

Institut für konstruktiven Ingenieurbau
Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen
Peter Jordanstraße 82
A-1190 Wien



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren

MASTERARBEIT

ZUR ERLANGUNG DES AKADEMISCHEN TITELS

„DIPL. ING.^{IN}“

VERGLEICH DER ÖKOBILANZEN VON VERSCHIEDENEN BAUWEISEN AM BEISPIEL WOHNHAUSANLAGE AMSEL- GASSE, LASSEE

HERKÖMMLICHE ZIEGELMASSIVBAUWEISE MIT STAHLBETONDECKE
PORENBETON-SYSTEMBAU MIT HOLZMASSIVDECKE
STROH-ELEMENTBAU MIT STAHLSTÜTZEN UND STAHLBETONDECKE

Vorgelegt von

Nina Maria Obereder, Bakk.^a techn.

Vorgelegt am

3.Juni 2013

Betreuer

Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg

DI Roman Smutny



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Wien, am

.....

Nina Maria Obereder

Abstract

Due to conventional building methods, many buildings use energy inefficiently, especially in the production, use and end of life phase. It is, therefore, the private households in Austria that make up a substantial percentage of the actual energy consumption. The immense potential for saving energy should be exhausted by improving existing buildings as well as regulation of the sustainability of new buildings in order to decrease the demand for energy to a reasonable extent. International as well as national certification schemes (e.g. assessment schemes of the DGNB or ÖGNI) were introduced to create awareness for the conservation of resources, to provide an incentive for sustainable building, to expose quality and to ease the comparability of buildings in marketing. With the help of these assessment methods, potential environmental effects become measurable as well as comparable, especially on the ecologic, economic and socio-cultural level. The basis for a sustainability certification of residential buildings in accordance with the principles of the DGNB or ÖGNI is the implementation of a life cycle assessment based on the ISO norms 14040 and 14044 as well as on the EN norm 15978.

The main aim of this thesis is to identify a life cycle optimized building method and the residential complex "Amselgasse" in Lasse (block A, B and C) acted as an example for the calculation of the life cycle assessment of three different building techniques. The walls of block A were designed with conventional solid brick construction with ceilings made of reinforced concrete; the insulation material would be EPS. Block B would have foam concrete walls, its roof and ceiling construction was designed to be built of solid wood and, again, EPS would be used as the insulation material. Block C's walls would be a wooden light-weight construction with straw insulation and a steel frame; its roof and ceiling construction would be made of reinforced concrete. These three buildings have the same gross external area and demand of energy.

The results of these calculations were classified by the life cycle phases of a building and the influence of the energy index was analysed. A further aim of this thesis was to determine which construction elements and materials have the greatest influence on the end result of the life cycle assessment. Additionally, the life cycle assessment was also calculated for a further building variant. In this variant, "Block B2", the foam concrete walls of Block B would be insulated with mineral foam instead of EPS. This alternative was included in the comparison of the different building methods.

The life cycle assessments of the different building methods were calculated using an Excel LCA Tool developed by employees of the Institute of Structural Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna. The information from the German building material database Ökobau.dat formed the basis for this Excel LCA tool.

The initial result was that differences between the building methods were marginal: 8 % between the overall results of block A (the highest result) and block B (the best result). For the overall results, all impact indicators of the life cycle assessment were weighted with NBV09 weighing factors for an ecological evaluation according to DGNB. In this examina-



tion, the straw building method (block C) equalled the solid construction. The results were then refined according to the highest weighing indicators of the DGNB, namely primary energy non-regenerative and global warming potential. With regard to the former indicator, the straw-wood building method (block C) was approximately 13 % and 7.8 kWh/(m²*a) better than the conventional solid brick construction (block A). Regarding the global warming potential, the foam concrete construction with solid wood ceilings and EPS insulation (block B) exceeded the results of the solid brick construction (block A) by 3.8 kg CO₂ Äq./ (m²*a) and 19 %. The external walls, roofs and ceilings, especially, showed significant differences, which could be attributed to the construction of the building elements. During the investigation of the material groups, it was noticed that the use of biogenic insulation material influenced the overall results considerably.

As none of the three construction variants achieved ideal results, it was recommended that a combination of the building method of block B (solid wood roof construction with solid wood ceilings) and of block C (external walls with straw insulation) be employed. With regard to the primary energy non-regenerative indicator, this variant is superior to the conventional building method of block A by 21 %, that is 12.75 kWh/(m²*a). Concerning the global warming potential, this combination exceeded the result of block A's solid brick construction by 26 % or 5.14 kg CO₂ Äq./ (m²*a) in a direct comparison.

The findings of this thesis question if it makes sense to consider all indicators of the DGNB certification scheme when certifying buildings and it is recommended to limit the evaluation to the decisive factors for the life cycle assessment, namely primary energy non-regenerative and global warming potential.

As an overall result of this thesis, it can generally be said that buildings have to be regarded as a whole in order to optimise the life cycle assessment and to give recommendations for an ecologically improved building.

Kurzfassung

Viele Gebäude sind durch herkömmliche Bauweisen vor allem in der Nutzungsphase ihres Lebenszyklus Energieverschwender, weshalb ein großer Anteil des Gesamtenergieverbrauchs in Österreich privaten Haushalten zuzuschreiben ist. Das große vorhandene Energieeinsparungspotential soll durch die Verbesserung bestehender Gebäude und Regulierung von Neubauten hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit möglichst ausgeschöpft werden, um den Energiebedarf auf ein vernünftiges Maß zu senken. Im internationalen, aber auch deutschsprachigen Raum bestehen Zertifizierungssysteme (z.B. Bewertungssystem der DGNB oder ÖGNI), um Bewusstsein für Ressourcenschutz zu schaffen, einen Anreiz zum nachhaltigen Bauen zu geben, Qualität sichtbar zu machen und Gebäude im Marketing besser vergleichen zu können. Mit der Hilfe dieser Bewertungsmethoden können potentielle Umweltauswirkungen insbesondere anhand der drei Ebenen Ökologie, Ökonomie und Soziokulturelles mess- und vergleichbar gemacht werden. Als Grundlage für eine Nachhaltigkeitszertifizierung der Wohngebäude nach dem Prinzip der DGNB oder ÖGNI dient die Durchführung einer Ökobilanzierung nach den ISO Normen 14040 und 14044 und der EN Norm 15978.

Um das definierte Ziel der Ermittlung einer lebenszyklusoptimierten Bauweise zu erreichen, wurden die Ökobilanzen von drei verschiedenen Bauweisen (Block A, B und C) anhand des Beispiels Wohnhausanlage Amselgasse in Lassee berechnet. Der Block A wurde aus Wänden in herkömmlicher Ziegelmassivbauweise und Decken aus Stahlbeton kalkuliert, als Dämmmaterial wurde EPS angenommen. Beim Block B, dessen Wände in Porenbetonbauweise ausgeführt wurden, waren als Dach- und Deckenkonstruktion Holzmassivdecken vorgesehen, als Dämmstoff hat ebenfalls EPS fungiert. Im Block C wurden die Wände in einer Holzleichtbaukonstruktion mit Strohdämmung und Stahlstützen ausgeführt, vervollständigt wurde die Bauweise durch eine Dach- und Deckenkonstruktion aus Stahlbeton. Alle Bauweisen haben dieselben Bruttogrundflächen und einen identen Energiebedarf.

Die Ergebnisse wurden unter anderem nach den Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes klassifiziert und der Einfluss der Energiekennzahl analysiert. Ein weiteres Ziel war es, zu erforschen, welche Bauteil- und Materialgruppen den größten Einfluss auf das Endergebnis der Ökobilanz haben. Darüber hinaus wurde die Ökobilanz auch für eine Variante berechnet, in der die Porenbetonbauweise des Blocks B mit Mineralschaumplatten anstatt EPS gedämmt wurde. Diese Variante (Block B2) wurde im Vergleich der verschiedenen Bauweisen ebenfalls in Betracht gezogen.

Die Ökobilanzen (Sach- und Wirkungsbilanz) der verschiedenen Bauweisen wurden mithilfe eines Excel LCA Tools, das von den Mitarbeitern des Instituts für konstruktiven Ingenieurbau der Universität für Bodenkultur Wien auf Basis der Daten der deutschen Baustoffdatenbank Ökobau.dat erstellt wurde, berechnet.

In einem ersten Schritt wurde festgestellt, dass die Unterschiede zwischen den Bauweisen mit einem Bereich von 8 % zwischen dem Gesamtergebnis des Blocks A, mit dem höch-

ten Ergebnis, und Block B, mit dem besten Ergebnis, marginal waren. Bei dem Gesamtergebnis wurden alle Wirkungsindikatoren der Ökobilanz für eine ökologische Bewertung nach DGNB mit den NBV09 Gewichtungsfaktoren gewichtet. Die Strohbauweise (Block C) lag bei derselben Betrachtung gleichauf mit dem Massivbau. Die Resultate wurden anschließend anhand der nach DGNB am höchsten gewichteten Indikatoren (Primärenergie nicht regenerierbar und Treibhauspotential) aufbereitet. Im Verhältnis zur konventionellen Ziegelmassivbauweise (Block A) war die Stroh-Holzbauweise (Block C) beim Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar um ca. 13 % bzw. 7,8 kWh/(m²*a) besser. Der Porenbeton-Systembau mit Massivholzdecken und EPS Dämmung (Block B) wies beim Gesamtergebnis des Faktors Treibhauspotential das um 3,8 kg CO₂ Äq./(m²*a) bzw. 19 % vorteilhaftere Ergebnis als jenes des Ziegelmassivbaus (Block A) auf. Besonders Außenwände, Dach und Geschossdecken haben in ihren Ergebnissen signifikante Unterschiede aufgewiesen, welche sich insbesondere auf die Konstruktion der Bauteile zurückführen ließen. Bei der Betrachtung der Materialgruppen ist auch aufgefallen, dass biogene Dämmstoffe einen großen Einfluss auf das Gesamtergebnis haben.

Da keine der drei Planungsvarianten bei den Resultaten optimal abschnitt, wurde als Empfehlung für die zweite Bauphase eine Kombination der Bauweisen des Blocks B (Massivholzdach und Massivholzzwischendecken) und des Blocks C (Außenwände mit Strohdämmung) vorgeschlagen. Das Ergebnis für den Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar ist bei dieser Variante um 21 % bzw. 12,75 kWh/(m²*a) besser als jenes der konventionellen Bauweise des Blocks A. Für den Indikator Treibhauspotential ergab sich ein um 26 % oder 5,14 kg CO₂ Äq./(m²*a) vorteilhafteres Resultat im direkten Vergleich mit der Ziegelmassivbauweise des Blocks A.

Laut den Erkenntnissen der Arbeit ist es fraglich, ob es Sinn ergibt, bei einer Zertifizierung von Gebäuden alle Indikatoren des DGNB Zertifizierungssystems in Betracht zu ziehen. Es wäre empfehlenswert, sich auf die für die Ökobilanz maßgebenden Faktoren Primärenergie nicht regenerierbar und Treibhauspotential zu beschränken.

Als zentrales Resultat der vorliegenden Arbeit kann pauschal gesagt werden, dass Gebäude als Ganzes betrachtet werden müssen, um die Ökobilanz zu optimieren und eine Empfehlung für ein ökologisch optimiertes Gebäude auszusprechen.

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit und dem Abschluss meines Studiums einen großen Beitrag leisteten.

In erster Linie möchte ich mich bei meinen Betreuern Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg und DI Roman Smutny bedanken. Nur durch ihr Engagement und ihre beispielhafte Betreuung war es mir möglich, nicht nur mein fachliches Wissen im Bereich der Ökobilanzierung zu erweitern, sondern auch die Techniken des wissenschaftlichen Arbeitens zu erlernen und zu verbessern.

Nicht unerwähnt bleiben dürfen auch DI MSc. Christoph Neururer vom Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität für Bodenkultur Wien und Ing. Gustav Payerl und Franz Steindl von Ytong Xella Porenbeton Österreich GmbH, die durch ihr Feedback und Fachwissen die vorliegende Arbeit signifikant beeinflussten. Ebenso Erwähnung finden sollen Mag. Hildegund Mötzl und Markus Wurm vom IBO und Arch. DI Friedrich Mühling und DI Karin Hammer vom Architekturbüro Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH, die mich mit vielen notwendigen Informationen und Daten versorgten.

Besonders bedanken möchte ich mich auch bei meinen Eltern Rosalinde und Alois. Sie haben mir durch ihre großzügige Unterstützung in allen Bereichen meines Lebens nicht nur meine Schulausbildung und mein Studium ermöglicht, sondern vor allem durch ihre Erziehung meine Persönlichkeit geprägt. In allen Lebenslagen haben sie mir einen großartigen Rückhalt gegeben und dies stets als selbstverständlich angesehen.

Ein großes Dankeschön gilt auch meinem Freund Michael, der meine Launen in der stressigen Endphase meines Studiums immer mit seiner ruhigen Art abfing und mich unterstützte, wo es nur ging. Ohne sein konstruktives Feedback würde meine Arbeit wahrscheinlich nicht in dieser Endfassung vorliegen.

Weiters möchte ich meine Schwester Eva und all meine einzigartigen Freunde erwähnen, welche nie an mir zweifelten und mir immer wieder Mut zusprachen, wenn ich die Hoffnung einmal kurz aufgegeben hatte.

Nicht zu vergessen sind meine Studienkollegen, von denen ich viele auch als gute Freunde bezeichnen darf. Sie haben meine Zeit auf der Universität zu einem lustigen und unvergesslichen Abschnitt meines Lebens gemacht und mir so manchen guten Tipp für die Verfassung meiner Masterarbeit gegeben.

Ich bin glücklich, dass ich mit der vorliegenden Arbeit einen Schlusstrich unter eine interessante und spannende Studienzeit setzen darf und freue mich schon darauf in ein hoffentlich ebenso unterhaltsames, lehr- und abwechslungsreiches Berufsleben einzusteigen.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Abstract	III
Kurzfassung	V
Danksagung	VII
1. Einleitung	1
1.1 Zentrales Ziel der Arbeit	1
1.2 Forschungsfragen	1
2. Grundlagen des nachhaltigen Bauens	3
2.1 Ziel der nachhaltigen Entwicklung	3
2.2 Rechtliche Vorgaben für nachhaltiges Bauen in Österreich	4
2.3 Ganzheitliche nachhaltige Planung	5
2.3.1 Qualitäten des nachhaltigen Bauens	5
2.3.2 Lebenszyklusplanung	6
2.4 Zertifikate des nachhaltigen Bauens	8
2.4.1 Vergleich der Zertifizierungssysteme	11
2.5 Ökobilanz-Lebenszyklusanalyse / Life Cycle Assessment (LCA)	11
2.5.1 Definition	11
2.5.2 Rechtliche Grundlage	12
2.5.3 Phasen der Ökobilanz	12
2.6 Lebenszykluskostenanalyse / Life Cycle Cost Analysis (LCCA)	15
2.6.1 Definition	15
2.6.2 Rechtliche Grundlage	16
2.6.3 Vorteil der Durchführung einer LCCA bei ökologischer Bauweise	16
3. Beschreibung der Untersuchungsgebäude der Wohnhausanlage Amselgasse, Lasse	17
3.1 Visualisierung und Rendering	17
3.2 Informationen zum Bauablauf	20

3.3 Bauliche Informationen zur Wohnhausanlage Lassee:	21
3.4 Bauteilanalyse	26
3.4.1 Block A: Massivbauweise mit Ziegelaußenwänden	26
3.4.2 Block B: Porenbetonbauweise mit Massivholzdecke	26
3.4.3 Block C: Strohbauweise mit Stahlbetondecken	34
3.4.4 Vergleich signifikanter Bauteile der verschiedenen Bauweisen	40
3.5 Bauwerkskosten	43
4. Arbeitsschritte und methodisches Vorgehen	45
4.1 Zusammenstellung der Unterlagen	45
4.2 Systemabgrenzung	46
4.3 Durchführung der Ökobilanzierung und Vergleich der Ökobilanzen der drei Bauweisen	47
4.3.1 Informationen über die Datenbanken	47
4.3.2 Dateneingabe ins Excel LCA Tool	48
5. Resultate	59
5.1 Gesamtergebnis der LCA gewichtet nach Faktoren der DGNB/ÖGNI NBV09 Kriterien	60
5.2 Vergleich der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren	61
5.3 Ergebnisse der Ökobilanz für die maßgebenden Indikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential	62
5.3.1 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP differenziert nach Lebenszyklusphasen	63
5.3.2 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP differenziert nach Bauteilgruppen	66
5.3.3 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP differenziert nach Materialgruppen	69
5.3.4 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP der Außenwände differenziert nach Materialgruppen	72
6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen	77
6.1 Zusammenfassung	77
6.1.1 Ökologischer Vergleich der verschiedenen Bauweisen	77
6.1.2 Analyse der Ergebnisse (Block A, B, B2 und C) differenziert nach den Phasen des Lebenszyklus	77

6.1.3	Betriebsenergie	78
6.1.4	Bauteil- und Materialgruppen	78
6.2	Kritische Reflexion	79
6.2.1	DGNB/ÖGNI Bewertungskriterien und -faktoren	79
6.2.2	Gutschriften in EOL-Phase	79
6.2.3	Handlungsbedarf Herstellungsphase Treibhauspotential	79
6.3	Schlussfolgerung	80
6.3.1	Empfehlung für die 2. Bauphase	80
	Abkürzungsverzeichnis	83
	Literaturverzeichnis	85
	Abbildungsverzeichnis	89
	Tabellenverzeichnis	92
	Anhang	94
	Anhang 1: Beispiel für Ökobau.dat Datensatz –Porenbeton P2 04 unbewehrt	94
	Anhang 2: Beispiel für baubook Datensatz – Waldland Baustrohballen	97
	Anhang 3: Ermittlung der Nutzungsdauern der Baustoffe	100
	Anhang 4: Massenermittlung Fenster	103
	Anhang 5: Beispiel für Datensätze im Excel LCA Tool	104
	Anhang 6: Vergleich des Gewichts der Dämmstoffe signifikanter Bauteile	113
	Anhang 7: Vergleich des Gewichts der (Dämmung der) Außenwände	115
	Anhang 8: Pläne	118



1. Einleitung

In einer Gesellschaft, in der langsam aber sicher das Bewusstsein entsteht, dass sich die Menschen auf einer Welt befinden, auf der ihnen nur eine endliche Menge von Ressourcen zur Verfügung steht, steigert sich auch die Bereitschaft ein ökologisch, ökonomisch und soziokulturell gerechtes Verhalten an den Tag zu legen, um auch den nachfolgenden Generationen ein uneingeschränktes Leben zu ermöglichen. Diese Arbeit soll einen Denkanstoß liefern möglichst regenerierbare Ressourcen zu verwenden und diese sparsam und effizient einzusetzen, um damit einen Beitrag zu einer nachhaltigeren Zukunft zu leisten.

1.1 Zentrales Ziel der Arbeit

Zentrales Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein lebenszyklusoptimiertes Gebäude zu ermitteln. Dies sollte mithilfe einer Berechnung und eines Vergleichs der Ökobilanzen unterschiedlicher Bauweisen am Beispiel der von Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH geplanten Wohnhausanlage Amselgasse, Lassee gelingen (detaillierte Informationen zum Untersuchungsprojekt siehe Kapitel 3, Pläne siehe Anhang 8).

Die Zielgruppe der Arbeit waren Baustoffhersteller, Bauträger und Planer, für sie sollten Argumente für bauökologische Vor- und Nachteile bestimmter Bauweisen gesammelt werden.

Die Ergebnisse der Ökobilanz sollten so aufbereitet werden, dass sie in weiterer Folge als Grundlage für eine Nachhaltigkeitszertifizierung der Wohngebäude nach dem Prinzip der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) bzw. der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) dienen können.

1.2 Forschungsfragen

Die folgenden Fragen, Thesen und Aufgabestellungen stellten die Eckpfeiler dieser Masterarbeit dar:

- **Ökologischer Vergleich der verschiedenen Bauweisen**

Die folgenden Bauweisen wurden betrachtet und verglichen:

- Block A: Herkömmliche Ziegelmassivbauweise mit Stahlbetondecke und EPS Dämmung
- Block B: Porenbeton-Systembau mit Holzmassivdecke und EPS Dämmung
- Block C: Stroh-Elementbau mit Stahlstützen und Stahlbetondecke

Es wurde zusätzlich eine Abwandlung des Blocks B durchgedacht. Anstatt den für Block B vorgesehenen EPS Platten wurden für die Variante Block B2 Minerale Dämmplatten in einer wärmetechnisch äquivalenten Materialstärke berücksichtigt.

- Block B2: Porenbeton-Systembau mit Holzmassivdecke und Mineralschaumplattendämmung



Die Ergebnisse der Variante B2 wurden gemeinsam mit den geplanten Blöcken A, B und C in der Auswertung betrachtet.

Alle verglichenen Bauweisen haben dieselbe Geometrie und den gleichen Energiebedarf und sind somit für einen ökologischen Vergleich optimal geeignet.

- **Aufschlüsselung der Ergebnisse differenziert nach den Phasen des Lebenszyklus**

Ein wichtiger Teil dieser Arbeit war vor allem eine Erhebung dazu, wie sich die Ergebnisse der Ökobilanz auf die Phasen des Lebenszyklus aufteilen.

- **Aufschlüsselung der Ergebnisse differenziert nach Material- und Bauteilgruppen**

Es wurde analysiert, welche Bauteil- und Materialgruppen einen großen Einfluss auf das Ergebnis der Ökobilanz ausüben.

- **Beurteilung des Einflusses der Betriebsenergie**

Eine weitere Aufgabenstellung war eine Beurteilung des Einflusses der Betriebsenergie.

- **Empfehlung für die 2. Bauphase**

In einer Empfehlung wurde dargelegt, welche der oben genannten Bauweisen die ökologischste ist und daher in der zweiten Bauetappe – bei der Erbauung von den verbleibenden zwei Mehrfamilienhäusern – Anwendung finden soll. Die Empfehlung wurde rein auf ökologische Kriterien bezogen, die Baukosten wurden nicht berücksichtigt.

2. Grundlagen des nachhaltigen Bauens

2.1 Ziel der nachhaltigen Entwicklung

Von der Brundtland-Kommission wurde 1987 der Grundsatz der nachhaltigen Entwicklung wie folgt definiert:

"Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können." (Brundtland Kommission, 1987 S. 46)

Die oben genannte Definition war nicht nur die Grundlage für alle nachfolgenden Umweltabkommen, welche im Rahmen von Konferenzen und Versammlungen beschlossen wurden, sondern auch im weiteren Sinne ein Fundament des nachhaltigen Bauens.

Im Dezember 2008 einigte sich die Europäische Union auf Zielvorgaben für den Klimaschutz, die bis 2020 umgesetzt werden sollen. Die 20/20/20 Ziele beinhalten folgende Vorgaben:

- 20 % weniger Treibhausgasemissionen als 2005
- 20 % mehr Anteil an erneuerbaren Energien
- 20 % mehr Energieeffizienz

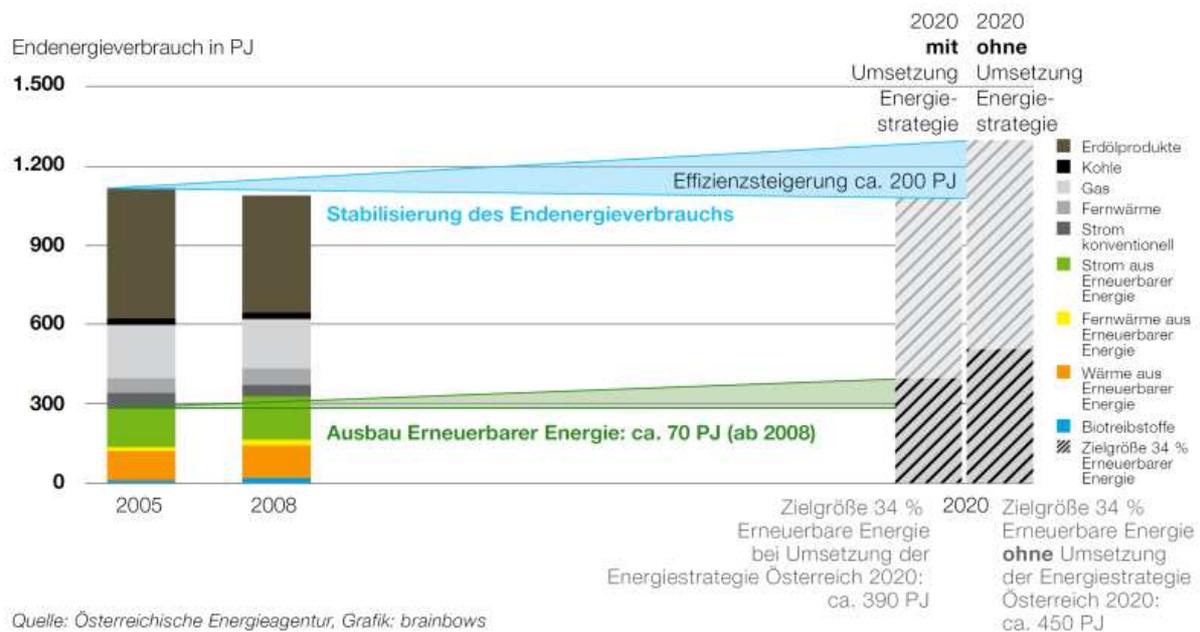


Abbildung 1: Das Modell der Energiestrategie Österreich [aus (BMWFJ, 2010 S. 9)]

In Österreich wird derzeit laut Gesamtenergiebilanz (Statistik Austria, 2011) in etwa doppelt so viel Energie verbraucht als im Jahr 1971. Der größte Energieverbraucher ist dabei der Verkehrssektor, der 33 % des Energieaufkommens verursacht, gefolgt vom produzierenden Bereich der Industrie (28 %). Die privaten Haushalte schlagen mit immerhin 26 % des Gesamtenergieverbrauchs zu Buche. Somit spielt der Bausektor im Zusammenhang mit der Erreichung der 20/20/20 Ziele eine maßgebliche Rolle.



Wie auf Abbildung 1 ersichtlich, hat sich die Energiestrategie Österreich unter anderem das Ziel gesetzt den Energiebedarf auf dem Niveau von 2005 zu stabilisieren. Eine Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energie von 28,8 % (2008) auf 34 % soll ebenfalls verwirklicht werden. (BMVIT, 2010)

2.2 Rechtliche Vorgaben für nachhaltiges Bauen in Österreich

Im Gebäudesektor soll laut Energiestrategie Österreich (BMWFJ, 2010) bis 2020 der Energiebedarf um 10 % des derzeitigen Bedarfs reduziert werden.

In der Richtlinie 2002/91/EG (2002) des Europäischen Parlaments zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden ist das Ziel „...die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden in der Gemeinschaft unter Berücksichtigung der jeweiligen äußeren klimatischen und lokalen Bedingungen...zu unterstützen“ festgelegt (RL 2002/91/EG, 2002 S. 67). Die genannte Richtlinie enthält auch Vorgaben hinsichtlich der Erstellung von Energieausweisen für Gebäude.

Die Mitgliedstaaten der EU waren aufgefordert die Ziele der Richtlinie 2002/91/EG zu verfolgen. In Österreich wurden die Vorgaben der EU-Richtlinie mithilfe der Österreichischen Klimastrategie, die 2002 erstmals veröffentlicht und 2007 überarbeitet im Ministerrat aufgenommen wurde, umgesetzt. (Lebensministerium, 2007)

Für den Maßnahmenbereich Raumwärme und Kleinverbrauch hat sie folgende Ziele:

- Steigerung der Gesamtenergieeffizienz im Gebäudebestand durch Verdreifachung der thermischen Sanierungsrate auf 3 % (2008-2012) und mittelfristig auf 5 % pro Jahr (KS 2002: Verdoppelung der Sanierungsrate)
- Deutliche Verbesserung der energetischen Standards im Neubau durch Umsetzung der Artikel 15a B-VG-Vereinbarung zwischen Bund und Ländern über energiebezogene Standards in der Wohnbauförderung (in Kraft seit Februar 2006) und Weiterentwicklung der Vereinbarung mit besonderem Fokus auf thermisch-energetische Sanierung (Verhandlungen zwischen Bund und Ländern dzt. in Gang)
- Forcierung des Niedrigenergie- und Passivhausstandards („klima:aktiv-Standard“) gemeinsam mit den Bundesländern
- Rasche Umsetzung des Energieausweises für Gebäude entsprechend der Richtlinie der EU über Energieprofile von Gebäuden
- Verbesserung der Energieintensität im Endverbrauch (d.h. bei den Konsumenten) um mindestens 5 % bis 2010 und um mindestens 20 % bis 2020

Bei der Umsetzung der Klimastrategie kam es europaweit und auch in Österreich zu Defiziten, welchen mit einer neuen Gebäuderichtlinie der EU (RL 2010/31/EU, 2010) Abhilfe geschafft werden sollte.

2012 wurde das Energieausweis-Vorlage-Gesetz von 2006 überarbeitet und gesetzlich verankert (BGBl Nr. 27/2012 für die Republik Österreich, 2012). In Anlehnung an seine inhaltlichen Vorgaben wurde die OIB-Richtlinie 6 (OIB, 2011) im Herbst 2011 ebenfalls überholt. Die markanteste Änderung, die mit dem neuen Gesetz in Kraft trat, war die nunmehrige Angabe eines Gesamtenergiefaktors f_{GEE} und die Veränderung der Ausnahmeregelungen, besonders im Bezug auf denkmalgeschützte Gebäude. Des Weiteren



ren wurden mit dem EAVG 2012 Strafsanktionen bei Nichtvorhandensein eines Energieausweises eingeführt. (derStandard.at, 2012)

Es gibt aber auch extremere Ansätze, so wäre nach Ansicht des WWF in Österreich eine langfristige Umsetzung des Ziels von 100 % erneuerbarer Energie möglich. Eine Senkung um 51 % der Gebäudeenergie wäre laut der Information „Energiezukunft Österreich 2050“ alleine durch Maßnahmen der thermischen Sanierung und Verbesserung der Gebäudehüllen möglich. (Litschauer, 2011)

Im Februar 2012 wurde eine neue Förderaktion in Österreich gestartet, welche einen Anreiz für Teilsanierungen geben soll. So sollen mit einer Summe von 100 Millionen Euro thermische Sanierungen bei Einfamilienhäusern mit bis zu 20 % und bei mehrgeschossigen Wohnbauten mit maximal 10 % subventioniert werden. Um innerhalb einer Generation den gesamten Wohnbaubestand thermisch zu sanieren, wäre jedoch laut Jurrien Westerhof von Greenpeace ein viel höheres Budget von ca. einer Milliarde Euro vonnöten. (derStandard.at, 2012)

2.3 Ganzheitliche nachhaltige Planung

2.3.1 Qualitäten des nachhaltigen Bauens

Laut dem „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ (BMVBS, 2011) lassen sich drei Kategorien von Schutzgütern der Nachhaltigkeit klassifizieren:

- Ökologie
- Ökonomie
- Soziokulturelles

Im Sektor nachhaltiges Bauen ergeben sich daher laut diesem Leitfaden folgende sechs Dimensionen und Qualitäten für die nachhaltige Bewertung (BNB, 2010):

a. **Ökologische Qualität**

Ziel der ökologischen Qualität ist es, durch eine möglichst günstige Auswahl von Bauteilen und Energieträgern, Ressourcen zu schonen und möglichst geringe negative Umweltauswirkungen zu provozieren.

b. **Ökonomische Qualität**

Es wird eine Minimierung der Lebenszykluskosten, eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und ein Erhalt von Kapital und Wert angestrebt.

c. **Soziokulturelle und funktionale Qualität**

Die Intention dieser Qualität ist eine Bewahrung der Gesundheit, Sicherheit und Behaglichkeit, die Gewährleistung von Funktionalität und die Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität.

Neben diesen Faktoren sind weiters folgende Qualitäten relevant:

d. **die technischen Eigenschaften**

e. **Planung und Ausführung und**

f. Standortmerkmale

Die Standortmerkmale werden separat von den vorher genannten 5 Punkten bewertet.

Die Zusammenhänge zwischen den 6 Dimensionen der Nachhaltigkeit sind in Abbildung 2 dargestellt:



Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen den Qualitäten des nachhaltigen Bauens [aus (BMVBS, 2011 S. 15)]

2.3.2 Lebenszyklusplanung

Bezeichnend für nachhaltiges Bauen ist eine umfassende Kontrolle aller Lebensabschnitte eines Bauwerks oder Bauvorhabens (Abbildung 4). Diese schließen die folgenden Phasen ein (Bauer et al., 2011):

- In der Planungsphase ist mit minimalem Aufwand und geringen Kosten eine große Beeinflussung möglich (siehe Abbildung 3). Eine wichtige Komponente der Planung ist die Durchführung einer Klima- und Standortanalyse, wodurch Gebäudehülle und Orientierung des Gebäudekörpers angepasst werden können. Auf eine ganzheitliche Planung von Gebäuden nehmen nämlich nicht nur die Baustoffe Einfluss, sondern auch externe Faktoren, wie zum Beispiel Städteplanung, Ausrichtung der Gebäude und Parzellierung (Treberspurg, 1999). Diese Komponenten sind besonders wichtig für die passive Nutzung der Sonnenenergie, bei der Erbauung eines Gebäudes kann durch Einhaltung bestimmter Kriterien in der Nutzungsphase viel Energie gespart werden.
- Es sollte außerdem bereits eine mögliche Rückbaubarkeit berücksichtigt werden. Durch einen optimierten Planungsprozess kann die **Herstellungphase** schneller und effizienter durchgeführt werden und auch im Gebäudebetrieb werden Mehrkosten durch eine optimierte Planungsphase verhindert.

In der Herstellung ist neben den oben genannten Punkten ebenso eine Qualitätssicherung vonnöten.



- Der **Gebäudebetrieb** wird stark von Aspekten wie Raumkomfort beeinflusst. Desweiteren sind Benutzerzufriedenheit und Wirtschaftlichkeit als wichtige Faktoren in dieser Phase zu nennen.
- Soll ein Gebäude eine **Umnutzung** durchlaufen, ist ebenfalls die Planungsphase maßgebend. Durch Einplanung kleiner Maßnahmen soll Rücksicht auf die Wiederverwertung und die Emission von den zu entsorgenden Stoffen genommen werden.
- Da die End of Life Kosten für die Entsorgung in Zukunft steigen werden, ist es sinnvoll ein ‚End of Life Management‘ im Planungsprozess durchzuführen.

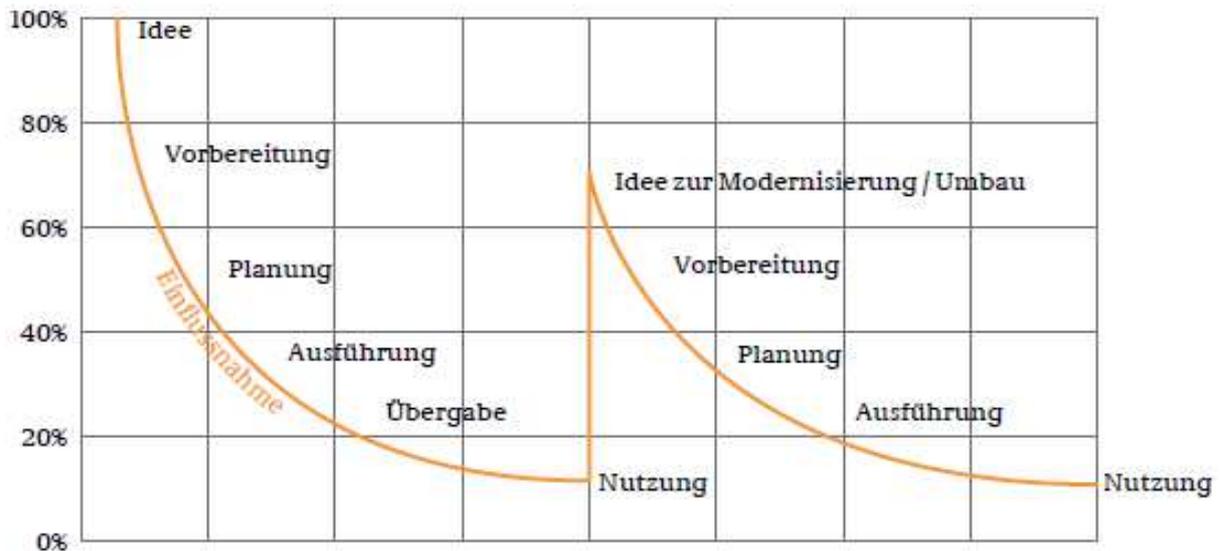


Abbildung 3: Einflussnahmemöglichkeiten auf die Bauwerkseigenschaften während der Planung [aus (BMVBS, 2011 S. 39)]

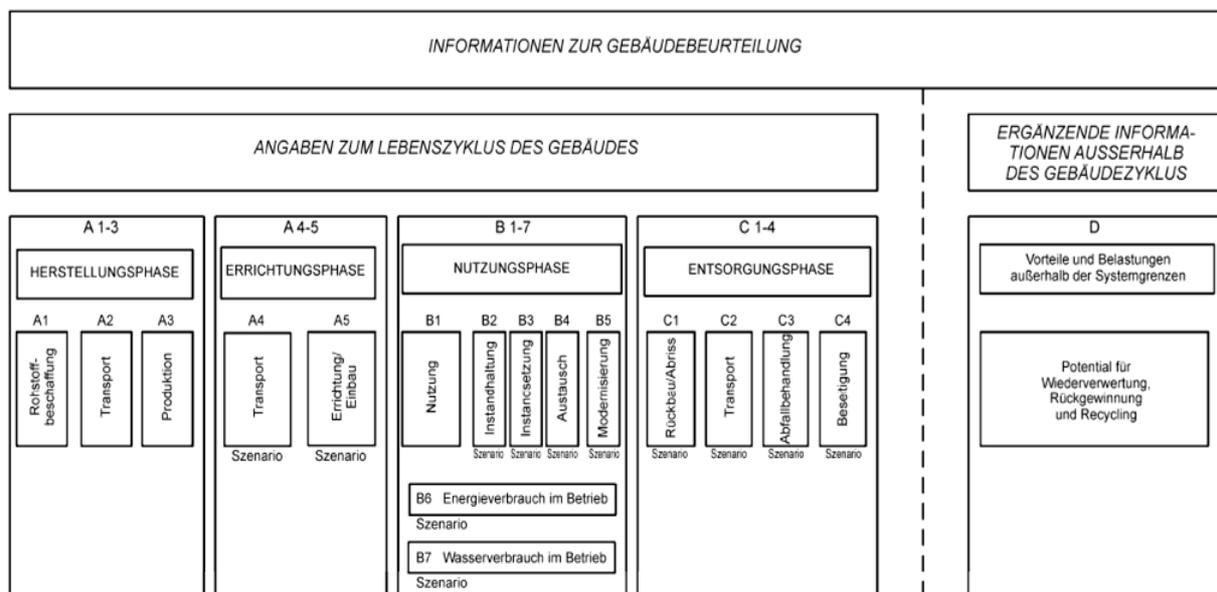


Abbildung 4: Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes [aus (ÖNORM EN 15978, 2012 S. 23)]



Für nachhaltiges Bauen ist ein effektives Ressourcenmanagement notwendig. Ziel muss es sein, Baustoffe in einem Kreislaufsystem wiederzuverwerten und möglichst lange im Wirtschaftssystem zu halten (Dahlhaus und Meisel, 2009).

„Die Ausgangslage im Bereich Bauen und Wohnen ist dadurch gekennzeichnet, dass hier die größten Stoffströme entstehen – z.B. durch Kies, Sand, Kalkstein als nicht erneuerbare Ressourcen. Der Baubereich erzeugt weiterhin ca. 40 % aller Abfälle, z.B. durch den Abbruch von Gebäuden und bei der Produktion, Handel und Verarbeitung von Baustoffen und Bauprodukten.“ (Dahlhaus und Meisel, 2009 S. 34)

All diese Faktoren müssen berücksichtigt und der Ressourcenverbrauch durch Recycling von Baustoffen minimiert werden.

Der wichtigste Punkt beim nachhaltigen Bauen ist jedoch eine ganzheitliche, umfassende Betrachtung. Anständige Wärmedämmung wird zum Beispiel von fast allen Bauherren in der ganzen Bundesrepublik Deutschland als gute Energiesparmaßnahme anerkannt (Treberspurg, 1999), jedoch muss immer hinterfragt werden, inwiefern die Herstellung von manchen Wärmedämmmaterialien auch nachhaltig ist besonders hinsichtlich Recycling usw. (s.o.). So werden z.B. im „Kriterienkatalog Wohngebäude Neubau“ manche Baustoffe aufgrund klimaschädlicher Substanzen ausgeschlossen. Dies betrifft z.B. solche, die teilweise aus mit HFKW geschäumten Kunststoffen bzw. aus recycelten (potentiell) (H)FKW- oder (H)FCKW-haltigen Materialien bestehen. Zu nennen wären hier beispielsweise XPS-Dämmplatten (insbesondere über 8 cm Dicke). (EIV und IBO, 2012)

2.4 Zertifikate des nachhaltigen Bauens

Über die weitverbreitetsten internationalen Bewertungssysteme liegen ausführliche Publikationen mit Vergleichen vor, als Beispiel sei hier etwa „Zertifizierungssysteme von Gebäuden“ (Ebert et al., 2010) zu nennen.

Weltweit bestehen diverse Zertifizierungssysteme, die das Ziel verfolgen, Qualität sichtbar zu machen und Bewusstsein zu schaffen. Besonders wichtig sind sie, um Marktpulse für Hersteller von Baustoffen zu geben und dem Planer und Ausführenden einen Anreiz dafür zu bieten, nachhaltig zu bauen.

Auch für die Immobilienwirtschaft sind Zertifizierungssysteme wesentlich, um die Gebäude beim Marketing besser vergleichbar zu machen und somit Kunden und Auftraggebern eine schnelle Übersicht zu liefern. Einen weiteren zentralen Eckpfeiler stellen Zertifikate als Qualitätssicherungswerkzeug für Planung, Ausführung und Inbetriebnahme dar. (Ebert et al., 2010)

Für die Zukunft wäre eine Vereinheitlichung der zahlreichen Zertifizierungssysteme auf internationaler Ebene wünschenswert. Da sie von verschiedenen Vereinen und Anbietern betrieben werden und keiner auf seine Interessen verzichten will, scheint dies aber eher unwahrscheinlich.

Die wichtigsten internationalen und für Österreich relevanten Zertifizierungssysteme sollen im folgenden Abschnitt kurz angesprochen und verglichen werden.



- **BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method)**

Das erste Zertifizierungssystem war BREEAM, das seit 1990 in Großbritannien verbreitet und mit 200.000 zertifizierten Gebäuden noch immer Weltmarktführer ist (Ebert et al., 2010). Das ‚Building Research Establishment (BRE)‘ begann 1988 mit seiner Entwicklung und es wurde von Kanada sowie von einigen Staaten in Europa und Asien übernommen. (Kibert, 2005)

Das BREEAM System beinhaltet mehrere Anwendungen; der ‚Code for sustainable Homes‘ umfasst beispielsweise 9 Themenfelder (BRE Global):

- Energy and CO₂ emissions
- Water
- Materials
- Surface Water Run-off
- Waste
- Pollution
- Health and well-being
- Management
- Ecology

Pro Themenfeld wird ein Wert vergeben, der dann gewichtet und summiert wird, um einen Gesamtwert zu erlangen (Kibert, 2005). Das Gebäude wird mit „PASS“, „GOOD“, „VERY GOOD“ oder „EXCELLENT“ bewertet. (Kibert, 2005)

- **LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)**

Beim System LEED handelt es sich um das bekannteste Bewertungsmodell. Die ersten Zertifikate wurden 2000 vergeben. Es gibt viele verschiedene Abwandlungen für diverse Nutzungsvarianten.

Diese werden anhand von 7 Kategorien bewertet:

- Sustainable Sites
- Water Efficiency
- Energy & Atmosphere
- Materials & Resources
- Indoor Environmental Quality
- Innovation in Design Process
- Regional Priority

Zur Erhaltung eines Zertifikates sind bestimmte Mindestanforderungen einzuhalten. Diese betreffen sowohl Punkte wie Wasser- und Energiebedarf als auch Faktoren während der Erbauung des Gebäudes. Die Bewertung erfolgt durch eine Klassifizierung in „Certified“, „Silver“, „Gold“ oder „Platin“. (Bauer et al., 2011)

- **DGNB-Zertifizierungssystem (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)**

Das DGNB System basiert auf ÖN EN 15643 Teil 1-4 der ÖN EN 15978, dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen und der ÖN EN 15804. Als neuestes Zertifizierungssystem ist es seit 2007 in Anwendung. Wie in Tabelle 1 dargestellt, hat es die in 2.3.1 klassifizierten Qualitäten des nachhaltigen Bauens als Grundlage:

Tabelle 1: DGNB Kriterien [Datenquelle: (ÖGNI, 2013)]

Themenfeld	Anzahl der Kriterien	Gewichtung [%]
Ökologische Qualität	6	22,5
Ökonomische Qualität	3	22,5
Soziokulturelle und funktionale Qualität	13	22,5
Technische Qualität	7	22,5
Prozessqualität	8	10

Die 6 Kategorien sind in Kriterien unterteilt, für die es ein Punktesystem gibt (1-10), anhand dessen der Zielerreichungsgrad für jede Kategorie je nach Gewichtung der Kriterien gemessen wird. Die Kriterien sollen alle möglichst über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden. Die Bewertung erfolgt in „Gold“, „Silber“ und „Bronze“.

(Bauer et al., 2011).

Das Ergebnis wird mithilfe einer Grafik veranschaulicht, ein Beispiel dafür ist in Abbildung 5 dargestellt.

Von der ÖGNI wurde kein eigenes System entwickelt, sondern das DGNB System übernommen.

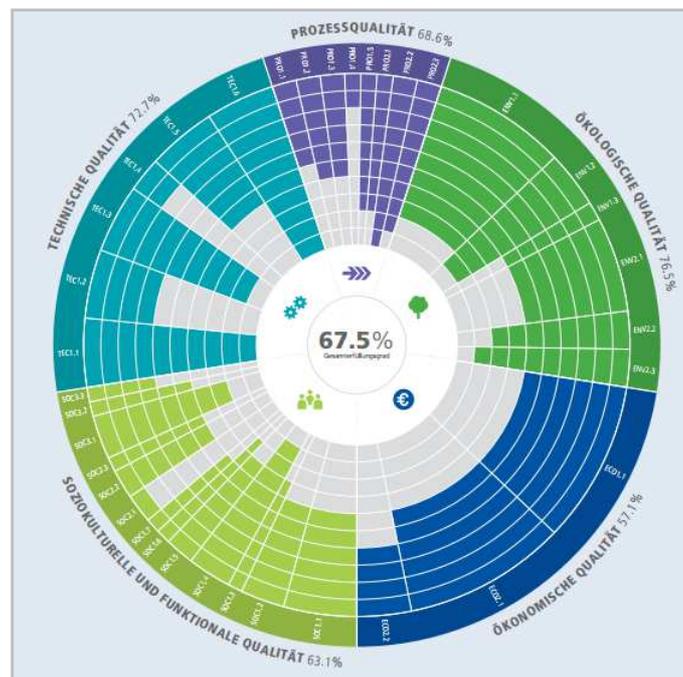


Abbildung 5: Beispiel für eine DGNB/ÖGNI Bewertungsgrafik [aus (ÖGNI, 2013 S. 14)]



2.4.1 Vergleich der Zertifizierungssysteme

Bei genauer Betrachtung ergeben sich Vorteile fürs DGNB System, da es die höchste Vielfalt an Kriterien beurteilt, die zugleich am detailreichsten geklärt sind (siehe Abbildung 6). Manche Faktoren finden jedoch im DGNB System keine Berücksichtigung, z.B. der Nutzerstrombedarf. (Bauer et al., 2011) Weitere Details dazu sind in Abbildung 6 ersichtlich.

	BREEAM	LEED	DGNB
ökologische Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Energie • Wasser • Materialien • Emissionen • Abfall 	<ul style="list-style-type: none"> • Energie und Atmosphäre • effiziente Wassernutzung • Materialien und Ressourcen 	<ul style="list-style-type: none"> • Wirkung auf globale und lokale Umwelt • Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen
ökonomische Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Management¹ 	–	<ul style="list-style-type: none"> • Lebenszykluskosten • Wertentwicklung
soziale Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheit und Behaglichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Komfort und Innenraumklima 	<ul style="list-style-type: none"> • Gesundheit, Behaglichkeit, Nutzerzufriedenheit
	–	–	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionalität
	<ul style="list-style-type: none"> • Zusatzkriterien für Innovationen 	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationen 	<ul style="list-style-type: none"> • gestalterische Qualität
	–	<ul style="list-style-type: none"> • regionale Schwerpunkte 	–
sonstige Aspekte	–	–	<ul style="list-style-type: none"> • technische Qualität
	<ul style="list-style-type: none"> • Management 	–	<ul style="list-style-type: none"> • Qualität der Planung • Qualität der Konstruktion • Qualität des Betriebs
	<ul style="list-style-type: none"> • Flächenverbrauch und Grundstücksökologie • Transport 	<ul style="list-style-type: none"> • nachhaltige Baugelände 	<ul style="list-style-type: none"> • Standortqualität

¹ Lebenszykluskosten sind bei BREEAM Bestandteil der Kategorie Management

Abbildung 6: Vergleich der Zertifizierungssysteme [aus (Ebert et al. 2010 S. 94)]

2.5 Ökobilanz-Lebenszyklusanalyse / Life Cycle Assessment (LCA)

2.5.1 Definition

Der Begriff „Ökobilanz“ ist in der ISO 14040 wie folgt definiert: „Ökobilanz ist die „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potentiellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“ (ISO 14040, 2006 S. 6).

Während in der Vergangenheit eigentlich nur die Herstellungsphase eines Baustoffs betrachtet und dessen Auswirkungen auf den Standort oder eine Nutzung beurteilt wurde, ist es nun üblich, eine ganzheitliche Herangehensweise anzustreben. Dies umfasst den kompletten Lebenszyklus eines Produkts und verhindert auch eine Verlagerung von Problemen. (König et al., 2009)

Der Lebenszyklus eines Bauproduktes ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt.

2.5.2 Rechtliche Grundlage

Die Normen „Umweltmanagement-Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen“ (ISO 14040, 2006) und „Umweltmanagement-Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen“ (ISO 14044, 2006) liefern die gesetzlichen Vorgaben zur Durchführung einer Ökobilanz. Abbildung 8 zeigt den Zusammenhang zwischen den Phasen der Ökobilanz. Sowohl die Ergebnisse der Sachbilanz als auch der Wirkungsabschätzung fließen in die Auswertung der Ökobilanz ein. Lebenszyklusanalysen stellen Umweltauswirkungen dar, aber gehen nicht auf ökonomische und soziale Aspekte ein. Diese werden meist bei Zertifizierungssystemen berücksichtigt.

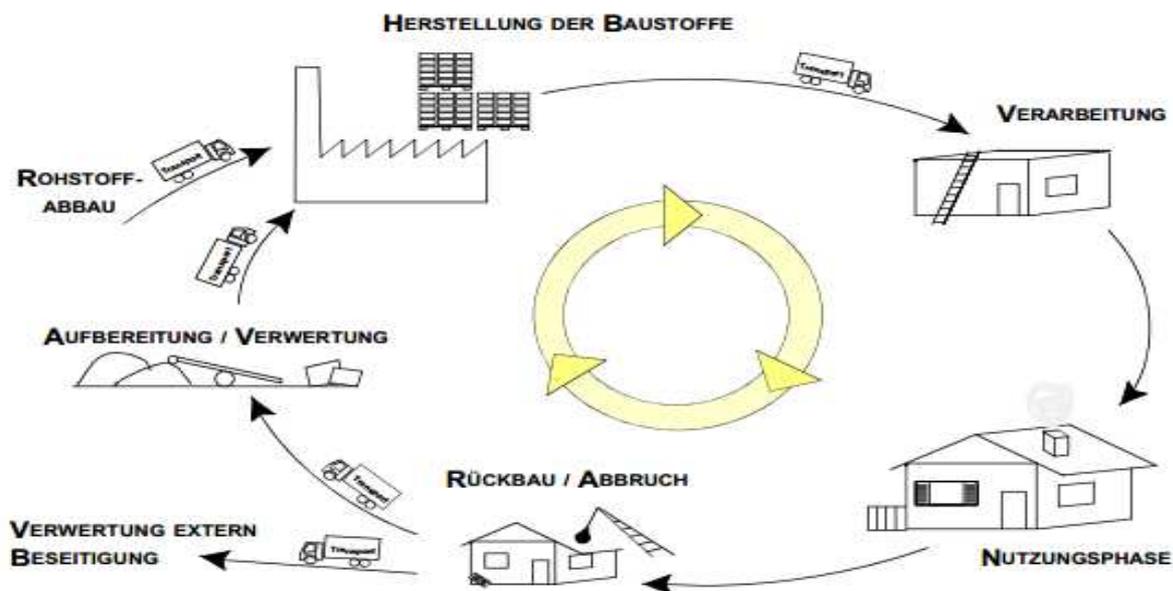


Abbildung 7: Lebenszyklus eines Bauproduktes (schematisch) [aus (BMVBS, 2011 S. 13)]

2.5.3 Phasen der Ökobilanz

• Sachbilanz

In der Sachbilanz werden Auflistungen der Material- und Energieflüsse erstellt.

Um die Wirkungsabschätzung der Sachbilanz darzustellen, werden Indikatoren gebildet, die keine direkte Umweltwirkung erzeugen. Diese sind nachfolgend veranschaulicht, wobei die Einheiten in den eckigen Klammern dargestellt sind: (König et al., 2009 S. 43-44)

- **Primärenergiebedarf nicht regenerierbar** [MJ]:**

Es handelt sich um eine Summierung der Heizwerte der abiotischen Energieträger Erdgas, Erdöl, Braunkohle, Steinkohle und Uran. Die anderen endlichen Ressourcen (Erze, Mineralien) sollten nach Knappheit charakterisiert werden.

- **Primärenergiebedarf regenerierbar* [MJ]:**

Durch eine Addition des Energieverbrauchs der Energieträger: Wind- und Wasserkraft, Geothermie, Solarenergie und Biomasse wird der Primärenergiebedarf erneuerbar ermittelt.



- **Wassernutzung [kg]:**
Durch die Summenbildung des benutzten Oberflächen- und Grundwasser verbrauchs wird die Wassernutzung erhoben. Zur Bewertung der Wassernutzung muss herausgefunden werden, ob das Wasser in der Region eine knappe Ressource ist.
- **Naturrauminanspruchnahme [m²a]:**
Die Naturrauminanspruchnahme bildet sowohl die Landnutzung als auch die Flächenumwandlung ab.
- **Abfälle [kg]:**
Eine Summenbildung von Abraum und Haldengütern, Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall und Sonderabfällen führt zur Ermittlung eines Werts für dieses Kriterium. Wirkungen der Abfallbehandlung sind in der Sachbilanz berücksichtigt.

- **Wirkungsabschätzung**

Bei der Wirkungsabschätzung werden laut ISO 14044 (2006) die Mengen aus der Sachbilanz mit den Wirkungsindikatoren multipliziert und zum Wirkungspotential aufsummiert.

Im Zuge der LCA sind folgende Umweltwirkungen abzuschätzen, die bei Erstellung, Nutzung und Entsorgung entstehen können (König et al., 2009 S. 45-47). Die Einheiten der verschiedenen Wirkungsindikatoren sind wiederum in den eckigen Klammern festgehalten.

- **Treibhauspotential** [CO₂-Äq.]:**
(Global Warming Potential, GWP) Treibhauseffekt hat natürlichen und anthropogenen Anteil (anthropogen z.B.: Methan, CO₂, FCKW etc.); Integrationszeitraum 100 Jahre; z.B.: CH₄ hat GWP Faktor 21
- **Ozonabbaupotential* [R11-Äq.]:**
(Ozone Depletion Potential, ODP) zur Berechnung werden anthropogene Halogenkohlenwasserstoffemissionen gemessen. Diese zersetzen die Ozonschicht der Stratosphäre, welche die Erde vor UV-Strahlung schützt.
- **Versauerungspotential* [SO₂-Äq.]:**
(Acidification Potential, AP) Luftschadstoffe werden in Säuren umgewandelt und daraus resultiert eine Verringerung des pH-Wertes von Regenwasser und Nebel. Resultat: z.B.: Waldsterben, Zerstörung von Bauwerken
- **Eutrophierungspotential* [PO₄-Äq.]:**
(Eutrophication Potential) Sättigung mit Nährstoffen. (Luft, Abwasser etc.); dies führt zu Nitrit- und Algenbildung, ‚Umkippen‘ von Gewässern und Krankheitsbefall von Pflanzen
- **Sommersmogpotential* [C₂H₄-Äq.]:**
(Photochemical Ozone Creation Potential) beim bodennahen Ozon handelt es sich um ein schädliches Spurengas, das unter Sonneneinstrahlung aus Stickoxid und Kohlenwasserstoffemissionen entsteht.

- **Verbrauch abiotischer Ressourcen [Sb-Äq.]:**
 noch keine vereinheitlichte Referenzeinheit vorhanden (derzeit Sb-Äq.); eine Änderung auf die Einheit Fe-Äq. wird diskutiert, um die Doppelzählung des Primärenergieverbrauchs zu eliminieren.
- **Human- und Ökotoxizitätspotentiale:**
 werden noch diskutiert, d.h. es gibt noch keine Modelle, obwohl sie für die Zukunft sehr wichtig sein werden.

Die mit einem „*“ markierten Indikatoren werden bei Ökobilanzen meist ausgewertet. Auf die mit „**“ markierten Wirkungsindikatoren wird bei der Auswertung im Kapitel 5 konkreter eingegangen, da ihnen bei der Beurteilung einer Ökobilanz von Gebäuden die höchste Gewichtung zukommt.

• Auswertung

Die Auswertung gliedert sich in die Phasen (König et al., 2009)

- Identifikation von entscheidenden Parametern aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung,
- Beurteilung der Vollständigkeit und der Datenqualität,
- Schlussfolgerungen.

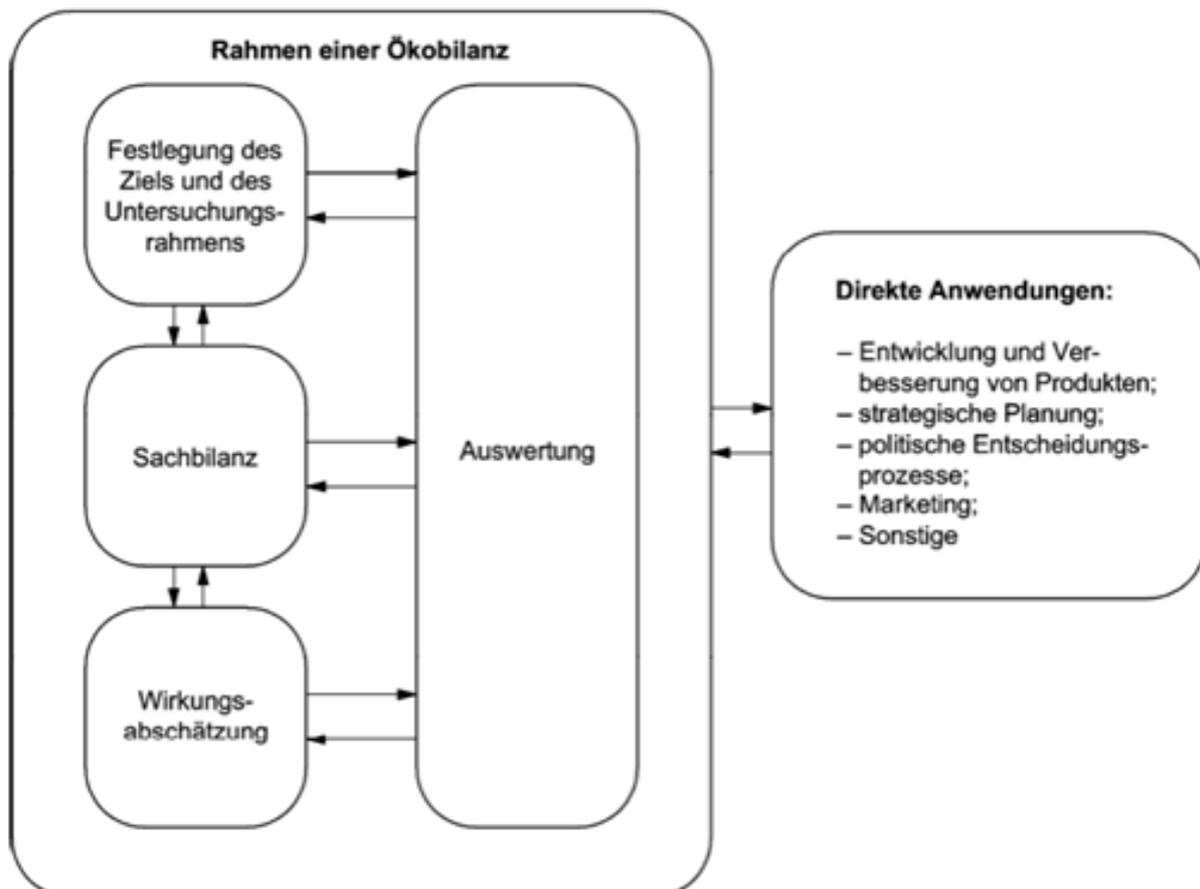


Abbildung 8: Zusammenhänge zwischen den Phasen der Ökobilanz [aus (ISO 14040, 2006 S. 13)]

2.6 Lebenszykluskostenanalyse / Life Cycle Cost Analysis (LCCA)

2.6.1 Definition

Bei einer Lebenszykluskostenanalyse werden die über den gesamten Lebenszyklus von Immobilien anfallenden Kosten dargestellt. Nach ISO 15686-5 (2008) werden die Kosten von Planung, Realisierung, Bewirtschaftung und End of Life Kosten bilanziert.

- **Errichtungskosten:**
Grundstück (mit Erschließungskosten), Planungskosten, Gebäude (mit Baustellenbetriebskosten), Bauüberwachungs- und Dokumentationskosten, Maklerkosten, Notarkosten, Versicherungskosten während der Bauzeit etc.
- **Nutzungskosten:**
Medienverbrauch: Heizwärme, Warmwasser, Beleuchtung (Strom), Wasser, Abwasser, gebäude- und bauteilspezifische Aufwendungen: Reinigung, Wartung und Instandhaltung, Modernisierung.
- **Rückbaukosten:**
Abriss, Abtransport, Wiederverwendung bzw. -verwertung, Entsorgung.

Da die Lebensdauer mancher Bauwerke viele hundert Jahre betragen kann, muss bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten auf ein vereinfachtes Modell zurückgegriffen werden.

Bei einer LCCA werden alle Kosten aufsummiert und Preissteigerungsraten hinzuge-rechnet. Mithilfe der Barwertmethode wird der Gegenwartswert ermittelt, dadurch kann eine Verbesserung der Kosten über die gesamte Lebensdauer eines Gebäudes erzielt werden. Das Resultat einer LCCA wird in [€/m²] angegeben. Bei der Fläche, auf die das Ergebnis bezogen ist, handelt es sich um die Nutz- oder Bruttogrundflächen. (BMVBS, 2011)

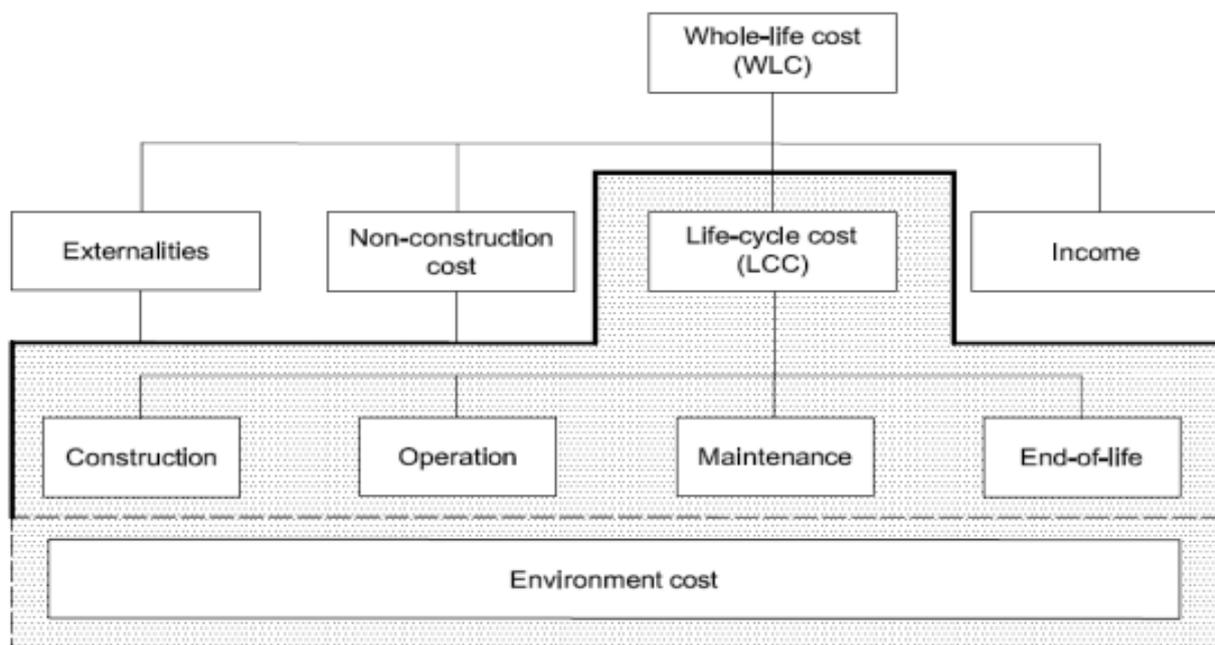


Abbildung 9: Darstellung des Unterschieds zwischen der Lebenszykluskostenrechnung im weiteren und engeren Sinn [aus (ISO 15686-5, 2008 S. 6)]

2.6.2 Rechtliche Grundlage

Die Lebenszykluskostenanalyse basiert auf der ISO Norm „Buildings and constructed assets – Service life planning-Part 5, Life-cycle costing“ (ISO 15686-5, 2008). Diese Norm liefert sowohl Begriffsdefinition als auch Methodik zur Durchführung einer Lebenszykluskostenanalyse.

Wie auf Abbildung 9 ersichtlich, erläutert die ISO 15686-5 auch den Unterschied zwischen Lebenszykluskosten im weiteren (WLC) und im engeren Sinn (LCC) (siehe auch: König et al., 2009).

2.6.3 Vorteil der Durchführung einer LCCA bei ökologischer Bauweise

Horatius stellte im alten Rom fest: „O cives, cives quaerenda pecunia primum est, virtus post nummos“ (Oh Bürger, Bürger, für euch ist der Gelderwerb das Wichtigste, die Tugend kommt erst nach den Talern). So stellen monetäre Werte auch heute noch oft den ausschlaggebenden Faktor bei Vergaben in der Bauwirtschaft dar, auch wenn die „Tugend“ der Nachhaltigkeit eigentlich an erster Stelle stehen sollte.

Da es bei der lebenszyklusoptimierten Planung vor allem in der Konzept-, Planungs- und Erstellungsphase zu erhöhten Kosten kommt, treffen Auftraggeber oft eine nicht nachhaltige und kurzsichtige Entscheidung. Denn auch wenn die Investitionskosten am Anfang höher sind, liegen die Kosten einer ökologischen Bauweise bereits nach einer kurzen Nutzungsdauer deutlich unter jenen einer konventionellen Planung (siehe Abbildung 10).

Die Darstellung der anfallenden Kosten über den gesamten Lebenszyklus unterstreicht die wirtschaftlichen Vorteile einer ökologischen Bauweise auf längere Sicht und kann damit dem Auftraggeber einleuchtende Gründe liefern, bei der Erbauung eines Gebäudes auf eine nachhaltige Bauweise zu setzen.

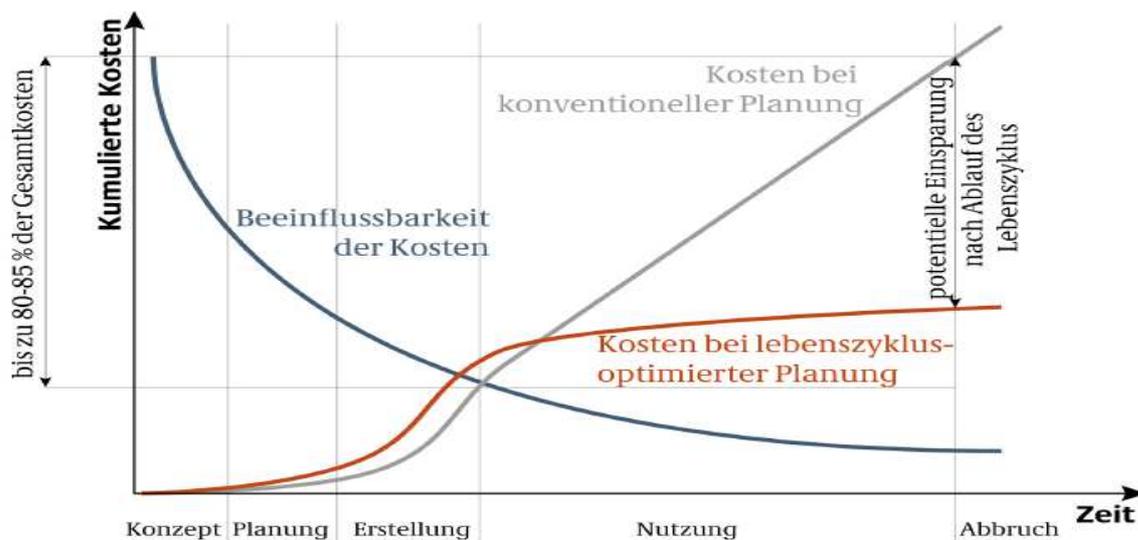


Abbildung 10: Beeinflussbarkeit der Kosten eines Bauwerks über den Lebenszyklus. Vergleich der konventionellen mit einer lebenszyklusoptimierten Planung [aus (BMVBS, 2011 S. 23)]

3. Beschreibung der Untersuchungsgebäude der Wohnhausanlage Amselgasse, Lasse

3.1 Visualisierung und Rendering

Im der Abbildung 11 ff. sind die Untersuchungsgebäude der Wohnhausanlage Amselgasse visualisiert. Die Eckdaten der Gebäude werden im Kapitel 3.2 ff. textlich beschrieben. Ergänzend zu dem in diesem Kapitel dargestellten Rendering sind in Anhang 8 die Pläne der Wohnhausanlage Amselgasse beigefügt.

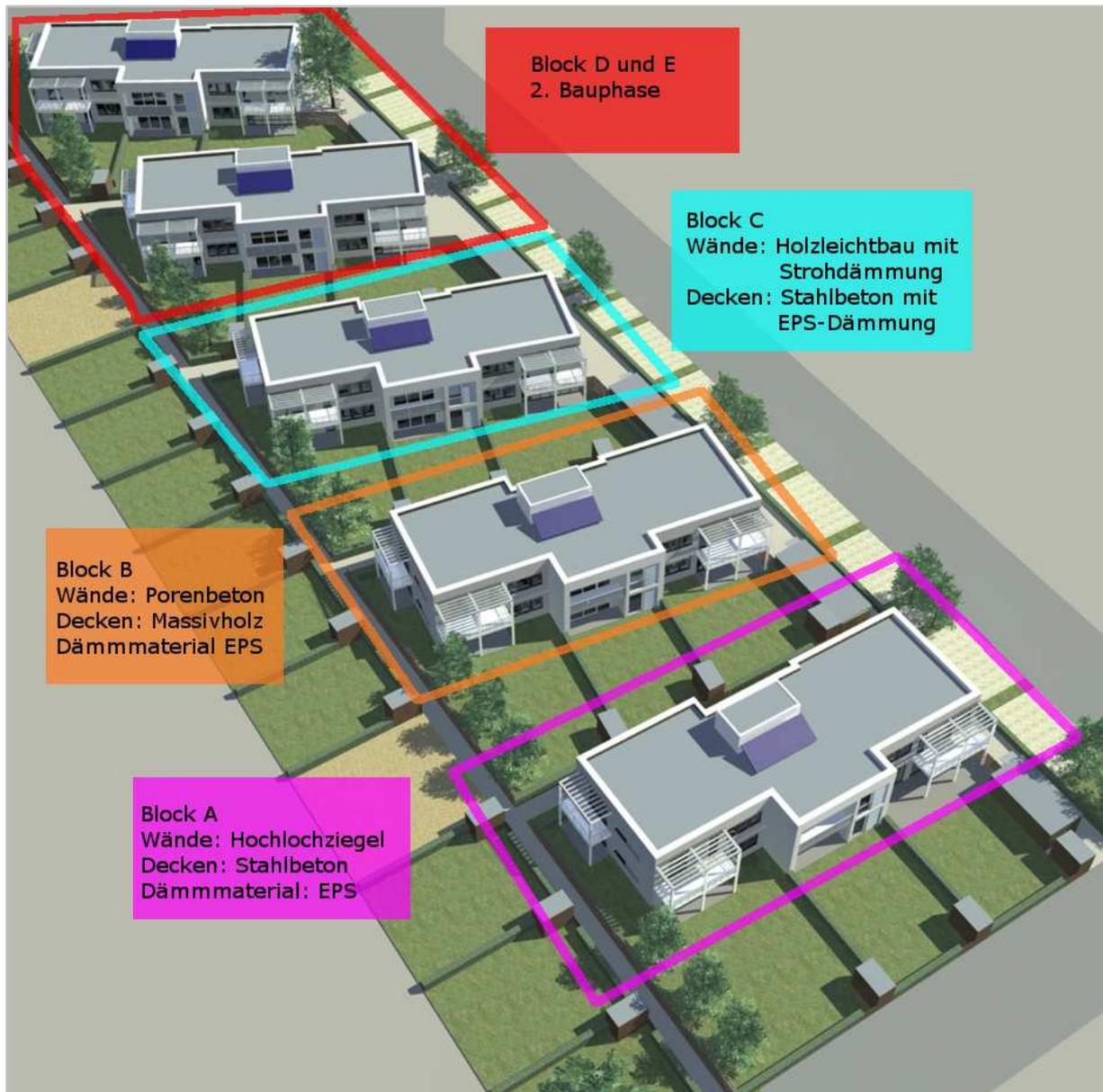


Abbildung 11: Darstellung der Wohnhausanlage Amselgasse aus der Vogelperspektive (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)



Abbildung 12: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Nordostansicht und Ansicht Müll- und Fahrradabstellräume (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)



Abbildung 13: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Nordostansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)



Abbildung 14: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Südostansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)



Abbildung 15: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Südwestansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH. 2011)



3.2 Informationen zum Bauablauf

Von der GEDESAG (Gemeinnützige Donau-Ennstaler Siedlungs-Aktiengesellschaft) als Bauträger ist die Realisierung von insgesamt fünf zweigeschossigen, nicht unterkellerten Wohngebäuden mit 29 Wohnungen in der Gemeinde Lasee im Zuge des Forschungsprojekts „Demonstrationsprojekt für einen ressourcenorientierten Wohnbau in vorgefertigter Holzbauweise mit Strohdämmung“ geplant. Das Projekt hat eine Laufzeit von 01.07.2008 bis 31.12.2013.

Die Bauwerke sollen einen massiven Impuls für den Einsatz regional verfügbarer, nachwachsender Rohstoffe im Wohnbau geben. Als Projektteam fungieren in der Projektleitung Univ.-Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg und DI Roman Smutny und als Projektpartner Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH (DI Manuel Schweizer, Arch. DI Friedrich Mühling und DI Karin Hammer) und TB Hofbauer.

In der ersten Phase (Planung bis zur Ausschreibung) sind am Standort Amselgasse, 2291 Lasee (Gst.Nr.: 766/19, EZ der Kat.Gem. 06305 Lasee) drei Ausführungsvarianten geplant, welche 17 Wohneinheiten umfassen sollen:

- Block A: Herkömmliche Ziegelmassivbauweise (5 Wohneinheiten)
- Block B: Porenbeton-Systembau mit Holzdecke (6 Wohneinheiten)
- Block C: Stroh-Elementbau mit Stahlstützen und Stahlbetondecke (6 Wohneinheiten)

Detaillierte Einreichpläne der Wohnhausanlage Amselgasse finden sich im Anhang 8. Die Wohnhausanlage in Lasee wurde Ende November 2010 vom niederösterreichischen Gestaltungsbeirat positiv bewertet (a3B:Tec Technologies & Solutions, 2011). Das Ziel der Abteilung Wohnungsförderung und Gruppe Baudirektion ist es die gestalterische und funktionale Qualität von Wohnbauprojekten zu steigern. Von einer positiven Bewertung ist die Gewährung der Wohnbauförderung des Landes Niederösterreich für ein Bauprojekt abhängig. Das Ziel des Gestaltungsbeirats wird erreicht, indem eine Verwirklichung umfassender Qualitätsmerkmale angestrebt wird, welche von der von Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH geplanten Wohnhausanlage Amselgasse in Lasee erfüllt wurden. Diese betreffen sowohl soziale Qualität (Wohnung innen und Wohnumfeld), als auch allgemeine architektonische Grundsätze, Ökologie und Wirtschaftlichkeit. (Abteilung Wohnungsförderung und Gruppe Baudirektion, 2009) Im Fall der Wohnhausanlage Amselgasse stellen u.a. die geplante vorgefertigte Holzbauweise mit Strohdämmung, die kontrollierte Wohnraumlüftung, die thermischen Sonnenkollektoren zur Warmwassergewinnung und der Anschluss ans örtliche Strohheizwerk entscheidende Faktoren für eine positive Bewertung dar (a3B:Tec Technologies & Solutions, 2011). Weiters wurde auf eine soziale Komponente geachtet, indem ein Gemeinschaftsraum für alle Bewohner der Wohnhausanlage Amselgasse im Block A eingeplant wurde. Das Wohnungsumfeld wurde durch einen eigenen Garten, Abstellräume und Fahrradabstellräume für jede Wohneinheit sehr angenehm gestaltet.

Laut aktuellem Stand (April 2013) werden alle drei Blöcke A, B und C aus Kostengründen in herkömmlicher Ziegelmassivbauweise ausgeführt. Für die 2. Bauphase soll eine Empfehlung bezüglich der Ausführungsvariante ausgesprochen werden, da noch die Option besteht, eine der beiden anderen Bauweisen in weiterer Folge zu verwirklichen.



3.3 Bauliche Informationen zur Wohnhausanlage Lasee:

Die Informationen für das vorliegende Kapitel beziehen sich größtenteils auf Daten aus den Energieausweisen der verschiedenen Bauweisen (Krapfenbauer, 2011) und den Plänen der Wohnhausanlage Amselgasse (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011).

- **Grundstücksdaten:** Fläche: 7.895 m²

Das Grundstück ist als „Bauland Wohnen“ gewidmet. Im Westen befindet sich ein 15 m breiter Streifen, der als Grüngürtel gewidmet ist. Im Grüngürtel ist ein 245 m² großer Kinderspielplatz geplant. In diesem Areal dürfen keine massiven Fundamente oder andere Einbauten errichtet werden. Die Wohnungen im Erdgeschoss besitzen einen Eigengarten direkt vor der jeweiligen Terrasse, jene im Obergeschoss haben ihre Gärten im Grüngürtel. Entlang der Amselgasse werden 44 PKW-Stellplätze, davon 1 Behindertenparkplatz, angeordnet.

- **Bebaute Flächen:**

Block A:	310,52 m ²
Block B:	306,18 m ²
Block C:	313,60 m ²
Block D:	313,60 m ²
Block E:	313,60 m ²
Summe:	1.557,50 m²
Müllräume:	83,85 m ²
Geräteabstellraum:	53,18 m ²
Fahrradabstellraum:	64,80 m ²
Gesamt:	1.759,33 m²

Die Gebäude werden ohne unterirdisches Geschoss, mit zwei oberirdischen Geschossen ausgeführt. Pro Block sind 6 Wohneinheiten geplant, nur im Block A beschränkt sich das Wohnungsangebot auf 5 Wohneinheiten, da hier auch die Gemeinschaftsräume untergebracht sind.

Die Müll- und Fahrradabstellräume sind straßenseitig angeordnet, ebenso die Abstellräume, die in jedes Gebäude im Erdgeschoss integriert sind. Die Wohneinheiten im Erdgeschoss besitzen zusätzlich jeweils einen Geräteabstellraum im Garten. Die Bewohner können gemeinschaftlich einen Trocken- und Gemeinschaftsraum inkl. Nebenräume nutzen, welche sich (wie auch die FW-Übergabestation), wie oben erwähnt, im Erdgeschoss von Block A befinden. Jeder Block hat zusätzlich einen Technikraum am Dach.

Am Lageplan fällt auch auf, dass in der Planungsphase externe Faktoren berücksichtigt wurden. Insbesondere die Ausrichtung der Gebäude in Richtung Süden sticht dabei sofort ins Auge (siehe Pläne im Anhang 8).

- **Bauweise:**

Die detaillierten Pläne und Aufbauten sind Anhang 8 zu entnehmen.



Grobe Eckdaten der verschiedenen Bauweisen sind wie folgt:

- Block A:** Brutto-GF: 606,18 m²
 Außenwand: 25 cm Hochlochziegel mit 26 cm EPS-F Vollwärmeschutz
 Fundament: WU-Stahlbeton
 Decken: Stahlbeton-Massivdecken
- Block B:** Brutto-GF: 596,97 m²
 Außenwand: 30 cm Porenbeton mit 16 cm EPS-F Vollwärmeschutz
 Fundament: WU-Stahlbeton
 Decken: Holz-Massivdecken mit abgehängter GKF-Decke auf Schwingbügel.
- Block C:** Brutto-GF: 610,54 m²
 Außenwand: Holzriegelkonstruktion, verputzt, 40 cm Stroballendämmung
 Fundament: WU-Stahlbeton
 Decken: Stahlbeton-Massivdecken
- Dächer:** Flachdächer mit extensiver Begrünung
- Fenster(türen):** Kunststoffrahmen: 3-Scheiben Wärmeschutzglas, Ug < 0,9
 Alurahmen: 2-Scheiben Wärmeschutzglas, Ug < 1,4

Tabelle 2: Flächen der Thermischen Gebäudehülle [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

Block A		Block B		Block C	
Opake Flächen	Fensterflächen	Opake Flächen	Fensterflächen	Opake Flächen	Fensterflächen
91,68 %	8,32 %	91,4 %	8,6 %	91,53 %	8,47 %
1.144,7 m ²	103,87 m ²	1.129,9 m ²	106,26 m ²	1.149,0 m ²	106,3 m ²

Tabelle 3: Vergleich Außenwandfläche/Fensterfläche [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

	Block A		Block B		Block C	
	Außenwandfläche [m ²]	Fensterflächen [m ²]	Außenwandfläche [m ²]	Fensterflächen [m ²]	Außenwandfläche [m ²]	Fensterflächen [m ²]
Norden	174,30 (NNW)	28,73 (NNW)	163,46	31,12	175,49	31,12



Osten	69,20 (ONO)	4,62 (ONO)	68,44	4,62	69,12	4,62
Süden	148,98 (SSO)	57,58 (SSO)	148,00	57,58	149,03	57,58
Westen	93,78 (WSW)	12,94 (WSW)	92,62	12,94	93,96	12,94
Dach	310,51	0	306,16	0	313,58	0
Summe	796,77	103,87	778,68	106,26 m²	801,18	106,26 m²

Die Fensterflächen Richtung Süden sind bedeutend großzügiger angelegt als in Richtung Norden (siehe Tabelle 3, Abbildung 16 und Ansichten Anhang 8). Dies ermöglicht eine optimale Nutzung der passiven Sonnenenergie.

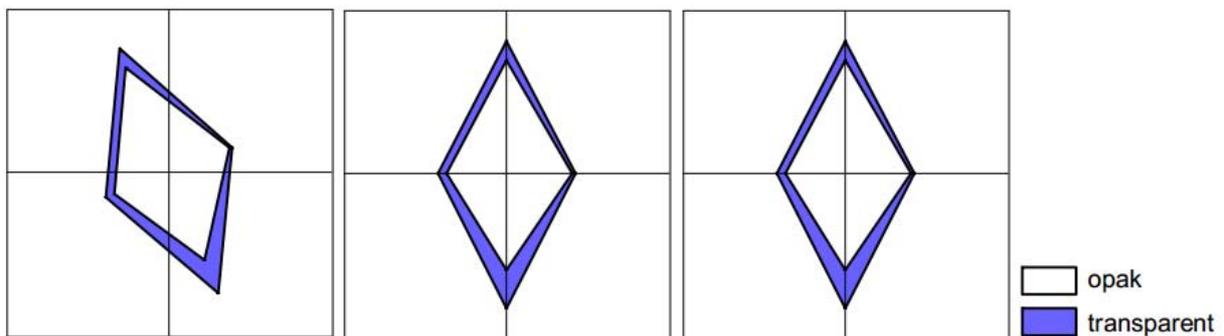


Abbildung 16: Orientierung der Flächen der Blöcke A, B und C (v.l.n.r.) [eigene Darstellung nach (Krapfenbauer, 2011)]

Stiegenhaus: Treppen und Decken aus Stahlbeton

- **Haustechnik [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]**

Raumheizung Anlage 1

- Raumheizungswärmebereitstellung dezentral (25 kW), Fernwärme (Strohheizwerk), Sekundärkreis;
- Raumheizung: kein Speicher; Anbindeleitungen: Länge pauschal, 1/3 gedämmt, Armaturen ungedämmt;
- Abgabe: Einzelraumregelung mit Thermostatventilen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung, Heizkörper (60°C / 35°C)

Warmwasser Anlage 1:

- WW- und RH-Wärmebereitstellung kombiniert, Raumheizung Anlage 1
- Speicherung: indirekt beheizter Warmwasserspeicher, Solaranlage (1994-...), Anschlussteile gedämmt, ohne E-Patrone, Aufstellungsort konditionierte Lage in Zone Wohnen, Nenninhalt Defaultwert (Nenninhalt: 1.194 l)
- Stichleitung: Längen pauschal, Kunststoff



- Abgabe Zweigriffarmaturen, individuelle Wärmeverbrauchsermittlung

Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung:

- Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung für Wohngebäude,
- Luftwechsel bei Luftdichtigkeitsprüfung (n50) = 1 1/h, zusätzlicher Luftwechsel (nx) = 0,07 1/h
- Gegenstrom-Wärmetauscher, Wärmebereitstellungsgrad = 75 %, ohne Erdwärmetauscher
- Nutzungsgrad EWT = 0 %, Mehrfamilienhäuser

Warmwasserbereitung:

- Kollektor: ausschließlich für Warmwasserwärmebedarf, Aperturfläche 12 m², Warmwasser Anlage 1, einfach, Geländewinkel 10°, Kollektorverdrehung 0° aus der Südrichtung, Neigungswinkel 40°, Bodenreflexionswert 0,3
- Kollektorkreis: Vertikale Leitung des Kollektorkreises, Längen pauschal, konditionierte Lage in Zone Wohnen, 1/3 gedämmt, horizontale Leitung des Kollektorkreises: nicht konditioniert, 3/3 gedämmt

Die Gebäude werden mit Fernwärme aus einem Stroh-Heizwerk betrieben, wodurch die ökologisch bewertete Betriebsenergie untypischerweise auf einem extrem niedrigen Niveau liegt. Im Fernheizwerk Ökopark Marchfeld werden durch die Verbrennung von 2400 t Stroh 9 Milliarden kWh Wärme/Jahr produziert sowie Klimaschutz, Bodenschutz, regionale Autarkie, Ressourcenschonung und eine nachhaltige Zukunftsplanung in Lasee forciert. (Ökopark Lasee, o.J.)

- **Daten der Energieausweise [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]**

In Tabelle 4 und 5 sind Eckdaten des Energieausweises gegenübergestellt.

Tabelle 4: Gebäudedaten der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis (Brutto-Grundfläche, Kompaktheit, mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient)

	Block A	Block B	Block C
BGF [m²]	606,18	596,97	610,54
Kompaktheit (A/V) [1/m]	0,60	0,60	0,59
Mittlerer U-Wert [W/m²K]	0,224	0,219	0,210

Tabelle 5: Wärme- und Energiebedarf der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis

	Block A		Block B		Block C	
	zonenbezo- gen [kWh/a]	spezifisch [kWh/m ² a]	zonenbezo- gen [kWh/a]	spezifisch [kWh/m ² a]	zonenbezo- gen [kWh/a]	spezifisch [kWh/m ² a]
HWB	13.028	21,49	12.349	20,69	11.827	19,37
Standortklima						
WWWB	7.744	12,78	7.626	12,78	7.800	12,78
HTEB-RH	1.564	2,58	2.342	3,92	2.482	4,06
HTEB-WW	-1.601	-2,64	-1.636	-2,74	-1.584	-2,59
HTEB	7.569	12,49	8.270	13,85	8.522	13,96
HEB	23.946	39,50	23.843	39,94	23.757	38,91

Da sich betreffend der Energiekennzahlen nur unwesentliche Abweichungen zwischen den verschiedenen Bauweisen ergeben, wurden bei der Auswertung Durchschnittswerte für den Heizwärmebedarf (HWB) von 20,5 kWh/m²a und für den Heizenergiebedarf (HEB) von 39,4 kWh/(m²*a) für alle drei Bauweisen angenommen. Ein Beispiel für die Darstellung des mittleren Heizwärmebedarfs im Energieausweis ist in Abbildung 17 dargestellt.

Der mittlere Heizenergiebedarf setzt sich aus 6,3 kWh/(m²*a) elektrischer Energie für Pumpen und Ventilatoren und 33,1 kWh/(m²*a) Fernwärme vom Strohheizwerk zusammen.

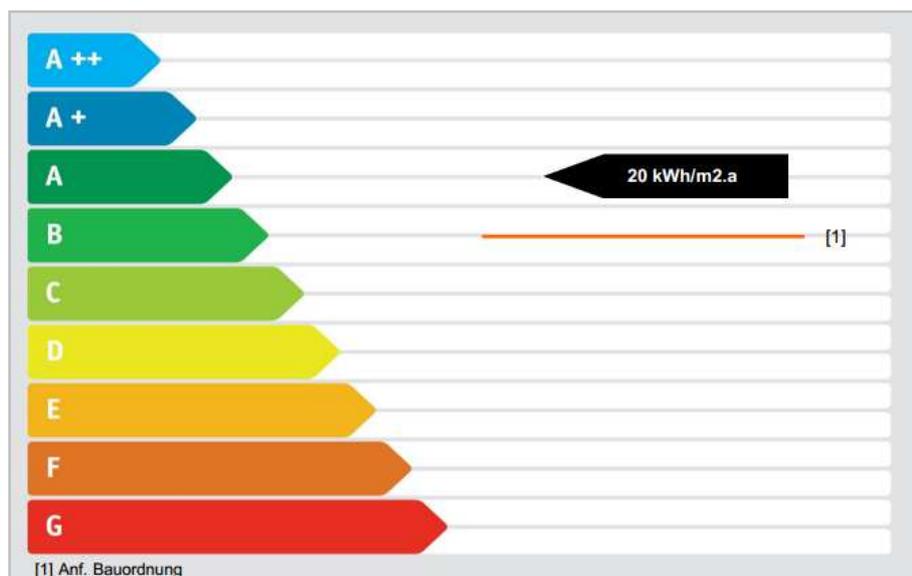


Abbildung 17: Spezifischer Heizwärmebedarf Block B – entspricht ungefähr Durchschnittswert 20,5 kWh/(m²*a) [aus (Krapfenbauer, 2011)]

- **Abwasser:**

Schmutzwasser: Anschluss an öffentlichen Schmutzwasserkanal

Regenwasser: Dachwässer werden in Sickerschächten abgeführt; Oberflächenwässer werden in Versickerungsgräben und -flächen zur Versickerung gebracht

3.4 Bauteilanalyse

Im Gegensatz zur konventionellen Ziegelmassivbauweise im Block A wurden für Block B und C Alternativen aus nachwachsenden Rohstoffen gewählt.

Die Ziegelmassivbauweise wird nachfolgend der Vollständigkeit halber kurz angesprochen, auf die Baustoffe Porenbeton (Block B) und Stroh (Block C) wird in weiterer Folge näher eingegangen.

3.4.1 Block A: Massivbauweise mit Ziegelaußenwänden

- **Amselgasse, Lasee**

Bei Block A wurden die Außenwände in Ziegelmassivbauweise (25 cm Hochlochziegel, 0,35 cm EPS Dämmung) geplant. Die Deckenkonstruktion besteht aus Stahlbetonelementen mit einer Schichtdicke von 0,22 cm und EPS Dämmung 0,26 cm. Ein Planausschnitt des Blocks A ist in Abbildung 18 dargestellt und detaillierte Grundrisse der Massivbauweise mit Ziegelwänden finden sich im Anhang 8.1.

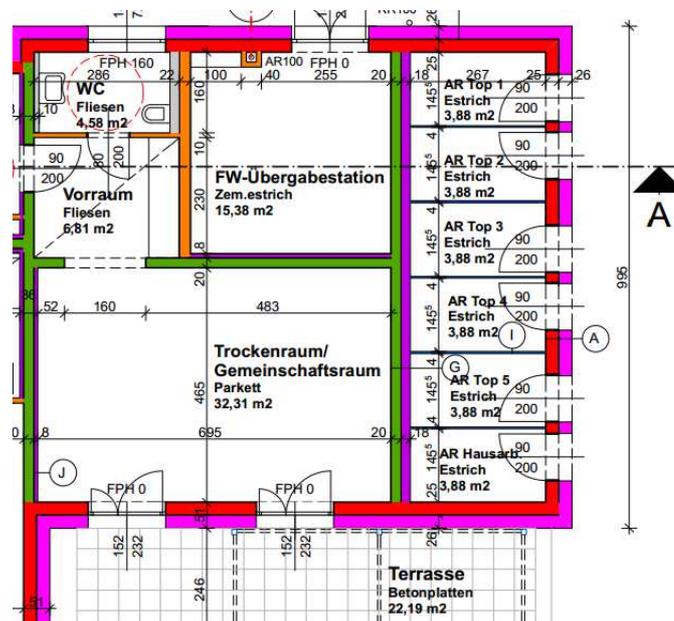


Abbildung 18: Planausschnitt Block A - Massivbauweise (Treberspurig & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

3.4.2 Block B: Porenbetonbauweise mit Massivholzdecke

- **Allgemeines**

Der Vorteil des Einsatzes von Porenbeton liegt laut der Firma Ytong Xella Porenbeton Österreich GmbH (2013) insbesondere darin, dass er im Herstellungsprozess energieeffizienter gefertigt werden kann als vergleichbare Baustoffe. Der für die Herstellung

benötigte Wasserdampf wird so oft wie möglich wiederverwendet und danach zum Heizen eingesetzt.

Bei der Produktion des Baustoffs, welcher aus Sand, Kalk, Zement und Wasser besteht, fallen keine luft-, wasser- oder bodenbelastende Schadstoffe an. Die Abbildung 19 zeigt schematisch den Herstellungsprozess von Porenbeton.

Der sparsame Rohstoffverbrauch lässt sich deutlich an folgendem Beispiel veranschaulichen: bei der Herstellung entstehen aus nur 1 m³ Rohstoff 5 m³ Porenbeton Verbundsteine.

Der Baustoff ist einfach zu verarbeiten und klimatechnisch optimal, da er sich nur langsam erwärmt und ebenso langsam abkühlt, wodurch eine gleichmäßige Temperatur am Tag und in der Nacht gewährleistet wird (Xella Porenbeton Österreich GmbH, 2013).

Beim Baustoff Porenbeton wird prinzipiell zwischen Porenbeton als konstruktives Bauteil (Wandelemente, Verbundsteine u.Ä.) mit einem Feststoffanteil von ca. 20 % (siehe Abbildung 20 und Abbildung 22) und Porenbeton als Dämmstoff wie z.B. Multipor Mineraldämmplatten (siehe Abbildung 24) mit einem Feststoffanteil von nur 4 % unterschieden.

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit soll eine Variante untersucht werden, in der die beiden Baustoffe in Kombination eingesetzt werden.

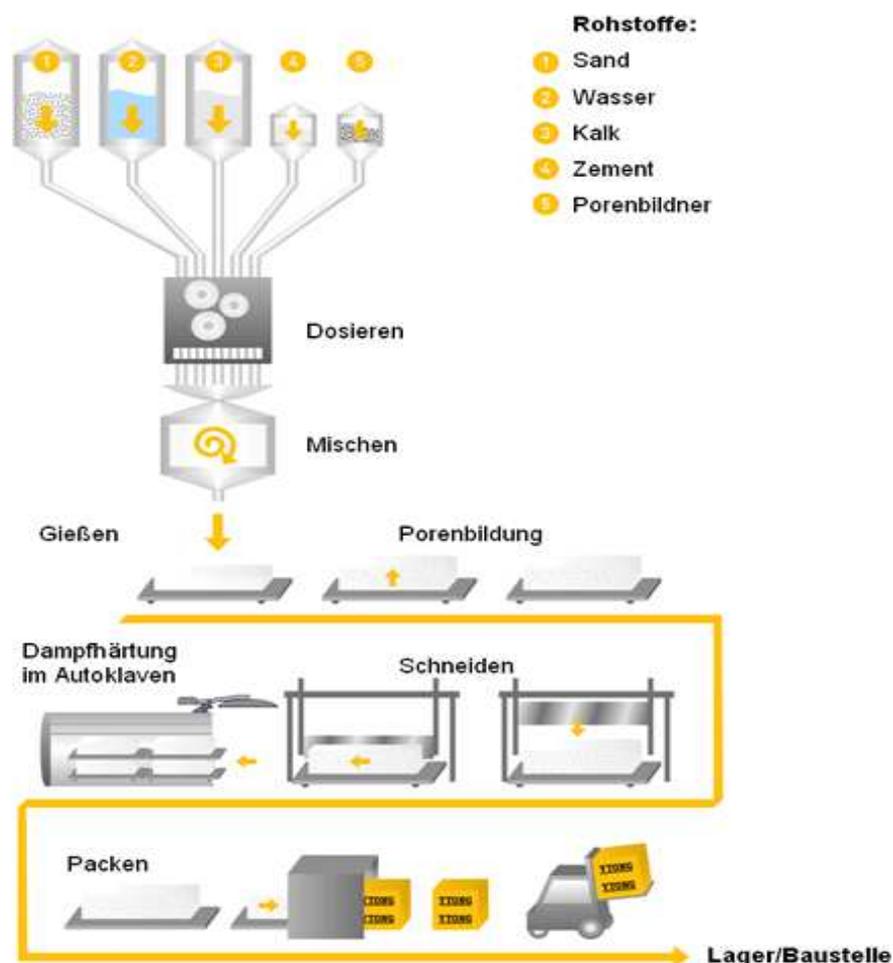


Abbildung 19: Visualisierung der Herstellung des Baustoffs Porenbeton (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)

- **Referenzprojekte:**

- Kindergarten Loosdorf (siehe Abbildung 21)

Projektart:	Neubau Kindergarten mit Kleinkindergruppe
Bauherr:	Marktgemeinde Loosdorf
Baumeisterarbeiten:	Fa. Held & Francke – NL Loosdorf
Größe:	650 m ² EG-Fläche
Bauweise:	Ytong Systemwandelemente stehend SWE P4/0,60 25 cm, Wärmedämmverbundsystem EPS 16 cm; Decke Brettsperr- holzelemente ca. 16 cm

Der Kindergarten in Loosdorf war die erste Baustelle Österreichs mit Holz-Ytong Verbundbausystem, wie es auch bei Block B zum Einsatz kommt.

(Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 20: Bauweise Porenbeton: Ytong Stein (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 21: Kindergarten Loosdorf (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)

- Passivhaus Horitschon (siehe Abbildung 23)

- Projektart: Neubau Einfamilienhaus im Passivhausstandard
- Bauherr: privat
- Baumeisterarbeiten: Baderbau, Horitschon



- Größe: 252,52 m² Nutzfläche
- Bauweise: Ytong Thermoblock 30 cm, Röfix Minopor
Wärmedämmverbundsystem

Bei diesem Einfamilienhaus handelt es sich um das 1. Passivhaus aus Ytong im Burgenland. Porenbeton stellt im Passivhaus ein behagliches Wohnklima her.

(Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 22: Ytong Thermoblock 30 cm (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 23: Einfamilienhaus im Passivhausstandard, Erbauungsphase (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)

- Museum am Bergisel in Innsbruck (siehe Abbildung 25)

Projektart: Innendämmung der Sichtbeton Außenwand
Bauherr: Land Tirol
Baumeisterarbeiten: Alpine
Generalplaner: Architekten stoll.wagner
Zu dämmende Fläche: 650 m² EG-Fläche
Verwendete Materialien: Multipor 180 mm Innendämmung

Multipor hält den Luftfeuchte-Temperaturhaushalt in Gebäuden konstant, was vor allem bei diesem Projekt enorme Vorteile birgt, da im Betonzylinder ein historisches Riesensandgemälde ausgestellt ist.

(Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 24: Multipor Dämmplatten (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)



Abbildung 25: Beispiel für Innendämmung mit Multipor: Bergisel Museum (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)

- **Amselgasse, Lasee**

Block B wurde in Porenbetonbauweise (Beispiel für Porenbetonbauweise siehe Abbildung 26) geplant, durch den Einsatz von Porenbeton konnte die wärmedämmende EPS Schicht im Block B deutlich dünner ausgeführt werden als im Block A (vergleiche Plan im Anhang 8.1). Die Außenwand wurde bei der Porenbetonbauweise mit einer Dicke von 30 cm hergestellt und einer EPS-F Dämmung von 16 cm. Zum Vergleich: bei der konventionellen Bauweise im Block B wurde eine EPS-F Dämmung von 26 cm veranschlagt. Der Ökobau.dat Datenbank, welche die Daten für die Porenbetonbauweise liefert, liegen Werte zugrunde, die auf dem deutschen Strommix basieren.

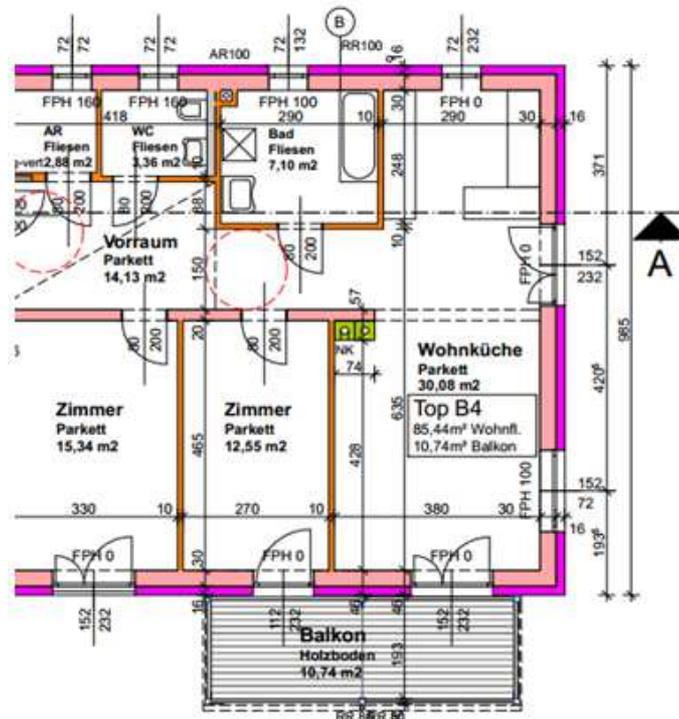


Abbildung 26: Planausschnitt Block B - Porenbeton (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

Grundsätzlich werden bei der Berechnung der Ökobilanz in der Ökobau.dat die Porenbetone „P2 04“ (Außenbereich, unbewehrt) bzw. „P4 05“ (Innenbereich, unbewehrt) unterschieden.

Bei der zusätzlichen Variante Block B2 mit Multipor Dämmung, welche ebenfalls Teil der vorliegenden Arbeit ist, werden Multipor Dämmplatten eingesetzt. Die Kenndaten aller Porenbeton Baustoffe sind in Tabelle 6 aufgelistet.

Tabelle 6: Kenndaten Porenbetonbauweise LCA Tool [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009), (Krapfenbauer, 2011), (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006)]

Baustoff EAW	Datensatz Ökobau.dat	EOL Ökobaudat	Dichte	Nutzungsdauer
	1.3.03	9.5		
Porenbeton P2	Porenbeton P2 04 un- bewehrt	Bauschuttzubereitung	380 kg/m ³	50 Jahre
Porenbeton P4	Porenbeton P4 05 un- bewehrt	Bauschuttzubereitung	472 kg/m ³	50 Jahre
Multipor Dämm- platten (Block B2)	Porenbeton-Dämmplatte - Multipor	Bauschuttzubereitung	110 kg/m ²	30 Jahre

Ökobau.dat Nutzungsdauerkatalog



Ungefähr vergleichbar mit den oben genannten Porenbetonarten der Ökobau.dat wären theoretisch die im Natureplus e.V. Prüfbericht aufscheinenden Porenbetonarten „P2/04“ (Außenbereich, unbewehrt) und „P4/06“ (Innenbereich, unbewehrt).

Die ökologischen Kennwerte (siehe Abbildung 27 und 28) von Xella Porenbeton Österreich GmbH basieren auf dem Natureplus e.V. Prüfbericht.

Die Ergebnisse des Prüfberichts beruhen auf folgenden Unterlagen:

- Sachbilanzerstellung analog ISO 14040, ISO 14044
- Wirkungskategorien nach CML 2001
- Primärenergiebedarf nach Frischknecht et. al 2004
- Treibhauspotential 1994/100 Jahre
- Rechenprogramm: SimaPro 7.3
- Systemgrenzen: Rohstoffgewinnung bis auslieferfertiges Produkt

(IBO GmbH, 2012)

Von Xella Porenbeton Österreich wurden Daten für 4 Ökoindikatoren von Ytong Porenbetonsteinen zur Verfügung gestellt:

Ökologische Indikatoren	Kennwerte YTONG-Porenbetonsteine				Richtwerte RL1105
	P2/035	P2/04	P2/05	P4/06	
Nicht erneuerbare Energieträger [MJ/m³]	1672	1583	1529	1962	1900
Treibhauspotential [kg CO ₂ equiv./m³]	172	156	136	174	170
Photosmog [kg Ethylen-equiv./m³]	0,039	0,036	0,034	0,049	0,05
Versauerung [kg SO ₂ -equiv./m³]	0,35	0,31	0,33	0,62	0,5

Abbildung 27: Ergebnisse für die ökologischen Indikatoren von Porenbeton im Natureplus e.V. Prüfbericht [aus (IBO GmbH, 2012 S. 4)]

Ökologische Kennwerte	Ytong Multipor		Richtwerte RL0404
	pro kg	pro FE	
Nicht erneuerbare Energieträger [MJ]	13,15	65,1	150
Treibhauspotential [kg CO ₂ equiv.]	1,03	5,1	4
Photosmog [kg Ethylen-equiv.]	0,0003	0,0015	0,006
Versauerung [kg SO ₂ -equiv.]	0,0016	0,008	0,06
Erneuerbare Energieträger [MJ]	0,78	3,87	-
Überdüngungspotential [kg PO ₄ ³⁻ equiv.]	0,0012	0,006	-
Verbrauch abiotischer Ressourcen [kg Sb-equiv.]	0,0059	0,029	-

Abbildung 28: Ergebnisse für die ökologischen Indikatoren von Multipor im Natureplus e.V. Prüfbericht [aus (IBO GmbH, 2012 S. 5)]

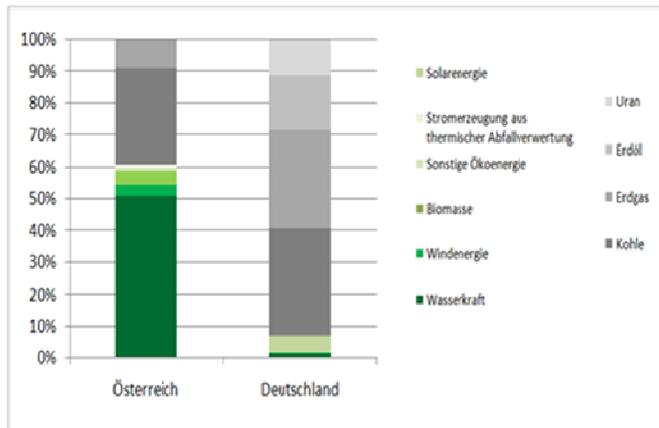


Die Kennwerte entsprechen jedoch ungefähr jenen der deutschen Ökobau.dat (vgl. Tabelle 7). Bis ein zuverlässiger Vergleich der Ergebnisse einer Ökobilanz, die mit österreichischen Werten (welche auf dem österreichischen Strommix basieren) und einer Ökobilanz, die mit den deutschen Daten berechnet wurde, möglich ist, muss noch darauf gewartet werden, dass Xella Porenbeton GesmbH Werte zur Verfügung stehen, die den österreichischen Strommix beinhalten. Diese Daten sind in Auftrag gegeben und werden voraussichtlich Ende 2013 vorliegen.

Tabelle 7: Vergleich der Daten der Wirkungsindikatoren [Datenquelle: (IBO GmbH, 2012) und (Ökobau.dat, 2009)]

	PE_{nr}	PE_r	GWP	AP	POCP	EP	ODP
	[MJ]	[MJ]	[kg CO₂-Äq]	[kg SO₂-Äq]	[kg C₂H₄ Äq]	[kg PO₄-Äq]	[kg R₁₁-Äq]
P2 04							
Ökobau.dat	1565	124	189	0,263	0,0325	0,0441	0,00000833
P2/04							
natureplus	1583	?	156	0,310	0,0360	?	?
P4 05							
Ökobau.dat	1821	126	230	0,281	0,0343	0,0489	0,00000870
P4/06							
natureplus	1962	?	174	0,620	0,0490	?	?
Multipor							
Ökobaudat	1392	189	112	0,208	0,024	0,025	0,000008
Multipor							
natureplus	1446	85,8	113	0,176	0,033	0,132	?

In der Abbildung 29 ist klar ersichtlich, dass es deutliche Unterschiede zwischen der Zusammensetzung der beiden Strommixe gibt, welche in den Ökoindikatoren nicht zu Buche schlagen. Bei einer Betrachtung mit Werten, die den unterschiedlichen Strommix berücksichtigen, wäre dementsprechend mit einem signifikanten Unterschied im Ergebnis der Ökobilanz zu rechnen. Dies ist jedoch mit den derzeitigen Mitteln nicht möglich.



Strommix Österreich		Strommix Deutschland	
Wasserkraft	51%	Wasserkraft	1,5%
Windenergie	3,5%	Windenergie	0,5%
Biomasse	4,5%	Biomasse	0
Sonstige	1%	Solarenergie	5,5%
Ökoenergie		Braunkohle	15%
Stromerzeugung aus thermischer Abfallverwertung	1%	Steinkohle	18,5%
Kohle	30%	Erdöl	17,5%
Erdgase	9%	Erdgas	30,5%
		Uran	11%

Abbildung 29: Strommix Herstellung Porenbeton: Vergleich Österreich/Deutschland [eigene Darstellung nach (schriftliche Auskunft Payerl, 2013) und (Ökobau.dat, 2009)]

3.4.3 Block C: Strohbauweise mit Stahlbetondecken

• Allgemeines

Wie in „Neues Bauen mit Stroh“ (Gruber et al., 2008) beschrieben, fand der Strohbau seinen Anfang um 1800 in den USA, wo er als billige und nachhaltige Bauweise in den Gegenden, in denen viel Getreide angebaut wurde, galt.

Im Süden der USA, der eher holzarm ist, wurden viele Gebäude mit Stroh errichtet. Nachdem der Baustoff zwischen den 50ern und frühen 80ern in Vergessenheit geraten war, wurde er den Menschen ab 1974 wieder in Erinnerung gerufen.

Die Vor- und Nachteile der Strohbauweise sind in der nachfolgenden Tabelle gegenübergestellt:

Tabelle 8: Vor- und Nachteile des Strohbaus [Datenquelle: (Wimmer et al., 2010)]

Vorteile	Nachteile
Gute Verfügbarkeit des Rohstoffs	Verhältnismäßig großer Platzbedarf, um gleiche Dämmwirkung zu erhalten
Geringe Transportwege durch regionale Anbieter	Anfällig gegenüber Feuchte zum Zeitpunkt des Einbaus, darum ist immer auf gute Abdeckung zu achten
Niedriger Primärenergieverbrauch (nicht regenerierbar)	Zertifiziertes Produkt verhältnismäßig teuer
Keine Zusätze für Brandschutz und Schädlingsschutz notwendig	Qualitätsabhängigkeit von Ernte (Feuchtwetterperiode, Restkornanteil)
Hoher Anteil an Eigenbau möglich	
Vollständig kompostierbar	
Gesundheitlich unbedenklich	
Ohne Einsatz von Zusatzstoffen verwendbar	
Kostengünstiger Bezug von regionalen Anbietern möglich	

- **Referenzprojekte:**

- Santa Clarita Transit Maintenance Facility (siehe Abbildung 30 und 31)

Inzwischen gibt es fachmännische Lösungen des Strohbaus auf der ganzen Welt, wie zum Beispiel die „Santa Clarita Transit Maintenance Facility (TMF)“ (Inhabitat, 2007). Es handelt sich dabei um das erste Strohballenhaus, das im Jahr 2006 durch LEED mit Gold ausgezeichnet wurde. Die TMF ist ein Beispiel für eine nachhaltige Strohbauweise am derzeitigen Stand der Technik. (Gruber et al., 2008)

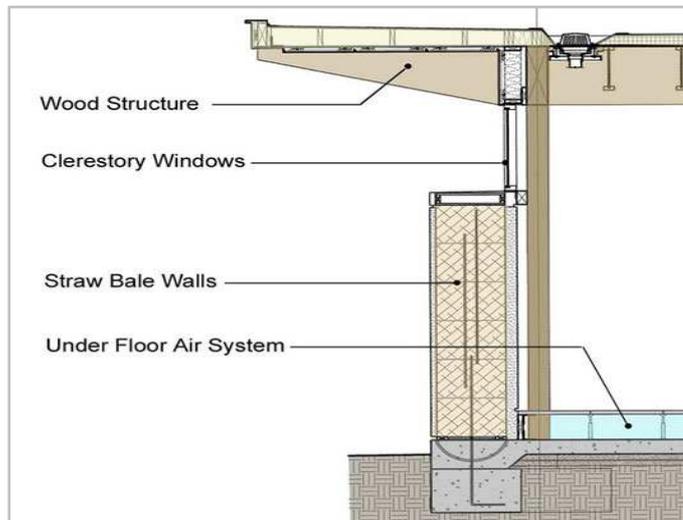


Abbildung 30: Detail Santa Clarita Transit Maintenance Facility (Inhabitat, 2007)



Abbildung 31: Santa Clarita Transit Maintenance Facility Erbauungsphase (Inhabitat, 2007)

- S-House, Böheimkirchen (siehe Abbildung 32 und 33)

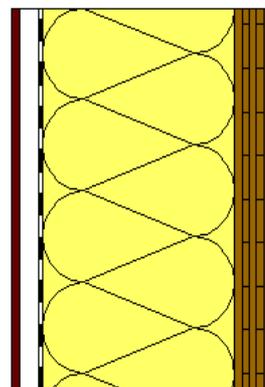
In Österreich ist ein maßgebendes Strohbauprojekt das „S-House“ in Böheimkirchen (siehe Abbildung 33):

Projektart: Neubau- und Ausstellungsgebäude in Passivhausstandard
Bauherr: GrAT, Gruppe Angepasste Technologien, TU Wien
Planung: Architekten Scheicher ZT GmbH; JR Consult;
 Isocell Zellulosedämmung und Luftdichtheitssysteme



Größe: 332,5 m²
Bauweise: Leichtbau, KLH Platten; 50 cm Strohdämmung, lehmverputzt
Energiekennzahl: 8 kWh/(m²*a)
Heizlast: 8,9 W/m²
Luftdichtheit n50: 0,32/h

Mit speziell entwickelten Methoden (z.B. direkter Lehmputz auf Stroh aus recyceltem Aushubmaterial oder einer unterlüfteten Gebäudeplatte) gilt das S-House als besonders innovativ und dient unter anderem als Veranstaltungsort und ständiger Ausstellungsort (GrAT, 2013). Die Baustoffe und der Entwurf greifen den Grundsatz der Nachhaltigkeit, welcher im Kapitel 2 formuliert wurde, auf. Das S-House befriedigt alle Bedürfnisse der BenutzerInnen in der Gegenwart, ohne zukünftigen Generationen Probleme hinsichtlich Entsorgung zu hinterlassen. (Treberspurg, 2013) und (BMVIT, o.J.)



Außen / kalt	
Dreischichtplatte	2.2 cm
Lattung 5/5	5.0 cm
Windsperr	0.1 cm
Strohballen auf Treeplastanker	50 cm
Kreuzlagenholz	9.5 cm
Innen / warm	

Abbildung 32: Aufbau Außenwand S-House [schriftliche Auskunft (Smutny, 2013) nach (Wimmer, 2006)]



Abbildung 33: S-House Böheimkirchen in der Erbauungsphase (Haus der Zukunft, 2004)



- Lehm Passivhaus Tattendorf (siehe Abbildung 34 und 35)

Dabei handelt es sich um ein weiteres Projekt, das im Rahmen des Forschungsauftrags „Haus der Zukunft“ geplant und umgesetzt wurde.

Projektart: Lehm Passiv-Bürohaus
Bauherr: Firma natur&lehm – Lehmbaumstoffe GmbH, Tattendorf
Planung: Arch. Prof. DI Reinberg; Dr. Karlheinz Hollinsky & Partner
ZT-GmbH; Univ. Prof. Dr. Krec und Ing. Waxmann
Isocell Zellulosedämmung und Luftdichtheitssysteme
Größe: 315,00 m²
Bauweise: Leichtbau, Holzriegelkonstruktion, 40 cm Strohdämmung
Energiekennzahl: 12 kWh/(m²*a)
Heizlast: 6,00 W/m²
Luftdichtheit n50: 0,4/h
(Treberspurg, 2013) und (BMVIT, o.J.)

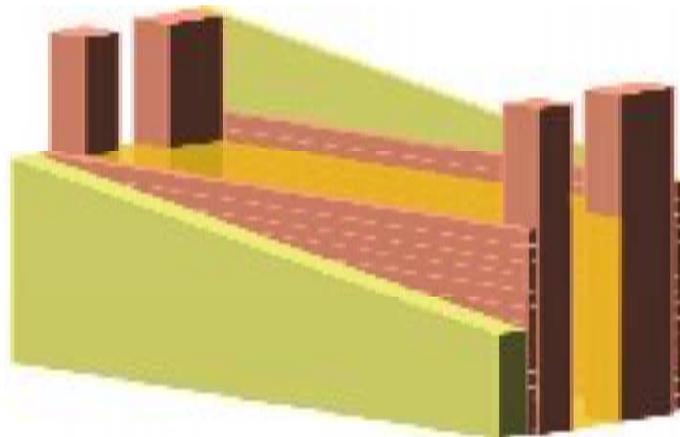


Abbildung 34: Wandaufbau Lehm Passiv-Bürohaus Tattendorf [aus (Meingast, 2005 S. 48)]



Abbildung 35: Stroheinbau in das Wandelement des Lehm Passiv-Bürohauses Tattendorf [aus (Meingast, 2005 S. 10)]

- **Amselgasse, Lasee**

Da es sich bei dem Projekt in Lasee um ein „Demonstrationsprojekt für einen ressourcenorientierten Wohnbau in vorgefertigter Holzbauweise mit Strohdämmung“ handelt, wird der Stand der Technik bei der Dämmung mit Stroh beschrieben. Bei Block C wird die Außenwand mit einer Holzkonstruktion mit Strohdämmung ($d=40\text{ cm}$) ausgeführt (siehe Abbildung 36). Die (Zwischen-)decken werden größtenteils in Massivbauweise hergestellt und mit EPS gedämmt. Die Wohnungstrennwände werden im Block C mit Stahlbeton und Gipskartonwänden erbaut.

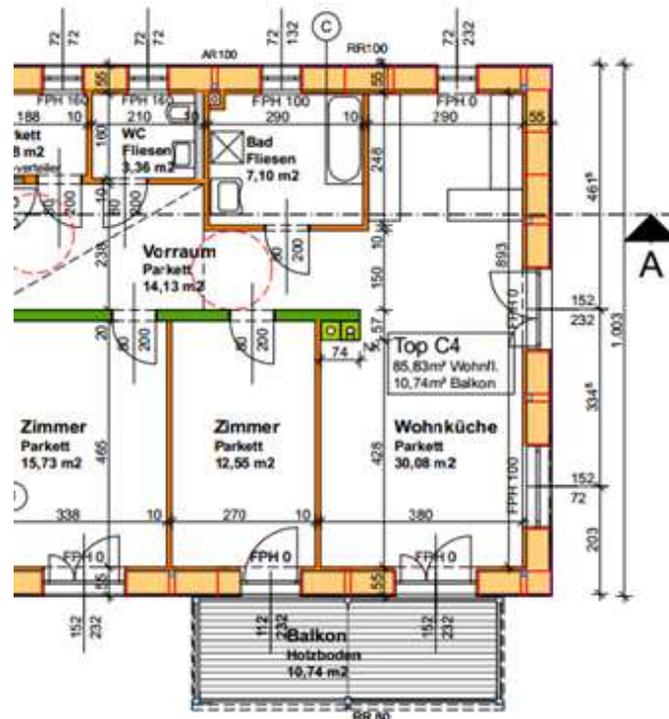


Abbildung 36: Planausschnitt Block C - Stroh (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)

In der Ökobau.dat Datenbank sind für Stroh als Dämmstoff keine entsprechenden Daten vorhanden. Diese werden in anderen Datenbanken ermittelt und manuell ergänzt.

Im baubook (baubook, 2010) finden sich für „Waldland Baustrohballen“ die aktuellen Werte für folgende Wirkungsindikatoren:

- Global Warming Potential
- Acidification Potential
- Total non-renewable Energy

Diese wurden laut der neuen EN 15804 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte) berechnet, welche vorschreibt, dass bei der Erstellung von Umweltproduktdeklarationen der untere Heizwert verwendet werden muss.

Da für die Berechnung der Ökobilanz alle Wirkungsindikatoren benötigt werden, wurden auf Nachfrage die restlichen Daten für alle in Punkt 2.5.3 genannten Wirkungskategorien vom IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH bereitgestellt. Diese Daten sind in Tabelle 9 ersichtlich. (Schriftliche Auskunft von Wurm, 2013).



Tabelle 9: Strohdaten für alle Wirkungsindikatoren [Datenquelle: (schriftliche Auskunft Wurm, 2013)]

PE _{nr}	PE _r	GWP	AP	POCP	EP	ODP
[MJ]	[MJ]	[kg CO ₂ -Äq.]	[kg SO ₂ -Äq.]	[kg C ₂ H ₄ -Äq.]	[kg PO ₄ -Äq.]	[kg R11-Äqv.]
0,801*	17,32	-1,25*	0,000852*	0,0000356	0,00198	0,00000000625

* baubook

Rest: Auskunft von Markus Wurm (IBO)

Die Daten beinhalten die Aussaat, Düngung, Schädlingsbekämpfung und Ernte inklusive der Infrastruktur und den landwirtschaftlichen Maschinen. Die Korntrocknung fließt nicht in die Berechnung der Ökokennzahlen ein, da das Stroh vor der Trocknung den Produktionsprozess verlässt. (Wurm, 2013)

Der ökonomische Allokationsfaktor beträgt 89,9 % für das Korn. Jeweils 700 kg Stroh werden zu Ballen gepresst und in PE-Folie verpackt. Der Allokationsfaktor ist ein dimensionsloser Faktor, der angibt, welcher Anteil der Inputs und des Herstellungsprozesses den jeweiligen Produkten zugeordnet werden kann. (Wurm, 2013)

Bei dem bilanzierten Baustoff Stroh handelt es sich um „Waldland Baustoffballen“. Diese werden seit 20 Jahren aus 100 % Weizenstroh hergestellt und finden in erster Linie Verwendung in der Lebensmittel- und Pharmaindustrie. Durch ein konstantes Monitoring wird von Waldland eine hohe ökologische Qualität des Baustoffs Stroh gewährleistet, ohne bei technischen Eigenschaften, wie Wärmeleitfähigkeit, Dichte, Stromungswiderstand, biologische Stabilität, Brandschutzklasse und Formhaltigkeit Abstriche einzugehen. (Waldland, o.J.)

Die Tabelle 10 enthält die Kenndaten der Strohbauweise des Blocks C, die benötigt werden zur Berechnung der Ökobilanz mit dem Excel LCA Tool.

Tabelle 10: Kenndaten Strohbauweise LCA Tool [Datenquelle: (schriftliche Auskunft Wurm, 2013) und (Ökobau.dat, 2009)]

Baustoff EAW	Datensatz Ökobau.dat	EOL Ökobau.dat	Dichte	Nutzungsdauer
	2.31.01	3.4		
Strohdämmung	Strohdämmung, Strohballen, Waldland 105 kg/m ³	EOL Holz, naturbelassen in MVA	105 kg/m ³	30 Jahre
		Annahme	Waldland	Annahme

3.4.4 Vergleich signifikanter Bauteile der verschiedenen Bauweisen

Um die Konstruktion und Ergebnisse der Ökobilanz zu erklären, ist es notwendig, auf die Konstruktion der Blöcke A bis C etwas genauer einzugehen. Signifikante Unterschiede sind vor allem in der Deckenkonstruktion zu erkennen. Während in Block A und C Stahlbetondecken zum Einsatz kommen, wird in Block B auf die tragenden Porenbetonwände eine Holzmassivdecke gelegt.

Die Zwischenwände werden in Block A sowie in Block C mit Stahlbeton ausgeführt. In Block B kommt, wie auch in der tragenden Außenwandkonstruktion bei den Wohnungszwischenwänden Porenbeton zum Einsatz.

Wie erwähnt, werden die Außenwände im Block A in Ziegelmassivbauweise mit EPS Dämmung ausgeführt, Block B vertraut auf eine Porenbetonkonstruktion mit EPS Dämmung und im Block C kommt eine Holzleichtbaukonstruktion mit Stahlstützen als konstruktive Einheit und Stroh als Dämmstoff zum Einsatz.

In der nachfolgenden Tabelle wird ein Überblick über signifikante Bauteile der verschiedenen Bauweisen gegeben. Es wurden maßgebende Bauteile herausgegriffen, die in den jeweiligen Bauweisen die größten Flächen bedecken und Unterschiede aufweisen.

Tabelle 11: Vergleich signifikanter Bauteile [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

Block A – Massivbauweise							
AD 3b Decke über 1.OG Stahlbeton	d [m]	AW-Ao (s,w,n) Außenwand Ziegel	d [m]	WD2ca Wohnungszwischendecke Stahlbeton	d [m]	Zwischenwand „J“	d [m]
Abdichtung	0,01	Silikat Dünnputz	0,002	Bodenbelag	0,02	Gipskarton	0,0125
EPS Dämmung	0,35	Unterputz	0,003	Zementestrich	0,055	Mineralwolle	0,07
Dampfsperre	0,0022	EPS – F	0,26	PE - Folie	0,0002	Stahlbeton	0,2
Gefällebeton i. M.	0,08	Hochlochziegel	0,25	Mineralwolle	0,03	Spachtelung	0,005
Stahlbetonplatte	0,22	Innenputz	0,015	Gebundene Dämmung	0,055		
Spachtelung	0,005			Stahlbetonplatte	0,2		
				Bodenbelag	0,005		

Block B – Porenbeton

AD 3b Decke über 1. OG Holzmassiv- decke	d [m]	AW-Bo (s,w.n) Außenwand Porenbeton	d [m]	WD2c Wohnungszwi- schendecke Holzmas- sivdecke	d [m]	Zwischenwand „K“	d [m]
Abdichtung	0,01	Silikat Dünnputz	0,002	Bodenbelag	0,02	Innenputz	0,01
EPS Dämmung	0,35	Unterputz	0,003	Zementestrich	0,055	Mineralwolle	0,055
Dampfsperre	0,0022	EPS – F	0,16	PE - Folie	0,0002	Porenbeton P4	0,2
Gefällebeton i. M.	0,1	Porenbeton P2	0,30	Mineralwolle – Trittschall- dämmung	0,03	Spachtelung	0,005
Massivholzdecke verleimt	0,15	Innenputz	0,015	Gebundene Dämmung	0,055		
Luftraum	0,035			Massivholzdecke verleimt	0,15		
GK-F Platte	0,015			Luftraum	0,035		
				GK-F Platte	0,015		

Block C – Holzleichtbau mit Strohdämmung

AD3 Decke über 1. OG Stahlbeton	d [m]	AW-Co (s,w,n) – Außen- wand Stroh	d [m]	WD2 Wohnungszwi- schendecke Stahlbeton	d [m]	Zwischenwand „J“	d [m]
Abdichtung	0,01	Silikat Dünnputz	0,002	Bodenbelag	0,02	Gipskarton	0,0125
EPS Dämmung	0,35	Unterputz	0,003	Zementestrich	0,055	Mineralwolle	0,07
Dampfsperre	0,0022	Weichfaserplatte	0,04	PE - Folie	0,0002	Stahlbeton	0,2
Gefällebeton i. M.	0,08	MDF Platte	0,015	Mineralwolle – Trittschalldämmung	0,03	Spachtelung	0,005
Stahlbetonplatte	0,22	Strohdämmung Holz	0,4	Gebundene Dämmung	0,055		
Spachtelung	0,005	OSB Platte	0,015	Stahlbetonplatte	0,2		
		Steinwolle	0,05	Bodenbelag	0,005		
		2xGP-F Platten	0,03				

Im Anhang 6 findet sich eine Gegenüberstellung des Gewichts der Dämmstoffe signifikanter Bauteile und im Anhang 7 ein Vergleich des Gewichts der Außenwände zur Veranschaulichung der markanten Unterschiede im Aufbau der Außenwände.



3.5 Bauwerkskosten

Tabelle 12: Übersicht über die Bauwerkskosten gegliedert nach Gewerkeebenen [Datenquelle: (Treiberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]

	Block A Ziegelmassivbauweise	Block B Porenbetonbauweise	Block C Stroh-Holz-Leichtbau	SUMME
Baumeisterarbeiten	€ 334.846	€ 327.180	€ 309.967	€ 971.995
Zimmermeister	€ 14.521	€ 86.270	€ 147.148	€ 247.946
Schwarzdecker	€ 28.545	€ 30.634	€ 28.192	€ 87.372
Spengler	€ 13.994	€ 14.151	€ 14.307	€ 42.454
Gartengestaltung	€ 28.260	€ 25.986	€ 26.575	€ 80.823
Fenstertischler	€ 48.290	€ 49.430	€ 49.430	€ 147.152
Verglaste Rohrahmenelemente	€ 8.257	€ 8.257	€ 8.257	€ 24.772
Türensyste	€ 17.566	€ 15.286	€ 15.286	€ 48.139
Schlosserarbeiten und konstruktiver Stahlbau	€ 56.592	€ 57.371	€ 57.455	€ 171.420
Trockenbauarbeiten	€ 28.010	€ 39.971	€ 41.608	€ 109.592
Kunststein	€ 12.609	€ 12.609	€ 12.609	€ 37.828
Fliesen	€ 12.574	€ 13.645	€ 13.634	€ 39.855
Kautschukböden	€ 4.676	€ 0	€ 0	€ 4.677
Laminatböden	€ 10.012	€ 11.401	€ 11.430	€ 32.845
Maler und Anstreicher	€ 14.860	€ 14.423	€ 14.783	€ 44.068
Treppenlift	€ 9.390	€ 9.390	€ 9.390	€ 28.172
Spielgeräte, Bänke	€ 2.199	€ 2.199	€ 2.199	€ 6.600
SUMME	€ 645.199	€ 718.203	€ 762.269	€ 2.125.670

In oben stehender Tabelle 12 sind die Kosten der verschiedenen Bauweisen nach Gewerkeebenen getrennt gegenübergestellt. Vor allem die Kosten des Blocks A (Ziegelmassivbauweise) sind durch Baumeisterarbeiten geprägt; mehr als die Hälfte der Bauwerkskosten dieses Blocks werden in der Kategorie „Baumeisterarbeiten“ verursacht.



Auf die Kosten der Blöcke B (Porenbeton mit Holzmassivdecke) und C (Holzleichtbau mit Strohdämmung) haben vor allem die Zimmermeisterarbeiten einen signifikanten Einfluss. Im Vergleich zu Block A liegen bei Block B die Zimmermeisterarbeiten bei einem ungefähr 6-mal so hohen Wert, der Block C liegt in diesem Gewerbe kostentechnisch sogar 10-fach über Block A.

In der Kostenzusammenstellung ist klar ersichtlich, dass es am kostengünstigsten ist, die Ziegelmassivbauweise des Blocks A auszuführen. Die Mehrkosten, die bei der Erbauung von Block B entstehen, liegen ca. 10 %, jene des Blocks C ungefähr 20 % über den Kosten des Blocks A. Dies erklärt auch, warum vom Bauherrn die Entscheidung getroffen wurde aus Kostengründen in der ersten Bauphase die Blöcke A bis C in Massivbauweise (Block A) zu erbauen und die Planungsvarianten B und C zu vernachlässigen. Eine graphische Darstellung der Kosten ist in Abbildung 37 ersichtlich.

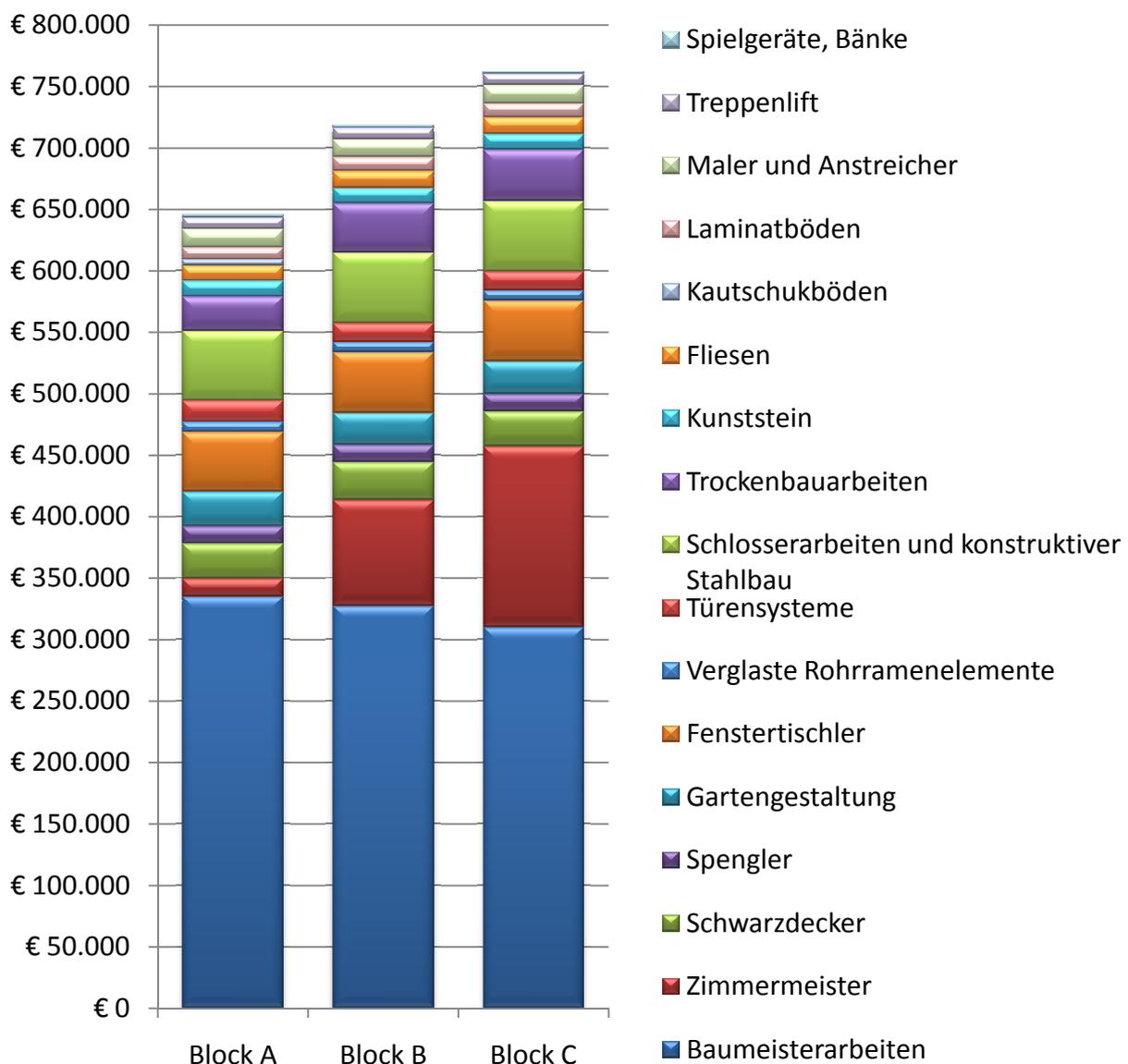


Abbildung 37: Graphische Darstellung der Bauwerkskosten gegliedert nach Gewerbeebenen [eigene Darstellung nach (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]

4. Arbeitsschritte und methodisches Vorgehen

Aufbauend auf die als Basis der Arbeit dienenden Pläne und bereits berechneten Energieausweise der Treberspurg & Partner Architekten ZT-GMBH soll durch eine Erstellung der Ökobilanz der drei Wohngebäude und eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse ermittelt werden, welches der mehrgeschossigen Wohngebäude, die ursprünglich für den ersten Bauzyklus in Lasee geplant wurden, hinsichtlich der ökologischen Lebenszyklusbewertung als optimiert zu bezeichnen ist.

Zur Bestimmung eines lebenszyklusoptimierten, ökologischen Gebäudes und um die im Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen zu beantworten, müssen die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt werden.

4.1 Zusammenstellung der Unterlagen

Im Austausch mit Treberspurg und Partner Architekten Ziviltechniker GmbH erfolgte eine Zusammenstellung der Unterlagen. Es wurden die Pläne, Energieausweise und allgemeine Informationen zum Projekt zur Verfügung gestellt. Das Kapitel 3 enthält eine überblicksmäßige Zusammenstellung der verfügbaren Informationen des Projekts Amselgasse, Lasee.

Mit den Daten der Energieausweise (Krapfenbauer, 2011) wird die Sachbilanz laut der Vorgehensweise im Punkt 2.5 erstellt. Bei der Erstellung der Sachbilanz werden die eingesetzten Materialien erfasst und Gebäudemassen ermittelt. Im Energieausweis sind alle Fenster einzeln ausgewiesen und die Außenwand-, Decken- und Zwischendeckenaufbauten detailliert aufgelistet.

Um die Zwischenwandaufbauten festzustellen, wurden die Einreichpläne (siehe Anhang 8) studiert und die in Tabelle 13 und Tabelle 14 ersichtlichen Informationen ermittelt:

Tabelle 13: Lichte Raumhöhe der Blöcke A,B und C [Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]

Raumhöhen [m]	Block A	Block B	Block C
Erdgeschoss	2,60	2,60	2,60
Arbeitsraum	2,50	2,50	2,50
1. Obergeschoss	2,60	2,60	2,60

Tabelle 14: Aufbauten und Flächen der Innenwände der Blöcke A, B und C [Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]

Aufbauten Innenwände Block A und C		Flächen Block A [m ²]	Flächen Block C [m ²]
Gipskartonwände	10 cm Gipskarton	262,72	294,55
Stahlbetonwand	20 cm Stahlbeton	50,45	44,03



Aufbau „J“ (Zwischenwand Block A&C)	1,25 cm Gipskarton	135,25	123,79
	7 cm Mineralwolle	135,25	123,79
	20 cm Stahlbeton	135,25	123,79
	0,5 cm Spachtelung	123,79	
Aufbauten Innenwände Block B			Flächen Block B [m²]
Gipskartonwände	10 cm Gipskarton		218,11
Porenbetonwand	20 cm Porenbeton P4		104,18
Aufbau „K“ (Zwischenwand Block B)	1 cm Innenputz		125,81
	5,5 cm Mineralwolle/ Putzträger		125,81
	20 cm Porenbeton P4		125,81
	0,5 cm Spachtelung		125,81

Die Informationen aus den Plänen sind zentral, um die Ökobilanz des gesamten Gebäudes zu ermitteln. Da es sich bei den Längen und Flächen um Abschätzungen vom Plan handelt, ist eine gewisse Ungenauigkeit nicht auszuschließen. Leichte Abweichungen deckt die Ökobau.dat mit ihrem Sicherheitszuschlag von 10 % ab.

4.2 Systemabgrenzung

Bei der Systemabgrenzung wurde festgelegt, dass bei der Ökobilanzierung mittels vereinfachten Verfahren die Gebäude und deren Komponenten über den gesamten Lebenszyklus betrachtet werden sollen. Des Weiteren werden die Geräte- und Fahrradabstellräume und der Müllraum bilanziert. Die restlichen Außenanlagen, wie z.B. PKW Stellplätze, Gartenwege, Kinderspielplätze, werden von der Ökobilanzierung ausgenommen, da diesbezüglich keine Daten zur Verfügung stehen. In der Herstellungsphase werden die Transporte von und zu der Baustelle ebenso vernachlässigt wie die Baustellenprozesse. Ein Sicherheitszuschlag von 10 % für die Vereinfachung des Verfahrens wird bei der Berechnung in der Ökobau.dat automatisch angesetzt. Das vereinfachte Verfahren betrifft ebenfalls die Haustechnikanlagen. Es werden lediglich die Lüftungsanlage und Solarthermiekollektoren mitberücksichtigt, jedoch keine Verteilleitungen und keine Wärmeabgabenanlagen.

In der Nutzungsphase wird nur der Austausch von Bauteilen mit einer Lebensdauer unter 50 Jahren berücksichtigt. Alt-Bauteile werden dem EOL zugeführt. Zukünftige



Entwicklungen können nicht vorhergesehen und müssen daher vernachlässigt werden, ebenso wie Wartung, Inspektion und Verbesserungen.

In der End of Life Phase sind sämtliche Materialien der Herstellungsphase zu berücksichtigen und zu klassifizieren (siehe Tabelle 18)

In Abbildung 38 ist dargestellt welche Phasen im Rahmen der Arbeit nicht bilanziert wurden, diese sind blau hinterlegt.

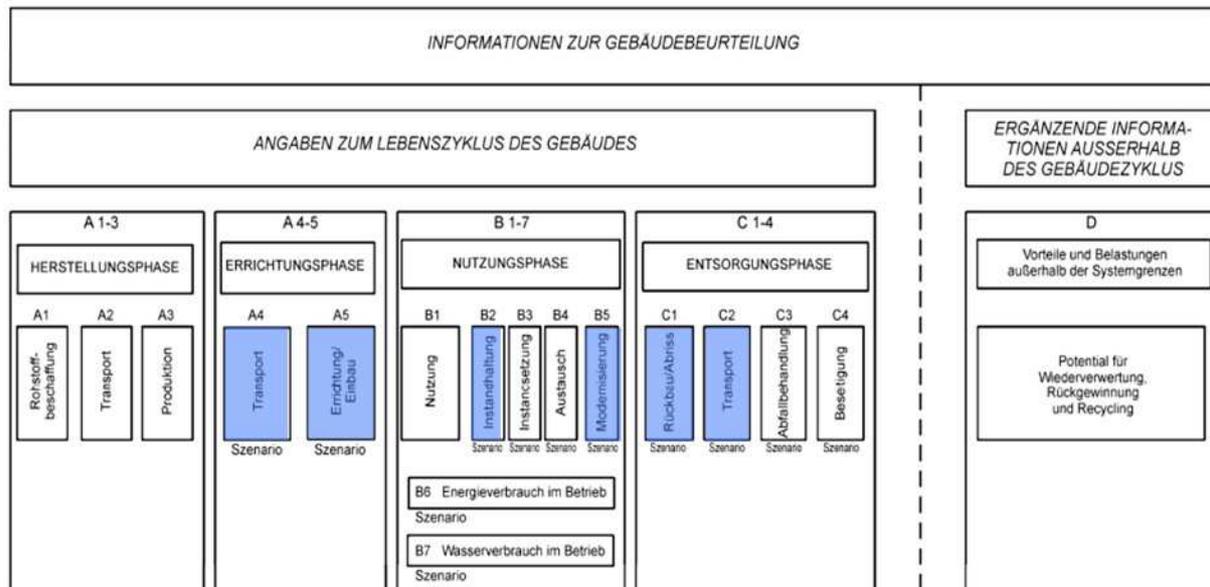


Abbildung 38: Darstellung der nicht bilanzierten Phasen (blau hinterlegt) [eigene Darstellung nach (ÖNORM EN 15978)]

4.3 Durchführung der Ökobilanzierung und Vergleich der Ökobilanzen der drei Bauweisen

Die Ökobilanzierung wird grundsätzlich mithilfe der Daten der Baustoffdatenbank Ökobau.dat – Informationsportal Nachhaltiges Bauen durchgeführt. Die Strohdaten wurden jedoch von der Datenbank baubook: Ökologische Bauprodukte – Energieinstitut Vorarlberg und IBO GmbH ermittelt.

4.3.1 Informationen über die Datenbanken

Die Ökobau.dat – als für diese Diplomarbeit wichtigste Datenbank – ist ein umfassendes Portal, in dem Herstellung, Nutzung und End of Life getrennt betrachtet werden und für alle Phasen Datensätze vorhanden sind. Sie bestimmt globale ökologische Wirkungen und stellt für alle Akteure eine Datenbasis für die ökologische Bewertung von Gebäuden dar. In ungefähr 950 Datenblättern werden Materialien, Bau- und Transportprozesse hinsichtlich ihrer Wirkung in den Bereichen Herstellung, Nutzung und End of Life beschrieben. Da es sich um eine deutsche Datenbank handelt, liegt den Datensätzen der deutsche Strommix zugrunde (siehe auch Kapitel 3), wodurch sich Unterschiede bei den Indikatoren gegenüber Österreich ergeben. Diese werden jedoch im Rahmen der vorliegenden Arbeit größtenteils vernachlässigt. Es soll bei der vorliegenden Masterarbeit bei der Berechnung der Ökobilanzen auf Daten der Ökobau.dat zurückgegriffen werden.



Ein Beispiel für ein Ökobau.dat Datenblatt ist dem Anhang 1 zu entnehmen.

Da für Stroh als Dämmstoff keine Daten vorhanden sind, müssen diese Daten, wie bereits erwähnt, aus der baubook Datenbank des IBO ermittelt werden.

Die Plattform baubook (www.baubook.at) unterstützt Hersteller und Händler, Bauherren, Kommunen, Bauträger und Planer sowie Berater und Handwerker bei der Umsetzung von nachhaltigen Gebäuden. Sie liefert ökologische Kriterien zur Produktbewertung, eine kostenlose Produktdatenbank mit vielfältigen Informationen, online Produktdeklarationen u.v.m.

Ein Beispiel für einen Datensatz des baubooks ist im Anhang 2 dargestellt.

4.3.2 Dateneingabe ins Excel LCA Tool

Zur Berechnung der Ökobilanz wird ein Excel Tool verwendet, welches von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau der Universität für Bodenkultur auf Basis der Daten der Ökobau.dat 2009 erstellt wurde.

Wie oben erwähnt, wird aus den Energieausweisen, die von Treberspurg & Partner Architekten ZT GmbH zur Verfügung gestellt wurden, der je nach Bauweise unterschiedliche Aufbau der verschiedenen Bauteile und die Bauteilflächen herausgearbeitet (bei Außenwänden, Zwischendecken und Decken). Der Aufbau der Zwischenwände und Außenanlagen wird aus den Plänen ermittelt. Zusätzlich wird für alle Innen- und Außenwände eine Innen- und Fassadenfarbe bilanziert.

Es wird zusätzlich eine 4. Variante ins LCA Tool eingegeben, welche dem Block B – Porenbeton entspricht, jedoch ein anderes Dämmmittel verwendet, nämlich die Multipor Dämmplatten der Ytong Xella Porenbeton Österreich GmbH. Die Ergebnisse der Ökobilanz dieser Variante Block B2 werden ebenso mit den anderen Blöcken verglichen.

Um in der Außenwand und in den (Zwischen-)decken im Block B2 dieselbe Dämmwirkung beizubehalten, wurde die Dicke der Dämmung bei der Variante mit Multipor angepasst. Eine Übersicht über die neuen Dicken ist in Tabelle 15 dokumentiert. Eine Prüfung, ob es tatsächlich Platten in dieser Dicke gibt, wurde nicht durchgeführt. Die Variante B2 dient nur zur Veranschaulichung der Frage, ob es ökologisch besser ist, eine Multipor Dämmung mit einer Porenbetonbauweise zu kombinieren.

Tabelle 15: Äquivalente Schichtdicke Multipor Dämmung Block B2 [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

Bauteil	Dicke EPS Block B laut EAW [m]	Lambda EPS laut EAW [W/mK]	Ableitung Dicke Multipor Block B2 [m]	Lambda Multipor Dämmplatten [W/mK]
AD3b	0,35	0,032	0,49	0,045
AD4a	0,24	0,032	0,34	0,045
AW-Bn(o,s,w)	0,16	0,040	0,18	0,045



AW- Dn(o,s,w)	0,20	0,040	0,23	0,045
EB1	0,22	0,038	0,26	0,045
EB1a	0,22	0,038	0,26	0,045
WD3a	0,1	0,038	0,12	0,045
WGU-H	0,16	0,040	0,18	0,045

Die Ökobau.dat ist wie in Tabelle 16 ersichtlich aufgebaut, die Materialgruppen werden vom LCA Tool bei der Eingabe der Datensätze automatisch übernommen.

Tabelle 16: Materialgruppen in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]

Materialgruppen Ökobau.dat	EOL-Gruppen	
1	Min	Mineralisch
2	Heiz Min	Dämmstoffe (inkl. Biogen und Egger-Platten)
3	Heiz	Biogen (Holz- und Holzwerkstoffe wie z.B. Holzzementplatten)
4	Met	Metalle
5	Mix	Farben, Lacke
6	Heiz	Kunststoffe (inkl. Wasserrohre), Linoleum, Textiler Bodenbelag
7	Mix	Fenster (Holz, Metall, Kunststoff, Mineralisch)
8		Haustechnik*
9	Mix	Transporte*
10	Mix	Eigens zugefügte EP*

* Wie bereits im Punkt 4.2 erwähnt, werden die Transporte (9) von und zu der Baustelle vernachlässigt. Die eigens zugefügte EP (10) bleiben ebenfalls unberücksichtigt, da diesbezüglich keine Daten vorhanden sind.



112	Fußboden Gerätestellraum	7,50	100%	0,1000	2400	
113		7,50	100%	0,0002	980	
114		7,50	100%	0,2500	1800	
115	Wand Geräte-AR	27,50	100%	0,0200	661	
116		27,50	20%	0,0800	529	

Navigation: ZUSAMMENFASSUNG **ÖKOBILANZ** Ökobaudat2009 Fenster

Status: Bereit

Abbildung 39: Überblick über die Tabs im LCA File (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)

Der Aufbau wird so realitätsnah wie möglich vom Fenster „Ökobaudat 2009“ für alle drei Bauweisen in die ÖKOBILANZ Excel Liste übertragen (siehe Abbildung 39), wobei leichte Abweichungen und Vereinfachungen nicht zu verhindern sind.

- **Herstellung**

Zunächst muss die Bauteilgruppe festgelegt werden (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Bauteilgruppen in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]

Bauteil Gruppen	Beschreibung
AW	Außenwände und Kellerwände inkl. Fenster und Beschichtungen
oD	Dach
ID	Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und -belägen / Beschichtungen
uD	Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und -belägen sowie Geschossdecken
Fu	Fundamente
IW	Innenwände inklusive Beschichtungen sowie Stützen
Tü	Türen
Wä	Wärmeerzeugungsanlagen

Bei Übertragung der Datensätze der Herstellungsphase vom Tab „Ökobaudat 2009“ in das Tab „ÖKOBILANZ“ (siehe Abbildung 39) werden automatisch die zugehörigen Material- und EOL-Gruppen eingetragen (siehe Tabelle 16 bzw. Tabelle 18).

Tabelle 18: EOL-Gruppen-EOL-Datensätze in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]

EOL-Gruppen	Beispiel	EOL-Datensatz
Min	Zementestrich	Bauschutttaufbereitung
Mix	Farben, Lacke	Deponie
Heiz	EPS, Kunststoffe	Verbrennung PS/Kunststoff in MVA incl. Gutschrift



Met

Aluminium-Blech

Recyclingpotential Aluminium (Blech und Profile)

Die Dichte der Baustoffe wird meistens direkt aus den Files, die den Ökobau.dat Datensätzen angehängt sind, herausgelesen (siehe Anhang 1). Wenn in diesen kein Wert vorhanden ist, werden Daten des Katalogs für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen herangezogen. (ON V 31, 2001)

Die Werte werden verwendet, um eine Mengenermittlung durchzuführen (siehe Abbildung 40).

Für die Mengenermittlung stehen drei Optionen zur Verfügung, die „Mengenermittlung mittels Bauteilschichten“, die „Mengenermittlung pro Fläche“ und die „Mengenermittlung absolut“, wobei nur die beiden erstgenannten bei der vorliegenden Arbeit zum Zug kommen (siehe Abbildung 40). Mit ihnen werden fast alle Baustoffmassen ermittelt, nur die Fenster werden mit der „Mengenermittlung absolut“ bilanziert.

Im Energieausweis ist nur die gesamte Fensterfläche gegeben. Um die Datensätze Rahmen und Glasfläche getrennt in die Ökobau.dat eingeben zu können, müssen darum überschlagsmäßige Annahmen getroffen werden. Zur Ermittlung der Glasflächen wird angenommen, dass der Rahmen einen Anteil von 30 % an der Gesamtfläche des Fensters und die Glasfläche in etwa einen Anteil von 70 % der Gesamtfläche hat. Mit diesem Ansatz wird die Masse der Glasflächen ermittelt:

$$A_g = F_f * A_w$$

A_g ... Glasfläche

A_w ... Fensterfläche

F_f ... Abminderungsfaktor = 0,7

Weiters wurde bei der Berechnung der Masse des Kunststofffensters beim Glas-Datensatz das Flächengewicht mit dem Faktor 1,5 multipliziert, um der im EAW beschriebenen 3-fach Verglasung gerecht zu werden.

Da der Ökobau.dat Datensatz für die Rahmen in der Einheit Laufmeter angegeben wird, wird die Länge der Rahmen sowohl für Kunststoff-, als auch Alurahmen wie folgt abgeschätzt:

$$l_G = 3 \times A_w. \text{ Daraus folgt: } 3l_G/m^2 A_w$$

l_G ... Umfang der Verglasung



AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR
Mengenmittlung (Daten bei 1., 2. oder 3. eingeben)										
1. Mengenermittlung mittels Bauteilschicht				2. Mengenermittlung pro Fläche				3. Mengenermittlung absolut		
Flächenanteil	Schichtdicke	Dichte	Quelle Dichte	Menge pro Fläche	Einheit	Flächenanteil	kg / Einheit	Menge absolut	Einheit	kg / Einheit
%	m	kg/m ³		Einheit: m ² , kg, lfm, Stück		%	kg	Einheit: m ² , kg, lfm, Stück		kg
% eingeben				Zeile frei lassen		% eingeben		Zeile frei lassen		
100%	0,0550	123								
100%	0,1500	515								
10%	0,0350	661								
				1,00 m ²		100%	10			
				1,00 m ²		100%	0,15			
100%	0,0600	1900								
100%	0,0002	980								
100%	0,1000	30								
100%	0,2200	2400								
100%	0,0050	1200								
				1,00 m ²		100%	0,15			
100%	0,0020	1500								
100%	0,0030	1200								
100%	0,1600	15								
100%	0,2000	380								

Abbildung 40: Durchführung der Mengenermittlung im LCA Tool (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)

Mit oben genannten Annahmen ist es möglich, die Massen der Fenster zu ermitteln und in die Ökobilanz einfließen zu lassen (die Anwendung ist in Anhang 4 festgehalten).

Das Ergebnis in diesem ersten Schritt stellt eine Massenermittlung dar. Mittels einer Sachbilanz wird eine quantitative und wertfreie Aussage über den Lebenszyklus von diversen Baustoffen gemacht.

- **Instandhaltung**

Für die Instandhaltungsphase wird die Nutzungsdauer der Baustoffe laut den Angaben des Nutzungsdauerkatalogs (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006) ermittelt und in die Tabelle eingetragen (siehe Abbildung 41).

Die Nutzungsdauer bestimmt, wie oft ein Baustoff in der Lebensdauer eines Bauwerks, welche auf 50 Jahre festgelegt ist, ersetzt werden muss. Die Nutzungsdauern der Baustoffe wurden mithilfe des Nutzungsdauerkatalogs (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006) ermittelt (eine genaue Auflistung der Datensätze findet sich in Anhang 3). Es wird auch berücksichtigt, dass die Nutzungsdauer eines Baustoffs nicht zwingend der Nutzungsdauer des Baustoffs im Bauteil entspricht (siehe Abbildung 41).



So hätte z.B. Silikatputz eine Nutzungsdauer von 40 Jahren. Wird jedoch die EPS Dämmung, welche nur eine Nutzungsdauer von 30 Jahren hat und sich unter dem Putz befindet, getauscht, muss der Putz ebenso entfernt werden und seine Nutzungsdauer im Bauteil beträgt nur 30 Jahre.

Instandhaltung		Instandhaltung		
Nutzungs- dauer Baustoff	Quelle Nutzungs- dauer	Anmer- kunge n	Nutzungs- dauer im Bauteil	Ersatz in 50 Jahren
Jahre	Default: ND- Katalog-AT	optio- nal	Jahre	#
Anm.: 50 bedeutet mind. 50 Jahre				
30			30	1
80			80	0
50			50	0
30			30	1
7,5			7,5	6
50			30	1
50			30	1
30			30	1
80			80	0
70			70	0
7,5			7,5	6

Abbildung 41: Nutzungsdauer der Baustoffe (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)

Ein Überblick über die Daten hinsichtlich Nutzungsdauer und Dichte ist Tabelle 20 zu entnehmen.

- **End of Life**

Je nach Baustoff und entsprechender EOL-Gruppe (siehe Tabelle 18) muss ein dazugehöriger End of Life Datensatz manuell eingefügt werden:

Bei einigen Baustoffen ist der entsprechende EOL-Datensatz im File der Ökobau.dat zusätzlich vermerkt. Dies ist insbesondere der Fall, wenn mehrere EOL-Prozesse zutreffend wären.

Im Anhang 5 findet sich zur Veranschaulichung der Methodik ein Beispiel für die Dateneingabe der Bauteile AD4, AD3 und AW-An(o,s,w) von Block A.

- **Auswertung**

Die Auswertung erfolgt pro BGF. Diese Methode entspricht nicht der DGNB Methode, welche bei der Auswertung die NGF als Bezugsfläche heranzieht. Es ermöglicht jedoch die Option, die Unterschiede der Materialien zu bewerten, und verhindert eine Beeinflussung der Ergebnisse durch unterschiedlich große NGF, die sich durch variierende Außenwandstärken ergeben.

Tabelle 19: BGF Amselgasse [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

	Block A	Block B	Block C	Mittel
BGF [m ²]	606,18	596,97	610,54	604,56



Da die Abweichungen der BGF vom Durchschnittswert gering sind, werden die Auswertungen mit dem Mittelwert der BGF durchgeführt (siehe Tabelle 19).

Für den Heizwärmebedarf wird – wie bereits in Kapitel 3.3 erläutert – ein Durchschnittswert von 20,5 kWh/m²a angenommen.

Eine Sachbilanz und die Wirkungsbilanzen der diversen Wirkungsindikatoren für die verschiedenen Bauweisen werden jeweils aufgeschlüsselt nach folgender Gliederung gebildet:

- Materialgruppen Ökobau.dat (siehe Tabelle 16)
- Bauteilgruppen Ökobau.dat (siehe Tabelle 17)

Die gewählten Datensätze für die Berechnung der Ökobilanz mit dem Excel LCA Tool sind übersichtsmäßig in Tabelle 20 dargestellt. Wenn ein Datensatz nicht komplett gleichwertig war, wurde ein möglichst nahe daran liegender Datensatz gewählt. Angenommen wurde ein ähnlicher Baustoff und gleichwertiges λ (Lambda) oder ein Baustoff mit annähernd gleicher Dichte.

Für die Auswertung wird für die Blöcke A bis C die jeweilige Summe in allen Wirkungskategorien gebildet.

Die Resultate der diversen Analysen werden im Kapitel 5 aufbereitet.



Tabelle 20: Ökobau.dat Daten, EOL-Prozesse, Nutzungsdauer, Dichte [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011), (Ökobau.dat, 2009), (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006) und (ON V31, 2001)]

Baustoff laut EAW	Annahme Ökobau.dat	EOL-Prozess	Ökobau.dat Gruppe	Nutzungsd.	Dichte
Abdichtung	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Gutschrift	6	50	980
Anstrich	Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	Bauschutt-Deponierung	5	7,5	150 g/m ²
	Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	Bauschutt-Deponierung	5	12,5	220 g/m ²
	Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	Bauschutt-Deponierung	5	12,5	300 g/m ²
Betonplatten	Natursteinplatte hart Außenbereich	Bauschuttzubereitung	1	30	2600
bewehrtes Mörtelbett	Armierungsputzmörtel - IWM	Bauschuttzubereitung	1	50	1900
Bodenbelag	Mehrschichtparkett	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	22,5	6,5 kg/m ²
Dampfsperre	Dampfbremse PE	Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Gutschrift	6	40	920
Dünnputz	Silikatputz	Bauschuttzubereitung	1	40	1500
EPS - F	EPS PS 15	Verbrennung PS in MVA incl. Gutschrift	2	30	15
EPS Dämmung	EPS PS 30	Verbrennung PS in MVA incl. Gutschrift	2	30	30
Fenster	Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	Recyclingpotential Aluminium (Blech und Profile)	7	40	1,43 kg/m

4. Arbeitsschritte und methodisches Vorgehen



	Blendrahmen PVC-U	Bauschutt-Deponierung		25	2,8 kg/m
	Flügelrahmen PVC-U	Bauschutt-Deponierung	7	25	3,1 kg/m
	Isolierglas 3-Scheiben	Bauschuttzubereitung	7	40	30 kg/m ²
	Isolierglas 2-Scheiben	Bauschuttzubereitung	7	25	20 kg/m ²
Frostschürze	Betonfertigteil Decke, 20 cm	Bauschuttzubereitung	1	80	2400
gebundene Dämmung	Zellulosefaser Einblas-Dämmstoff	Bauschuttzubereitung	2	30	45
Gefällebeton i.M.	Transportbeton C20/25	Bauschuttzubereitung	1	40	2365
GK-F Platte	Gipskartonplatte (Feuerschutz)	Bauschuttzubereitung	1	30	10 kg/m ²
GP-F Platten	Gipskartonplatte (Feuerschutz)	Bauschuttzubereitung	1	30	10 kg/m ²
Gussasphalt	Gussasphalt	Bauschuttzubereitung	1	40	2400
Hochlochziegel	Mauerziegel Durchschnitt - Poroton	Bauschuttzubereitung	1	100	740
Holzmassivwand	Konstruktionsvollholz	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	40	529
Holzbalken lt. Statik	Konstruktionsvollholz	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	80	529
Holzsteher	Konstruktionsvollholz	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	80	529
Innenputz	Kalk-Innenputz	Bauschuttzubereitung	1	90	1600
Lärchenholzsichtholzschalung	Schnittholz Lärche	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	35	661
Lärchenrost	Schnittholz Lärche	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	35	661



4. Arbeitsschritte und methodisches Vorgehen

Lattung	Schnittholz Lärche	EOL Holz, naturbelassen in MVA	2	50	661
Luftraum	Schnittholz Lärche	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	50	661
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	Lüftung zentral mit WRG 5000m³/h	EOL Lüftung zentral mit WRG 5000m³/h	8	12	43
Massivholzdecke verleimt	Konstruktionsvollholz	EOL Holz, naturbelassen in MVA	3	80	529
MDF Platte	MDF - Egger	EOL MDF Egger	3	35	720
Mineralwolle	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	Bauschuttzubereitung	2	30	26
Mineralwolle - Trittschalldämmung	Mineralwolle (Boden-Dämmung)	Bauschuttzubereitung	2	20	85
Multipor Dämmplatten	Porenbeton-Dämmplatte - Multipor	Bauschuttzubereitung	2	30	110
OSB Platte	OSB (Durchschnitt)	EOL OSB (Durchschnitt)	3	40	619
PE-Folie	PE/PP Vlies	Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Gutschrift	6	50	980
Porenbeton P2	Porenbeton P2 04 unbewehrt	Bauschuttzubereitung	1	50	380
Porenbeton P4	Porenbeton P4 04 unbewehrt	Bauschuttzubereitung	1	50	472
Rollierung	Kies 16/32	Bauschuttzubereitung	1	50	1800
Sauberkeitsschicht	Transportbeton C20/25	Bauschuttzubereitung	1	40	2365
Silikat-Dünnputz	Silikatputz	Bauschuttzubereitung	1	40	1500
Spachtelung	Gips (CaSO4-Alpha-Halbhydrat)	Bauschuttzubereitung	1	70	1200

4. Arbeitsschritte und methodisches Vorgehen



Stahlbeton	Betonfertigteil Wand, 40 cm	Bauschuttzubereitung	1	80	2400
Stahlbetonplatte	Betonfertigteil Decke, 20 cm	Bauschuttzubereitung	1	80	2400
Stahlstütze (lt. Ausschreibungsunterlagen)	Stahlprofil	Recyclingpotenzial Stahlprofil, warmgewalzt	4	60	12-32,6 kg/m
Steinwolle	Steinwolleplatte - ISOVER	Bauschuttzubereitung	2	40	112,5
Strohdämmung	Strohdämmung, Strohballen, Waldland 105 kg/m ³	EOL Holz, naturbelassen in MVA	2	30	105
Solarthermieanlage	Solaranlage Flachkollektor	EOL Solaranlage Flachkollektor	8	20	15 kg/m ²
Terrazzoplatten	Steinzeugfliesen glasiert	Bauschuttzubereitung	1	40	2000
Trapezblech im Gefälle	Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	Recyclingpotenzial Stahlblech Kaltband verzinkt	4	30	2700
Unterbeton bewehrt	Betonfertigteil Decke	Bauschuttzubereitung	1	80	2400
Unterputz	Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	Bauschuttzubereitung	1	40	1200
Weichfaserplatte	Holzfaserverplatte DFF - Egger	EOL DFF - Egger	2	30	280
Zementestrich	Zementestrich - IWM	Bauschuttzubereitung	1	50	1900

5. Resultate

Im Kapitel 5 werden die im Kapitel 1.2 formulierten Fragestellungen mithilfe der gesammelten Daten und deren Auswertungen in Form von Tabellen und Abbildungen sowie Interpretationen beantwortet.

Die genauen Aufbauten der signifikantesten Wände und Decken der drei verschiedenen Bauweisen, welche oft Teil der Erklärung für die Ergebnisse sind, finden sich in Tabelle 11 und sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Tabelle 21: Überblick über die Bauweisen, die Teil der Auswertung sind [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]

Block	Wandkonstruktion	Dämmmaterial Außenwände	Deckenkonstruktion	Dämmmaterial Flachdach
A	25 cm Hochlochziegel	26 cm EPS	0,20-0,22 cm Stahlbetondecke	0,24-0,35 cm EPS
B	30 cm Porenbeton	16 cm EPS	0,15 cm Holzmassivdecke	0,24-0,35 cm EPS
B2	30 cm Porenbeton	18 cm Mineralschaum Dämmplatte	0,15 cm Holzmassivdecke	0,34-0,49 cm Mineralschaum Dämmplatte
C	Holzriegelkonstruktion	40 cm Strohdämmung	0,20-0,22 cm Stahlbetondecke	0,24-0,35 cm EPS

Wie im Kapitel 1.2 definiert, soll die Auswertung wie folgt aufgebaut sein:

- Identifikation von entscheidenden Parametern aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung,
- Beurteilung der Vollständigkeit und der Datenqualität,
- Schlussfolgerungen.

Die Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen der Auswertungen erfolgen im Kapitel 6.

5.1 Gesamtergebnis der LCA gewichtet nach Faktoren der DGNB/ÖGNI NBV09 Kriterien

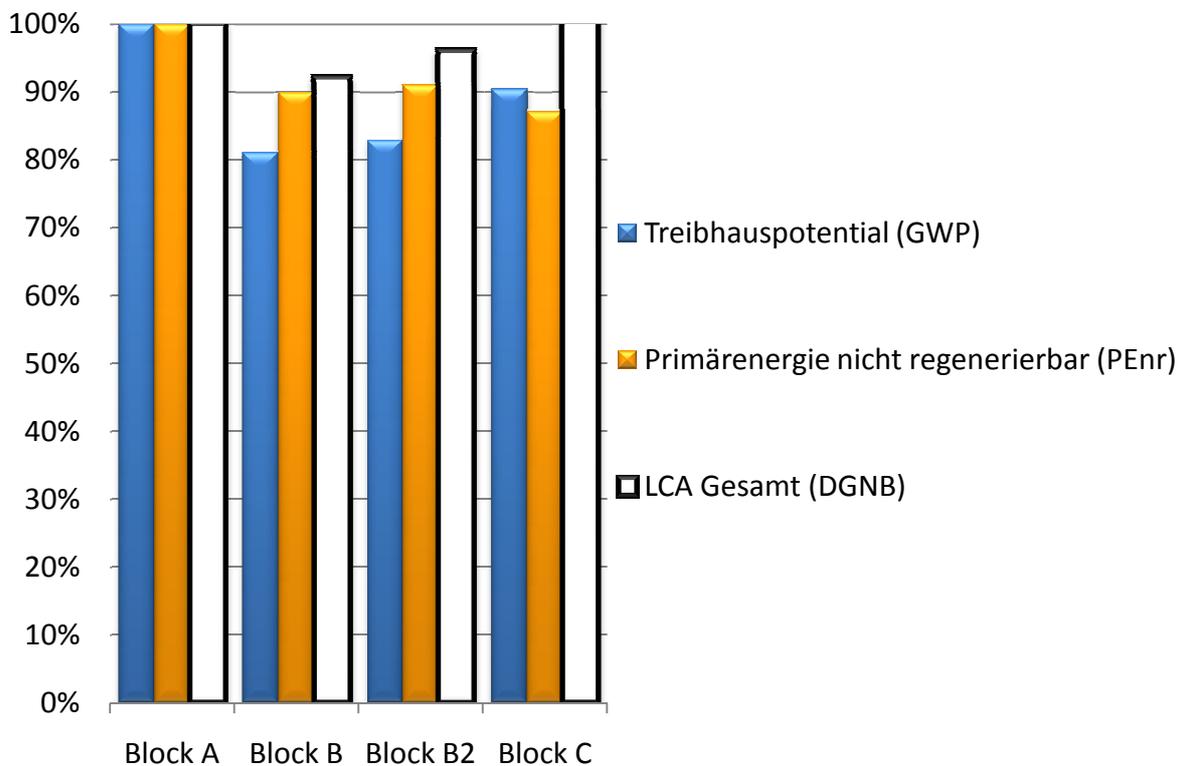


Abbildung 42: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (eigene Darstellung)

In Abbildung 42 ist das Resultat der LCA und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergiebedarf nicht regenerierbar geordnet nach Bauweisen (Blöcke A bis C) dargestellt. Für das Gesamtergebnis wurden die Ergebnisse aller in Kapitel 2.5.3 genannten Wirkungsindikatoren mit den DGNB/ÖGNI NBV09 Bedeutungsfaktoren (siehe Tabelle 22) gewichtet und summiert.

Die Blöcke B, B2 und C sind in Relation zur Massivbauweise in Block A gesetzt, der in der Abbildung 42 mit 100 % angenommen wurde.

Tabelle 22: DGNB/ÖGNI NBV09 Bewertungsfaktoren [Datenquelle: (ÖGNI, 2013)]

Wirkungsindikator	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PEnr	PEgesamt
Bedeutungsfaktor	3	1	1	1	1	3	2

Die Abbildung 42 macht deutlich sichtbar, dass bei einer Berücksichtigung und Gewichtung aller Wirkungsindikatoren (siehe LCA Gesamt) nur die Porenbetonbauweisen Block B und B2 bei der ökologischen Betrachtung etwas besser abschneiden als die Massivbauweise (Block A). Der Unterschied ist jedoch mit 8 % zwischen dem Gesamtergebnis des Blocks A, mit dem höchsten Ergebnis, und Block B, mit dem niedrigsten Ergebnis, eher gering. Die Strohbauweise (Block C) liegt bei derselben Betrachtung gleichauf mit dem Massivbau.

Für den Indikator Primärenergie nicht erneuerbar ergibt sich bei der gesonderten Betrachtung, dass der Stroh-Holzleichtbau (Block C) am günstigsten bilanziert. In Relation zur Ziegelmassivbauweise (Block A) schneidet er mit einem Anteil von 87 % am Ergebnis des Blocks A deutlich besser ab als der ebengenannte.

Bei Betrachtung des Wirkungsindikators Treibhauspotential stellt sich heraus, dass der Porenbeton-Systembau (Block B) die besten Ergebnisse erzielt, er hat einen 19 % geringeren Wert als die konventionelle Ziegelmassivbauweise (Block A).

Die detaillierten Ergebnisse aller Wirkungsindikatoren sind im Kapitel 5.2 aufgelistet und beschrieben.

Für eine weitere Betrachtung ab Kapitel 5.3 wurden nur die Wirkungsindikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential aufgrund ihrer hohen Gewichtung nach DGNB/ÖGNI in Betracht gezogen.

5.2 Vergleich der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren

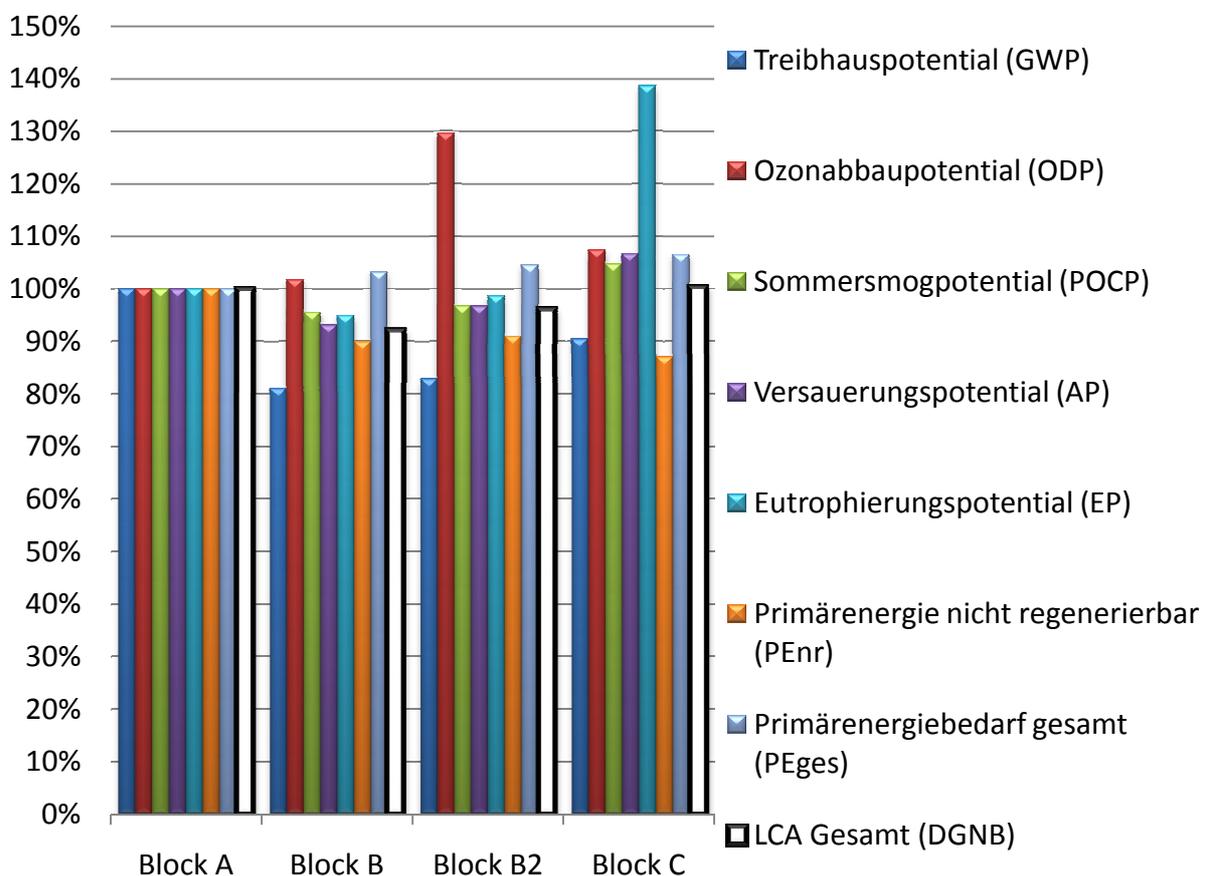


Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (eigene Darstellung)

Die Abbildung 43 zeigt, wie sich alle Wirkungsindikatoren der verschiedenen Bauweisen im Bezug zu Block A darstellen.



Bei Block B und B2 ist beim Treibhauspotential ein deutlich geringerer Wert festzuhalten, während im Block C vor allem die Primärenergie nicht erneuerbar ein gutes Ergebnis im Verhältnis zu Block A erzielt.

Im Block B gibt es generell über alle Wirkungsindikatoren hinweg keine signifikanten Ausreißer nach oben, während im Block B2 das Ozonabbaupotential deutlich nach oben ausschlägt. Dieser Unterschied – vor allem auch der um 28 % höhere Wert in Relation zur Variante Block B – lässt sich ausschließlich auf die Mineralschaum Dämmplatten zurückführen, da diese den einzigen Unterschied bei der Dateneingabe zwischen Variante B und B2 darstellen. Da Mineralschaum Dämmplatten nur zu 4 % aus Feststoff bestehen und der Großteil der Bestandteile keine so ausgesprochen negative Beeinflussung des ODP herbeiführen kann (Bestandteile Porenbeton vgl. Kapitel 3.4.2) wird die Hypothese aufgestellt, dass wahrscheinlich der Zuschlagstoff (das Triebmittel), das zur Produktion des Porenbeton Dämmmaterials notwendig ist, den hohen Wert des ODP herbeiführt. Nachdem das ODP bei den DGNB/ÖGNI NBV09 Bewertungsfaktoren jedoch nur mit dem Faktor 1 gewichtet ist, wird auf den eben genannten Ausreißer in weiterer Folge nicht mehr näher eingegangen.

Auch die Primärenergie gesamt hat bei Block B, B2 und C einen in Relation zu Block A größeren Anteil. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass bei den Ökobau.dat Datensätzen generell der Anteil regenerierbarer Energie für biogene Baustoffe relativ hoch angesetzt wird, da beispielsweise auch Solarenergie, welche zur Produktion eines biogenen Baustoffs gebraucht wird, u.Ä. bilanziert wird. So wird z.B. bei der Bilanzierung von Holzbaustoffen der Prozess der Photosynthese, die zum Wachsen des nachwachsenden Rohstoffes Holz notwendig ist, mitbilanziert.

Der ausgeprägte Wert für das Eutrophierungspotential des Blocks C (durchschnittlich 41 % höherer Wert im Vergleich zu den Blöcken A, B und B2) ist differenziert zu betrachten. Zwar erreicht es einen deutlich höheren Wert als in den Blöcken A, B und B2, jedoch ist es durch seine geringe Gewichtung eher unbedeutend, was auch für das Ozonabbaupotential bei Block B2 und den Ausreißer zutrifft, die darum vernachlässigt werden können.

Somit ist in dieser Arbeit im Bezug auf alle Wirkungsindikatoren wieder die Entscheidung möglich, welche Wirkungsindikatoren näher betrachtet werden sollen. Die am höchsten gewichteten Indikatoren Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und Treibhauspotential (siehe Kapitel 5.1) sind bei der Betrachtung der Abbildung 43 auf den ersten Blick auch am repräsentativsten. Die Überlegung, in weiterer Folge diese Indikatoren genauer zu beleuchten, versteht sich hiermit als bestätigt.

5.3 Ergebnisse der Ökobilanz für die maßgebenden Indikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential

Der Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und das Treibhauspotential werden, wie oben genannt, als kennzeichnend definiert. Die Resultate werden explizit für diese für die Ökobilanz maßgebendsten Faktoren aufbereitet und sind im vorliegenden Kapitel zusammengefasst. In Abbildung 44 sind die absoluten Werte der beiden Faktoren als Summe der Herstellung, Instandhaltung und End of Life graphisch dargestellt, die zugehörigen Zahlenwerte finden sich in Tabelle 23.

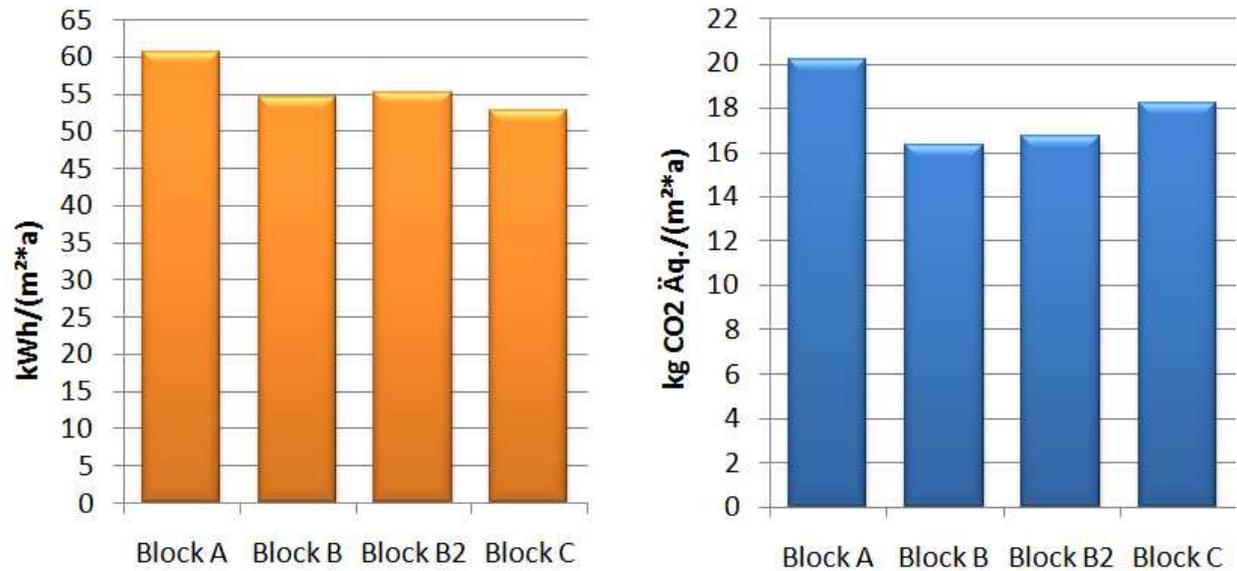


Abbildung 44: Graphische Darstellung der absoluten Werte der Ergebnisse für die maßgebenden Wirkungsindikatoren Primärenergie nicht regenerierbar (links) und Treibhauspotential (rechts) (eigene Darstellung)

5.3.1 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PENr und GWP differenziert nach Lebenszyklusphasen

Tabelle 23: Übersicht über die rechnerischen Ergebnisse der maßgebenden Faktoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential (eigene Darstellung)

	Block A – Massivbauweise		Block B – Porenbeton		Block B2 – Porenbeton		Block C – Strohdämmung	
	GWP kg CO2 Äq./ (m².a)	PEne kWh/ (m².a)						
Herstellung	8,28	30,65	3,35	32,29	3,83	30,59	5,77	32,75
Instandhaltung	6,65	23,43	6,57	23,10	6,75	23,43	6,19	20,57
End of Life	2,35	-4,30	3,54	-11,69	3,25	-9,67	3,39	-11,36
Betriebsenergie	2,85	10,86	2,85	10,86	2,85	10,86	2,85	10,86
GESAMT	20,12	60,65	16,31	54,56	16,68	55,22	18,20	52,82

- **Primärenergiebedarf nicht regenerierbar**

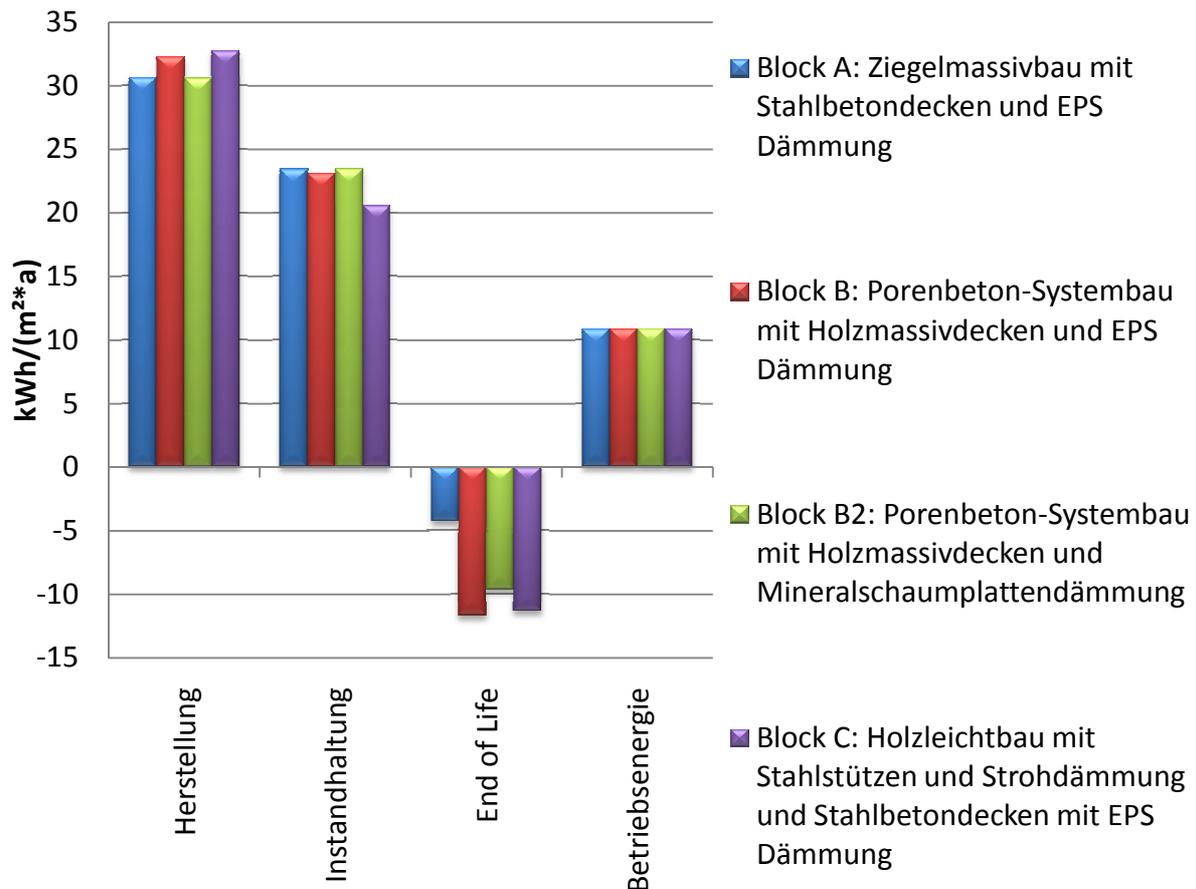


Abbildung 45: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (eigene Darstellung)

Bei der Darstellung des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar (siehe Abbildung 45) wird auf den ersten Blick erkennbar, dass die Herstellung den höchsten Anteil am Resultat des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar hat. Alle vier Bauweisen liegen etwa auf demselben Niveau. Für die Bauweisen mit nachwachsenden Rohstoffen sind keine erkennbaren Vorteile ersichtlich.

Werden die Werte der Herstellungs- und Instandhaltungsphase summiert, sind die vier Blöcke noch annähernd gleichauf. Für das Gesamtergebnis ist die End of Life Phase maßgebend. Nachfolgend sind markante Erkenntnisse aus der Interpretation der Abbildung 45 festgehalten.

- **Vergleich Porenbeton-Systembau mit EPS Dämmung (Block B) und Porenbeton-Systembau mit Mineralschaumdämmung (Block B2)**

In der Herstellungsphase des Blocks B2 wird etwas weniger Energie verbraucht als bei Block B, in der Instandhaltung ist jedoch der Wert annähernd gleich groß. Dass die Porenbetonbauweise mit Mineralschaumdämmung (Block B2) im Vergleich zur Porenbetonbauweise mit EPS-Dämmung (Block B) etwas schlechter abschneidet, lässt sich fast ausschließlich auf die End of Life Phase zurückführen, da bei der Verbren-

nung von EPS eine größere Gutschrift entsteht als für die Bauschutttaufbereitung von Mineralschaum.

- **End of Life Gutschriften**

Alle Bauweisen haben in der EOL-Phase Gutschriften; die Vorteile der Blöcke B, B2 und C ergeben sich in erster Linie durch ihre größeren Gutschriften in Relation zu Block A in der End of Life Phase.

- **End of Life Block A: Ziegelmassivbauweise**

Die geringe Gutschrift im Block A ist als kritisch zu betrachten, da es eindeutig zeigt, dass ein Abbruch eines Massivbaus problematischer ist als der einer nachhaltigen Alternative.

- **Energiekennzahl**

Die Betriebsenergie setzt sich aus Nutzenergie und Haustechnik zusammen. Im Fall der Wohnhausanlage Amsehgasse, Lasee ist der Anteil der Betriebsenergie an des gesamten Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar relativ gering, da sie mit Fernwärme von einem Stroh-Heizwerk betrieben wird (nähere Informationen dazu vgl. Kapitel 3.3). Auch im Verhältnis zu konventioneller Fernwärme liegt die ökologisch bewertete Betriebsenergie bei einem Stroh-Heizwerk auf einem extrem niedrigen Niveau.

- **Treibhauspotential**

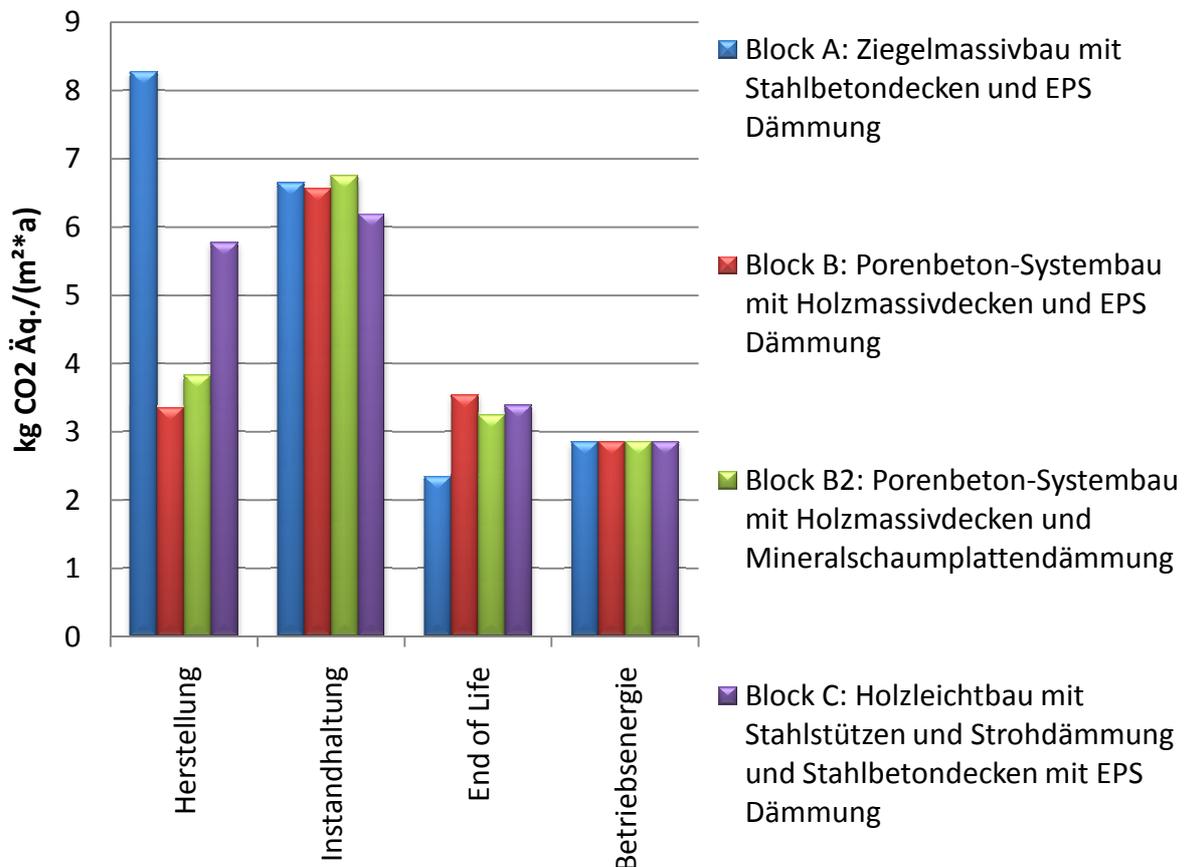


Abbildung 46: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (eigene Darstellung)



Alle vier Lebenszyklusphasen haben etwa dieselbe Bedeutung für die Gesamtbilanz. Die größten Unterschiede der vier Bauweisen finden sich in der **Herstellungsphase** (im Gegensatz zum Faktor Primärenergiebedarf nicht regenerierbar, wo die maßgebende Phase End of Life ist). Die vier Bauweisen schneiden in der Instandhaltung und End of Life relativ ähnlich ab (einen etwas besseren Wert in der EOL-Phase für Block A angenommen).

Die Herstellungsphase wird aufgrund ihrer Signifikanz nachstehend detaillierter aufgeschlüsselt.

- **Herstellung**

Der hohe Wert im Block A ist selbsterklärend bei der Betrachtung des Aufbaus der signifikanten Bauteile in Tabelle 11. Vor allem die STB-Decken und Ziegelwände haben einen negativen Einfluss auf den Indikator und ergeben damit den schlechtesten Wert betreffend den Klimaschutz.

Dass die Strohbauweise so schlecht abschneidet ist darauf zurückzuführen, dass die Stroh-Außenwände, die eigentlich ein sehr positives Ergebnis nach sich ziehen (vgl. Abbildung 48), mit STB-Decken kombiniert werden. Diese wirken sich wieder negativ auf die Ergebnisse des Treibhauspotential Faktors aus (siehe Abbildung 48). Die Blöcke B und B2 erscheinen im direkten Vergleich besser, da sie die Porenbetonkonstruktion mit einer Holzdecke koppeln. Der biogene Baustoff Holz wandelt die Ergebnisse in diesem Fall stark zum Positiven.

Der Block B2 hat dennoch in der Herstellungsphase einen geringfügig größeren Wert, der auf die aufwändigere Herstellung der Mineralschaum Dämmung im Vergleich zur EPS Dämmung zurückzuführen ist.

5.3.2 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP differenziert nach Bauteilgruppen

Abbildung 47 und Abbildung 48 zeigen, wie sich Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential bezogen auf die Bauteilgruppen verhalten.

Den größten Anteil – sowohl am Primärenergiebedarf nicht regenerierbar als auch Treibhauspotential – hat bei allen Bauweisen die Bodenplatte, die aus Stahlbeton gefertigt wird und die Wirkungsindikatoren stark ins Negative beeinflusst.

Die Außenwände, das Dach und die Geschosdecken sind jedoch aufgrund der Materialunterschiede je nach Bauweise maßgebend für das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar und des Treibhauspotentials. Wäre das Gebäude mehr als zweistöckig, wären die Geschosdecken und Außenwände anteilmäßig höher und die Ergebnisse dieser Bauteile aufgrund der hohen Unterschiede in den Endergebnissen demnach noch wesentlicher bei der ökologischen Beurteilung von Bauweisen.

Besonders bei den Außenwänden könnte dieser Faktor zu signifikanten Unterschieden im Endergebnis führen, weshalb diese daher zusätzlich im Kapitel 5.3.4 analysiert werden.

- **Primärenergiebedarf nicht regenerierbar**

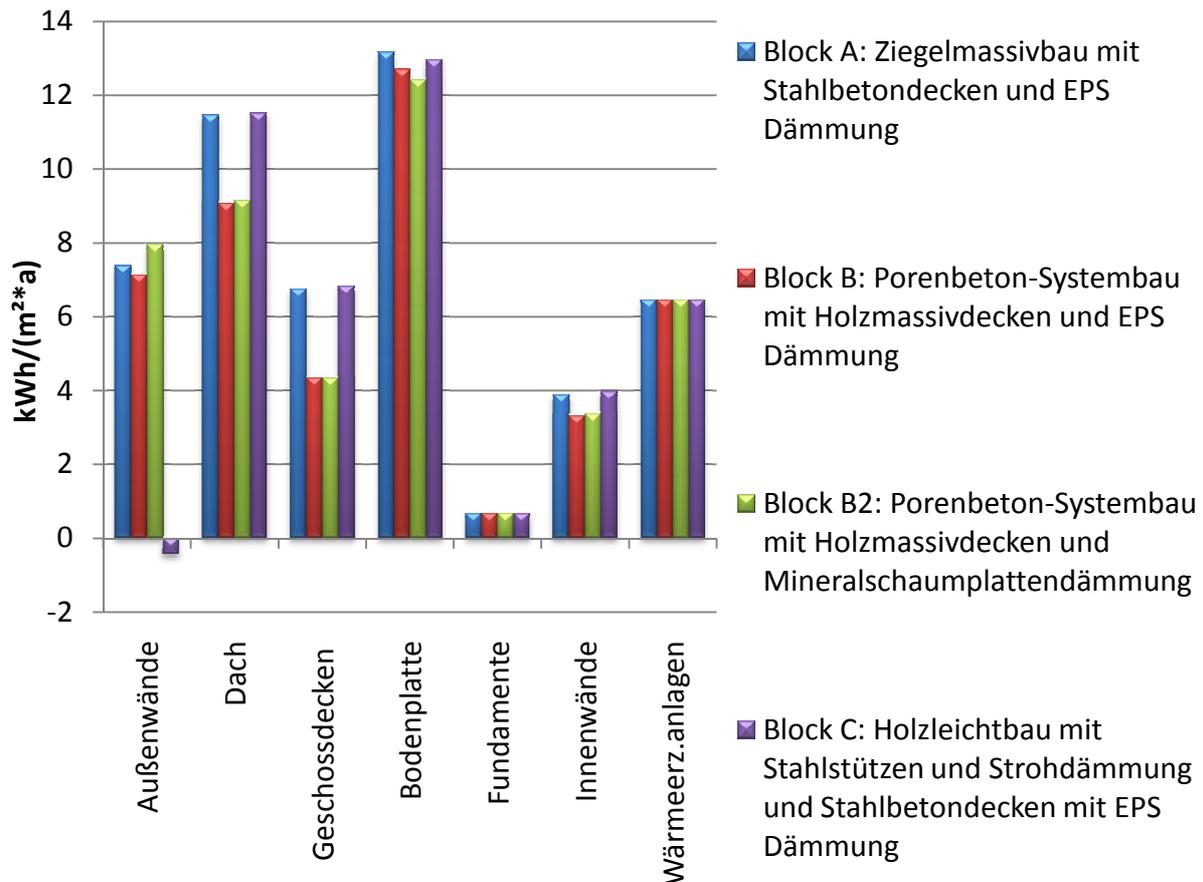


Abbildung 47: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)

- Bei den **Außenwänden** sind die Blöcke A, B und B2 alle ungefähr gleichauf. Die Außenwände von Block C bilanzieren negativ, wegen der Gutschriften für die Strohdämmung und die Holzkonstruktion. Eine genauere Betrachtung des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar der Außenwände erfolgt in Kapitel 5.3.4.
- Das **Dach und die Geschossdecken** sind bei Block A und C gleich groß, da diese in STB-Bauweise ausgeführt werden. Block B und B2 profitieren bei diesem deutlich geringeren Wert wieder von ihrer Dach- und (Zwischen-)deckenkonstruktion aus Massivholz.
- Das **Fundament** wird bei allen Bauweisen gleich ausgeführt, daher ergeben sich hier keine Unterschiede.
- Dass die **Bodenplatte** des Blocks B2 im Verhältnis zum Block B etwas besser abschneidet, lässt sich darauf zurückführen, dass im Block B eine EPS Dämmung mit einem hohen Lambda eingebaut wurde und dementsprechend die äquivalente Schichtdicke der Mineralschaumdämmung des Blocks B2 nur geringfügig höher ist. Weitere Analysen der äquivalenten Schichtdicken der Mineralschaumdämmplatten im Verhältnis zu verschie-

denen EPS Dämmungen wurden vernachlässigt. Diesbezüglich sollten in einer weiterführenden Untersuchung Vergleiche angestellt werden.

- Die **Innenwände** der Blöcke B und B2 haben einen unbedeutend geringeren Wert, da diese aus Porenbeton erbaut werden, wohingegen die Blöcke A und C Innenwände aus Stahlbeton enthalten.
- Die **Wärmeerzeugungsanlagen** erzielen bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, der keine signifikante Rolle spielt; die Haustechnik wird im Kapitel 3.3 beschrieben.

• Treibhauspotential

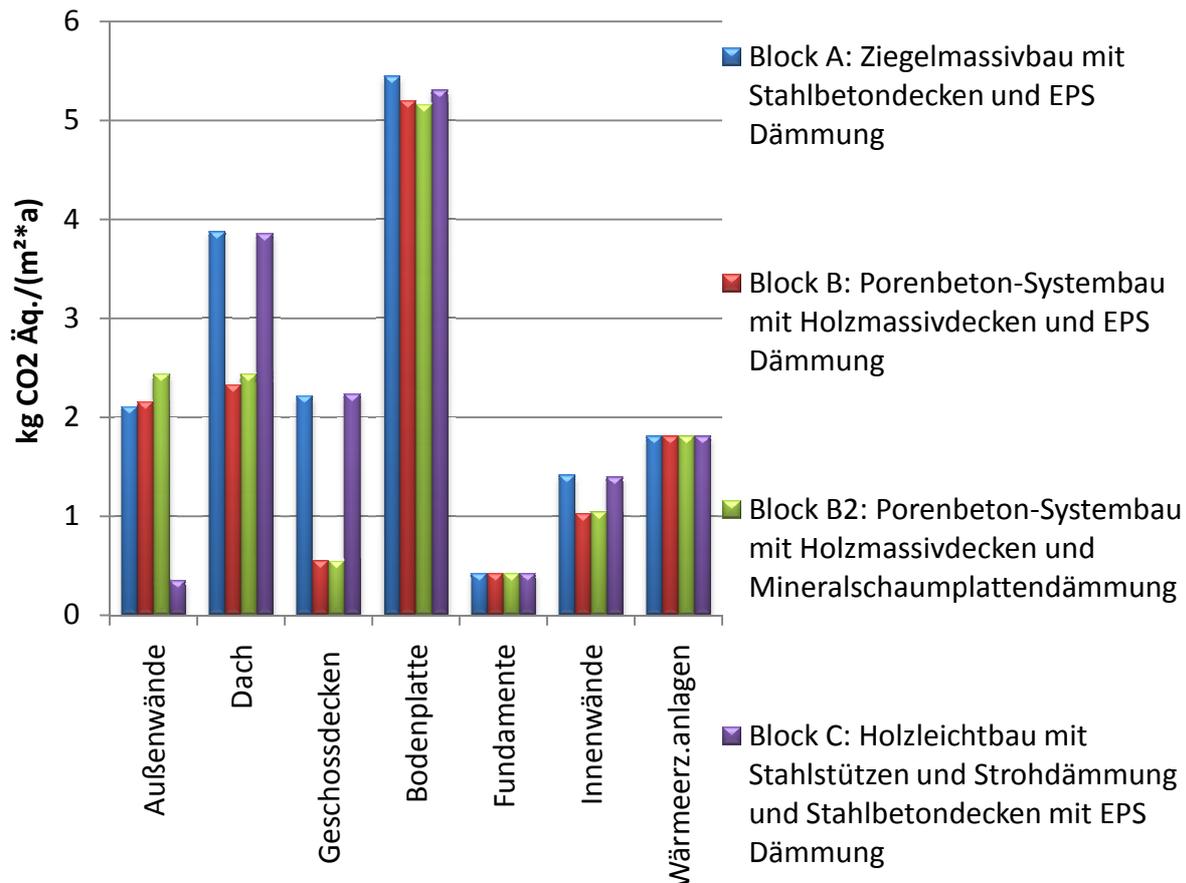


Abbildung 48: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)

- Die Endergebnisse des GWP der **Außenwände** führen zu folgenden Erkenntnissen:
Die Blöcke A, B und B2 ähneln sich sehr. Die Außenwände von Block C haben einen viel geringeren Wert, da Stroh und Holz als biogene Baustoffe Gutschriften beinhalten. Eine genauere Betrachtung des Treibhauspotentials der Außenwände erfolgt in Kapitel 5.3.4.
- Die Ergebnisse für das **Dach und die Geschossdecken** sind bei Block A und C ident, da sie in STB-Bauweise erbaut werden. Die Blöcke B und B2 haben wiederum einen Vorteil durch ihre Dach- und (Zwischen-)deckenkonstruktion aus Massivholz. Die Geschossdecken von Block B und B2



haben sogar unterm Strich Gutschriften und bilanzieren negativ. Dies liegt daran, dass End of Life Gutschriften für die thermische Verwertung berücksichtigt werden. Die (Zwischen-)decken im Block C sind aus Stahlbeton, was gegenüber dem Block B, der mit Holzmassivdecken geplant ist, einen deutlichen Nachteil bei dem Ergebnis des Treibhauspotentials ergibt (siehe Abbildung 46).

- Das **Fundament** wird bei allen Bauweisen gleich ausgeführt, daher ergeben sich wie auch bei dem Primärenergiebedarf nicht regenerierbar keine Unterschiede zwischen den Bauweisen.
- Der geringfügig bessere Wert der **Bodenplatte** des Blocks B2 im Verhältnis zum Block B lässt sich darauf zurückführen, dass in der Bodenplatte des Blocks B eine EPS Dämmung mit einem hohen Lambda eingebaut wurde und daher die äquivalente Schichtdicke der Mineralschaumdämmung des Blocks B2 kaum höher ist. Daraus kann man schließen, dass die Mineralschaumdämmplatten bei der gleichen Schichtdicke bessere Werte erzielen würden. Da jedoch, um die gleichen wärmetechnischen Kennwerte einzuhalten, eine größere äquivalente Schichtdicke vonnöten ist, erzielt die Mineralschaumplattendämmung schlechtere Werte, welche (wie bereits vorher beim Primärenergiebedarf nicht erneuerbar erwähnt) weiter untersucht werden sollten.
- Die **Innenwände** der Blöcke B und B2 haben auch hier einen geringeren Wert, da diese aus Porenbeton erbaut werden, wohingegen die Blöcke A und C vorwiegend Innenwände aus Stahlbeton enthalten.
- Die **Wärmeerzeugungsanlagen** erzielen bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, der keine signifikante Rolle spielt; die Haustechnik wird im Kapitel 3.3 näher beschrieben.

Bei der Betrachtung des Gesamtergebnisses des Treibhauspotentials in der Abbildung 42 zeigt sich, dass die Kombination von Porenbeton mit EPS Dämmung und Holzdecken (Block B) das beste Ergebnis des Treibhauspotentials herbeiführt. Der Strohleichtbau hat, wie in Abbildung 48 erkennbar und oben erwähnt, vor allem durch die Dach- und Deckenkonstruktion aus Stahlbeton im direkten Vergleich gegenüber der Porenbetonbauweise offensichtliche Nachteile hinsichtlich der Ergebnisse der Wirkungsindikatoren.

5.3.3 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP differenziert nach Materialgruppen

In diesem Abschnitt der Arbeit sollen die Faktoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential anhand der Materialgruppen der Ökobau.dat analysiert werden.

Die Gruppe der Dämmstoffe beinhaltet mineralische, aber auch biogene und kunststoffhaltige Dämmstoffe, somit umfasst sie sowohl EPS als auch Stroh und Mineralschaum Dämmplatten.

Die Haustechnik erzielt bei allen Bauweisen einen gleich hohen Wert, sie wirkt sich jedoch nicht signifikant auf das Gesamtergebnis aus. Sie wird im Kapitel 3.3 beschrieben.

- **Primärenergie nicht regenerierbar**

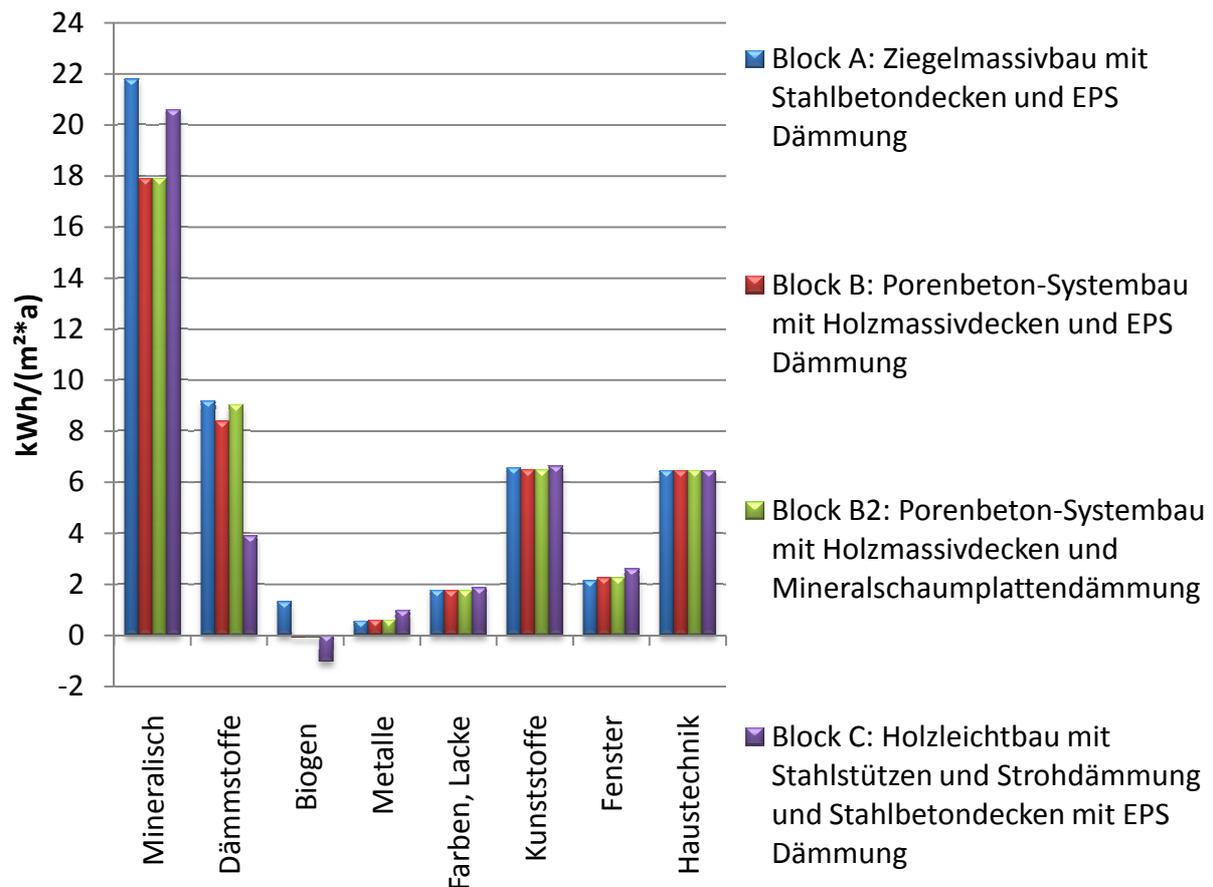


Abbildung 49: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)

Mineralische Baustoffe dominieren klar die Ergebnisse der Ökobilanz (rund 50 % des gesamten Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar für alle vier Bauweisen). Die größten Unterschiede bei den vier Bauweisen ergeben sich in der Gruppe der Dämmstoffe (Vorteile von Stroh) und in den mineralischen Baustoffen (Vorteile der Porenbetonbauweise durch nicht mineralische Decke und Dach).

- Der Wert der **mineralischen Materialien** ist bei Block B und B2 geringer, da die Decken aus Holz gefertigt sind und daher weniger mineralische Baustoffe verwendet werden. Der mineralische Anteil von Block A ist am höchsten, wohingegen der von Block C nur geringfügig niedriger ist. Dies lässt sich auf die Decken aus STB zurückführen, die in beiden Blöcken zum Einsatz kommen, und im Fall von Block A auch auf die Wände aus Ziegel in den Außenwänden, welche einen hohen Anteil an dem Resultat des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar haben (vgl. Abbildung 47).
- Die **Dämmstoffe** haben im Block C einen viel geringeren Wert beim Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar als bei den anderen drei Bauweisen. Der wahrscheinlichste Grund dafür ist die Dämmung aus Stroh im Block C, die nur einen kleinen Wert beim Primärenergiebedarf nicht regenerierbar nach sich zieht. Zwischen dem Dämmstoff EPS

(Block A und B) und den Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) lassen sich keine großen Unterschiede erkennen.

- Die **biogenen Materialien** führen im Block C zu einer Gutschrift und haben im Block A einen vernachlässigbaren Wert bei biogenen Stoffen. Die Blöcke B und B2 weisen nur einen verschwindend geringen Wert auf. Der Einfluss des Ergebnisses der biogenen Materialien aufs Gesamtergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar ist kaum nennenswert.
- Beim Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar fällt auf, dass **Kunststoffe** (wie z.B. PP-Vliese oder Dampfbremsen), obwohl sie nur einen Bruchteil des Gewichts der mineralischen Baustoffen haben (die rund 90 % des Gewichts der Gebäude ausmachen), einen verhältnismäßig hohen Einfluss auf die Resultate der Wirkungsindikatoren haben.
- **Farben, Lacke, Metalle, Fenster** und **Haustechnik** haben bei allen Bauweisen kaum Einfluss auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar, da sie alle ähnlich bilanzieren und es durch sie zu keinen wesentlichen Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen kommt.

• Treibhauspotential

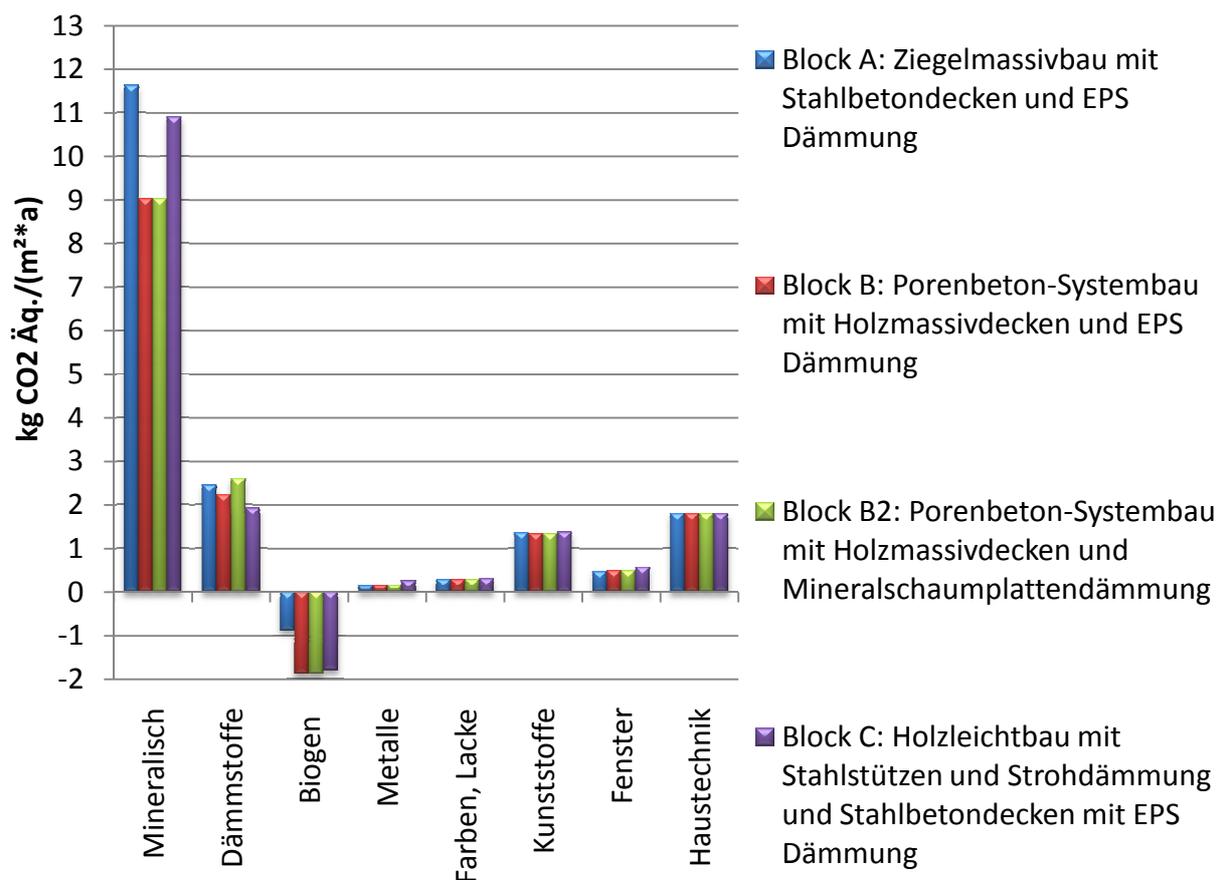


Abbildung 50: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)



Auch beim Indikator Treibhauspotential (siehe Abbildung 50) dominieren die mineralischen Baustoffe mit einem Anteil von rund 80 % des gesamten Treibhauspotentials deutlich. Die größten Unterschiede bei den vier Bauweisen ergeben sich in der Gruppe der mineralischen (Vorteil der Kombination von Porenbeton mit Holzmassivdecken) und der biogenen Stoffe (Vorteile von Stroh und Holz).

- Der Wert der **mineralischen Materialien** ist bei Block B und B2 deutlich kleiner, in erster Linie da die Decken aus Holz sind und damit bei den biogenen Materialien mitbilanzieren. Wie in Abbildung 48 ersichtlich, liegt es nicht an den Porenbetonaußenwänden in Block B und B2, da diese in der Bilanz nicht besser als die Stahlbetonwände abschneiden.

Der Anteil mineralischer Baustoffe am Treibhauspotential von Block A und C ist annähernd gleich groß. Fast ausschließlich durch die höhere Gutschrift bei biogenen Baustoffen (Wandaufbau – Block C) und Holz (Deckenaufbau Block B und B2) liegt die Wirkungsbilanz des Treibhauspotentials von Block B und C unter Block A.

- Die **Dämmstoffe** weisen beim Ergebnis des Treibhauspotentials im Block C einen etwas geringeren Wert als bei den anderen drei Bauweisen auf. In Kombination mit der Abbildung 48 lässt sich belegen, dass dies auf den Aufbau der Außenwand und somit die Strohdämmung zurückzuführen ist (sehr geringer GWP Anteil im Block C). Überraschend ist jedoch, dass die Unterschiede zwischen den vier Bauweisen nur sehr gering sind.
- Die Holzdecken von Block B und B2 erklären auch die Gutschrift bei den **biogenen Baustoffen**, wohingegen die Gutschrift bei Block C von der Strohdämmung und Holzleichtkonstruktion der Außenwände herrührt, da hier die Decken aus Stahlbeton sind.
- Auch beim Treibhauspotential wird deutlich, dass **Kunststoffe**, obwohl sie nur einen Bruchteil des Gewichts der mineralischen Baustoffe haben (die rund 90 % des Gewichts der Gebäude ausmachen), einen verhältnismäßig hohen Einfluss auf die Resultate der Wirkungsindikatoren haben.
- Auch bei diesem Wirkungsindikator haben **Farben, Lacke, Metalle, Fenster und Haustechnik** bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Treibhauspotentials.

5.3.4 Ergebnisse der Ökobilanz der Indikatoren PEnr und GWP der Außenwände differenziert nach Materialgruppen

Die Daten der Materialien und somit der Konstruktion und Dämmung der Außenwände werden aus dem Gesamtsystem der Ökobilanz herausgelöst und separat betrachtet.

Die Außenwände spielen, wie bereits im Kapitel 5.3.2 angemerkt, besonders hinsichtlich mehrgeschossiger Wohnhausanlagen eine wesentliche Rolle. Ihre Ergebnisse sind signifikant, da die großen Unterschiede in den Resultaten der Wirkungsindikatoren umso bedeutender werden, je höher die Gebäude sind. Daher sind die Außenwände vor allem im Bezug auf andere Projekte von besonderem Interesse.

Eine Auflistung der Aufbauten der Außenwände ist in Tabelle 11 ersichtlich.

Bei der Auswertung erfolgt eine Unterteilung nach Materialgruppen der Ökobau.dat.

Durch diese Betrachtung und einer möglichst zielführenden Interpretation der Ergebnisse kann ermittelt werden, welche Materialien einen markanten Einfluss auf das Endergebnis der Ökobilanz ausüben.

Den größten Anteil am Gesamtergebnis der Außenwände haben mineralische Stoffe und Dämmstoffe. Diese sind neben biogenen Materialien maßgebend, da es bei ihnen zu den wesentlichsten Unterschieden kommt.

- **Primärenergiebedarf nicht regenerierbar**

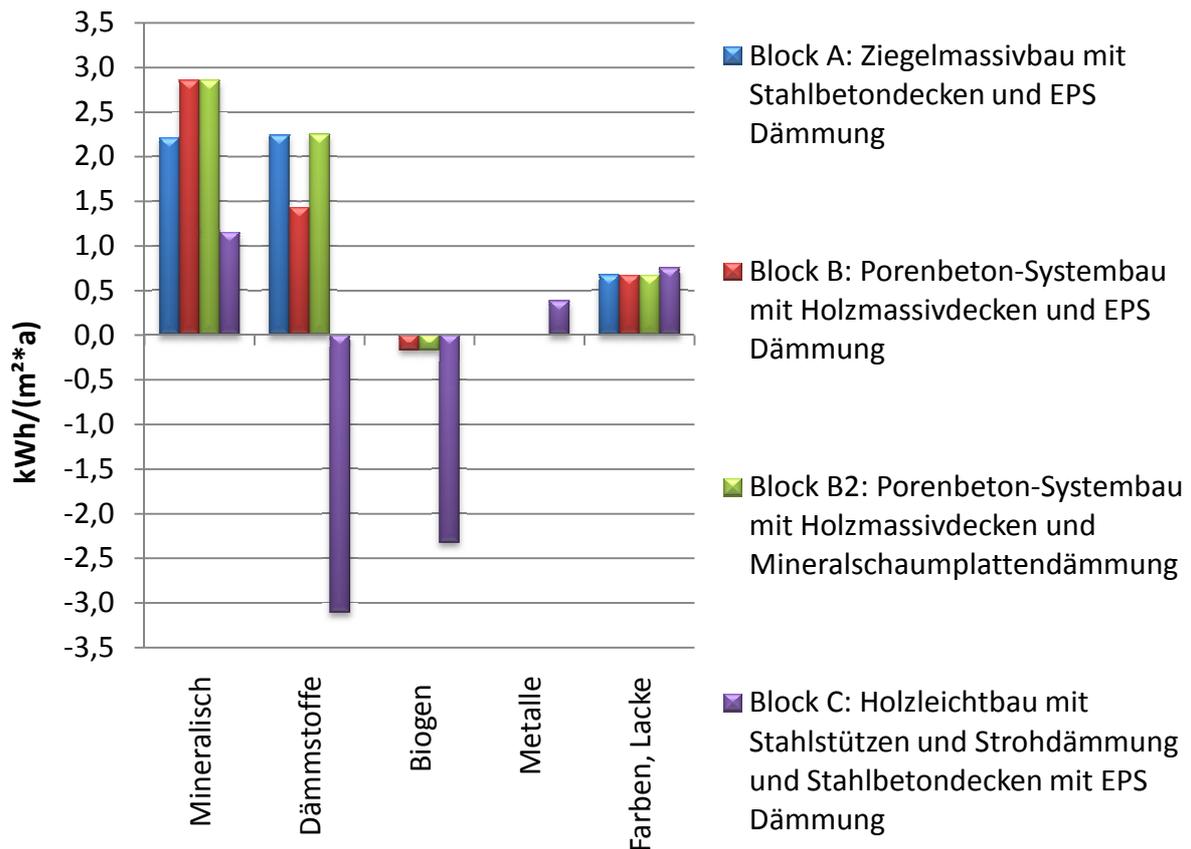


Abbildung 51: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)

Mineralische Baustoffe und Dämmstoffe dominieren das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar für die Außenwände bei allen vier Bauweisen (siehe Abbildung 51). Zusätzlich hat bei der Stroh-Holzbauweise die Gruppe der biogenen Baustoffe einen maßgeblichen Einfluss. Die größten Unterschiede der 4 Bauweisen liegen ebenfalls bei folgenden Bauteilgruppen: mineralische und biogene Baustoffe und Dämmmaterialien. Das größte Optimierungspotential bietet die Strohdämmung mit rund 5 kWh/(m²*a) im Vergleich zur Dämmung mit EPS oder Mineralschaumplatten.

- Der Wert der **mineralischen Materialien** ist bei Block B und B2 geringfügig höher, was darauf schließen lässt, dass zur Konstruktion von Porenbetonwänden mehr nicht regenerierbare Primärenergie aufgebracht werden muss als bei Ziegelwänden.



Der mineralische Anteil im Block C, der ja aus einer Holzleichtbaukonstruktion mit Strohdämmung besteht, lässt sich durch Putze und Gipskartonplatten erklären.

- Die **Dämmstoffe** im Block C ziehen eine deutliche Gutschrift nach sich, da es sich dabei um den Naturstoff Stroh handelt.

Bei der Betrachtung der anderen Dämmstoffe der Außenwand lässt sich in diesem Vergleich klar erkennen, dass sich EPS auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar schlecht auswirkt. Block B untermauert dieses Ergebnis; der Wert ist jedoch geringer als im Block A, weil durch die bessere Dämmwirkung von Porenbeton – im Vergleich zu Hochlochziegeln – weniger EPS benötigt wird.

Beim Vergleich von EPS (Block B) und der äquivalenten Schicht Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) wird deutlich, dass Mineralschaum Dämmplatten über keine guten ökologischen Qualitäten hinsichtlich der nicht regenerierbaren Primärenergie verfügt.

- Die geringfügige Gutschrift bei den **biogenen Baustoffen** der Außenwände von Block B und B2 erklären sich durch die Holzmassivwände des Technikraumes, die zwar nur einen kleinen Anteil an der Außenwandfläche ausmachen, aber dennoch in der Analyse der Außenwände berücksichtigt werden. Die signifikante Gutschrift bei Block C wird hauptsächlich durch die Holzsteher, OSB Platten und die Lattung der Holz-Strohleichtbaukonstruktion begründet.
- **Metalle** sind nur bei Block C in der Außenwand ein relevanter Faktor, da der Holz-Strohleichtbau als tragende Konstruktion ein Stahlskelett integriert hat, welches negative Auswirkungen auf den Primärenergiebedarf nicht regenerierbar bei der Berechnung der Ökobilanz hat, allerdings nur mit sehr geringfügiger Bedeutung.
- **Farben, Lacke, Kunststoffe und Fenster** haben bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar.

- **Treibhauspotential**

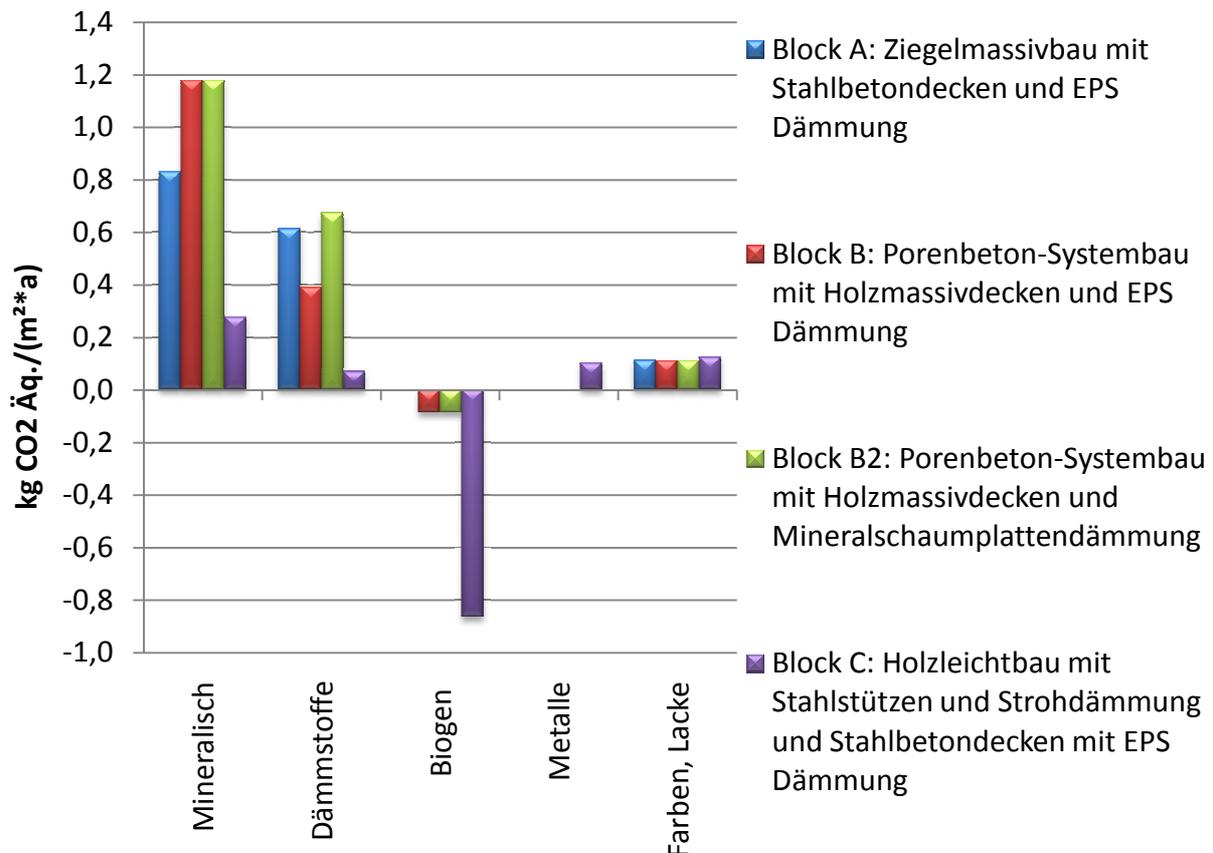


Abbildung 52: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)

Mineralische Baustoffe und Dämmstoffe dominieren das Ergebnis für den Wirkungsindikator Treibhauspotential der Außenwände bei allen vier Bauweisen (siehe Abbildung 52) Zusätzlich hat bei der Stroh-Holzbauweise die Gruppe der biogenen Baustoffe einen maßgeblichen Einfluss. Die größten Unterschiede der 4 Bauweisen liegen ebenfalls bei folgenden Bauteilgruppen: mineralische und biogene Baustoffe und Dämmmaterialien. Das größte Optimierungspotential von aufgerundet 2 kg CO₂ Äq./m²*a liegt in der Stroh-Holzleichtbaukonstruktion mit Ziegel oder Porenbeton.

- Die **mineralischen Materialien** des Porenbeton-Systembaus Block B und B2 haben im Vergleich zur Ziegelmassivbauweise des Blocks A einen höheren Wert, was darauf zurückzuführen ist, dass eine dickere Schicht Porenbeton eingebaut wird (dafür dünnere Schicht Dämmmaterial). Daraus lässt sich ableiten, dass Porenbeton in der Konstruktion einen ähnlichen Einfluss auf das Treibhauspotential wie Hochlochziegel (Block A) hat.
- Der mineralische Anteil im Block C, der ja aus einer Holzleichtbaukonstruktion mit Strohdämmung besteht, ist kaum relevant und lässt sich durch Putze und Gipskartonplatten erklären.
- Der Wert für die **Dämmstoffe** ist im Block C ebenfalls verschwindend gering, wiederum da die Strohdämmung das Treibhauspotential nur marginal beeinflusst. Erneut fällt auf, dass Mineralschaum Dämmplatten (Block



B2) als Dämmstoff eine negativere Auswirkung auf das Treibhauspotential hat als EPS (Block B). Eine Beeinflussung des Ergebnisses durch die etwas dickere äquivalente Schichtdicke von Mineralschaum Dämmplatten (Block B2) in Relation zu EPS (Block B) ist jedoch nicht auszuschließen

- Wie bereits beim nicht regerierbaren Primärenergiebedarf erwähnt, erklärt sich die geringfügige Gutschrift bei den **biogenen Baustoffen** der Außenwände von Block B und B2 durch die Holzmassivwände des Technikraumes. Die große Gutschrift bei Block C wird hauptsächlich durch die OSB Platten, die Holzsteher und die Lattung der Holz-Strohleichtbaukonstruktion begründet. Die Bauteile Zwischendecken und Dach wurden nicht detaillierter mit Abbildungen analysiert, beim Block B und B2 würde sich bei einer detaillierten Betrachtung der Deckenkonstruktion eine signifikante Gutschrift bei den biogenen Baustoffen ergeben. Dies kann aus Abbildung 44 bis Abbildung 47 interpretiert werden.
- **Farben, Lacke, Metalle, Kunststoffe** und **Fenster** haben bei allen Bauweisen nur einen geringen Einfluss auf das Ergebnis des Treibhauspotentials.

6. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In Anlehnung an die Forschungsfragen in Kapitel 1.2 erfolgt in diesem Kapitel eine Zusammenfassung der Resultate des Kapitels 5. Die Ergebnisse werden kritisch reflektiert und eine Schlussfolgerung in Form einer Empfehlung einer Bauweise für die zweite Bauphase, bei der Erbauung der verbleibenden zwei Mehrfamilienhäuser, ausgesprochen.

6.1 Zusammenfassung

6.1.1 Ökologischer Vergleich der verschiedenen Bauweisen

Bei der Betrachtung des Gesamtergebnisses für alle in Kapitel 2.5.3 definierten Wirkungsindikatoren – gewichtet nach den DGNB/ÖGNI NBV09 Bewertungsfaktoren über alle Phasen der Ökobilanz in der Abbildung 42 – weist die Holz-Strohleichtbauweise (Block C) ein ebenso hohes Gesamtergebnis wie der in Ziegelmassivbauweise erbaute Block A auf. Der Unterschied ist generell jedoch mit 8 % zwischen dem Gesamtergebnis der Ökobilanz des Ziegelmassivbaus (Block A), mit dem höchsten Ergebnis, und des Porenbeton-Systembaus (Block B), mit dem niedrigsten Ergebnis, verwunderlicherweise sehr gering. Im Abschnitt 6.2.1 befindet sich eine kritische Reflexion betreffend der Bewertungskriterien des DGNB/ÖGNI Systems.

6.1.2 Analyse der Ergebnisse (Block A, B, B2 und C) differenziert nach den Phasen des Lebenszyklus

- **Primärenergiebedarf nicht regenerierbar**

Die Herstellungsphase hat den höchsten Anteil am nicht regenerierbaren Primärenergiebedarf. In der Instandhaltungsphase kommt ein deutlich geringerer Anteil am Gesamtergebnis zu tragen (ca. 9 kWh/(m²*a) als in der Herstellungsphase. Die Betriebsenergie hat im Verhältnis zur Herstellungsphase einen um rund 66 % geringeren Anteil am Ergebnis. Maßgebend für das Endergebnis ist jedoch die End of Life Phase; die Vor- und Nachteile bestimmter Bauweisen ergeben sich fast ausschließlich durch die Gutschriften in den End of Life Prozessen (Kommentar dazu siehe Kapitel 6.2.2). Das günstigste Ergebnis der Ökobilanz beim Faktor Primärenergiebedarf nicht regenerierbar weist der Block C auf, der in Holz-Strohleichtbauweise mit Stahlbetondecken bilanziert wurde. Im Verhältnis zur konventionellen Ziegelmassivbauweise (Block A) ist die Stroh-Holzbauweise (Block C) beim Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar um ca. 13 % und 7,8 kWh/(m²*a) besser.

- **Treibhauspotential**

Beim Faktor Treibhauspotential hat die Phase der Herstellung und der Instandhaltung durchschnittlich den größten Anteil. Ausschlaggebend für das Gesamtergebnis ist jedoch die Herstellung. Die wesentlichsten Unterschiede zwischen den Bauweisen treten in der Herstellungsphase auf (Kommentar dazu siehe Kapitel 6.2.3). Der Porenbeton-Systembau mit Massivholzdecken und EPS Dämmung (Block B) weist beim Gesamtergebnis des Faktors Treibhauspotential das um 3,8 kg CO₂ Äq./(m²*a) und 19 % vorteilhaftere Ergebnis als jenes des Ziegelmassivbaus (Block A) auf.



6.1.3 Betriebsenergie

Da die Wohnhausanlage Amselgasse, Lassee mit Fernwärme von einem Stroh-Heizwerk betrieben wird, ist der Anteil der Betriebsenergie am Gesamtergebnis der Ökobilanz sehr gering. Auch im Verhältnis zu konventioneller Fernwärme liegt die ökologisch bewertete Betriebsenergie bei einem Stroh-Heizwerk auf einem extrem niedrigen Niveau (siehe Abbildung 45 und Abbildung 46), welche das Gesamtergebnis der Wirkungsindikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential positiv beeinflusst. Bei konventionellen Bauweisen ist die Betriebsenergie oft die maßgebende Phase eines Lebenszyklus, im Fall der Wohnhausanlage Amselgasse ist dies jedoch nicht der Fall.

6.1.4 Bauteil- und Materialgruppen

• Betrachtung nach Bauteilen

Den größten Anteil am Gesamtergebnis des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar und des Treibhauspotentials hat bei einer Betrachtung der Varianten nach Bauteilen die Bodenplatte. Diese ist jedoch nicht maßgebend für die Unterschiede in den Ergebnissen, weil sie bei allen Bauweisen gleich ausgeführt wird. Die Resultate werden grundlegend vom Aufbau der Geschossdecken, der Außenwände und des Dachs beeinflusst. Somit ist es besonders wichtig, die Kombination der Bauteile und Bauweisen zu hinterfragen. Die Porenbetonaußenwände der Blöcke B und B2, die an sich ähnlich bilanzieren wie die Ziegelmassivwand des Blocks A, schneiden durch die Kombination mit Holzdecken in Block B ökologisch betrachtet deutlich besser ab als die Ziegelmassivbauweise mit ihren Stahlbetondecken. Die Strohauswände des Blocks C, die alleine betrachtet ein ausgezeichnetes Ergebnis liefern, erscheinen wiederum bei der Betrachtung des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus durch ihre Stahlbetondecken nicht mehr so optimal.

• Betrachtung nach Materialgruppen

Betrachtet man die Ergebnisse nach Materialgruppen, fällt auf, dass bei allen Bauweisen mineralische und biogene Materialien sowie Dämmstoffe den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben. Die größten Unterschiede in den Ergebnissen der Ökobilanz des Primärenergiebedarfs nicht regenerierbar entstehen durch die Dämmstoffe und mineralische Materialien. Da als Dämmmaterial der Außenwände in Block C Strohdämmung zum Einsatz kommt, erklären sich auch die in Kapitel 6.1.2 erwähnten günstigsten Ergebnisse des Holz-Strohleichtbaus (Block C) beim Primärenergiebedarf nicht regenerierbar. Der Faktor Treibhauspotential wird wiederum maßgeblich durch mineralische und biogene Baustoffe beeinflusst, was das gute Gesamtergebnis des Porenbeton-Systembaus mit Massivholzdecken (Block B) erklärt. Der in Kapitel 6.1.2 beschriebene gute Wert des Faktors Treibhauspotential beim Block B lässt sich besonders auf die Massivholzdecken (biogenes Material) zurückführen.



6.2 Kritische Reflexion

6.2.1 DGNB/ÖGNI Bewertungskriterien und -faktoren

Eine kritische Reflexion der DGNB/ÖGNI Bewertungskriterien ist notwendig, wenn die Gesamtergebnisse der Wirkungsindikatoren über alle Phasen des Lebenszyklus im Abschnitt 6.1.1 betrachtet werden. Die Ergebnisse führen unter anderem dazu, dass die bei einer Zertifizierung nach DGNB/ÖGNI betrachteten Wirkungsindikatoren hinterfragt werden müssen. Die Ausreißer, die sich in Abbildung 43 zeigen, betreffen fast ausschließlich wenig gewichtete Faktoren (vgl. Tabelle 22). Es stellt sich die Frage, ob es für die Zukunft überhaupt Sinn ergibt, alle Indikatoren zu berücksichtigen, wenn viele davon nicht unmittelbar für die Bewertung von nachhaltigen Gebäuden relevant und geringer gewichtet sind. Es könnte zielführender sein, die Bewertung nach DGNB/ÖGNI zukünftig auf die bedeutendsten Indikatoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential zu reduzieren oder die Gewichtungsfaktoren anzupassen.

6.2.2 Gutschriften in EOL-Phase

Besonders differenziert ist im Zusammenhang mit der Analyse der Ergebnisse aufgeteilt auf die Phasen der Ökobilanz (siehe Abschnitt 2.5.3) die geringe Gutschrift beim Primärenergiebedarf nicht regenerierbar im Entsorgungsprozess des Massivbaus zu sehen. Bedenkt man die Endlichkeit der auf der Erde vorhandenen Ressourcen und versucht sich am Grundsatz der Nachhaltigkeit zu orientieren, um auch nachfolgenden Generationen ein uneingeschränktes Leben ohne Benachteiligungen zu ermöglichen, wäre es wünschenswert, so viele Ressourcen wie möglich wieder in den Materialkreislauf zurückzuführen. Dies scheint mit herkömmlichen Massivbauweisen nur schwer realisierbar.

6.2.3 Handlungsbedarf Herstellungsphase Treibhauspotential

In der Herstellungsphase herrscht Handlungsbedarf bei den Baustoffherstellern, ökologische Alternativen zu bestehenden Zuschlagsstoffen u.Ä. zu finden. Auch die Firma Xella Porenbeton Österreich GmbH ist dazu angehalten, diesbezüglich zu reagieren. In Abbildung 46 ist erkennbar, dass die Bauweise des Blocks B2 vor allem bei der Herstellung höhere Werte erzielt. Gemeinsam mit den geringeren Gutschriften in der EOL-Phase ergibt sich daraus, dass die Mineralschaum Dämmplatten – wie in Abbildung 49 und Abbildung 52 ersichtlich – in Relation zur EPS Dämmung von Block B ein deutlich schlechteres Gesamtergebnis erzielen.



6.3 Schlussfolgerung

6.3.1 Empfehlung für die 2. Bauphase

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit werden die Projektkosten im Kapitel 3.5 nur überschlagsmäßig dargestellt. Es wird keine Lebenszykluskostenanalyse durchgeführt. Diese wäre eine sinnvolle Ergänzung bei einer ausführlicheren weiteren Betrachtung und Interpretation der Ergebnisse.

Das wesentliche Ergebnis der vorliegenden Masterarbeit ist jedoch, dass am aktuellen Stand weder eine der drei Planungsoptionen (Blöcke A, B und C), noch die zusätzliche Variante (Block B2) den Ansprüchen gerecht wird, als lebenszyklusoptimiert zu gelten.

Zentrales Ziel der Arbeit ist es, ein lebenszyklusoptimiertes Gebäude zu ermitteln. Nach eingehender Betrachtung aller Ergebnisse wurde erkannt, dass bei der vorliegenden Planung noch erkennbares Verbesserungspotential gegeben ist.

Es liegt nahe, eine Kombination verschiedener Bauteile und Baustoffe durchzuführen. Um die Ansprüche einer möglichst ökologischen Bauweise zu erfüllen, wäre es erstrebenswert, in der zweiten Bauphase eine Kombination der Varianten Block B und Block C auszuführen.

- **Außenwände**

Die Strohkonstruktion der Außenwände des Blocks C erzielen ausgezeichnete Werte bei der gesonderten Analyse im Kapitel 5.3.4 (siehe Abbildung 51 und Abbildung 52).

- **Decken**

Betrachtet man die Ergebnisse der (Geschoss-)decken und des Dachs der Blöcke B und B2 (Holzmassivdecken) im Kapitel 5.3.2, ist deutlich erkennbar, dass die Holzdecken bei einer rein ökologischen Betrachtung eindeutige Vorteile gegenüber den Stahlbetondecken haben. Somit ist eine Kombination der beiden Blöcke B und C (siehe Tabelle 24) ökologisch betrachtet optimal und auch bautechnisch sollte diese neue Variante nicht komplizierter auszuführen sein.

Tabelle 24: Überblick über die Empfehlung für die Konstruktion in der 2. Bauphase (eigene Darstellung)

Wandkonstruktion	Dämmmaterial Wände	Deckenkonstruktion	Dämmmaterial Decken
Holzriegelkonstruktion	40 cm Strohdämmung	Holzmassivdecke	EPS



Durch die Berücksichtigung des Unterschieds der Dach- und Deckenkonstruktion, d.h. Außenwände, Bodenplatte, Fundamente, Innenwände und Haustechnik entsprechen der Stroh-Holzleichtbauweise des Blocks C und Dach und Geschosdecken entsprechen dem Porenbeton-Systembau mit Holzmassivdecken (Block B), ergeben sich für die optimierte Kombination der oben genannten Bauteile Verbesserungen; einen Überblick dieser Verbesserungen bietet die Tabelle 25.

Tabelle 25: Verbesserung der Ergebnisse der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar durch Kombination der Bauweisen Block B und C (eigene Darstellung)

Bauteil	Primärenergie nicht regenerierbar [kWh/(m ² *a)]			Treibhauspotential [kg CO ₂ Äq./(m ² *a)]		
	Block B	Block C	Kombination	Block B	Block C	Kombination
	Außenwände	7,132	-0,444	-0,444	2,152	0,345
Dach	9,071	11,516	9,071	2,324	3,854	2,324
Geschosdecken	4,345	6,831	4,345	0,545	2,232	0,545
Bodenplatte	12,705	12,962	12,962	5,195	5,303	5,303
Fundamente	0,673	0,673	0,673	0,417	0,417	0,417
Innenwände	3,323	3,975	3,975	1,022	1,393	1,393
Wärmeerzeugungsanlagen	6,455	6,455	6,455	1,805	1,805	1,805
SUMME K (H+I+E)	43,70	41,967	37,036	13,46	15,35	12,133
Betriebsenergie (N)	10,86	10,86	10,86	2,85	2,85	2,85
Gesamtwert (K+N)			47,90			14,98

Wie auf Abbildung 53 auf Seite 82 ersichtlich ist das Ergebnis für den Wirkungsindikator Primärenergiebedarf nicht regenerierbar um 21 % bzw. 12,75 (kWh/m²*a) besser als jenes der konventionellen Bauweise des Blocks A (Werte des Blocks A vgl. Tabelle 23). Für den Indikator Treibhauspotential ergibt sich ein um 26 % oder 5,14 kg CO₂ Äq./(m²*a) vorteilhafteres Resultat im Vergleich zu der Ziegelmassivbauweise des Blocks A.

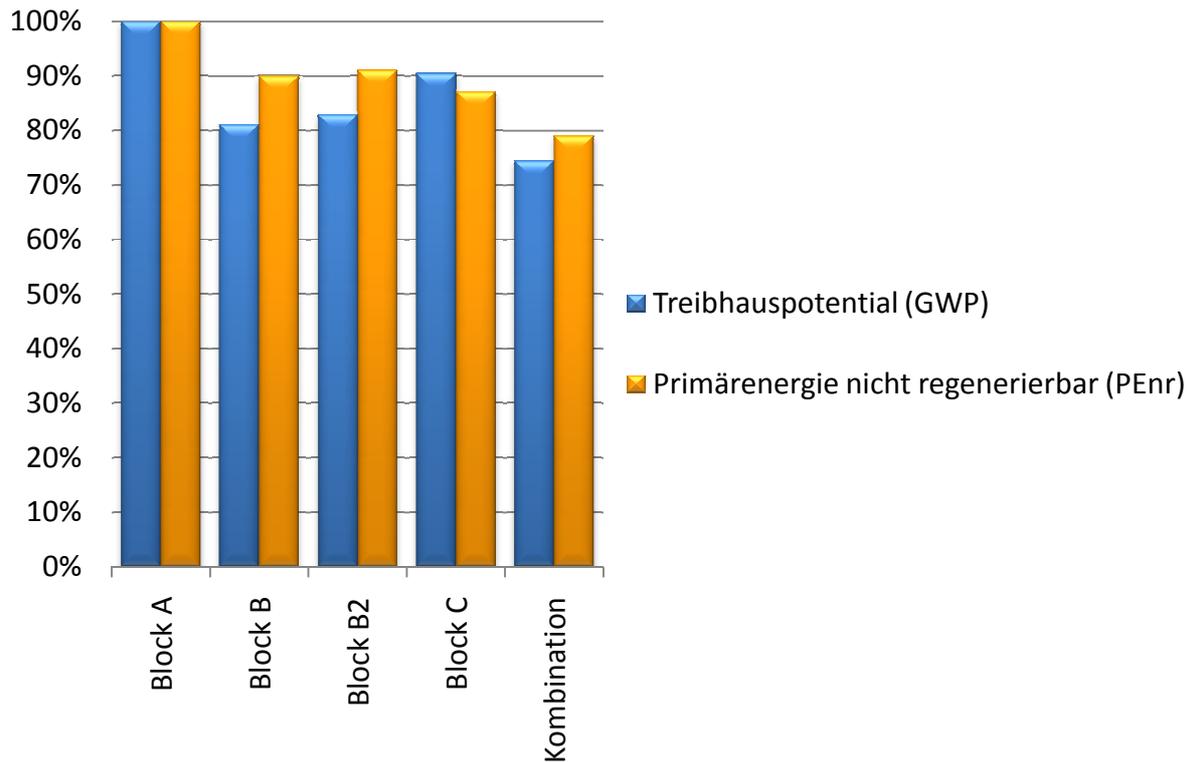


Abbildung 53: Die Ergebnisse der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar. Darstellung der Blöcke B, B2, C und der Kombination der Bauweisen von Block B und C (Empfehlung für die 2. Bauphase) in Relation zu Block A (eigene Darstellung)

Die signifikanteste Information, die aus den Untersuchungen gezogen werden kann, ist, dass immer die Gebäude als Ganzes betrachtet werden müssen, um Ökobilanzen zu optimieren. Eine Analyse – nicht nur über den gesamten Lebenszyklus, sondern auch über alle Bauteile und Materialien – ermöglicht eine Verbesserung und Nutzungssteigerung für zukünftige Projekte.



Abkürzungsverzeichnis

A/V	Oberfläche-zu-Volumen(-Verhältnis)
AP	Acidification Potential – Versauerungspotential
ASI	Austrian Standards Institute
BGF	Brutto Grundfläche
BMVBS	Dt. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BMWFJ	Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend
CO₂	Kohlendioxid
C₂H₄	Ethen
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
EIV	Energieinstitut Vorarlberg
EOL	End of Life
EP	Eutrication Potential - Eutrophierungspotential
f_{GEE}	Gesamtenergieeffizienz-Faktor
GWP	Global Warming Potential - Treibhauspotential
HEB	Endenergiebedarf des Gebäudes
HTEB	Heiztechnikenergiebedarf
HTEB-RH	Heiztechnikenergiebedarf Raumheizung
HTEB-WW	Heiztechnikenergiebedarf Warmwasser
HWB	Heizwärmebedarf
IBO	Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH
ISO	International Organization for Standardization
LCA	Life Cycle Assessment



LCCA	Life Cycle Cost Analysis
NF	Nutzfläche
NGF	Netto-Grundfläche, etwa 90 % der BGF
o.J.	Quelle ohne Jahresangabe
ODP	Ozone Depletion Potential - Ozonabbaupotential
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
OiB	Österreichisches Instiut für Bautechnik
ÖNORM	Nationale Norm vom ASI veröffentlicht
PE	Primärenergie
PE_{nr}	Primärenergie nicht regenerierbar
PE_r	Primärenergie regenerierbar
PO₄	Phosphat
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential - Sommersmogpotential
R	Wärmedurchgangswiderstand
R11	Referenz FCKW
RL	Richtlinie
SO₂	Schwefeldioxid
U-Wert	Maß für Wärmedurchgang durch ein Bauteil - Wärmedurchgangskoeffizient
WWWB	Warmwasserwärmebedarf



Literaturverzeichnis

- a3B:Tec Building Technologies & Solutions. 2011.** Pilotprojekt Element of Stroh. Mödling: a3 Wirtschaftsverlag GmbH, 2011.
- Abteilung Wohnungsförderung und Gruppe Baudirektion. 2009.** Leitfaden für die Gestaltungsbeiräte bzw. Architektur- und Planungsauswahlverfahren in Niederösterreich. St.Pölten : NÖ Landesregierung, 2009.
- baubook. 2010.** Waldland Baustrohballen. [Online] 12. Mai 2010. [Zitat vom: 08. April 2013.] <http://www.baubook.at/m/PHP/Info.php?SI=2142704550&SW=5>.
- Bauer, M., Hausladen, G., Hegger, M., Hegner, H.-D., Lützkendorf, T., Radermacher, F. J., Sedlbauer, K., Sobek, W. 2011.** *Nachhaltiges Bauen: Zukunftsfähige Konzepte für Planer und Entscheider*. Berlin : Beuth, 2011.
- BGBL Nr. 27/2012 für die Republik Österreich. 2012.** Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012. [Online] 20. April 2012.
- BMVBS. 2011.** Leitfaden Nachhaltiges Bauen. www.nachhaltigesbauen.de. [Online] Februar 2011. [Zitat vom: 27. November 2012.] http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2011/LFNB2011.pdf.
- BMVBS. 2011.** Methodische Grundlagen - ökobilanzierte Umweltindikatoren im Bauwesen. www.nachhaltigesbauen.de. [Online] 9.. Dezember 2011. [Zitat vom: 29. November 2012.] [HTTP://WWW.NACHHALTIGESBAUEN.DE/FILEADMIN/OEKOBAUDAT/PDF/METHODISCHE_GRUNDLAGEN__09.08.2012_.PDF](http://WWW.NACHHALTIGESBAUEN.DE/FILEADMIN/OEKOBAUDAT/PDF/METHODISCHE_GRUNDLAGEN__09.08.2012_.PDF).
- BMVIT. 2010.** Energiestrategie Österreich. *Nachhaltig wirtschaften*. [Online] 11. März 2010. [Zitat vom: 28. November 2012.] <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/e2050/results.html/id6743>.
- BMVIT. o.J..** *Ökoinform Themenfolder: Bewertete Realisierungsbeispiele im "Haus der Zukunft"*. o.J.
- BMWVJ. 2010.** Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend: Energiestrategie Österreich. www.energiestrategie.at. [Online] April 2010. [Zitat vom: 29. November 2012.] http://www.energiestrategie.at/images/stories/pdf/longversion/energiestrategie_oesterreich.pdf.
- BNB. 2010.** *Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen*. Berlin : BMVBS, 2010.
- BRE Global. BREEAM: Code for Sustainable Homes.** [Online] [Zitat vom: 15. April 2013.] <http://www.breeam.org/page.jsp?id=86>.
- Brundtland Kommission. 1987.** *Brundtland Bericht - Unsere Gemeinsame Zukunft*. Greven : Eggenkamp, 1987.
- Dahlhaus, U.J., Meisel, U. 2009.** *Nachhaltiges Bauen 2008/2009*. Essen : Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen GmbH & Co., 2009.



- derStandard.at. 2012.** Neue Energieausweis-Regelungen im Detail. *derStandard.at*. [Online] 16.. Mai 2012. [Zitat vom: 27. Februar 2013.] <http://derstandard.at/1336697027830/OeVI-Expertenbeitrag-Neue-Energieausweis-Regelungen-im-Detail>.
- derStandard.at. 2012.** Neue Förderaktion startet im Februar. *derstandard.at*. [Online] 27. Januar 2012. [Zitat vom: 27. Februar 2013.] <http://derstandard.at/1326503902191/Neue-Foerderung-startet-im-Februar>.
- Ebert, T., Eßig, N., Hauser, G. 2010.** *Zertifizierungssysteme von Gebäuden*. München : Detail, 2010.
- EIV und IBO. 2012.** Kriterienkatalog Wohngebäude Neubau V 5.0. *klima:aktiv*. [Online] 1. Jänner 2012. [Zitat vom: 29. November 2012.] <http://www.klimaaktiv.at/kriterienkataloge>.
- GrAT. 2013.** Gruppe angepasster Technologien - S-House: Forschungsforum 3/2005 Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes im Rahmen von „Haus der Zukunft“. [Online] 2013. [Zitat vom: 21. März 2013.] http://www.s-house.at/FF3-05_deutsch.pdf.
- Gruber, H., Gruber, A. und Santler, H. 2008.** *Neues Bauen mit Stroh*. Staufen bei Freiburg : ökobuch Verlag, 2008.
- Haus der Zukunft. 2004.** Foto-Webtagebuch S-House in Böheimkirchen. [Online] 16. November 2004. [Zitat vom: 27. März 2013.] <http://www.hausderzukunft.at/diashow/shouse/index.htm?slide=30>.
- IBO GmbH. 2012.** *Natureplus Bericht: Ökologische Kennwerte der Produkte Ytong Porenbetonsteine und Systemwandelemente, Fa. Xella Porenbeton Österreich*. Wien : 2012.
- IBO GmbH. 2012.** *Natureplus Bericht: Ökologische Kennwerte für das Produkt Ytong Multipor, Fa. Xella Deutschland GmbH*. Wien : 2012.
- Inhabitat. 2007.** *HOK's Leed Certified Straw Bale Building*. [Online] 25. Oktober 2007. [Zitat vom: 27. März 2013.] <http://inhabitat.com/hoks-leed-gold-certified-straw-bale-building/hokstrawbale4jpg/>.
- ISO 14040. 2006.** *Ökobilanz-Prinzipien und allgemeine Anforderungen*. Genf : International Standards Organization, 2006.
- ISO 14044. 2006.** *Umweltmanagement-Ökobilanz-Anforderungen und Anleitungen*. Genf : International Standards Organization, 2006.
- ISO 15686-5. 2008.** *Buildings and constructed assets - Service life planning: Part 5, Life-cycle costing*. Genf : International Standards Organization, 2008.
- Kibert, C. J. 2005.** *Sustainable Construction. Green Building Design and Delivery*. Hoboken, New Jersey : John Wiley&Sons, Inc, 2005.
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J., Lützkendorf, T. 2009.** *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung*. München : Detail, 2009.
- Krapfenbauer, M. 2011.** *Energieausweis Amselgasse Lasse. 4. August 2011*.



- Lebensministerium. 2007.** *Klimastrategie Österreich.* [Online] 31. März 2007. [Zitat vom: 27. 02 2013.]
http://www.lebensministerium.at/umwelt/klimaschutz/klimapolitik_national/klimastrategie/Klimastrategie.html.
- Litschauer, C. 2011.** *Energiezukunft Österreich 2050. WWF.* [Online] 2011. [Zitat vom: 28. November 2012.] <http://www.wwf.at/de/menu447/subartikel1945/>.
- Meingast, R. 2005.** *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 29/2005: Lehm-Passiv Bürohaus Tattendorf.* Wien : BMVIT, 2005.
- ÖGNB. 2013.** TQB Bewertung. www.oegnb.net. [Online] 04. März 2013. [Zitat vom: 04. März 2013.]
<https://www.oegnb.net/tqb.htm>.
- ÖGNI. 2013.** *DGNB Systembroschüre.* 2013.
- OIB. 2011.** *OIB Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz.* 2011.
- Ökobau.dat. 2009.** [Online] 2009.
- Ökopark Lasee. o.J..** Fernwärme aus Stroh. [Online] o.J. [Zitat vom: 29. April 2013.]
http://www.unserboden.at/files/lasee_grammanitsch.pdf.
- ON V 31. 2001.** *Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen.* Wien : Austrian Standards Institute, 2001.
- ÖNORM EN 15643. 2010.** *Nachhaltigkeit von Bauwerken.* Wien : Austrian Standards Institute, 2010.
- ÖNORM EN 15978. 2012.** *Nachhaltigkeit von Bauwerken-Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden.* Wien : Austrian Standards Institute, 2012.
- Payerl, G. 2013.** *Schriftliche Mitteilung betreffend Porenbeton Daten.* 02. April 2013.
- RL 2002/91/EG. 2002.** *Richtlinie des Europäischen Parlaments zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.* 2002.
- RL 2010/31/EU. 2010.** *Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).* 2010.
- Statistik Austria. 2011.** Gesamtenergiebilanz Österreich. www.statistik.at. [Online] 20. November 2011. [Zitat vom: 27. November 2012.]
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html.
- SV Landesverband Steiermark und Kärnten. 2006.** *Nutzungsdauerkatalog.* Graz : s.n., 2006.
- Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH. 2011.** Pläne Amselgasse Lasee. 2011.
- Treberspurg, M. 1999.** *Neues Bauen mit der Sonne.* Wien : Springer-Verlag, 1999.
- Treberspurg, M. 2013.** *Ressourcenorientiertes Bauen: 10. Vorlesung 2013.* 2013.



Waldland. o.J.. Stroh als Baustoff. [Online] o.J. [Zitat vom: 16. April 2013.]
http://www.waldland.at/de/waldviertler_flachshaus/strohdaemmung/.

Wimmer, R., Hohensinner, H., Drack, M. 2006. *Berichte aus Energie- und Umweltforschung 12/2006: S-House Innovative Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen am Beispiel eines Büro- und Ausstellungsgebäudes.* Wien : BMVIT, 2006.

Wimmer, R., Hohensinner, H., Eikemeier, S. 2010. *Stroh-Cert - Zertifizierung, Logistik und Qualitätsmanagement für den Strohballebau.* Wien : BMVIT, 2010.

Wurm, M. 2013. *Schriftliche Mitteilung betreffend Ökokennzahlen von Strohbällen.* IBO GmbH.26. März 2013.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. 2013. *YTONG Porenbeton.* [Online] 21. 03 2013. [Zitat vom: 21. 03 2013.] http://www.ytong.at/de/content/news_ytong-fur-industrie-und-gewerbebau-wiener-obi-flagshipstore-mit-ytong-wandelementen.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Bilder YTONG. [Online] o.J. [Zitat vom: 27. März 2013.] <http://www.xella.com/en/content/1884.php>.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Produkte: Multipor Innendämmung. [Online] o.J. [Zitat vom: 18. April 2013.] http://www.ytong.at/de/content/multipor_innendaemmung_1223.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Referenzen: Einfamilienhaus im Passivhausstandard Horitschon. [Online] o.J. [Zitat vom: 23. April 2013.] http://www.ytong.at/de/content/einfamilienhaus_im_passivhausstandard_1431.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Referenzen: Kindergarten mit Kleinkindergruppe in Loosdorf. [Online] o.J. [Zitat vom: 18. April 2013.] http://www.ytong.at/de/content/kindergarten_mit_kleinkindergruppe_in_loosdorf_1428.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Referenzen: Kindergarten mit Kleinkindergruppe Loosdorf. [Online] o.J. [Zitat vom: 18. April 2013.] http://www.ytong.at/de/content/kindergarten_mit_kleinkindergruppe_in_loosdorf_1428.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Referenzen: Museum am Bergisel. [Online] o.J. [Zitat vom: 18. April 2013.] <http://www.ytong.at/de/content/referenzen-ytong-multipor-museum-am-bergisel.php>.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. o.J.. Ytong Porenbeton. [Online] o.J. [Zitat vom: 27. März 2013.] http://www.ytong.at/de/content/ytong_porenbeton_1274.php.

Xella Porenbeton Österreich GmbH. 2013. *YTONG Porenbeton. YTONG Porenbeton.* [Online] 21. März 2013. [Zitat vom: 21. März 2013.] http://www.ytong.at/de/content/ytong_porenbeton_1274.php.



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Modell der Energiestrategie Österreich [aus (BMWFJ, 2010 S. 9)]	3
Abbildung 2: Zusammenhänge zwischen den Qualitäten des nachhaltigen Bauens [aus (BMVBS, 2011 S. 15)]	6
Abbildung 3: Einflussnahmemöglichkeiten auf die Bauwerkseigenschaften während der Planung [aus (BMVBS, 2011 S. 39)]	7
Abbildung 4: Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes [aus (ÖNORM EN 15978, 2012 S. 23)]	7
Abbildung 5: Beispiel für eine DGNB/ÖGNI Bewertungsgrafik [aus (ÖGNI, 2013 S. 14)]	10
Abbildung 6: Vergleich der Zertifizierungssysteme [aus (Ebert et al. 2010 S. 94)]	11
Abbildung 7: Lebenszyklus eines Bauproduktes (schematisch) [aus (BMVBS, 2011 S. 13)]	12
Abbildung 8: Zusammenhänge zwischen den Phasen der Ökobilanz [aus (ISO 14040, 2006 S. 13)]	14
Abbildung 9: Darstellung des Unterschieds zwischen der Lebenszykluskostenrechnung im weiteren und engeren Sinn [aus (ISO 15686-5, 2008 S. 6)]	15
Abbildung 10: Beeinflussbarkeit der Kosten eines Bauwerks über den Lebenszyklus. Vergleich der konventionellen mit einer lebenszyklusoptimierten Planung [aus (BMVBS, 2011 S. 23)]	16
Abbildung 11: Darstellung der Wohnhausanlage Amselgasse aus der Vogelperspektive (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	17
Abbildung 12: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Nordostansicht und Ansicht Müll- und Fahrradabstellräume (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	18
Abbildung 13: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Nordostansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	18
Abbildung 14: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Südostansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	19
Abbildung 15: Visualisierung Wohnhausanlage Amselgasse; Südwestansicht (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	19
Abbildung 16: Orientierung der Flächen der Blöcke A, B und C (v.l.n.r.) [eigene Darstellung nach (Krapfenbauer, 2011)]	23
Abbildung 17: Spezifischer Heizwärmebedarf Block B – entspricht ungefähr Durchschnittswert 20,5 kWh/(m ² *a) [aus (Krapfenbauer, 2011)]	25
Abbildung 18: Planausschnitt Block A - Massivbauweise (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	26
Abbildung 19: Visualisierung der Herstellung des Baustoffs Porenbeton (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	27
Abbildung 20: Bauweise Porenbeton: Ytong Stein (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	28

Abbildung 21: Kindergarten Loosdorf (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	28
Abbildung 22: Ytong Thermoblock 30 cm (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	29
Abbildung 23: Einfamilienhaus im Passivhausstandard, Erbauungsphase (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	29
Abbildung 24: Multipor Dämmplatten (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	30
Abbildung 25: Beispiel für Innendämmung mit Multipor: Bergisel Museum (Xella Porenbeton Österreich GmbH, o.J.)	30
Abbildung 26: Planausschnitt Block B - Porenbeton (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	31
Abbildung 27: Ergebnisse für die ökologischen Indikatoren von Porenbeton im Natureplus e.V. Prüfbericht [aus (IBO GmbH, 2012 S. 4)]	32
Abbildung 28: Ergebnisse für die ökologischen Indikatoren von Multipor im Natureplus e.V. Prüfbericht [aus (IBO GmbH, 2012 S. 5)]	32
Abbildung 29: Strommix Herstellung Porenbeton: Vergleich Österreich/Deutschland [eigene Darstellung nach (schriftliche Auskunft Payerl, 2013) und (Ökobau.dat, 2009)]	34
Abbildung 30: Detail Santa Clarita Transit Maintenance Facility (Inhabitat, 2007)	35
Abbildung 31: Santa Clarita Transit Maintenance Facility Erbauungsphase (Inhabitat, 2007)	35
Abbildung 32: Aufbau Außenwand S-House [schriftliche Auskunft (Smutny, 2013) nach (Wimmer, 2006)]	36
Abbildung 33: S-House Böheimkirchen in der Erbauungsphase (Haus der Zukunft, 2004)	36
Abbildung 34: Wandaufbau Lehm Passiv-Bürohaus Tattendorf [aus (Meingast, 2005 S. 48)]	37
Abbildung 35: Stroheinbau in das Wandelement des Lehm Passiv-Bürohauses Tattendorf [aus (Meingast, 2005 S. 10)]	37
Abbildung 36: Planausschnitt Block C - Stroh (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)	38
Abbildung 37: Graphische Darstellung der Bauwerkskosten gegliedert nach Gewerbeebenen [eigene Darstellung nach (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]	44
Abbildung 38: Darstellung der nicht bilanzierten Phasen (blau hinterlegt) [eigene Darstellung nach (ÖNORM EN 15978)]	47
Abbildung 39: Überblick über die Tabs im LCA File (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)	50
Abbildung 40: Durchführung der Mengenermittlung im LCA Tool (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)	52
Abbildung 41: Nutzungsdauer der Baustoffe (eigene Darstellung - Screenshot Excel LCA Tool)	53
Abbildung 42: Das Gesamtergebnis der Ökobilanz und der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar gewichtet nach den	

Bewertungsfaktoren der DGNB Kriterien. Darstellung der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (eigene Darstellung)	60
Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse für alle Wirkungsindikatoren der Blöcke B, B2 und C in Relation zu Block A (eigene Darstellung)	61
Abbildung 44: Graphische Darstellung der absoluten Werte der Ergebnisse für die maßgebenden Wirkungsindikatoren Primärenergie nicht regenerierbar (links) und Treibhauspotential (rechts) (eigene Darstellung)	63
Abbildung 45: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (eigene Darstellung)	64
Abbildung 46: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet über die Lebenszyklusphasen Herstellung, Instandhaltung, Entsorgung und Betriebsenergie (eigene Darstellung)	65
Abbildung 47: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	67
Abbildung 48: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Bauteilgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	68
Abbildung 49: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	70
Abbildung 50: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	71
Abbildung 51: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Primärenergiebedarf nicht regenerierbar der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	73
Abbildung 52: Das Gesamtergebnis des Wirkungsindikators Treibhauspotential der Außenwände betrachtet nach den Materialgruppen der Ökobau.dat (eigene Darstellung)	75
Abbildung 53: Die Ergebnisse der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar. Darstellung der Blöcke B, B2, C und der Kombination der Bauweisen von Block B und C (Empfehlung für die 2. Bauphase) in Relation zu Block A (eigene Darstellung)	82

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: DGNB Kriterien [Datenquelle: (ÖGNI, 2013)]	10
Tabelle 2: Flächen der Thermischen Gebäudehülle [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	22
Tabelle 3: Vergleich Außenwandfläche/Fensterfläche [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	22
Tabelle 4: Gebäudedaten der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis (Brutto-Grundfläche, Kompaktheit, mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient)	24
Tabelle 5: Wärme- und Energiebedarf der Blöcke A,B und C lt. Energieausweis	25
Tabelle 6: Kenndaten Porenbetonbauweise LCA Tool [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009), (Krapfenbauer, 2011), (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006)]	31
Tabelle 7: Vergleich der Daten der Wirkungsindikatoren [Datenquelle: (IBO GmbH, 2012) und (Ökobau.dat, 2009)]	33
Tabelle 8: Vor- und Nachteile des Strohbaus [Datenquelle: (Wimmer et al., 2010)]	34
Tabelle 9: Strohdaten für alle Wirkungsindikatoren [Datenquelle: (schriftliche Auskunft Wurm, 2013)]	39
Tabelle 10: Kenndaten Strohbauweise LCA Tool [Datenquelle: (schriftliche Auskunft Wurm, 2013) und (Ökobau.dat, 2009)]	39
Tabelle 11: Vergleich signifikanter Bauteile [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	40
Tabelle 12: Übersicht über die Bauwerkskosten gegliedert nach Gewerkeebenen [Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]	43
Tabelle 13: Lichte Raumhöhe der Blöcke A,B und C [Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]	45
Tabelle 14: Aufbauten und Flächen der Innenwände der Blöcke A, B und C [Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]	45
Tabelle 15: Äquivalente Schichtdicke Multipor Dämmung Block B2 [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	48
Tabelle 16: Materialgruppen in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]	49
Tabelle 17: Bauteilgruppen in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]	50
Tabelle 18: EOL-Gruppen-EOL-Datensätze in der Ökobau.dat [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]	50
Tabelle 19: BGF Amselgasse [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	53
Tabelle 20: Ökobau.dat Daten, EOL-Prozesse, Nutzungsdauer, Dichte [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011), (Ökobau.dat, 2009), (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006) und (ON V31, 2001)]	55
Tabelle 21: Überblick über die Bauweisen, die Teil der Auswertung sind [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]	59



Tabelle 22: DGNB/ÖGNI NBV09 Bewertungsfaktoren [Datenquelle: (ÖGNI, 2013)]	60
Tabelle 23: Übersicht über die rechnerischen Ergebnisse der maßgebenden Faktoren Primärenergiebedarf nicht regenerierbar und Treibhauspotential (eigene Darstellung)	63
Tabelle 24: Überblick über die Empfehlung für die Konstruktion in der 2. Bauphase (eigene Darstellung)	80
Tabelle 25: Verbesserung der Ergebnisse der Wirkungsindikatoren Treibhauspotential und Primärenergie nicht regenerierbar durch Kombination der Bauweisen Block B und C (eigene Darstellung)	81



Anhang

Anhang 1: Beispiel für Ökobau.dat Datensatz –Porenbeton P2 04 unbewehrt

Datensatz: 1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt; 380 kg/m³ (de)	
Inhalt: Datensatzinformation - Modellierung und Validierung - Umweltindikatoren	
Datensatzinformation	
Kerninformation des Datensatzes	
Geographische Repräsentativität	DE
Referenzjahr	2004
Name	Basisname; Technische Kennwerte/ Eigenschaften 1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt; 380 kg/m ³
Technisches Anwendungsgebiet	Porenbeton P2 04 unbewehrt
Fluss	Porenbeton P2 04 unbewehrt (m³)
Kerninformation des Datensatzes	1 m ³ (Volumen)
Anwendungshinweis für Datensatz	Der vorliegende Datensatz ist bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen, da kein unabhängiges Review vorliegt. Das Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert auf direkten Datenerhebungen der Porenbeton-Hersteller.
Gliederung Produktgruppe ()	Klassifizierung / Ebene / Ebene / Ebene Prozesse / 1 Mineralische Baustoffe / 1.3 Steine und Bauelemente / 1.3.03 Porenbeton
	Urheberrecht? Ja Eigner des Datensatzes (contact data set) PE INTERNATIONAL
Quantitative Referenz	
Referenzfluss (Name und Einheit)	Porenbeton P2 04 unbewehrt (m ³) - m ³ (Volumen)
Zeitliche Repräsentativität	
Zeitliche Gültigkeit des Datensatzes	2012
Erläuterungen zur zeitlichen Repräsentativität	Jährlicher Durchschnitt



Technische Repräsentativität					
Technische Beschreibung inklusive der Hintergrundsysteme	Die Lebenszyklusanalyse von 1m ³ Porenbeton umfasst die Lebenswegabschnitte cradle to gate, d.h. die Herstellung von Roh- und Hilfsstoffen sind ebenso berücksichtigt wie die Porenbeton-Produktion inkl. Werksbetrieb und Verpackung (Holzpaletten, PE-Folie) sowie der Verwertung der Verpackung. Als Rohstoffe dienen vorrangig Sand, Kalk und Zement. Die Systemgrenze bildet das versandfertige Produkt am Werkstor. Transporte vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt und müssen bei Systembetrachtungen eingerechnet werden.				
Modellierung und Validierung					
Angewandte Methode und Allokation					
Art des Datensatzes	EPD				
Datenquellen und Repräsentativität					
Datenquellen (source data set)	<u>Ökobilanz Porenbeton - Studie im Auftrag des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V., 2006</u>				
	<u>GaBi4 Software und Datenbank 2006</u>				
	<u>Bundesverband Porenbetonindustrie</u>				
	<u>Ökobilanz für den Baustoff Porenbeton und Porenbeton-Wandkonstruktionen, 1997</u>				
Validierung					
Review	<i>Dependent internal review</i>				
Reviewer (Name und Institution) (contact data set)	<u>PE INTERNATIONAL</u>				
Administrative Information					
Dateneingabe					
Zeitpunkt der Dateneingabe	2009-08-13 15:11:22 +01:00				
Kennung					
UUID des Datensatzes	b5057108-cf93-4985-9135-c526c7acb110				
Letzte Änderung/Letzte Änderung	2009-08-13T15:11:22+01:00				
Umweltindikatoren					
Indikatoren der Sachbilanz					
	Indikator	Richtung	Wert	Einheit	Anteile
Inputs					



Inputs			
Primärenergie nicht regenerierbar	Input	597 MJ	
- Braunkohle			19 %
- Steinkohle			28 %
- Erdgas			14 %
- Erdöl			19 %
- Uran			19 %
Primärenergie regenerierbar	Input	29,3 MJ	
- Wasserkraft			37 %
- Windkraft			24 %
- Sonnennutzung (Solarenergie)			38 %
- Sonnennutzung (Biomasse)			0 %
Sekundärbrennstoffe	Input	102 MJ	
Wassernutzung	Input	210 kg	
Outputs			
Abraum und Erzaufbereitungsrückstände	Output	289 kg	
Hausmüll und Gewerbeabfälle	Output	0,93 kg	
Sonderabfälle	Output	0,11 kg	
Indikatoren der Wirkbilanz			
Indikator		Wert	Einheit
Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	Input	0,232 kg Sb-Äqv.	
Treibhauspotential (GWP 100)	Output	89,3 kg CO ₂ -Äqv.	
Versauerungspotential (AP)	Output	0,177 kg SO ₂ -Äqv.	
Photochem. Oxidantienbildungspot. (POCP)	Output	0,0168 kg Ethen-Äqv.	
Eutrophierungspotential (EP)	Output	0,024 kg Phosphat-Äqv.	
Ozonabbaupotential (ODP)	Output	3,088E-6 kg R11-Äqv.	

Screenshots [Datenquelle: (Ökobau.dat, 2009)]



Anhang 2: Beispiel für baubook Datensatz – Waldland Baustrohballen

Waldland Baustrohballen

Allgemein

Gelistet seit: **12. 5. 2010**
Produktindex: **8714 ac**

Einsatzbereich

Wand

Außendämmung

✓ Leichtelement

Kerndämmung

✓ Leichtelement

Innendämmung

✓ Unter Verputz

Dach

Steildachdämmung

✓ Zwischen Tragkonstruktion

Flachdachdämmung

✓ Kaltdach

Decke

Bodenplatte

✓ Oberhalb der Bodenplatte

Kellerdecke

✓ Oberhalb der Kellerdecke

Geschossdecke

✓ Oberste GD, begehbar

WALDLAND Baustrohballen wird verwendet als nicht belastbarer Dämmstoff zur Wärme und/oder Luftschalldämmung.

Anwendungsbereich Wand:

- Außenwanddämmung im Holzleichtbau (Holzziegelbau, Holzrahmenbau) als auch im Metallbau
- Zwischenwanddämmung als Wärmedämmung

Anwendungsbereich Dach:

- Geeignete nicht belüftete Dächer (Vollsparrendämmung)
- Flachdächer mit belüftetem Hohlraum unter der Dachabdichtung

Anwendungsbereich Decke / Boden:

- Decken unter nicht ausgebauten Dachgeschossen (Dämmung zwischen oder über der Tragkonstruktion)
- Hohlraumdämmung zwischen den Lagerhölzern von Fußbodenkonstruktionen als
- Hohlraumdämmung in Zwischendecken

Der Dämmstoff darf nicht in Konstruktionen eingebaut werden, wo er dem Niederschlag und der Bewitterung ausgesetzt ist, bzw. in solche, die gegen Erdreich grenzen.

Erfüllung der Kriterien

3. Wärmebedarf und Versorgung

✓ Heizwärmebedarf

8. Materialwahl, Baustoffe

- ✓ Frei von klimaschädlichen Substanzen
- ✓ Grenzwert für Kunststoffgehalt in Dämmstoffen
- ✓ Grenzwerte für KMR-Stoffe in Dämmstoffen
- ✓ Polyurethan freie Wärmedämmplatten
- ✓ Produkte ohne Metallverbund
- ✗ Zertifizierte ökologische Produkte

8. 1. PVC-Vermeidung

✓ Halogenfreie Verpackungen

9. Konstruktion und Gebäude (Ökoindex 3)

✓ Ökoindex 3 der thermischen Gebäudehülle



10. Innenraum
✓ VOC- und SVOC-Grenzwerte für Dämmstoffe

- ✓ Das Produkt erfüllt das Kriterium
- ✗ Das Produkt erfüllt das Kriterium nicht oder es liegen keine entsprechenden Nachweise vor

Beschreibung

Produktgruppe: Strohdämmstoff

Hersteller-
Beschreibung: Das Produkt besteht aus reinem Weizenstroh ohne jegliche Zusätze, das durch einen Pressvorgang auf eine Dichte von 95 kg/m³ bis 120 kg/m³ verdichtet und über Kunststoff- oder Sisalschnüre zusammengehalten wird. Waldland Baustrohballen werden mit folgenden Abmessungen hergestellt:

Nennstärke von 250 mm bis 900 mm
Nennlänge von 270 mm bis 1250 mm
Nennbreite von 400 mm bis 1250 mm

Bilder:



Dokumente: [ETA100032Deckblatt.pdf \(466 KB\)](#)
[WaldlandBSB_Produktbeschreibung.pdf \(36,4 KB\)](#)
[WaldlandBaustrohballen_Information.pdf \(145 KB\)](#)

Ökologische Einstufung



Gewichtung der Bewertungsindikatoren

Bauphysikalische Kennwerte

	Tats. Wert	Richtw.	
λ_y :	0,05	0,051	W/mK
ρ :	105	109	kg/m ³
c :	612	1600	J/kgK

Brennbarkeitsklasse: keine Angabe

Bauökologische Kennwerte

	Tats. Wert	Richtw.	
PEI n,e:	keine Angabe	0,801	MJ/kg
GWP100:	keine Angabe	-1,25	kg CO ₂ equ./kg
AP:	keine Angabe	0,000852	kg SO ₂ equ./kg

Dicke und Abmessungen

Abmessungen: keine Angabe

Dicke:
30 cm
40 cm
50 cm
60 cm
70 cm
80 cm



Inhaltsstoffe

Nachwachsende Rohstoffe ("Newaro"):	100 %
Mineralische Rohstoffe:	keine Angabe %
Kunststoffe:	keine Angabe %
Bitumen:	keine Angabe %
Recyclingstoffe:	keine Angabe %
Halogenorganische Verbindungen:	keine Angabe %
HFKW-Freiheit:	keine Angabe
Herkunftsland der Rohstoffe (Text):	keine Angabe
Inhaltsstoffe:	keine Angabe

Nachweisdokumente

CE-Kennzeichnung: keine Angabe

Sonstiges

Verarbeitung: keine Angabe

Hersteller

WALDLAND

Waldland Naturstoffe GmbH
A-3533 Friedersbach
Österreich



baubook standarddeklaration

Link zu dieser Seite:
<http://www.baubook.at/my/PHP/Info.php?SI=214270455085W=5>

[Seite drucken](#)
[Seite weiterempfehlen](#)

Screenshots [Datenquelle: (baubook, 2010)]



Anhang 3: Ermittlung der Nutzungsdauern der Baustoffe

Baustoff laut EAW	Annahme Ökobau.dat	Kommentar Nutzungsdauer	Nutzungsdauer
Abdichtung	PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung	Abdichtungen, Dichtungsbahn, Kunststoff S.4	50
Anstrich	Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	Anstriche(Beschichtungen), innen, Beton,Putz S.6	7,5
	Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	Außenanstriche auf Beton,Putz S.7	12,5
	Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	Außenanstriche auf Beton,Putz S.7	12,5
Betonplatten	Natursteinplatte hart Außenbereich	Bodenbeläge, Ziegelpflaster, Klinker außen S.12	30
bewehrtes Mörtelbett	Armierungsputzmörtel - IWM	Bodenbeläge, Estrich, Zement-Verbund S.11	50
Bodenbelag	Mehrschichtparkett	Holzbau, Böden, mehrschichtig, Holz, weich S.50	22,5
Dampfsperre	Dampfbremse PE	Abdichtungen, gegen Dampf, Folie S.4.	40
Dünnputz	Silikatputz	Putze, Außen, Grob- und Feinputz S.33	40
EPS - F	EPS PS 15	Wärmedämmungen von Wänden und Decken, außenliegend, Platte S.46	30
EPS Dämmung	EPS PS 30	Wärmedämmungen von Wänden und Decken, außenliegend, Platte S.46	30
Fenster	Aluminium-Rahmenprofil, thermisch getrennt, pulverbeschichtet	Fenster, Holz-Alu S.20	40
	Blendrahmen PVC-U	Fenster, Kunststoff S.20	25
	Flügelrahmen PVC-U	Fenster, Kunststoff S.20	25
	Isolierglas 3-Scheiben	Fenster, Holz-Alu S.20	40
	Isolierglas 2-Scheiben	Fenster, Kunststoff S.20	25
Porenbeton P2	Porenbeton P2 04 unbewehrt	Leichtwände, Leichtbeton S.29	50
Porenbeton P4	Porenbeton P4 04 unbewehrt	Leichtwände, Leichtbeton S.29	50



gebundene Dämmung	Porenbeton- Dämmplatte - Multipor	Wärmedämmungen von Wänden und Decken, außenliegend, Platte S.46	30
Gefällebeton i.M.	Transportbeton C20/25	Aufbeton, Gefällebeton/Ausgleichsbeton S.6	40
GK-F Platte	Gipskartonplatte (Feuerschutz)	Gipskartonplatten S.22	30
GP-F Platten	Gipskartonplatte (Feuerschutz)	Gipskartonplatten S.22	30
Gussasphalt	Gussasphalt	Bodenbeläge, Gussasphalt S.11	40
Hochlochziegel	Mauerziegel Durchschnitt - Poroton	Mauerwerk, Ziegel- S.30	100
Holzmassivwand	Konstruktionsvollholz	Riegelwände auch außen S. 68	40
Holzbalken lt. Statik	Konstruktionsvollholz	Holzdecken, Doppelbaum-, Tram S.23	80
Holzsteher	Konstruktionsvollholz	Holzdecken, Doppelbaum-, Tram S.23	80
Innenputz	Kalk-Innenputz	Putze, Innen, Trockenraum, auf Mauerwerk S.33	90
Lärchenholzsichtholzschalung	Schnittholz Lärche	Holzbau, Schalungen, außen S.64	35
Lärchenrost	Schnittholz Lärche	Holzbau, Schalungen, außen S.64	35
Lattung	Schnittholz Lärche	Lattenwände (Holz) S.29	50
Luftraum	Schnittholz Lärche	Lattenwände (Holz) S.29	50
Massivholzdecke verleimt	Konstruktionsvollholz	Holzdecken, Doppelbaum-, Tram S.23	80
MDF Platte	MDF - Egger	Verkleidungen, Fassaden senkrecht S.67	35
Mineralwolle	Mineralwolle (Innenausbau-Dämmung)	Wärmedämmungen von Wänden und Decken Platte S.46	30
Mineralwolle - Trittschall-dämmung	Mineralwolle (Boden-Dämmung)	Dämmungen, innen, Filz S.15	20
OSB Platte	OSB (Durchschnitt)	Verkleidungen, Wände und Decken innen S.67	40
PE-Folie	PE/PP Vlies	Abdichtungen, Dichtungs-	50



		bahn, Kunststoff S.4	
Rollierung	Kies 16/32	(Annahme)	50
Sauberkeitsschicht	Transportbeton C20/25	Aufbeton, Gefällebeton/Ausgleichsbeton S.6	40
Silikat-Dünnputz	Silikatputz	Putze, Außen, Grob- und Feinputz S.33	40
Spachtelung	Gips (CaSO ₄ -Alpha-Halbhydrat)	Deckenputze, innen, allgemein S.15	70
Stahlbeton	Betonfertigteil Wand, 40cm	Wände, Innen, Tragend, Beton S.45	80
Stahlbetonplatte	Betonfertigteil Decke, 20cm	Stahlbetonkonstruktionen, außen, geschützt S.38	80
Stahlstütze	Stahlprofil	Rohbau, Außenstützen Trag-schicht, Stahlkonstruktion, Stahl, DGNB min.	60
Steinwolle	Steinwolleplatte - ISOVER	Wärmedämmungen von Wänden und Decken, innenliegend Platte S.46	40
Strohdämmung	Strohdämmung, Strohballen, Waldland 105 kg/m ³	Wärmedämmungen von Wänden und Decken, außenliegend S.46	30
Terrazzoplatten	Steinzeugfliesen glasiert	Bodenbeläge Fortsetzung, Terrazzo S.12	40
Trapezblech im Gefälle	Stahl Feinblech (20µm bandverzinkt)	Blechabdeckungen, Stahl feuerverzinkt, S.10	30
Unterbeton bewehrt	Betonfertigteil Decke	Stahlbetonkonstruktionen, außen, geschützt S.38	80
Unterputz	Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	Putze, Außen, Grob- und Feinputz S.33	40
Weichfaserplatte	Holzfasерplatte DFF - Egger	Verkleidungen, Fassaden senkrecht S.67	30
Zementestrich	Zementestrich - IWM	Bodenbeläge, Estrich, Zement-Verbund S.11	50

Eigene Darstellung [Datenquelle: (SV Landesverband Steiermark und Kärnten, 2006)]



Anhang 4: Massenermittlung Fenster

Alu Fenster		Fläche Block A	Fläche Block B	Fläche Block C	Flächenanteil [%]	Flächengewicht [kg/m ²]	Quelle Flächenanteil	kg Block A	kg Block B	kg Block C
		Fläche	Fläche	Fläche	lfm/m ²	Spezifisches Gewicht [kg/lfm]				
	Glas	17,57	17,57	17,57	70 %	20	EAW	245,98	245,98	245,98
	Rahmen	17,57	17,57	17,57	3	1,43	EAW	75,38	75,38	75,38
	EPDM Dichtung	17,57	17,57	17,57	3	0,43	EAW	22,67	22,67	22,67
Kunststoff Fenster		Fläche	Fläche	Fläche	Flächenanteil [%]	Flächengewicht [kg/m ²]	Quelle Flächenanteil	kg Block A	kg Block B	kg Block C
		Fläche	Fläche	Fläche	lfm/m ²	Spezifisches Gewicht [kg/lfm]	Quelle Flächenanteil	kg Block A	kg Block B	kg Block C
	Glas	70,91	75,16	88,69	70 %	30	EAW	1489,11	1578,36	1862,49
	Blendrahmen	70,91	75,16	88,69	3	2,8	EAW	595,64	631,34	744,97
	Flügelrahmen	70,91	75,16	88,69	3	3,1	EAW	659,46	698,99	824,82
	EPDM Dichtung	70,91	75,16	88,69	3	0,43	EAW	91,47	96,96	114,41
Summe:								3179,71	3349,67	3890,73

Eigene Darstellung [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]



Anhang 5: Beispiel für Datensätze im Excel LCA Tool

Berechnung	Eingabezellen	Eingabezellen	Eingabezellen	Eingabezellen	Eingabezellen	Eingabe	Eingabe	Berechnung	Berechn	K
								#####		
						MATERIALGRUPPEN für Auswertung				
Material	Bauteilgruppe	Bauteil-Untergruppe	Bauteil-Nr.	Bauteilart und Schichten	Anmerkungen Material	Bauteilgruppe	Bestand (x)	Öko-bau.dat-Gruppe	Roh-stoff-gruppe	EoL-gruppe
Bezeichnung, Produkt	Material eingeben				optionale Eingabe	ÖGNI-DGNB-Doku	Ankreuzen wenn Bestand	dat. wenig genutzt	ÖGNI-DGNB-Doku	
Spalte für Orientierung	Zeile frei lassen				Bitte ergänzen gemäß Aufbautenliste aus Plan bzw. Energieleau					
				ACHTUNG, Hinweise zur Bearbeitung:						
				Zellen niemals verschieben (drag&drop) sondern kopieren (copy&paste).						
				Keine Zellen verbinden						
				Einfügen von Zeilen vermeiden! Wenn unbedingt notwendig, dann in eingefügt						
A	BLOCK A					BLOCK A				
Anstrich	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Anstrich	Annahme	AW		5		Mix
Anstrich	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Anstrich	Annahme	AW		5		Mix
Silikat-Dünnputz	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Silikat-Dünnputz	EAW	AW		1		Min
Unterputz	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Unterputz	EAW	AW		1		Min
EPS-F	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	EPS-F	EAW	AW		2		Heiz
Hochlochziegel	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Hochlochziegel	EAW	AW		1		Min
Innenputz	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Innenputz	EAW	AW		1		Min
Anstrich	AW	tragend	AW-An(o,s,w)	Anstrich	Annahme	AW		5		Mix
Abdichtung	AD	über 1. OG	AD3	Abdichtung	EAW	oD		6		Heiz
EPS Dämmung	AD	über 1. OG	AD3	EPS Dämmung	EAW	oD		2		Heiz
Dampfsperre	AD	über 1. OG	AD3	Dampfsperre	EAW	oD		6		Heiz
Gefällebeton i.M.	AD	über 1. OG	AD3	Gefällebeton i.M.	EAW	oD		1		Min
Stahlbetonplatte	AD	über 1. OG	AD3	Stahlbetonplatte	EAW	oD		1		Min
Spachtelung	AD	über 1. OG	AD3	Spachtelung	EAW	oD		1		Min
Anstrich	AD	über 1. OG	AD3	Anstrich	Annahme	oD		5		Mix
Plan: Kies	AD	über Technik	AD4	Plan: Kies	Plan	oD		1		Min
Abdichtung	AD	über Technik	AD4	Abdichtung	EAW	oD		6		Heiz
EPS Dämmung	AD	über Technik	AD4	EPS Dämmung	EAW	oD		2		Heiz
Dampfsperre	AD	über Technik	AD4	Dampfsperre	EAW	oD		6		Heiz
Gefällebeton i.M.	AD	über Technik	AD4	Gefällebeton i.M.	EAW	oD		1		Min
Stahlbetonplatte	AD	über Technik	AD4	Stahlbetonplatte	EAW	oD		1		Min
Spachtelung	AD	über Technik	AD4	Spachtelung	EAW	oD		1		Min
Annahme: Anstrich	AD	über Technik	AD4	Annahme: Anstrich	Annahme	oD		5		Mix



Berechnung	Eingabezellen	Eingabezellen	Berechnung	Eingabe	K	Eingabezellen	K	Eingabezellen	Berechnung	Eingabe
	Ökobau.dat Daten und Nutzungsdauer Herstellung					End-of-Life				
Material	Datensatz ökobau.dat Herstellung (H)	Anmerkungen Datensatz	Einheit Ökobau.dat	kg/Einheit manuell aus Ökobau.dat		Datensatz ökobau.dat End of Life (EOL)	Anmerkungen Datensatz	Einheit Ökobau.dat	kg/Einheit manuell aus Ökobau.dat	
Bezeichnung, Produkt	Ökobaudat2009	optionale Eingabe	kg, qm m3, item(s)	kg/EH		optional	kg, qm m3, item(s)	kg/EH		
Spalte für Orientierung	Zelle frei lassen					kg --> 1	k			kg --> 1
							Bereits ge			
							Wenn "M			
							"Bauschu			
							wenn H-C			
							und Ange			
Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	Annahme: Anstrich	kg	1		9.5 Bauschutt-Deponierung		kg	1	
Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispe	Annahme: Anstrich	kg	1		9.5 Bauschutt-Deponierung		kg	1	
Silikat-Dünnputz	1.4.04 Silikatputz		kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Unterputz	1.4.04 Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	EAW: Unterputz	kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
EPS-F	2.02 EPS PS 15		m3	15		6.8 Verbrennung PS in MVA incl. Gutschrift	deutsche	kg	1	
Hochlochziegel	1.3.02 Mauerziegel Durchschnitt - Poroton	EAW: Hochlochziegel	kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Innenputz	1.4.04 Kalk-Innenputz	EAW: Innenputz	kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfes	Annahme: Anstrich	kg	1		9.5 Bauschutt-Deponierung		kg	1	
Abdichtung	6.6.3 PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung		kg	1		6.8 Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Guts		kg	1	
EPS Dämmung	2.02 EPS PS 30		m3	30		6.8 Verbrennung PS in MVA incl. Gutschrift		kg	1	
Dampfsperre	6.6.2 Dampfbremse PE		kg	1		6.8 Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Guts		kg	1	
Gefällebeton i.M.	1.4.01 Transportbeton C20/25		m3	2365		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Stahlbetonplatte	1.3.05 Betonfertigteile Decke, 20cm		qm	504		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Spachtelung	1.1.03 Gips (CaSO4-Alpha-Halbhydrat)	EAW: Spachtelung	kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfes	Annahme: Anstrich	kg	1		9.5 Bauschutt-Deponierung		kg	1	
Plan: Kies	1.2.02 Schotter 16/32		kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Abdichtung	6.6.3 PE-HD mit PP-Vlies zur Abdichtung		kg	1		6.8 Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Guts		kg	1	
EPS Dämmung	2.02 EPS PS 30		m3	30		6.8 Verbrennung PS in MVA incl. Gutschrift		kg	1	
Dampfsperre	6.6.2 Dampfbremse PE		kg	1		6.8 Verbrennung Kunststoff in MVA incl. Guts		kg	1	
Gefällebeton i.M.	1.4.01 Transportbeton C20/25		m3	2465		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Stahlbetonplatte	1.3.05 Betonfertigteile Decke, 20cm		qm	504		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Spachtelung	1.1.03 Gips (CaSO4-Alpha-Halbhydrat)	EAW: Spachtelung	kg	1		9.5 Bauschutt-aufbereitung		kg	1	
Annahme: Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfes	Annahme: Anstrich	kg	1		9.5 Bauschutt-Deponierung		kg	1	



Berechnung	Eingabe	Eingabe	Eingabe	Eingabe	K	Berechnung	Öko	Berechnung	Berechnung													
							bau	Flächenermittlung		Mengenermittlung (Daten bei 1., 2. oder 3. eingeben)												
	Instandhaltung		Instandhaltung				dat			1. Mengenermittlung mittels Bauteilschicht			2. Mengenermittlung pro Fläche			3. Mengenermittlung						
Material	Nutzungs- dauer Baustoff	Quelle Nutzun- gs- dauer	Anmerk- ungen	Nutzungs- dauer im Bauteil	Ersatz in 50 Jahren			Netto-fläche	Faktor Brutto- / Netto- Bauteil- fläche	Brutto- Fläche	Flächen- anteil	Schichtdic- ke	Dichte	Quelle Dichte	Menge pro Fläche	Ein-heit	Flächen- anteil	kg / Einheit	Menge absolut			
Bezeichnung, Produkt	Jahre	Default t: ND- Katalo- g-AT	option al	Jahre	#			m ²	nur für Geschoss- Decken	m ²	%	m	kg/m ³		Einheit: m ³ , kg, lfm, Stück		%	kg	Einheit: m lfm, Stü			
Spalte für Orientierung	Anm.: 50 bedeutet mind. 50 Jahre								1,08		% eingeben				Zeile frei lassen		% eingeben		Zeile frei las			
	Mittlere Werte aus			Fehler					bereits													
	Nutzungsdauerkatalog-AT			wenn größer	F				formel-													
	heranziehen			als Baustoff-	F				verknüpft													
				nutzungsdauer	F																	
Anstrich	12,5			12,5	3			443,67	1	443,67					1,00 m ²		100%	0,22				
Anstrich	12,5			12,5	3			443,67	1	443,67					1,00 m ²		100%	0,3				
Silikat-Dünnputz	40			30	1			443,67	1	443,67	100%	0,0020	1500									
Unterputz	40			30	1			443,67	1	443,67	100%	0,0030	1200									
EPS-F	30			30	1			443,67	1	443,67	100%	0,2600	15									
Hochlochziegel	100			100	0			443,67	1	443,67	100%	0,2500	740									
Innenputz	90			90	0			443,67	1	443,67	100%	0,0150	1600									
Anstrich	7,5			7,5	6			443,67	1	443,67					1,00 m ²		100%	0,15				
Abdichtung	50			30	1			293,72	1	293,72	100%	0,0100	980									
EPS Dämmung	30			30	1			293,72	1	293,72	100%	0,3500	30									
Dampfsperre	40			40	1			293,72	1	293,72	100%	0,0022	920									
Gefällebeton i.M.	40			40	1			293,72	1	293,72	100%	0,0800	2365									
Stahlbetonplatte	80			80	0			293,72	1	293,72	100%	0,2200	2400									
Spachtelung	70			70	0			293,72	1	293,72	100%	0,0050	1200									
Anstrich	7,5			7,5	6			293,72	1	293,72					1,00 m ²		100%	0,15				
Plan: Kies	50			30	1			16,79	1	16,79	100%	0,08	1800									
Abdichtung	50			30	1			16,79	1	16,79	100%	0,0100	980									
EPS Dämmung	30			30	1			16,79	1	16,79	100%	0,2400	30									
Dampfsperre	40			40	1			16,79	1	16,79	100%	0,0022	920									
Gefällebeton i.M.	40			40	1			16,79	1	16,79	100%	0,0500	2365									
Stahlbetonplatte	80			80	0			16,79	1	16,79	100%	0,2000	2400									
Spachtelung	70			70	0			16,79	1	16,79	100%	0,0050	1200									
Annahme: Anstrich	7,5			7,5	6			16,79	1	16,79					1,00 m ²		100%	0,15				



Berechnung			Berechnung	Berechnung	K	Rohdaten Ökobaudat - Herstellung					Rohdaten Ökobaudat - Herstellung			Bilanzrahmen	
mittlung absolut			Kontrolle	Masse		Rohdaten Ökobaudat - Herstellung					Rohdaten Ökobaudat - Herstellung			Ökobilanz Her	
Material	Einheit	kg / Einheit	Flächengewicht	Masse		GWP 100	ODP	POCP	AP	EP	PE nr	PE r	PE s	GWP 100	
Bezeichnung, Produkt	³ , kg, ck	kg	kg/m ²	kg		kg CO2-Äqv./EH	kg/EH	kg/EH	kg/EH	kg/EH	MJ/EH	MJ/EH	MJ/EH	kg CO2-Äqv./m ² _{NGF}	
Spalte für Orientierung			hier nichts eintragen											Faktor 1,1 für v	
Anstrich			0,2	98		2	1,47E-07	0,006	0,041	0,001	48	1	0	5	0,009
Anstrich			0,3	133		1	6,93E-08	0,003	0,012	0,000	24	0	0	5	0,006
Silikat-Dünnputz			3,0	1.331		1	2,90E-08	0,001	0,005	0,000	11	0	0	1	0,030
Unterputz			3,6	1.597		0	7,77E-09	0,000	0,000	0,000	2	0	0	1	0,010
EPS-F			3,9	1.730		46	1,41E-06	0,016	0,097	0,011	1.369	6	0	2	0,214
Hochlochziegel			185,0	82.079		0	2,06E-09	0,000	0,000	0,000	2	0	0	1	0,419
Innenputz			24,0	10.648		0	4,18E-09	0,000	0,000	0,000	1	0	0	1	0,092
Anstrich			0,2	67		3	1,85E-07	0,008	0,042	0,001	62	1	0	5	0,007
Abdichtung			9,8	2.878		3	1,26E-07	0,001	0,006	0,001	92	1	0	6	0,331
EPS Dämmung			10,5	3.084		87	2,61E-06	0,031	0,189	0,020	2.663	12	0	2	0,361
Dampfsperre			2,0	594		2	6,85E-08	0,001	0,008	0,001	75	1	0	6	0,056
Gefällebeton i.M.			189,2	55.572		198	5,36E-06	0,036	0,358	0,051	1.033	19	353	1	0,188
Stahlbetonplatte			528,0	155.084		89	3,09E-06	0,017	0,177	0,024	598	29	102	1	1,111
Spachtelung			6,0	1.762		0	6,36E-09	0,000	0,000	0,000	4	0	0	1	0,019
Anstrich			0,2	44		3	1,85E-07	0,008	0,042	0,001	62	1	0	5	0,005
Plan: Kies			144,0	2.418		0	2,53E-09	0,000	0,000	0,000	0	0	0	1	0,002
Abdichtung			9,8	165		3	1,26E-07	0,001	0,006	0,001	92	1	0	6	0,019
EPS Dämmung			7,2	121		87	2,61E-06	0,031	0,189	0,020	2.663	12	0	2	0,014
Dampfsperre			2,0	34		2	6,85E-08	0,001	0,008	0,001	75	1	0	6	0,003
Gefällebeton i.M.			118,3	1.985		198	5,36E-06	0,036	0,358	0,051	1.033	19	353	1	0,006
Stahlbetonplatte			480,0	8.059		89	3,09E-06	0,017	0,177	0,024	598	29	102	1	0,058
Spachtelung			6,0	101		0	6,36E-09	0,000	0,000	0,000	4	0	0	1	0,001
Annahme: Anstrich			0,2	3		3	1,85E-07	0,008	0,042	0,001	62	1	0	5	0,000



Berechnung	Ökobilanz Instandsetzung pro Jahr und pro m² NGFa									I Rohdaten Ökobaudat - End-of-Life		
Material	kg	kg	kg	kg	kg	kWh	kWh	kWh	kWh			
Bezeichnung, Produkt	GWP 100	ODP	POCP	AP	EP	Primärenergie nicht regenerierbar	Primärenergie regenerierbar	Sekundärbrennstoffe	PRIMÄR-ENERGIE gesamt	GWP 100	ODP	POCP
	kg CO2-Äqv./m² _{NGF}	kg/m² _{NGF}	kg/m² _{NGF}	kg/m² _{NGF}	kg/m² _{NGF}	kWh/m² _{NGF}	kWh/m² _{NGF}	kWh/m² _{NGF}	kWh/m² _{NGF}	kg CO2-Äqv./EH	kg/EH	kg/EH
Spalte für Orientierung												
Anstrich	0,027	1,75E-09	0,000066	0,000481	0,000007	0,159	0,003	0,000	0,162	0	1,65E-10	0,000
Anstrich	0,018	1,12E-09	0,000049	0,000200	0,000004	0,107	0,002	0,000	0,109	0	1,65E-10	0,000
Silikat-Dünnputz	0,031	1,54E-09	0,000067	0,000291	0,000011	0,168	0,007	0,000	0,175	0	-3,77E-10	0,000
Unterputz	0,013	4,78E-10	0,000002	0,000017	0,000002	0,041	0,001	0,000	0,042	0	-3,77E-10	0,000
EPS-F	0,318	4,57E-10	0,000061	0,000322	0,000038	1,159	0,000	0,000	1,159	1	-8,74E-08	0,000
Hochlochziegel	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Innenputz	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Anstrich	0,045	2,99E-09	0,000121	0,000676	0,000011	0,280	0,005	0,000	0,284	0	1,65E-10	0,000
Abdichtung	0,426	5,98E-09	0,000115	0,000489	0,000043	2,083	0,009	0,000	2,092	1	-7,47E-08	0,000
EPS Dämmung	0,546	-3,53E-11	0,000106	0,000549	0,000065	1,978	-0,001	0,000	1,977	1	-8,74E-08	0,000
Dampfsperre	0,076	-1,48E-10	0,000022	0,000165	0,000023	0,315	0,006	0,000	0,321	1	-7,47E-08	0,000
Gefällebeton i.M.	0,266	4,25E-09	0,000046	0,000493	0,000071	0,302	0,004	0,093	0,399	0	-3,77E-10	0,000
Stahlbetonplatte	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Spachtelung	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Anstrich	0,030	1,98E-09	0,000080	0,000448	0,000007	0,185	0,003	0,000	0,188	0	1,65E-10	0,000
Plan: Kies	0,005	2,10E-10	0,000001	0,000010	0,000001	0,009	0,000	0,000	0,009	0	-3,77E-10	0,000
Abdichtung	0,024	3,42E-10	0,000007	0,000028	0,000002	0,119	0,001	0,000	0,120	1	-7,47E-08	0,000
EPS Dämmung	0,021	-1,38E-12	0,000004	0,000022	0,000003	0,078	0,000	0,000	0,078	1	-8,74E-08	0,000
Dampfsperre	0,004	-8,45E-12	0,000001	0,000009	0,000001	0,018	0,000	0,000	0,018	1	-7,47E-08	0,000
Gefällebeton i.M.	0,009	1,44E-10	0,000002	0,000017	0,000002	0,010	0,000	0,003	0,014	0	-3,77E-10	0,000
Stahlbetonplatte	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Spachtelung	0,000	0,00E+00	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000	0	-3,77E-10	0,000
Annahme: Anstrich	0,002	1,13E-10	0,000005	0,000026	0,000000	0,011	0,000	0,000	0,011	0	1,65E-10	0,000



Berechnung		Rohdaten Ökobaudat - End-of-Life				
Material	AP	EP	PE nr	PE r	PE s	
Bezeichnung, Produkt	kg/EH	kg/EH	MJ/EH	MJ/EH	MJ/EH	
Spalte für Orientierung						
Anstrich	0,000	0,000	0	0	0	
Anstrich	0,000	0,000	0	0	0	
Silikat-Dünnputz	0,000	0,000	0	0	0	
Unterputz	0,000	0,000	0	0	0	
EPS-F	-0,002	0,000	-32	0	0	
Hochlochziegel	0,000	0,000	0	0	0	
Innenputz	0,000	0,000	0	0	0	
Anstrich	0,000	0,000	0	0	0	
Abdichtung	-0,001	0,000	-28	0	0	
EPS Dämmung	-0,002	0,000	-32	0	0	
Dampfsperre	-0,001	0,000	-28	0	0	
Gefällebeton i.M.	0,000	0,000	0	0	0	
Stahlbetonplatte	0,000	0,000	0	0	0	
Spachtelung	0,000	0,000	0	0	0	
Anstrich	0,000	0,000	0	0	0	
Plan: Kies	0,000	0,000	0	0	0	
Abdichtung	-0,001	0,000	-28	0	0	
EPS Dämmung	-0,002	0,000	-32	0	0	
Dampfsperre	-0,001	0,000	-28	0	0	
Gefällebeton i.M.	0,000	0,000	0	0	0	
Stahlbetonplatte	0,000	0,000	0	0	0	
Spachtelung	0,000	0,000	0	0	0	
Annahme: Anstrich	0,000	0,000	0	0	0	



Berechnung	Ökobilanz End-of-Life pro Jahr und pro m ² NGFa					Ökobilanz End-of-Life pro Jahr und pro m ² NGFa					GESAMTERGEBNIS ÖKOILANZ	
	kg	kg	kg	kg	kg	kWh	kWh	kWh	kWh	E	kg	kg
Material	GWP 100	ODP	POCP	AP	EP	Primärenergie nicht regenerierbar	Primärenergie regenerierbar	Sekundärenergienstoffe	PRIMÄR-ENERGIE gesamt		GWP 100	ODP
Bezeichnung, Produkt	kg CO ₂ -Äqv./m ² NGF	kg /m ² NGF	kg /m ² NGF	kg /m ² NGF	kg /m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF		kg CO ₂ -Äqv./m ² NGF	kg /m ² NGF
Spalte für Orientierung												
Anstrich	0,000	6,52E-13	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,037	2,33E-09
Anstrich	0,000	8,89E-13	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,024	1,50E-09
Silikat-Dünnputz	0,002	-2,03E-11	0,000000	0,000004	0,000001	0,001	0,000	0,000	0,001		0,063	3,09E-09
Unterputz	0,002	-2,43E-11	0,000000	0,000004	0,000001	0,001	0,000	0,000	0,001		0,025	9,55E-10
EPS-F	0,104	-6,11E-09	-0,000012	-0,000132	-0,000011	-0,615	-0,008	0,000	-0,623		0,635	9,13E-10
Hochlochziegel	0,116	-1,25E-09	0,000017	0,000226	0,000033	0,044	-0,001	0,000	0,042		0,535	5,57E-09
Innenputz	0,015	-1,62E-10	0,000002	0,000029	0,000004	0,006	0,000	0,000	0,005		0,107	1,64E-09
Anstrich	0,000	4,45E-13	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,053	3,49E-09
Abdichtung	0,095	-8,69E-09	-0,000016	-0,000163	-0,000017	-0,892	-0,012	0,000	-0,904		0,851	1,20E-08
EPS Dämmung	0,185	-1,09E-08	-0,000022	-0,000235	-0,000020	-1,096	-0,014	0,000	-1,111		1,093	-7,05E-11
Dampfsperre	0,020	-1,79E-09	-0,000003	-0,000034	-0,000003	-0,184	-0,002	0,000	-0,187		0,151	-2,96E-10
Gefällebeton i.M.	0,078	-8,46E-10	0,000011	0,000153	0,000022	0,030	-0,001	0,000	0,029		0,533	8,50E-09
Stahlbetonplatte	0,219	-2,36E-09	0,000032	0,000427	0,000062	0,083	-0,003	0,000	0,080		1,330	3,61E-08
Spachtelung	0,002	-2,68E-11	0,000000	0,000005	0,000001	0,001	0,000	0,000	0,001		0,022	4,27E-10
Anstrich	0,000	2,94E-13	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,035	2,31E-09
Plan: Kies	0,003	-3,68E-11	0,000000	0,000007	0,000001	0,001	0,000	0,000	0,001		0,010	4,20E-10
Abdichtung	0,005	-4,97E-10	-0,000001	-0,000009	-0,000001	-0,051	-0,001	0,000	-0,052		0,049	6,84E-10
EPS Dämmung	0,007	-4,27E-10	-0,000001	-0,000009	-0,000001	-0,043	-0,001	0,000	-0,044		0,043	-2,76E-12
Dampfsperre	0,001	-1,03E-10	0,000000	-0,000002	0,000000	-0,011	0,000	0,000	-0,011		0,009	-1,69E-11
Gefällebeton i.M.	0,003	-3,02E-11	0,000000	0,000005	0,000001	0,001	0,000	0,000	0,001		0,018	2,89E-10
Stahlbetonplatte	0,011	-1,23E-10	0,000002	0,000022	0,000003	0,004	0,000	0,000	0,004		0,069	1,87E-09
Spachtelung	0,000	-1,53E-12	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,001	2,44E-11
Annahme: Anstrich	0,000	1,68E-14	0,000000	0,000000	0,000000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,002	1,32E-10



Berechnung	End pro m ² NGFa			Ökobilanz End-of-Life pro Jahr und pro m ² NGFa			
Material	kg	kg	kg	kWh	kWh	kWh	kWh
Bezeichnung, Produkt	POCP	AP	EP	Primärenergie nicht regenerierbar	Primärenergie regenerierbar	Sekundärbrunnstoffe	PRIMÄR-ENERGIE gesamt
	kg /m ² NGF	kg /m ² NGF	kg /m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF	kWh/m ² NGF
Spalte für Orientierung							
Anstrich	0,000088	0,000641	0,000009	0,213	0,004	0,000	0,217
Anstrich	0,000066	0,000267	0,000006	0,143	0,003	0,000	0,145
Silikat-Dünnputz	0,000133	0,000582	0,000021	0,337	0,014	0,000	0,350
Unterputz	0,000003	0,000035	0,000004	0,083	0,002	0,000	0,084
EPS-F	0,000122	0,000643	0,000075	2,318	0,000	0,000	2,319
Hochlochziegel	0,000083	0,000984	0,000123	1,515	0,249	0,000	1,764
Innenputz	0,000010	0,000116	0,000019	0,172	0,004	0,000	0,176
Anstrich	0,000142	0,000789	0,000013	0,326	0,005	0,000	0,332
Abdichtung	0,000230	0,000978	0,000086	4,166	0,018	0,000	4,184
EPS Dämmung	0,000212	0,001099	0,000130	3,956	-0,001	0,000	3,955
Dampfsperre	0,000044	0,000331	0,000046	0,629	0,013	0,000	0,642
Gefällebeton i.M.	0,000092	0,000986	0,000141	0,604	0,008	0,186	0,798
Stahlbetonplatte	0,000241	0,002627	0,000361	2,148	0,099	0,353	2,599
Spachtelung	0,000003	0,000028	0,000003	0,078	0,001	0,000	0,079
Anstrich	0,000094	0,000522	0,000009	0,216	0,004	0,000	0,220
Plan: Kies	0,000002	0,000020	0,000003	0,017	0,001	0,000	0,018
Abdichtung	0,000013	0,000056	0,000005	0,238	0,001	0,000	0,239
EPS Dämmung	0,000008	0,000043	0,000005	0,155	0,000	0,000	0,155
Dampfsperre	0,000003	0,000019	0,000003	0,036	0,001	0,000	0,037
Gefällebeton i.M.	0,000003	0,000034	0,000005	0,021	0,000	0,006	0,027
Stahlbetonplatte	0,000013	0,000137	0,000019	0,112	0,005	0,018	0,135
Spachtelung	0,000000	0,000002	0,000000	0,004	0,000	0,000	0,005
Annahme: Anstrich	0,000005	0,000030	0,000000	0,012	0,000	0,000	0,013

Screenshots [Datenquelle: Excel LCA Tool (Arbeitsgruppe Ressourcenorientiertes Bauen BOKU)]



Anhang 6: Vergleich des Gewichts der Dämmstoffe signifikanter Bauteile

Block A

Bauteil	Dämmmaterial	Dichte [kg/m ³]	Fläche [m ²]	Dicke [m]	Masse [kg]
AW-An(o,s,w)	EPS F	15	443,67	0,26	1.730
AW-En(o,s,w)	EPS F	15	42,62	0,2	128
DGU2b	EPS F	15	34,1712	0,2	103
WGU-G	EPS F	15	31,64	0,18	85
AD3	EPS 30	30	293,72	0,35	3.084
AD4	EPS 30	30	16,79	0,24	121
EB1	EPS 30	30	251,22	0,22	1.658
EB1a	EPS 30	30	27,65	0,22	182
WD3a	EPS 31	30	16,79	0,1	50
					7.142

Block B

Bauteil	Dämmmaterial	Dichte [kg/m ³]	Fläche [m ²]	Dicke [m]	Masse [kg]
AW-Bn(o,s,w)	EPS F	15	442,54	0,16	1.062
AW-Dn(o,s,w)	EPS F	15	41,1	0,2	110
DGU2d	Mineralwolle	85	31,02	0,2	527
WGU-H	EPS F	15	31,64	0,16	76
AD3b	EPS 30	30	290,52	0,35	3.050
AD4a	EPS 30	30	15,65	0,24	113
EB1	EPS 30	30	247,91	0,22	1.636
EB1a	EPS 30	30	27,24	0,22	180
WD3a	EPS 30	30	15,65	0,1	47
					6.815

Block B2

Bauteil	Dämmmaterial	Dichte [kg/m ³]	Fläche [m ²]	Dicke [m]	Masse [kg]
AW-Bn(o,s,w)	Multipor	110	442,54	0,18	8.762
AW-Dn(o,s,w)	Multipor	110	41,1	0,23	1.040
DGU2d	Mineralwolle		31,02	0,20	527
WGU-H	Multipor	110	31,64	0,18	626
AD3b	Multipor	110	290,52	0,49	15.659
AD4a	Multipor	110	15,65	0,34	585
EB1	Multipor	110	247,91	0,26	7.090
EB1a	Multipor	110	27,24	0,26	779
WD3a	Multipor	110	15,65	0,12	207



Block C

Bauteil	Dämmmaterial	Dichte [kg/m ³]	Fläche [m ²]	Dicke [m]	Masse [kg]
AW-Cn(o,s,w)	Strohdämmung	105	446,53	0,36	16.879
AW-Dn(o,s,w)	EPS F	15	41,1	0,2	123
WGU-H	EPS F	15	31,64	0,16	76
DGU2b	EPS F	15	32,29	0,2	97
AD3	EPS 30	30	297,93	0,35	3.128
AD4a	EPS 30	30	15,65	0,24	113
EB1	EPS 30	30	253,3	0,22	1.672
EB1a	EPS 30	30	27,98	0,22	185
WD3a	EPS 31	30	15,65	0,1	47
					22.319

Eigene Darstellung [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]



Anhang 7: Vergleich des Gewichts der (Dämmung der) Außenwände

Block A: AW-An(o,s,w)

			kg/m ²	kg
AW-An(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	0,2	98
AW-An(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	0,3	133
AW-An(o,s,w)	Silikat-Dünnputz	1.4.04 Silikatputz	3,0	1.331
AW-An(o,s,w)	Unterputz	1.4.04 Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	3,6	1.597
AW-An(o,s,w)	EPS-F	2.02 EPS PS 15	3,9	1.730
AW-An(o,s,w)	Hochlochziegel	1.3.02 Mauerziegel Durchschnitt - Poroton	185,0	82.079
AW-An(o,s,w)	Innenputz	1.4.04 Kalk-Innenputz	24,0	10.648
AW-An(o,s,w)	Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	0,2	67
		Gewicht AW gesamt	220,2	97.683
		Gewicht AW Dämmmaterial	3,9	1.730

Block B: AW-Bn(o,s,w)

			kg/m ²	kg
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	0,2	97
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	0,3	133
AW-Bn(o,s,w)	Silikat-Dünnputz	1.4.04 Silikatputz	3,0	1.328
AW-Bn(o,s,w)	Unterputz	1.4.04 Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	3,6	1.593
AW-Bn(o,s,w)	EPS-F	2.02 EPS PS 15	2,4	1.062
AW-Bn(o,s,w)	Porenbeton P2	1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt	114,0	50.450
AW-Bn(o,s,w)	Innenputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	24,0	10.621
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	0,2	66
		Gewicht AW gesamt	147,7	65.350
		Gewicht AW Dämmmaterial	2,4	1.062



Block B2: AW-Bn(o,s,w)

			kg/m ²	kg
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	0,2	97
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	0,3	133
AW-Bn(o,s,w)	Silikat-Dünnputz	1.4.04 Silikatputz	3,0	1.328
AW-Bn(o,s,w)	Unterputz	1.4.04 Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	3,6	1.593
AW-Bn(o,s,w)	Multipor Dämmplatten	2.20Porenbeton-Dämmplatte - Multipor	19,8	8.762
AW-Bn(o,s,w)	Porenbeton P2	1.3.03 Porenbeton P2 04 unbewehrt	114,0	50.450
AW-Bn(o,s,w)	Innenputz	1.4.04 Kalk-Gips-Innenputz	24,0	10.621
AW-Bn(o,s,w)	Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	0,2	66
		Gewicht AW gesamt	165,1	73.050
		Gewicht AW Dämmmaterial	19,8	8.762

Block C: AW-Cn(o,s,w)

Bauteilnr.			kg/m ²	kg
AW-Cn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Dispersionsfarbe	0,2	67
AW-Cn(o,s,w)	Anstrich	5.4 Fassadenfarbe Voranstrich Silikat-Dispersion	0,3	134
AW-Cn(o,s,w)	Silikat-Dünnputz	1.4.04 Silikatputz	3,0	1.340
AW-Cn(o,s,w)	Unterputz	1.4.04 Gipsputz (Gips-Kalk-Putz)	3,6	1.608
AW-Cn(o,s,w)	Weichfaserplatte	2.10 Holzfaserplatte DHF - Egger	11,2	5.001
AW-Cn(o,s,w)	MDF-Platte	3.2.7 MDF - Egger	10,8	4.823
AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze C101	4.1.3 Stahlprofil	1,1681	521,6
AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze C102	4.1.3 Stahlprofil	0,4396	196,3
AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze C103, 104 und 202A	4.1.3 Stahlprofil	1,2362	552
AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze C201	4.1.3 Stahlprofil	0,9787	437
AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze C202	4.1.3 Stahlprofil	0,4165	186



AW-Cn(o,s,w)	Stahlstütze UPE 200	4.1.3 Stahlprofil	1,3045	582,5
AW-Cn(o,s,w)	Strohdämmung (laut schriftlicher Mitteilung IBO, 29.3.2013)	2.31.01 Strohdämmung, Strohballen, Waldland 105 kg/m ³	37,8	16.879
AW-Cn(o,s,w)	Holz	3.1.1 Schnittholz Lärche (12 % Feuchte/10,7 % H ₂ O)	26,4	11.806
AW-Cn(o,s,w)	OSB Platte	3.2.4 OSB (Durchschnitt)	9,3	4.146
AW-Cn(o,s,w)	Steinwolle	2.01 Steinwolleplatte - ISOVER	5,6	2.512
AW-Cn(o,s,w)	GP-F Platten	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	10,0	4.465
AW-Cn(o,s,w)	GP-F Platten	1.3.13 Gipskartonplatte (Feuerschutz)	10,0	4.465
AW-Cn(o,s,w)	Anstrich	5.5 Innenfarbe Dispersionsfarbe scheuerfest	0,2	98
Gewicht AW gesamt [kg]			134,0	59.819
Gewicht AW Dämmmaterial [kg]			54,6	24.392

Eigene Darstellung [Datenquelle: (Krapfenbauer, 2011)]



Anhang 8: Pläne

Die Pläne sind in der Plantasche am Ende der Arbeit beigelegt.

Anhang 8.1: Einreichplan A0 Grundrisse M 1:100

- Grundrisse Wohngebäude Block A,B und C

Anhang 8.2: Einreichplan A0 Ansichten und Schnitte M 1:100, Lageplan M 1:250

- Ansichten und Schnitte Wohngebäude Block A,B und C
- Ansichten und Schnitte Müllräume, Fahrrad- und Geräteabstellräume
- Lageplan Block A, B und C

[Datenquelle: (Treberspurg & Partner Architekten ZT GesmbH, 2011)]