle-to-grave* Ansatz die Ökoeffizienz erhöhen. Im Rahmen davon werden zum Beispiel Regierungsprogramme, Auflagen und Regulierungen beschlossen, um jedes Jahr geringere Mengen toxischen Materials in der Luft, ins Wasser und dem Erdboden freizusetzen oder weniger Abfall zu erzeugen. Dies ist jedoch keine Strategie für langfristigen Erfolg, weil es nicht tief genug reicht und das System nur langsamer und verzögerter zerstörerisch wirken kann. Der Schaden würde also nur minimiert, nicht eliminiert werden. Das Effizienz-Prinzip behandelt nur die Symptome der Industrieproduktion, ohne die Ursachen zu behandeln. Außerdem kann es in manchen Fällen sogar schädlicher sein, weil ihre Wirkung subtiler ist.⁴⁰

Ökoeffizienz ist also langfristig keine ideale Lösung, da dadurch die negativen Prozesse, wie die Erschöpfung der Rohstoffquellen und das Entstehen von

⁴⁰ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 233-234.

Müllbergen, lediglich verlangsamt und hinauszögert werden. Diese Strategie muss also noch weiter gedacht werden.⁴¹

Dem gegenüber steht der Ansatz der Ökoeffektivität. Sie fordert eine komplette Eliminierung von schädlichen oder gefährlichen Stoffen und stattdessen ein Ersetzen durch förderliche Stoffe. Kriterien dafür wären zum Beispiel keine gesundheitsschädlichen Stoffe in Luft, Wasser und Erdboden zu entlassen oder nichts zu produzieren, was künftige Generationen in ungerechtem Maße belastet.⁴²

3.3. Kreislaufwirtschaft aktuell

Die umgesetzte Kreislaufwirtschaft steckt noch in den Anfängen und wird von wenigen Unternehmen angewendet. Die Pioniere erwiesen sich jedoch als erfolgreich. Vor allem in den Niederlanden, Dänemark, USA und China ist das Konzept sehr bekannt und gefragt. Außerdem ist sie in letzter Zeit vermehrt ins Blickfeld geraten. Ende 2015 wurde ein „Circular Economy Package“ von der EU vorgelegt. Dabei handelt es sich um einen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Das Ziel ist es, bis 2030 die Recyclingquoten für Siedlungsabfälle auf 65% und für Verpackungsmüll auf 75% zu steigern. Mit dem Stichwort „Closing the Loop“ berücksichtigt der Plan Produktion, Konsum, Abfallvermeidung, Sekundärrohstoffmarkt bis hin zur Wiederverwertung.⁴³

⁴¹ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 78-80.

⁴² Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 238.

⁴³ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 233.

Eidems, Volker u.a.: Cradle to Cradle – die Vision von der Kreislaufwirtschaft ohne Abfall. In: URL: <https://utopia.de/ratgeber/cradle-to-cradle-die-vision-von-der-kreislaufwirtschaft-ohne-abfall/> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Florit, Cristina u.a.: Wie die EU vom österreichischen Entsorgungsindikator profitieren kann. Der neue EI10. In: URL: <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/wie-die-eu-vom-oesterreichischen-entsorgungsindikator-profitieren-kann/> (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Obwohl Rohstoffknappheit im Bauwesen noch kein zentrales Thema ist, rückt die Abfallvermeidung und Wiederverwendung immer mehr in den Fokus. Es gibt bereits einige Methoden im Baubereich, die man zum Gedanken der Kreislaufwirtschaft dazuzählen kann. Zu den verbreitetsten gehört die Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz, bei welcher der gesamte Umwelteinfluss eines Produktes betrachtet wird. Grundsätzlich wird dabei der gesamte Lebensweg eines Baustoffes analysiert. Ein anderes Beispiel für eine Klassifizierung der Entsorgungseigenschaften von Baustoffen ist der Entsorgungsindikator EI10. Er wurde vom IBO, dem Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie entwickelt und ist eine Einzahlangabe von 1-5, mit der man den aktuellen Entsorgungsweg und sein Verwertungspotential bewerten kann.⁴⁴

Zu erwähnen sind auch die Pionierprojekte „BauKarussell“ und die Internetseite „Bautastisch“. Das „BauKarussell“ ist laut der Selbstbeschreibung der „erste österreichische Anbieter für einen verwertungsorientierten Rückbau mit besonderem Fokus auf Wiederverwendung für großvolumige Objekte“ und arbeitet mit großen Wiener Bauträgern zusammen. „Bautastisch“ ist eine Internetplattform zum Kauf und Verkauf von Baumaterialien, Werkzeugen und Arbeitsbekleidung.⁴⁵

Ein weiteres Beispiel für eine aktuelle Umsetzung dieses Gedankens ist das „Haus der Zukunft“ in Melk von pos architekten. Sie stellen sich bei der Planung und Realisierung die Fragen: „Was verwenden wir? Wie kann man es später wieder

⁴⁴ Florit, Cristina u.a.: Wie die EU vom österreichischen Entsorgungsindikator profitieren kann. Der neue EI10. In: URL: <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/wie-die-eu-vom-oesterreichischen-entsorgungsindikator-profitieren-kann/> (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Pargana, Nuno u.a.: Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. In: Energy and Buildings. 2014. Vol.82. S. 469-470.

Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 1.

⁴⁵ Kurzbeschreibung. Hrsg. v.: Repa-Net – Re-Use und Reparaturnetzwerk Österreich. In: URL: <http://www.repanet.at/baukarussell/> (letzter Zugriff: 08. 06. 2018)

Über Bautastisch. In: URL: <https://www.bautastisch.at/ueber-bautastisch/> (letzter Zugriff: 08. 06. 2018)

trennen? Wo und wie wird es wiederverwendet? Und wie läuft der Rückführungsweg aller Bauteile?“⁴⁶

Es ist möglich, Produkte im Sinne der Kreislaufwirtschaft mit der Cradle-to-Cradle-Zertifizierung anzuerkennen. Die Zertifizierung wird durch das Institut EPEA durchgeführt und wurde für Produkte entwickelt. Dabei werden die Kriterien Materialbewertung, Wiederverwertbarkeit in technischen und biologischen Kreisläufen, Energiemanagement bei der Produktion, Wassermanagement zur Produktion und sozialer Standard am Produktionsstandort berücksichtigt.⁴⁷

3.4. Entsorgung im Baubereich - Rückbau von Gebäuden

Um ein Gebäude abzubauen, kann man nach zwei Abbruchmethoden vorgehen. Beim „konventionellen Abbruch“ wird „die Bausubstanz ohne zwingende Anforderungen hinsichtlich Entkernung oder Trennung von Materialien zerstört.“⁴⁸ Dies geschieht zum Beispiel durch Stemmen, Einschlagen und Sprengen. Dadurch werden die verschiedensten Baumaterialien vermischt, die nachher in einer Sortieranlage getrennt werden müssen. Dies geschieht meistens durch die Notwendigkeit einer schnelleren Nachnutzung der Fläche und erfordert geringeren Planungs- und Zeitaufwand.⁴⁹

Dem gegenüber steht der „selektive Rückbau“. Hier werden alle Bauteile jeweils nach Funktion oder Material getrennt und schon vor Ort sortiert. Dies geschieht normalerweise in umgekehrter Reihenfolge der Errichtung. Es ergibt sich, dass

⁴⁶ Rueter, Carmen: Cradle-to-Cradle. Das Wiegenlied der Baustoffe. In: URL: https://diepresse.com/home/immobilien/wissen/nachhaltigkeit/739183/C2C_Das-Wiegenlied-der-Baustoffe (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

⁴⁷ Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 235.

⁴⁸ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 23.

⁴⁹ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 23–24.

diese Methode für eine spätere Nutzung im Sinne der Wiederverwendung die effizientere ist. Jedoch entstehen auch viele Nachteile, wie der erhöhte Zeitaufwand, erhöhte Kosten, geringere Arbeitsproduktivität und erhöhte Unfallgefahr. Außerdem dürfen aufbereitete, mineralische Baustoffe Verunreinigungen von maximal 1 Masse-% oder weniger aufweisen, weshalb selbst schon geringe Verunreinigungen dazu führen können, dass das Material nicht angenommen wird.⁵⁰

Als Mittelweg und in der Praxis übliche Methode gibt es auch den „teilselektiven Abbruch“, bei dem nur bestimmte, vorher definierte Teile für den Rückbau ausgewählt werden und der Rest nach der konventionellen Methode abgebaut wird.⁵¹

In Bezug auf die Kreislaufwirtschaft ist es jedoch am Besten, bereits in der Planungs- und Bauphase auf die Entsorgung Rücksicht zu nehmen, den ganzen Lebenszyklus eines Gebäudes von Anfang an „mitzudenken“ und das Bauvorhaben dementsprechend zu gestalten. Schlagworte zu dem Thema sind die Methoden „Design for Deconstruction“, „Design for Recycling“, „Design for Disassembly“, die alle als Grundidee eine Betrachtung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg vereint. Es soll sichergestellt werden, dass alle Bauteile möglichst einfach rückgebaut werden können und dafür geeignete Materialien und Konstruktionen verwendet werden.⁵²

⁵⁰ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 24.

⁵¹ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 24.

⁵² Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 26.

3.5. Entsorgung eines Baustoffes

Grundsätzlich gibt es für die Entsorgung eines Baustoffes mehrere Möglichkeiten:

- Deponie

Auf einer Deponie wird der Baustoff gelagert. Dies ist im Sinne der Kreislaufwirtschaft die schlechteste Methode, da die wertvollen Rohstoffe nicht weiter verwendet werden. Außerdem hat sie große Auswirkungen auf die Umwelt, wie die Belastung der Luft durch Deponiegase, die Belastung des Wassers durch Sickerwasser, welches zum Beispiel die Trinkwassergewinnung gefährden kann und die Belastung des Bodens durch Verwehungen toxischer Stäube.⁵³

- Verbrennung

Eine andere Methode ist die Verbrennung. Die Materialien werden verbrannt, wodurch Energie erzeugt werden kann. Durch die Verbrennung gehen jedoch alle Nährstoffe verloren und es können gefährliche Dämpfe freigesetzt werden.⁵⁴

- Recycling, stoffliche Verwertung

Wiederverwendung ist für die Kreislaufwirtschaft der beste Weg. Reines Recycling sollte jedoch nicht die endgültige Lösung sein. Die Herstellung hat viel Energie erzeugt, Abfall produziert und wurde für genau diese Verwendung konzipiert. Es sollte also immer die bestmögliche Nutzung und Verwendung mitgedacht werden, da sonst die Gefahr des „downcycling“ besteht. Dabei wird das Produkt zu einer Nutzung weiterverwertet, wofür das Material zu überqualifiziert ist. Dadurch wird ein wertvoller Rohstoff nicht in der optimalsten Weise genutzt. Es wird daher als

⁵³ Gasser, Uwe: Umweltgefahren von Mülldeponien. In: URL:

<http://www.bi-umwelt.de/pdfs/texte1994/Umweltgefahren.pdf> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

⁵⁴ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 14, 79.

„downcycling“ bezeichnet, da die Qualität des Materials vermindert wird. Trotzdem ist es jedoch einem einfachen Wegwerfen immer noch vorzuziehen.⁵⁵

Reines Recycling macht ein Produkt also nicht automatisch umweltfreundlich. Für eine effektive Kreislaufwirtschaft ist es sehr wichtig, dass die Materialien und Produkte schon in der Planung so konzipiert werden, dass sie gefahrlos im Kreislauf weitergegeben werden können.⁵⁶

Konkret auf Wärmedämmstoffe bezogen, sollte man für die Erreichung dieser Ziele nach Möglichkeit nur eine Dämmstoffart verwenden, Verbundkonstruktionen mit unlösbaren Verbindungen wie vollflächiger Verklebung oder Kleber im Allgemeinen vermeiden oder nur leicht lösbare Verbindungen verwendet werden. Lose verlegte Dämmstoffe wie Matten oder Platten sind zu bevorzugen, da sie, sofern sie nicht feucht oder verschmutzt sind, ohne Probleme entfernt und weiterverwendet werden können.⁵⁷

⁵⁵ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 14, 20, 80-82.

⁵⁶ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 14, 20, 80.

⁵⁷ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 26–27.

4. Dämmstoffe

Den Energieverbrauch zu reduzieren ist eine der wichtigsten Herausforderungen, die an die moderne Architektur gestellt werden. Gebäude verbrauchen 40% der Energie und sind verantwortlich für 1/3 der Treibhausgase der Erde. In Gebäuden unserer Klimazone verbraucht das Heizen mit Abstand die meiste Energie. Der erste Schritt um den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren, sind passive Maßnahmen, wie die Minimierung der Heizlast, was unter anderem durch Dämmung, eine kompakte Bauweise und eine Orientierung nach Süden erfolgen kann. Erst im nächsten Schritt folgt die Optimierung der Haustechnik.⁵⁸

Eine gute Dämmung ist daher einer der wichtigsten und ersten Schritte, um ein Gebäude zu bauen, das allen Energieanforderungen entspricht. Außerdem werden Energieeinsparungen sowohl von ökologischer, als auch von ökonomischer Seite immer wichtiger, wodurch auch der Bedarf an Dämmstoffen immer weiter zunehmen wird. Dadurch ist es besonders wichtig, die Auswirkungen auf die Umwelt zu betrachten und das langfristig beste Material zu wählen.⁵⁹

Durch den Trend zu Niedrigstenergiegebäuden kann man jetzt schon erkennen, dass Dämmungen immer wichtiger und öfter eingesetzt werden. Im Jahr 2005 betrug das Marktvolumen des europäischen Dämmstoffmarktes 77 Mio. m³, 6,1 Mio. m³ davon in Österreich. Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen haben in Europa mit 55–60% den größten Anteil, wovon 2/3 davon Dämmstoffe aus Glaswolle und die restlichen 1/3 aus Steinwolle sind. Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen haben jeweils circa 30-40% am Gesamtmarktanteil, fast

⁵⁸ Asdrubali, Francesco u.a.: A review of unconventional sustainable building insulation materials. In: Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol. 4. S. 1.

Österreicher, Doris: Innovative Energiekonzepte 1. Vorlesung 1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. SS 2017. S. 12.

⁵⁹ Kono, Jun u.a.: Factors for Eco-efficiency Improvement of Thermal Insulation Materials. In: Key Engineering Materials. 2016. Vol.678. S. 1.

nur durch EPS. Nachwachsende Dämmstoffe machen also den kleinsten Prozentsatz aus, wobei hier jedoch der Trend klar nach oben zeigt.⁶⁰

Das Abfallpotential von Dämmstoffen ist stark von der Sanierungsrate abhängig und kann deswegen nicht genau angegeben werden. Bei einem mittleren Szenarium liegt die Sanierungsquote bei 2%, womit pro Jahr fast 44.000 Gebäude saniert werden würden. Daraus ergibt sich ein Abfallvolumen von 2,6 Millionen m³, was eine Gesamtabfallmenge von fast 80.000 Tonnen ergibt und einem spezifischen Abfallaufkommen von 8,41kg pro Einwohner im Jahr entspricht.⁶¹

4.1. Grundlagen

Als Wärmedämmstoffe werden im Bauwesen jene Stoffe bezeichnet, welche aufgrund ihrer Struktur viele luft- oder gasgefüllte Hohlräume aufweisen und dadurch schlechte Wärmeleiter sind. Per Definition sind es Stoffe mit einer Wärmeleitfähigkeit von weniger als 0,1 W/mK. Sie dienen dazu, im Winter die Wärme im Gebäude zu halten und so einen geringeren Heizenergieverbrauch zu ermöglichen. Im Sommer sorgt eine gute Dämmung dafür, die Hitze von draußen nicht ins Gebäude dringen zu lassen und reduziert so auch die Kühllast.⁶²

⁶⁰ Pargana, Nuno u.a.: Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. In: Energy and Buildings. 2014. Vol.82. S. 466.

Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 12-13.

⁶¹ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 39.

⁶² Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 9.

Heisinger, Felix: Baumaterialien und Green Building. V3. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 7.

Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 988.

Wärmedämmstoffe werden im Wesentlichen in drei Gruppen unterteilt:

- Dämmstoffe aus mineralischen/anorganische Rohstoffen
- Dämmstoffe aus organischen/synthetischen Rohstoffen
- Dämmstoffe aus organischen/nachwachsenden Rohstoffe

Zu den Dämmstoffen aus mineralischen/anorganischen Rohstoffen zählen unter anderem Steinwolle, Schaumglas, Glaswolle, Mineralwolle und Perlite. Sie werden durch eine physikalische Modifikation aus Gesteinen hergestellt. Der Dämmstoff EPS ist das bekannteste Beispiel der zweiten Gruppe. Rohstoffbasis für diese Dämmstoffe ist meist Rohöl und beim Herstellungsprozess handelt es sich um organisch-chemische Synthesen. Weitere Beispiele für diese Gruppe sind Polyurethan (PUR) und Phenolharz. Die dritte Gruppe fasst sehr viele unterschiedliche Dämmstoffe zusammen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie nachwachsend sind. Dazu zählen unter anderem Baumwolle, Kork, Hanf, Holzspäne, Schafwolle, Holzwolle und auch Stroh.⁶³

Die wichtigsten Punkte beim Beurteilen eines Dämmstoffes sind:

- Die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mk]

Sie beschreibt, wie gut ein Stoff Wärme leitet. Je kleiner der Wert, desto schlechter leitet er Wärme und eignet sich dadurch besser als Wärmedämmung.

- Die Rohdichte [kg/m^3]

Die Rohdichte beschreibt das Verhältnis von der Masse eines Stoffes zu seinem Volumen. Grundsätzlich ist eine geringere Dichte für einen Dämmstoff besser, da mehr Luft im Material die Wärmeleitung vermindert.

⁶³ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 10-11.

- Brandschutzklasse und Brandverhalten

Das Brandverhalten eines Stoffes wird in Klassen von A-D eingeteilt, wobei A die beste und D die schlechteste ist. Berücksichtigt werden unter anderem die Entzündlichkeit, die Flammenweiterleitung, die Temperaturentwicklung und die Rauchgasdichte.

- spezifische Wärmekapazität c [kJ/kgK]:

Sie beschreibt die Wärmemenge, die benötigt wird, um 1 kg eines Stoffes um 1 Kelvin zu erwärmen. Für eine gute Dämmung kann also eine geringe spezifische Wärmekapazität als besser eingestuft werden.

- Wasserdampf-Diffusionswiderstand μ []

Er vergleicht um wie viel der Widerstand einer Stoffschicht, bezogen auf die Wasserdampfdurchlässigkeit, größer ist als eine gleich dicke Luftschicht. Je kleiner der Wert ist, desto leichter kann er von Wasserdampf durchdrungen werden.⁶⁴

Für die ökologische Betrachtung kann weiter betrachtet werden:

- Primärenergieaufwand PE

Er berücksichtigt alle energetischen Aufwendungen, die zur Herstellung eines Produktes erforderlich sind. Hier wird zwischen nicht erneuerbarer und erneuerbarer Energie unterschieden.

⁶⁴ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 88-89.

- Treibhauspotential / Erderwärmungspotential

Es beschreibt die Summe aller treibhauswirksamen Gase, die durch die Herstellung des Dämmstoffes entsteht. Es wird als CO₂ Äquivalent angegeben.⁶⁵

- Lebensdauer

Die Lebensdauer hängt stark vom Einbau ab. Sie gibt an, wie oft ein Dämmstoff erneuert oder nachgebessert werden muss oder wie schnell er zerfällt. Im Baubereich gibt es hierfür noch keine gängige standardisierte Messmethode.⁶⁶

Andere relevante Werte sind der Schallschutz, die Auswirkungen auf die Gesundheit und der Wasserverbrauch. Aus ökologischer Sicht sind außerdem auch der Ressourcenverbrauch, Transportwege, Emissionen und die Rückbaufähigkeit und Entsorgung zu berücksichtigen.⁶⁷

Rückbau von Dämmstoffen

Ein Dämmstoff wird entweder durch Kleben, mechanisches Befestigen wie dübeln oder nageln oder ohne Hilfsstoffe durch klemmen, loses Verlegen oder einblasen angebracht. Mechanisch oder lose verlegte können am Besten rückgebaut werden, verklebte dagegen sehr schwer.⁶⁸

⁶⁵ Bertsch, Gebhard: Dämmstoffe. In: URL: <http://www.oekoberatung.at/baustoffe/> (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

⁶⁶ Kono, Jun u.a.: Factors for Eco-efficiency Improvement of Thermal Insulation Materials. In: Key Engineering Materials. 2016. Vol.678. S. 9.

⁶⁷ Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 24.

Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 988.

Kono, Jun u.a.: Factors for Eco-efficiency Improvement of Thermal Insulation Materials. In: Key Engineering Materials. 2016. Vol.678. S. 10.

Kalista, Christian: Untersuchungen von Wärmedämmungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Wien: fh-campus wien. Diplomarbeit 2004. S. 15.

⁶⁸ Kalista, Christian: Untersuchungen von Wärmedämmungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Wien: fh-campus wien. Diplomarbeit 2004. S. 16.

Vergleich der relevanten Daten von Stroh, EPS und Steinwolle

Im folgenden Teil wird jeweils ein Vertreter der drei Gruppen analysiert. Stroh gehört hier zu den organisch/nachwachsenden, EPS zu den organisch/synthetischen und Steinwolle zu den mineralisch/anorganischen Dämmstoffen. In der anschließenden Tabelle sind zum Vergleich die relevanten Daten der analysierten Dämmstoffe angegeben.⁶⁹

	Stroh	EPS	Steinwolle
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	0,038–0,067	0,032–0,038	0,033-0,04
Dichte [kg/m³]	50-150	15-35	40-200
Brandschutzklasse A – F	B2	E	A1-B
spez. Wärmekapazität [kJ/kgK]	0,6	1,25	0,8-1
Wasserdampfdiffusionsw. [1]	1-2	20–70	1-1,3
Primärenergieaufwand [kWh/m³]	ca. 70	1050	ca. 500
Treibhauspotential [kgCO_{2eq}]	-1,25	13,22	2,77
Preis [EUR/m³]	55	40-70	50-120

Tab. 1: Vergleich der relevanten Daten von Stroh, EPS und Steinwolle

⁶⁹ Asdrubali, Francesco u.a.: A review of unconventional sustainable building insulation materials. In: Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol.4. S. 12.

Gernbacher, Christian: Primärenergiebedarf bei der Herstellung von Dämmstoffen. In: URL: https://www.umwelt-beratung.de/pdf/primaerenergiebedarf_herstellung_daemmstoffen.pdf (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 994, 1011.

Doelling, Robert: Strohdämmung. Ökologisch Dämmen mit Stroh und Strohbällen. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/strohdaemmung.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohbällenbaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 68.

Nierobis, Lars: Stroh. In: URL: <http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/schilf.htm> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Dämmung Preise. Hrsg. v.: Dreamartist Webmedia. In: URL: <http://www.daemmstoff.org/daemmung-preise.php> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

4.2. Strohdämmung

Stroh ist ein Nebenprodukt des Getreideanbaus, genauer die getrockneten Stiele von gedroschenem Getreide, und in großen Mengen fast überall auf der Welt erhältlich. Es ist ein schnell nachwachsender und in unserer Klimazone ständig vorhandener Baustoff. Das Getreide wird zur Ernährung von Menschen und Tieren verwendet, als Brennmaterial verbrannt oder für sonstige Zwecke, wie etwa für den Baubereich, verwendet. Er wird beim Bauen schon lange vom Menschen verwendet, vor allem zum Decken von Dächern oder als Flechtwerk für Wände. Stroh erzeugt kleine Poren und Hohlräume, die mit Luft gefüllt sind, wodurch die Wärmedämmung entsteht.⁷⁰

Beim Bauen wird Stroh meistens in der Strohballenbauweise verwendet. Ein idealer Ballen ist:

- gelb, ohne graue, braune oder andere Färbung
- formstabil
- trocken
- aus harten Getreidesorten (Winter- oder Sommerweizen, Roggen, Dinkel)
- frei von Grünzeug, Beikrautanteil <2%
- ausreichend dicht⁷¹

Andere Möglichkeiten mit Stroh Häuser zu bauen und zu dämmen sind, unter anderem die Holzständerbauweise, als lasttragende Konstruktion und als Einblasdämmung. Sobald sich die Strohdämmung nach 4 bis 8 Wochen gesetzt hat, kann sie verputzt werden. Der Putz wird entweder direkt in die Oberfläche

⁷⁰ Sodagar, Behzad u.a.: The carbon-reduciton potential of straw-bale housing. In: Building Research and Information. 2011. Vol.62. S. 58.

Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballenbaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 1, 17.

⁷¹ Heisinger, Felix: Baumaterialien und Green Building. V3. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 22.

eingearbeitet oder auf einen Putzträger aufgebracht. Außerdem kann die Strohdämmung auch mit Holzbauplatten oder Brettern verkleidet werden.⁷²

4.2.1. Herstellung

Stroh wächst auf Feldern. Die Herstellung inkludiert also landwirtschaftliche Prozesse wie Bodenbearbeitung, Aussaat des Korn bis hin zu Ernte. Hierbei werden auch Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmittel verwendet. Nach der Ernte wird das Stroh zu Ballen gepresst, mit Polypropylen-Schnüren gebunden und dann unter Dach gelagert.⁷³

4.2.2. Vor- und Nachteile

Stroh als Baumaterial dämmt sehr gut und ist extrem günstig. Eine typische Strohballenwand erreicht einen λ -Werten von circa 0,03 – 0,06 W/mK. Da es lokal verfügbar und nachwachsend ist und auch einen sehr geringen Primärenergieeinsatz benötigt, ist es auch ein sehr ökologischer Baustoff. Das Vorurteil, dass Strohballen leicht brennbar sind, lässt sich dadurch entkräften, da in den fest gepressten und den Anforderungen entsprechenden Ballen nicht genug Luft für den Brennvorgang vorhanden ist. Somit erreicht das Baumaterial die Brennbarkeitsklasse E. Dies ist sehr gut mit Papier vergleichbar: „Ein einzelnes Blatt brennt innerhalb kürzester Zeit vollkommen ab, ein dickes Telefonbuch jedoch ist sehr schwierig zu entzünden, da es sehr dicht und mit wenig Luft in den Zwischenräumen ist.“⁷⁴

⁷² Doelling, Robert: Strohdämmung. Ökologisch Dämmen mit Stroh und Strohballen. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/strohdammung.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

⁷³ Umwelt-Produktdeklaration. Baustroh. Hrsg. v.: Bau EPD GmbH. Wien: 2014. S. 5, 8.

⁷⁴ Asdrubali, Francesco u.a.: A review of unconventional sustainable building insulation materials. In: Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol.4. S. 9-10.

Pritchard, Mark Bigland u.a.: Evaluation of Strawbale Building. Benefits and Risks. In: Architectural Science Review. 2006. Vol.49:4. S. 3.

Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballebaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 30, 37.

Außerdem braucht das Material keine aufwändige Bearbeitung. Die Energiekosten sind minimal und bestehen nur aus dem Pressen der Ballen und dem Transport. Ein weiterer Vorteil ist die geringe Giftigkeit. Unter den richtigen Bedingungen stößt Stroh keine gefährlichen Giftstoffe oder Allergene aus. Dies gilt jedoch nur, wenn am Feld keine schädlichen Pestizide verwendet wurden. Zusätzlich erfüllen sie auch alle schalltechnischen Anforderungen, eignen sich wegen ihrer Flexibilität gut bei Erdbeben, können sich an die meisten Gebäudeformen anpassen und sind wegen der einfachen Handhabung auch im Selbstbau gut geeignet.⁷⁵

Nachteile sind jedoch, dass Stroh, wie fast alle nachwachsenden Baustoffe, anfällig für Nagetiere und vor allem feuchteempfindlich ist. Dem kann jedoch mit einem richtigen Einbau leicht entgegen gewirkt werden. Gut gepresste Strohballe sind zu kompakt für Nagetiere, die lieber in lockeren Materialien nisten. Durch einen richtigen Wand- und Deckenaufbau, Einbau und einen guten Nässeschutz können auch Feuchteschäden verhindert werden. Der richtige Einbau ist beim Bauen mit Stroh also das Um und Auf. Außerdem kann der Baustoff nicht so leicht standardisiert werden.⁷⁶

4.2.3. Zusätze

Bei der Strohdämmung werden normalerweise keine Zusätze hinzugefügt, da es auch ohne Zusätze alle erforderlichen Anforderungen erfüllt.⁷⁷

4.2.4. Was passiert nach dem Abbau?

Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen werden meistens verbrannt und so zur Energiegewinnung verwendet. Da Stroh ein Naturprodukt ist, könnte es aber,

⁷⁵ Pritchard, Mark Bigland u.a.: Evaluation of Strawbale Building. Benefits and Risks. In: Architectural Science Review. 2006. Vol.49:4. S. 3-4.

⁷⁶ Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballebaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 39.

⁷⁷ Doelling, Robert: Strohdämmung. Ökologisch Dämmen mit Stroh und Strohballe. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/strohdaemmung.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

solange keine Zusätze enthalten sind, problemlos wieder zur Erde zurückgeführt werden. Wenn ein Gebäude abgebaut wird, könnte man Stroh einfach in ein Feld schütten, wo es daraufhin verrotten würde oder in der Landwirtschaft weiter verwendet werden könnte. Wichtig ist es jedoch, dass es ausdrücklich so konzipiert ist, dass die gefahrlos zur Natur rückgeführt werden. Ansonsten kann das Kompostieren Probleme aufwerfen, indem zum Beispiel Chemikalien und Toxine in die Umwelt freigesetzt werden.⁷⁸

Abgesehen davon, gibt es für Dämmungen aus nachwachsenden Rohstoffen derzeit kein Angebot zum Recycling. Hauptgrund dafür ist sowohl das niedrige Materialangebot, als auch die hohen Transportkosten. Dämmstoffe dieser Gruppe weisen jedoch üblicherweise hohe Heizwerte auf, wodurch sie sich zur Energieerzeugung durch Verbrennung eignen.⁷⁹

4.2.5. Fazit

Aus den vorherig angeführten Punkten ergibt sich, dass Strohdämmungen gut im Sinne der Kreislaufwirtschaft verwendet werden können, da sie nach der Nutzung wieder in den Kreislauf der Natur rückgeführt werden können. Unter den richtigen Bedingungen kann man Stroh der Erde zurückführen, wo es verrotten und dem Boden Nährstoffe zurückgeben kann. Dadurch erfüllen Strohballedämmungen ideal die Bedingungen, um in einem biologischen Kreislauf zu funktionieren.

Außerdem wächst Stroh lokal, wodurch die heimische Wirtschaft gestärkt wird und kurze Transportwege möglich werden. Als Dämmung erfüllen sie, bei richtigem

⁷⁸ Scharnhorst, Astrid: Recycling und Entsorgungseigenschaften von Dämmstoffen. In: URL: <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> (letzter Zugriff: 10. 06. 2018)

Sodagar, Behzad u.a.: The carbon-reduciton potential of straw-bale housing. In: Building Research and Information. 2011. Vol.62. S. 57.

Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016. S. 80.

⁷⁹ Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 86.

Einbau, alle erforderlichen Kriterien und können auch im Selbstbau verwendet werden. Essentiell hierfür ist jedoch die Beachtung des richtigen Einbaus, schon ab der Planungsphase.

4.3. EPS

Extrudiertes Polystyrol (EPS) ist ein Kunststoff und wird aus dem nicht erneuerbarem Rohstoff Erdöl erzeugt. Es wurde 1951 entwickelt und ist auch unter dem Synonym Styropor bekannt. EPS wird hauptsächlich als Dämmplatte verwendet. Die Platten sind sehr leicht zu verlegen, wodurch man sie selbst als Laie anbringen und sich dadurch Kosten ersparen kann.⁸⁰

4.3.1. Herstellung

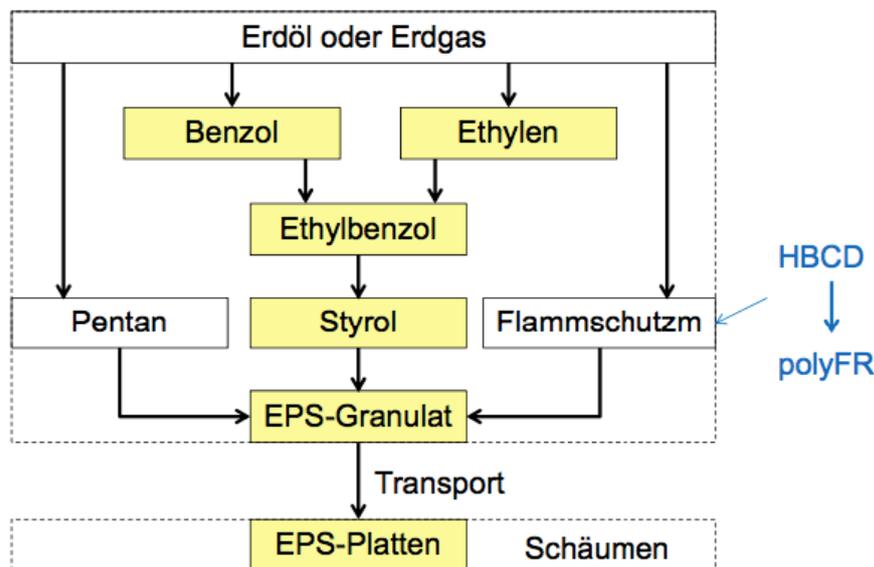


Abb. 5: EPS-Herstellung (Quelle: Heisinger, Felix: Baumaterialien und Green Building. V3. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 11.)

Die Herstellung von EPS kann in vier Schritte unterteilt werden:

I Rohstoffbasis

Wie bereits erwähnt, wird EPS aus fossilen Quellen gewonnen. Genauer aus Erdgas, Erdöl und Steinkohle.

⁸⁰ Pfundstein, Margit u.a.: Dämmstoffe. Grundlagen, Materialien, Anwendungen. DETAIL Praxis. 1.Auflage. München: Inst. f. Internationale Architektur-Dokumentation 2007. S. 34.

Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 1.

II Herstellung der Ausgangsstoffe

Aus diesen fossilen Quellen werden Ethylen und Benzol hergestellt.

II Herstellung des Ausgangsmaterials Styrol

Durch Begasung des hergestellten Ethylens und Benzols wird mittels eines Katalysators Ethylbenzol hergestellt, welches dann in einer endothermen Reaktion bei 600°C zu Styrol hydriert. Dies wird dann in Tanks zwischengelagert und stabilisiert.

IV Herstellung des expandierten Polystyrols (EPS) aus Styrol

Aus dem Styrol kann entweder das feinporige extrudierte Polystyrol (XPS) oder das grobporige EPS gewonnen. Für die Herstellung des expandierten Polystyrols werden im nächsten Schritt zum Styrol Radikalstarter (=Initiatoren) hinzugefügt, wodurch schließlich mittels chemischer Reaktionen mit Radikalstartern Polystyrol entsteht. Hierbei werden auch Additive, wie zum Beispiel Flammschutzmittel, hinzugefügt. Das gewonnene Polystyrol wird dann durch Vorschäumung, Trocknung/Zwischenlagerung und Nachschäumung/Formung zu Polystyrolplatten verarbeitet.⁸¹

4.3.2. Vor- und Nachteile

EPS-Dämmstoffe sind leicht verfügbar und preiswert. Sie haben gute bis sehr gute Dämmeigenschaften, mit λ -Werten von circa 0,03 – 0,04 W/mK. Außerdem verrottet der Dämmstoff nicht und ist nicht hygroskopisch. Durch die Herstellung als Platten ist er leicht zu verarbeiten und kann mit einem einfachen Cutter geschnitten werden.⁸²

⁸¹ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 20.

⁸² Pfundstein, Margit u.a.: Dämmstoffe. Grundlagen, Materialien, Anwendungen. DETAIL Praxis. 1.Auflage. München: Inst. f. Internationale Architektur-Dokumentation 2007. S. 34.

EPS hat wegen der geschlossenen Porosität und geringen Dichte keine besonderen schalltechnischen Qualitäten. Es ist leicht entflammbar und beim Brennen werden gefährliche Gase freigesetzt, weshalb meistens ein Feuerlöscher in der Nähe angebracht wird. Bei lang einwirkender UV-Strahlung beginnt die Oberfläche jedoch zu vergilben und versprödet.⁸³

4.3.3. Zusätze

Als Zusätze dienen bei der Befestigung von EPS Kleber oder Mörtel. Sie fixieren die Platten dauerhaft an der Wand. Zusätzlich dazu können auch Dübeln verwendet werden. Außerdem werden bei der Herstellung noch Additive wie Flammschutzmittel hinzugefügt.⁸⁴

4.3.4. Was passiert nach dem Abbau?

Die Nutzungsdauer für EPS-Platten beläuft sich auf 40-60 Jahre.⁸⁵ Danach gibt es grundsätzlich vier Möglichkeiten, wie nachher mit den Platten umgegangen werden kann.

I Rückbau

Die einzigen Möglichkeiten, um EPS-Platten zu entfernen, sind Abkratzen, Abschlagen oder Abreißen mit maschineller Unterstützung, was wirtschaftlich nicht rentabel ist. Dadurch ist es jedoch nicht möglich, die Platten anschließend wieder zu verwenden.

⁸³ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 20.

Pfundstein, Margit u.a.: Dämmstoffe. Grundlagen, Materialien, Anwendungen. DETAIL Praxis. 1.Auflage. München: Inst. f. Internationale Architektur-Dokumentation 2007. S. 34.

⁸⁴ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 15-17, 20.

⁸⁵ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 21.

II Deponierung

Dämmstoffe aus EPS-Platten dürfen nicht deponiert werden, da ihr Brennwert über dem erlaubten Grenzwert für Deponierungen liegt.

III Thermische Verwertung

Die Abfälle der EPS-Dämmplatten dürfen ohne vorherige Behandlung nicht gelagert werden und müssen, sofern sie nicht genutzt werden können, energetisch verwertet oder verbrannt werden. Dies hat das Ziel, das Gefährdungspotential zu reduzieren, das Volumen der Abfälle zu verringern und die Abfälle zu hygienisieren. Zusätzlich dazu dient es auch zur Energiegewinnung, wobei jedoch schädliche Stoffe freigesetzt werden können.

IV Recycling

Leicht verschmutzte Abfälle können granuliert werden und zum Beispiel als Bodenauflockerungsmittel, beim Straßenbau oder bei Schüttungen eingesetzt werden. Grundsätzlich ist zurzeit jedoch kein zerstörungsfreier und unverschmutzter Rückbau möglich. Es gibt jedoch Möglichkeiten zum stofflichen Recycling. Hierzu zählen etwa das CreaSolv-Verfahren, bei dem verschmutzte EPS-Dämmstoffe so behandelt werden, dass daraus wiederaufschäumendes Polystyrol hergestellt werden kann. Ein anderes Beispiel ist das Forschungsprojekt „EPS-Loop“. Hier wird ebenfalls aus verschmutzten EPS-Abfällen re-expandierbares Polystyrol erzeugt. Außerdem können EPS-Dämmstoffe zu Granulat verarbeitet werden, welches zum Beispiel als Zuschlagstoff zu Mörtel und Beton wiederverwendet werden kann. Dies ist jedoch sehr aufwändig und wird

selten realisiert.⁸⁶ Ein Recycling im großen Maßstab ist derzeit also noch nicht vorhanden.

Ein großes Problem dabei ist, dass mit den Platten normalerweise noch Kleber und Dübel verwendet werden. Dadurch ist der Trennungsprozess sehr aufwändig und benötigt viel Energie, was die Wiederverwendung zusätzlich erschwert.⁸⁷

4.3.5. Fazit

Da EPS aus fossilen Rohstoffen erzeugt wird, welche nur begrenzt verfügbar sind, sollte man ressourcenschonend mit ihnen umgehen und sie nur in sinnvollem Maße verwenden. Es stellt sich die Frage, ob es ratsam ist, so hochwertige und nicht erneuerbare Rohstoffe wie Erdgas und Erdöl für etwas zu verwenden, was problemlos von anderen, biologischen Materialien ebenfalls erledigt werden kann. Außerdem ist die Herstellung sehr kompliziert und energieaufwändig.

Für einen biologischen Kreislauf ist EPS nicht anwendbar, da es praktisch nicht verrottet. Auch hier stellt sich die Frage, wie sinnvoll es ist, ein Material, welches so lange haltbar ist, für ein in Relation so kurzlebiges Produkt wie ein Gebäude zu verwenden.

Es könnte dennoch in einem technischen Kreislauf funktionieren. Für eine Weiterverwendung von Dämmstoffabfällen, die beim Abbruch oder einer

⁸⁶ Kalista, Christian: Untersuchungen von Wärmedämmungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Wien: fh-campus wien. Diplomarbeit 2004. S. 47.

Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013. S. 85.

Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 24-27.

Scharnhorst, Astrid: Recycling und Entsorgungseigenschaften von Dämmstoffen. In: URL: <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> (letzter Zugriff: 10. 06. 2018)

⁸⁷ Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017. S. 2

Sanierung entstehen, fehlen zurzeit jedoch die notwendigen Methoden. Bei einem Neubau könnte jedoch eine Weiterverwendung schon in der Planung mit angedacht werden.

4.4. Steinwolle

Steinwolle besteht aus verschiedenen, zusammengeschmolzenen Steinen, welche aus Steinbrüchen gewonnen werden. Verkauft wird sie meistens entweder lose, in Form von Flocken bei der Einblasdämmung, als Matten oder Vliese. Sie erreicht λ -Werte im Bereich von 0,033–0,045 W/mK. Sie sind weich und formbar und werden meistens bei Dach- und Deckendämmung eingesetzt. Da das Material aus künstlich produzierten, mineralischen Fasern besteht, wird oft auch Mineralwolle als Synonym verwendet. Mineralwolle ist jedoch ein Überbegriff, der zum Beispiel auch Glaswolle mit einschließt. Glaswolle besteht jedoch aus Altglas, hat aber sehr ähnliche Eigenschaften wie Steinwolle.⁸⁸

4.4.1. Herstellung

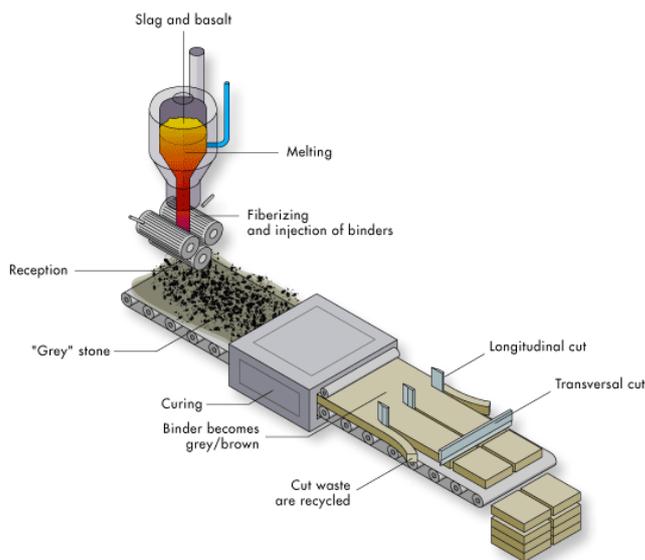


Abb. 6: Steinwolle-Herstellung (Quelle: Production Process. Hrsg. v.: Eurima. In: URL: <https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018))

⁸⁸ Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Die Herstellung von Steinwolle benötigt extrem viel Energie. Bei 1200-1600°C werden verschiedene Steine, wie unter anderem Dolomit, Basalt, Diabas und auch wiederverwendete Materialien, geschmolzen und dann entweder zu feinen Fäden ausgezogen, durch Düsen geblasen oder geschleudert. Die Fasern werden dann mit Bindemitteln zusammengebunden. Als Bindemittel werden meistens Klebstoffe, Speisestärke und Öle verwendet. Anschließend werden sie in die benötigte Form geschnitten.⁸⁹

4.4.2. Vor und Nachteile

Steinwolldämmung hat sehr gute Dämmeigenschaften, ist günstig und kann durch leicht gehandhabt werden. Außerdem ist sie ein guter Schallabsorber und verfügt über einen sehr guten Schallschutz. Gegenüber Hitze ist sie sehr feuerbeständig und zusätzlich resistent gegenüber Schimmel und Ungeziefer.⁹⁰

Sobald sie jedoch Feuchtigkeit ausgesetzt und nass wird, fällt sie in sich zusammen und wird wirkungslos. Sie muss also sehr gut vor Feuchtigkeit geschützt werden. Außerdem ist die unverrottbar und die Herstellung benötigt sehr viel Energie, da das Ausgangsmaterial bei sehr hohen Temperaturen geschmolzen werden muss.⁹¹

⁸⁹ Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 992-993.

⁹⁰ Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 992-993.

Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

⁹¹ Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

4.4.3. Zusätze

Während der Herstellungsphase werden verschiedenste Zusatzstoffe, wie zum Beispiel das Bindemittel Phenolharz hinzugefügt. Anteilsmäßig macht dies etwa 0,5 bis 0,7% aus. Außerdem wird für die Bindung des Mineralstaubes noch Mineralöl beigefügt.⁹²

4.4.4. Was passiert nach dem Abbau?

Nach dem Abbau wird Steinwolle üblicherweise auf Deponien entsorgt oder zum Beispiel für die Verfüllung im Straßenbau verwendet. Bei einem geeigneten Einbau könnte sie jedoch problemlos wieder rückgewonnen und wiederverwendet werden. Das stoffliche Recycling ist derzeit jedoch noch niedrig, obwohl für reine Produktions- und Baustellenabfälle einzelne Verwertungsanlagen in Steinwolle-Werken vorhanden sind.⁹³

4.4.5. Fazit

Da Steinwolle nicht verrotten kann und außerdem verschiedenste Zusatzstoffe enthält, kann sie nicht in einem biologischen Kreislauf funktionieren.

Grundsätzlich könnte Steinwolle aber in einem technologischen Kreislauf funktionieren. Hierfür gibt es vor allem von Herstellerseite derzeit vereinzelnde Methoden, bei denen jedoch die Gefahr des downcycling zu hinterfragen ist. Unter dem Aspekt der Ökologie müssten jedoch auch die Zusatzstoffe noch weiter analysiert werden. Abgesehen davon, benötigt die Produktion große Energiemengen. Außerdem ist der Rohstoff zwar beinahe unbegrenzt, die

⁹² Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

⁹³ Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 992-993.

Scharnhorst, Astrid: Recycling und Entsorgungseigenschaften von Dämmstoffen. In: URL: <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> (letzter Zugriff: 10. 06. 2018)

Beschaffung erfordert aber einen einschneidenden Eingriff in die Natur. Die Herstellung eignet sich jedoch sehr gut, um vorhandenes Recyclingmaterial zu verwerten. Dies könnte man im Sinne der Kreislaufwirtschaft verstärker nutzen.

5. Fazit

Zusammengefasst ist es einer der wichtigsten Punkte einer effektiven Kreislaufwirtschaft, die Weiter- und Wiederverwendung bereits in einer frühen Planungsphase zu berücksichtigen.

Von den Dämmstoffen Stroh, EPS und Steinwolle, eignet sich Stroh derzeit im Sinne der Kreislaufwirtschaft am Besten. Es funktioniert schon jetzt sehr gut in einem biologischen Kreislauf, da es nach dem Rückbau biologisch verrottet. Außerdem ist es ein lokaler Baustoff, braucht kaum Energie in der Herstellung, ist nachwachsend und natürlich, so gut wie überall verfügbar und kostengünstig.

EPS Dämmstoffe könnten theoretisch ebenfalls im Sinne des *cradle-to-cradle*-Prinzips in einem technologischen Kreislauf funktionieren. Dafür gibt es jedoch derzeit keine ausreichenden Möglichkeiten und es verbraucht sehr viel Energie, sowohl in der Gewinnung und Herstellung des Materials, als auch in der Wiederaufbereitung. Außerdem ist die Produktion sehr aufwendig und erfordert nicht erneuerbare fossile Rohstoffe.

Steinwolle könnte ebenfalls in einem technologischen Kreislauf funktionieren, wofür jedoch die vorhandenen Methoden noch nicht optimal genutzt werden. Außerdem braucht die Produktion sehr viel Energie. Man könnte hier jedoch vor allem die Möglichkeit, vorhandene Stoffe zu verwenden, weiter ausbauen.

Ein wichtiger Aspekt für eine gute Wieder- und Weiterverwendung ist die Befestigungsart und der Einbau. Hier sollten Methoden verwenden, die einen einfachen und sauberen Ausbau ermöglichen. Dazu zählen zum Beispiel mechanische Befestigungen wie nageln oder dübeln oder eine lose Verlegung.

Quellenverzeichnis

Monographien, Diplomarbeiten

Braungart, Michael: Cradle to Cradle. Einfach intelligent produzieren. 4. Auflage. München u.a.: Piper 2016.

Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018.

Geiss, Imanuel: Geschichte griffbereit 6. Epochen. München 2002.

Grewe, Maria: Teilen Reparieren Tausch. Bielefeld: transcript Verlag 2017.

Hirschfeld, Vanessa Carolin: Möglichkeiten und Grenzen der Ökobilanz heute am Beispiel von EPS als Dämmstoff im Hausbau. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017.

Huber, Michael: Entsorgung von Dämmstoffabfällen in Österreich. Wien: Universität für Bodenkultur. Masterarbeit 2013.

Kalista, Christian: Untersuchungen von Wärmedämmungen aus ökologischer und ökonomischer Sicht. Wien: fh-campus wien. Diplomarbeit 2004.

Konfliktfelder und Perspektiven im Umweltschutz. Hrsg. v.: Kunz, Frieder u.a.: München: oekom 2014.

Pfundstein, Margit u.a.: Dämmstoffe. Grundlagen, Materialien, Anwendungen. DETAIL Praxis. 1.Auflage. München: Inst. f. Internationale Architektur-Dokumentation 2007.

Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017.

Riffert, Sarah: Die Zukunft des Strohballenbaus in Österreich. Wien: Technische Universität Wien. Diplomarbeit 2017.

Scheibengraf, Martin u.a.: Abfallvermeidung und –verwertung: Baurestmassen. Detailstudie zur Entwicklung einer Abfallvermeidungs- und –verwertungsstrategie für den Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2006. Wien: 2005.

Umwelt-Produktdeklaration. Baustroh. Hrsg. v.: Bau EPD GmbH. Wien: 2014.

Umwelt-Produktdeklaration. Mineralische Dämmstoffe aus Glaswolle. Hrsg. v.: Bau EPD GmbH. Wien: 2014.

Aufsätze aus Sammelwerken, Zeitschriften und Zeitungen

Asdrubali, Francesco u.a.: A review of unconventional sustainable building insulation materials. In: Sustainable Materials and Technologies. 2015. Vol.4. S. 1-17.

Kono, Jun u.a.: Factors for Eco-efficiency Improvement of Thermal Insulation Materials. In: Key Engineering Materials. 2016. Vol.678. S. 1-13.

Pargana, Nuno u.a.: Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings. In: Energy and Buildings. 2014. Vol.82. S. 466-481.

Pritchard, Mark Bigland u.a.: Evaluation of Strawbale Building. Benefits and Risks. In: Architectural Science Review. 2006. Vol.49:4. S. 372-384.

Schiavoni, Samuele u.a.: Insulation materials for the building sector: A review and comparative analysis. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol.39:1. S. 988-1011.

Sodagar, Behzad u.a.: The carbon-reduciton potential of straw-bale housing. In: Building Research and Information. 2011. Vol.62. S. 51-65.

Skripten

Heisinger, Felix: Baumaterialien und Green Building. V3. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016.

Österreicher, Doris: Innovative Energiekonzepte 1. V1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. SS 2017.

Steiner, Tobias: Baumaterialien und Green Building. V1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016.

Internet

Bertsch, Gebhard: Dämmstoffe. In: URL: <http://www.oekoberatung.at/baustoffe/> (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Dämmung Preise. Hrsg. v.: Dreamartist Webmedia. In: URL: <http://www.daemmstoff.org/daemmung-preise.php> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Doelling, Robert: Dämm-Spezifika von Steinwolle im Detail erklärt. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/steinwolle.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Doelling, Robert: Strohdämmung. Ökologisch Dämmen mit Stroh und Strohballen. In: URL: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/daemmstoffe/strohdaemmung.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Eidems, Volker u.a.: Cradle to Cradle – die Vision von der Kreislaufwirtschaft ohne Abfall. In: URL: <https://utopia.de/ratgeber/cradle-to-cradle-die-vision-von-der-kreislaufwirtschaft-ohne-abfall/> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Florit, Cristina u.a.: Wie die EU vom österreichischen Entsorgungsindikator profitieren kann. Der neue EI10. In: URL: <https://www.ibo.at/meldungen/detail/data/wie-die-eu-vom-oesterreichischen-entsorgungsindikator-profitieren-kann/> (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Gasser, Uwe: Umweltgefahren von Mülldeponien. In: URL: <http://www.bi-umwelt.de/pdfs/texte1994/Umweltgefahren.pdf> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Gernbacher, Christian: Primärenergiebedarf bei der Herstellung von Dämmstoffen. In: URL: https://www.umwelt-beratung.de/pdf/primaerenergiebedarf_herstellung_daemmstoffen.pdf (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Grimm, Roland: Niedrigstenergiegebäude – der Neubau-Standard ab 2012. In: URL: <http://www.baustoffwissen.de/wissen-baustoffe/baustoffknowhow/hausgarten-wegebau/energiesparhaeuser/niedrigstenergiegebäude-der-neubau-standard-ab-2021/> (letzter Zugriff: 10. 06. 2018)

Kurzbeschreibung. Hrsg. v.: Repa-Net – Re-Use und Reparaturnetzwerk Österreich. In: URL: <http://www.repanet.at/baukarussell/> (letzter Zugriff: 08. 06. 2018)

Nierobis, Lars: Stroh. In: URL: <http://www.waermedaemmstoffe.com/htm/schilf.htm> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Production Process. Hrsg. v.: Eurima. In: URL: <https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html> (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)

Rueter, Carmen: Cradle-to-Cradle. Das Wiegenlied der Baustoffe. In: URL: https://diepresse.com/home/immobilien/wissen/nachhaltigkeit/739183/C2C_Das-Wiegenlied-der-Baustoffe (letzter Zugriff: 15. 05. 2018)

Scharnhorst, Astrid: Recycling und Entsorgungseigenschaften von Dämmstoffen. In: URL: <http://www.nachhaltiges-bauen.jetzt/recycling-und-entsorgungseigenschaften-von-daemmstoffen/> (letzter Zugriff: 10. 07. 2018)

Springer, Alex: Die Erde steht vor ihrer völligen Vermüllung. In: URL: <https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article121373995/Die-Erde-steht-vor-ihrer-voelligen-Vermuellung.html> (letzter Zugriff: 12. 06. 2018)

Über Bautastisch. In: URL: <https://www.bautastisch.at/ueber-bautastisch/> (letzter Zugriff: 08. 06. 2018)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verwertung und Beseitigung von Abfällen im Jahr 2016 (Quelle: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 11.)	10
Abb. 2: Zusammensetzung des Gesamtabfallaufkommens 2016 (Quelle: Die Bestandsaufnahme der Abfallwirtschaft in Österreich. Statusbericht 2018. Hrsg. v.: Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. Wien 2018. S. 11.)	10
Abb. 3: 17 Sustainable Development Goals (Quelle: Steiner, Tobias: Baumaterialien und Green Building. V1. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 18.).....	19
Abb. 4: Biologischer und Technischer Kreislauf (Quelle: Pufé, Iris: Nachhaltigkeit. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH 2017. S. 237.)	24
Abb. 5: EPS-Herstellung (Quelle: Heisinger, Felix: Baumaterialien und Green Building. V3. Wien: fh-campus wien. Skriptum. WS 2016. S. 11.)	42
Abb. 6: Steinwolle-Herstellung (Quelle: Production Process. Hrsg. v.: Eurima. In: URL: https://www.eurima.org/about-mineral-wool/production-process.html (letzter Zugriff: 05. 06. 2018)).....	48

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich der relevanten Daten von Stroh, EPS und Steinwolle..... 36

