



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren

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

Lisa Kögler

Eine Analyse der Ökobilanzierung als Tool zur vergleichenden ökologischen Gebäudebewertung von Wohnhausanlagen im Neubau

Masterarbeit

Februar, 2014

1. Betreuer

Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen, BOKU Wien

2. Betreuer

DI Christoph Neururer MSc.
Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Arbeitsgruppe ressourcenorientiertes Bauen, BOKU Wien

Eidesstaatliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, im Oktober 2013

Kögler Lisa

Kurzfassung

Die Anwendung des Life-Cycle-Assessment (LCA) oder der Ökobilanz erlebte in der Gebäudebewertung in den letzten zwei Jahrzehnten einen enormen Boom. Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, Grenzen und Nutzen des LCA in diesem Anwendungsgebiet aufzuzeigen.

Einerseits werden mit Blick auf ökologische Gebäudebewertungssysteme und ihre Kriteriensätze die Möglichkeiten des LCA theoretisch analysiert. Einige der ökologischen Kriterien oder Aktionsfelder (z.B. Herkunft der Baumaterialien, Innenraumluftqualität etc.) liegen außerhalb der ökobilanziellen Darstellungsfähigkeit. Die Genauigkeit von LCA-Ergebnissen ist durch verschiedene Unsicherheitsfaktoren limitiert (z.B. zukünftige EOL (End-of-life)-Prozesse, Wahl der funktionellen Einheit, Festlegung von Nutzungsdauern etc.). Andererseits stellt das LCA die Methode der Wahl dar, um Trade-Offs und Interdependenzen sichtbar zu machen und Auswirkungen auf den globalen Klimawandel oder den Primärenergieeinsatz zu bewerten.

Elf Beispielprojekte von Wohnhausanlagen im Neubau gaben den Rahmen zur empirischen Forschung. Die Bilanzierungsgrenzen wurden in Anlehnung an ÖNORM 15978 (2012) gelegt. Es wurde versucht den Mehrwert an Information, den ein LCA liefern kann, durch Einschränkung der räumlichen und zeitlichen Bilanzierungsgrenzen und Reduktion der Indikatoren zu bündeln.

In der Ökobilanz über den gesamten Lebenszyklus ist eine Konzentration auf die Indikatoren Treibhausgaspotential (GWP) sowie Primärenergieinhalt gesamt und nicht erneuerbar (PE, PE_{ne}) gerechtfertigt; Sie haben sich für die restlichen Indikatoren (Versauerungspotential, Eutrophierungspotential und Ozonschichtabbaupotential), mit Ausnahme des Photochemischen Ozonbildungspotential, als richtungsweisend gezeigt. Phasenabhängig konnten Korrelationen der Indikatoren untereinander sowie ihre Aussagekraft für eine ökologische Bewertung aufgezeigt werden. Vereinzelt wurden starke Abhängigkeiten von Indikatoren und spezifischen Bauprodukten (z.B. lösemittelhaltige Bauprodukte wie Bitumenlösungen und POCP) sowie für das Gesamtergebnis sensitive Bauteilschichten (z.B. Folien und Abdichtungen) sichtbar.

Die Erweiterung des Ökoindikators vom $OI3_{BG0}$ zum $OI3_{BG3,BZF}$, wie in der Praxis bereits weitgehend realisiert, zeigte sich als zukunftsweisend. Innenwände tragen mit bis zu ca. 10% zu den Umweltwirkungen bei und sollten sich deshalb innerhalb der Bilanzgrenze befinden; die Transportprozesse sowie Haustechnikanlagen der Beispielgebäude (keine Null- oder Plus-Energie-Gebäude, keine PV-Anlagen) haben vernachlässigbare Umweltwirkungen. Zukünftig ist bei Letzterem eine Veränderung zu erwarten. Wird die Nutzungsphase mit bilanziert, sollte der Betriebsenergiebedarf der gesamten Bezugsfläche erhoben werden. Die Entsorgungsphase von Holzmassivbauten trägt mit bis zu 60% zum GWP bei; Verursacher sind Emissionen aus der thermischen Verwertung. Der Primärenergieinhalt der Baustoffe, der sich später durch die Verbrennungsvorgänge am GWP auswirkt, könnte über den Indikator Primärenergieinhalt gesamt abgebildet werden. Eine Erweiterung des $OI3$ auf diesen wird deshalb empfohlen. Derzeit sind die drei Indikatoren des $OI3_{BG3,BZF}$ (GWP, PE_{ne} und AP) ungleich gewichtet; mit Schwerpunkt auf das AP und den PE_{ne}; das GWP trägt mit maximal 15% zum Endergebnis bei. Es wird eine Abänderung empfohlen.

Abstract

The application of the Life-Cycle-Assessment (LCA) in the ecological evaluation of buildings got an enormous upturn during the last two decades. The goal of this master thesis is to show limits and uses of the LCA applied in that scope.

Looking at building rating systems and their ecological criteria the methodological capabilities of LCAs have been theoretically analysed. Some of these criteria or issues (e.g. origin of the construction materials, indoor air quality etc.) are beyond the capability of LCA techniques. The accuracy of LCA-results is limited by diverse uncertainty-factors (e.g. future EOL (End-of-life)-processes, choice of the functional unit, determination of useful lives etc.). With regard to demonstrating Trade-Offs and interdependencies LCA has been established as the method of choice. The same holds true for the assessment of influences on global warming and primary energy consumption.

Eleven sample projects of new residential buildings provided the framework for the empirical research. Accounting boundaries were set according to ÖNORM 15978 (2012). The attempt was to bundle the information gained in LCAs by restricting spatial and temporal accounting boundaries and reducing the number of indicators.

The Global Warming Potential (GWP) and total as well as non-renewable Primary Energy Content (PE, nr PE) worked in LCAs covering the whole life-cycle as good proxy-indicators for most other indicators such as Acidification Potential, Eutrophication Potential and Ozone Depletion Potential. The only exception is Photochemical Ozone Creation Potential which wasn't linked to any indicator. In different temporal phases correlation between the indicators were shown and the informative value of each of them was tested. Interdependencies between certain indicators and specific building materials (e.g. POCP and solvent-based products such as bitumen coating) were identified and the sensitivity of the LCA-outcome to a particular building component layer (sealing membranes) was analysed.

Switching from $OI3_{BG0}$ to $OI3_{BG3,BZF}$ in building evaluation as applied in practice was recognized as forward-looking. Internal walls account for up to 10% of the total environmental impacts; therefore they should be included in the LCA. The impacts caused by transportation processes and facility installations of the sample projects (no zero- or plus-energy-buildings, no PV-plants) can be neglected. Concerning the latter, changes are expected as future technological standard will increase. When balancing the utilization phase the operational energy consumption of the total reference area shall be compiled and integrated. Buildings in lightweight construction show significant environmental impacts during the disposal phase accounting up to 60% of the total GWP. The thermal processing of building materials was identified as main source for these emissions. Therefore, the total Primary Energy Content may work as a good proxy-indicator already in earlier phases. It is recommended to add it to the list of indicators in "Ökoindikator" ($OI3$) that presently consists of GWP, non-renewable Primary Energy Content and Acidification Potential (AP). Currently the $OI3_{BG3,BZF}$ has an emphasis on the AP and PE nr; the GWP contributes with max. 15% to the final result – a modification is advised.

Danksagung

An der Entstehung dieser Masterarbeit waren viele Personen beteiligt, denen ich meinen Dank von ganzem Herzen aussprechen möchte.

Zunächst ist dies mein Erstbetreuer Herr Univ. Prof. Arch. DI Dr. techn. Martin Treberspurg. Beim ersten Erscheinen am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau an der Universität für Bodenkultur Wien vor ca. einem Jahr wurde mir eine sehr gute Unterstützung zugesagt, ein Versprechen, das sich bewahrheitete. Mein Dank gilt insbesondere auch Herrn DI Christoph Neururer MSc. Ohne die fachliche und fortlaufende Unterstützung, Beratung und Motivation hätte diese Masterthesis nicht annähernd in dieser Form entstehen können.

Bedanken möchte ich mich auch beim IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie, von welchem mir alle erforderlichen Projekt-Daten sowie die Bearbeitungssoftware zur Verfügung gestellt wurden. Besonderer Dank gilt Frau Mag. Hildegund Mötzl und Frau Ing. Mag. Maria Fellner. In mehreren Besprechungen hatten sie ein offenes Ohr für meine zahlreichen Fragestellungen, und haben mich durch die treue Begleitung während der gesamten Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt.

Wie so üblich, gab es in der monatelangen Entstehungszeit Momente der Freude eine Herausforderung geschafft zu haben, der Verzweigung schon wieder vor der nächsten zu stehen, und dazwischen alle erdenklich anderen Höhenflüge und Tiefgänge. Für die emotionale Unterstützung in diesen Zeiten möchte ich besonders meiner Familie und meiner treuen Freundin und Mitbewohnerin Mag. Jasmin Schmoll Dank aussprechen.

Weiters gilt mein aufrichtiger Dank all meinen geduldigen KorrekturleserInnen, die mich im Formulieren, Verbessern und Formatieren unterstützten. Ich danke an dieser Stelle meiner Schwester Mag. Dr. Eva Kögler, meinen FreundInnen Mag. Jasmin Schmoll, Bakk. techn. Anna Sophie Santner, Dipl.-Päd. Mag. Helene Rigo-Uzodike, Mag. Veronika Huemer-Kals und Simon Zotter. Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meiner gesamten WG, die mir immer wieder in Diskussionen und Gesprächen weitergeholfen hat.

Ich danke auch all meinen FreundInnen, Bekannten und Verwandten, die hier nicht namentlich erwähnt sind; Sie haben mir mit ihrer großen Geduld ihre Liebe bewiesen, haben nicht aufgehört an mich zu glauben, und mich immer wieder motiviert. Danke auch für euer Verständnis, wenn ich in den letzten Monaten weniger Zeit zum Freundschaften pflegen gehabt habe.

Zu guter Letzt möchte ich dem lebendigen Gott danken, der die Neugierde in uns Menschen gelegt hat, Dinge zu erforschen und die Freude daran, Dinge zu verstehen.

„Denn in ihm [Jesus Christus] ist alles geschaffen, was im Himmel und auf der Erde ist [...].“
Kolosser 1,16

„Gott ist die Erklärung dafür, warum es überhaupt ein Universum gibt, in dem Naturwissenschaft betrieben werden kann.“ John Lennox, Professor für Mathematik an der University of Oxford

Wien, Februar 2014

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	I
Abstract.....	II
Danksagung.....	III
1 Einleitung	1
2 Zielformulierung, Arbeitsthesen und Methoden	2
3 Themeneinführung	3
3.1 Ökologische Aspekte Nachhaltigen Bauens	3
3.1.1 „Nachhaltiges Bauen“	3
3.1.2 Aktionsfelder ökologisch Nachhaltigen Bauens	5
3.1.3 Lebenszyklusperspektive	9
3.1.4 Das Gebäude als System.....	11
3.1.5 Zukunftsperspektiven	12
3.2 Ökologische Gebäudebewertung mit Gebäudezertifikaten.....	12
3.2.1 Entwicklung.....	12
3.2.2 Ziele und Anwendung.....	14
3.2.3 Struktur von Bewertungssystemen.....	15
3.2.4 Methoden zur ökologischen Bewertung	16
3.2.5 Überblick über nationale Bewertungssysteme	18
3.3 Nähere Betrachtung ausgewählter Zertifizierungssysteme, ihre ökologischen Kriterien und insbesondere die Applikation von Ökobilanzen	20
3.3.1 BREEAM.....	20
3.3.2 LEED	21
3.3.3 ÖGNI/DGNB	23
3.3.4 TQB	24
3.3.5 Vergleich der Zertifizierungssysteme und des Einsatzes von Ökobilanzen.....	24
3.4 Normenlandschaft zur Gebäudebewertung	26
3.4.1 Bewertungsgegenstand und Systemgrenze.....	27
3.4.2 Methode.....	27
3.4.3 Vergleichbarkeit mittels funktioneller/funktionaler Äquivalenz	27
3.4.4 Transparenz - Darstellung der Ergebnisse.....	28
3.4.5 Indikatoren in der Berechnungsmethode nach ÖNORM 15978.....	28
3.4.6 Abgrenzung zur sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit.....	30
4 Stärken und Schwächen der Ökobilanzierung in der ökologischen Gebäudebewertung.....	32
4.1 Kurze Einführung in die Ökobilanzierung (LCA)	32

4.2	Erfassung der Aktionsfelder.....	34
4.2.1	Unvollständigkeit.....	34
4.2.2	Relevanz der Indikatoren.....	35
4.2.3	Energie.....	35
4.2.4	Abfall.....	36
4.2.5	Recyclierbarkeit.....	37
4.2.6	Innenraumlufthqualität.....	37
4.3	Werden die Ziele einer vergleichenden ökologischen Gebäudebewertung mit der LCA-Methode erreicht?.....	37
4.4	Reaktion auf zukünftige Entwicklungen.....	38
4.5	Genauigkeit der Ergebnisse und Datenqualität/-verfügbarkeit.....	39
4.6	Korrelation der Indikatoren.....	39
4.7	Vergleichbarkeit und Benchmarking.....	40
4.8	SWOT – ANALYSE.....	41
5	Ansätze aus verschiedenen Studien zur Anwendung der Ökobilanz in Bewertungssystemen.....	44
5.1	Setzen von zeitlichen und räumlichen Bilanzgrenzen.....	44
5.1.1	Errichtungsphase.....	45
5.1.2	Instandsetzung.....	45
5.1.3	Nutzungsphase.....	45
5.1.4	Entsorgungsphase.....	45
5.2	Indikatoren-Mix.....	46
5.2.1	Qualitative Indikatoren.....	46
5.2.2	Auswahl quantitativer Leitindikatoren innerhalb der Ökobilanz.....	46
6	Überprüfung der Arbeitsthese A und Folgerungen für die praktische Analyse (Arbeitsthese B).....	47
7	Darstellung der Projekte und der angewandten Methode.....	50
7.1	Projektliste.....	51
7.2	Festlegung des Bewertungsgegenstandes.....	53
7.3	Szenarien für den Gebäudelebenszyklus - Lebenszyklusphasen.....	55
7.4	Quantifizierung des Gebäudes und seines Lebenszyklus.....	56
7.5	Auswahl der Umweltdaten und anderer Informationen.....	57
7.6	Berechnung der Umweltindikatoren.....	57
8	Ergebnisse und Interpretation.....	59
8.1	Vergleich der verschiedenen Bauprojekte und Konzepte.....	59
8.1.1	Konstruktionsbedingte Ökobilanzindikatorwerte.....	59
8.1.2	Energieversorgung.....	69
8.1.3	Ökobilanzindikatorwerte nach Modulen laut ÖNORM 15978 (2012).....	73
8.2	Untersuchung auf Relevanz der einzelnen Ökobilanz-Indikatoren.....	77

8.3	Einfluss von Fußbodenbelägen und Wandanstrichen.....	82
8.4	Vergleich unterschiedlicher Bilanzgrenzen	85
8.5	Sensitivitätsanalyse	89
9	Zusammenfassung und Ausblick	91
10	Anhang	96
10.1	Kriterienübersicht.....	96
10.2	Korrelation von Kompaktheit und Indikatorwerten	100
11	Literaturverzeichnis	101
11.1	Primärliteratur – Normen und Richtlinien	101
11.2	Sekundärliteratur	103
11.3	Onlinequellen.....	108
11.4	Persönliche und schriftliche Mitteilungen	111
12	Abbildungsverzeichnis	112
13	Tabellenverzeichnis	115
14	Abkürzungsverzeichnis	117

1 Einleitung

Auslöser, sich mit der Analyse der Ökobilanzierung als Tool zur ökologischen Gebäudebewertung zu beschäftigen, waren aktuelle Entwicklungen in der Normenlandschaft. Der europäische Entwurf über Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität (prEN 15643-2) wurde mit 04.05.2011 in Österreich in eine nationale Norm umgewandelt (vgl. ÖNORM 15643-2, 2011). Die ÖNORM 15978, die eine Berechnungsmethode zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität auf Gebäudeebene darlegt, mit 10.01.2012 (vgl. ÖNORM 15978, 2012). Nach dem Austrian Standards Institute (s.a.a, online) ist eine Norm eine „qualifizierte Empfehlung“, die auf den „größtmöglichen Nutzen für alle“ abzielt und „auf abgestimmten Ergebnissen von Wissenschaft, Technik und Praxis“ beruht. „Normen dokumentieren das, was "Stand der Technik" (State of the art) in einem bestimmten Fachbereich ist, zeigen Lösungen auf für das, was wirtschaftlich zweckmäßig, technisch sowie ökologisch machbar und sinnvoll ist.“ (Austrian Standards Institute, s.a.b, online). Normen sind also Richtlinien, die für die allgemeine und wiederholte Anwendung von Tätigkeiten entworfen wurden. Die ÖNORM 15978 bezieht sich als „Stand der Technik“ für die ökologische Gebäudebewertung ausschließlich auf das Tool der Ökobilanzierung; eine quantitative Bewertungsform. Daraus folgt, dass die Ökobilanzierung oder auch LCA (Life Cycle Assessment) heutzutage die sinnvollste und zweckmäßigste Möglichkeit bietet, Bauwerke ökologisch zu bewerten. Im Zuge dieser Masterarbeit möchte ich versuchen, diesen Anspruch kritisch zu analysieren. Stellt die Ökobilanzierung tatsächlich die beste Möglichkeit dar, Bauwerke hinsichtlich ihrer ökologischen Performance zu bewerten? Wie wird die ökologische Gebäudebewertung derzeit praktisch umgesetzt? Ist die Ökobilanzierung als standardmäßiges Tool ökonomisch und sinnvoll einsetzbar? Hat künftig eine ausschließlich quantitative Analyse der Gebäudeperformance das größte Potential, hilfreiche und gehaltvolle Informationen zu liefern?

Zahlreiche Studien haben sich mit der Ökobilanzierung von Gebäuden, ob theoretisch oder praktisch, beschäftigt und viele hilfreiche Ergebnisse geliefert, wie ökologisch nachhaltige Gebäude geplant und ausgeführt werden können. Die Meinungen bezüglich der Eignung als Tool zur Gebäudebewertung divergieren allerdings stark.¹ Die eigenen Erfahrungen und einschlägige Literaturrecherche brachten schließlich folgenden „provokanten“ Gedanken hervor: Bringt die Ökobilanzierung eines Gebäudes in der Endbewertungsphase überhaupt noch einen Mehrwert an Informationen, oder ist unser Wissensstand bereits so weit fortgeschritten, dass man anhand bestimmter Parameter und Eigenschaften eines Gebäudes (z.B. Endenergiebedarf, HWB, A/V-Verhältnis, technische Gebäudeausstattung und Energieträger zur Wärmeversorgung) mittels Benchmarks bereits sehr genaue Prognosen zur ökologischen Performance treffen kann? Die Bundesarchitektenkammer Deutschland äußerte sich zur Debatte: „Die Ökobilanz bzw. Baustoffwahl hat [...] keinerlei Relevanz für die Bewertung der Nachhaltigkeit. Ein Zertifizierungssystem sollte daher auch nicht damit belastet sein.“ (BAK, 2008, S.3). In diesem Statement kommt ein neuer Aspekt hinzu: Kann die Ökobilanzierung hauptsächlich als Bewertungstool der Baustoffwahl eingesetzt werden?

Im nachfolgenden Kapitel 2 werden die Fragestellungen erörtert und die konkrete Zielsetzung dieser Masterarbeit definiert. Thesen und Kriterien sind der Maßstab und Referenzpunkt, anhand deren die Fragen systematisch beantwortet werden.

¹ ANEC (2009a, S.1): „[...] indicators based on Life Cycle Assessment (LCA) methodology may not be the best option to suitably characterise and declare the environmental performance of a product.“ Diese Aussage basiert auf der Studie von Prakash et al. (2008).

2 Zielformulierung, Arbeitsthesen und Methoden

Folgende zwei Fragestellungen bilden den Diskussionsrahmen der vorliegenden Arbeit:

- 1) Gibt es Bereiche der ökologischen Gebäudebewertung, die mit einem LCA nicht erfasst werden können?
- 2) Bringt das LCA einen Mehrwert an Informationen für eine vergleichende ökologische Gebäudebewertung?

Die davon abgeleiteten Arbeitsthesen lauten:

A. Wird ein Gebäude hinsichtlich seiner ökologischen Performance ausschließlich mittels Ökobilanzierung bewertet, werden wichtige Kriterien nicht erfasst. Alleine aufgrund von Ökobilanzierungsergebnissen ist es daher nicht zulässig, umfassende Aussagen bezüglich der „umweltbezogenen Qualität“ eines Gebäudes zu treffen.

B. Die Ökobilanzierung eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus bringt kaum einen Mehrwert an Informationen für die vergleichende ökologische Gebäudebewertung.

Die Bearbeitung der ersten Frage erfolgt im theoretischen Teil (Kapitel 3 und 4). Es werden darin die Begriffsbestimmungen „Nachhaltiges Bauen“, im speziellen „Ökologisch Nachhaltiges Bauen“ aufgearbeitet (Kapitel 3.1) und die thematischen Aktionsfelder konkretisiert. Damit soll zuerst bestimmt werden, was das Ziel einer ökologischen Gebäudebewertung ist und welchen Anforderungen sie genügen muss. Zwei Fragestellungen geben den Rahmen für Kapitel 3.2-3.4: Erstens, wie wird eine ökologische Gebäudebewertung heutzutage ausgeführt, und im Speziellen dabei das LCA appliziert (Kapitel 3.2 und 3.3)? Und zweitens, wie sieht die Normenlandschaft zur ökologischen Gebäudebewertung im Detail aus (Kapitel 3.4)? Im Kapitel 3.2 werden die gebräuchlichen Methoden, einschließlich des LCA, skizziert. Nachdem also die Anforderungen an eine ökologische Gebäudebewertung, die vorkommende Praxis und Normengebung erörtert sind, kann analysiert werden, welche Rückschlüsse für das LCA als Tool zur ökologischen Bewertung gezogen werden können. Wo liegen, aufgrund dieser vorerst theoretischen Betrachtung, die Schwächen und Stärken der Methode (Kapitel 4)?

Für Frage zwei werden zuerst die bereits bestehenden Informationen aus LCA-Berechnungen recherchiert. Kapitel 5 widmet sich dafür der näheren Betrachtung einiger relevanter wissenschaftlicher Studien. Diese Studien sollen detailliertere Ansätze zur Bearbeitung der Arbeitsthese B vermitteln (Kapitel 6) und die Informationen darlegen, die durch Forschungstätigkeiten im Bereich LCA bereits gefunden wurden und somit in die Gebäudeplanung einfließen können. Nach diesem theoretischen Einstieg schließt die praktische Bearbeitung ausgewählter Bauprojekte des Typus Wohnhausanlage an. Wichtig in Kapitel 7 ist die detaillierte Darstellung der angewandten Bilanzierungsmethode, um Transparenz und Nachvollziehbarkeit zu schaffen. Außerdem werden die wichtigsten Eckdaten in einer Projektliste zusammengestellt. Kapitel 8 schildert die Ergebnisse und Interpretation der Ökobilanzierungen.

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit ist es, unter gegebenen Rahmenbedingungen Grenzen und Nutzen der Ökobilanzierung für die ökologische Gebäudebewertung aufzuzeigen.

3 Themeneinführung

Zunächst hilft ein Blick auf die Entstehung der ökologischen Gebäudebewertung, um ihr Ziel und ihren Anspruch herauszufinden. Was soll mit einer Bewertung der ökologischen Qualität von Gebäuden eigentlich erreicht werden, wo hat sie ihren Ursprung und wie sehen zukünftige Entwicklungstendenzen aus?

Im weiteren Verlauf des Kapitels wird die praktische Anwendung der Ökobilanzierung innerhalb der Gebäudebewertungssysteme thematisiert. Ursprünglich wurde die Ökobilanzierung als Entscheidungshilfe für den Einkauf von Getränken entworfen. Primär ging es um die Fragestellung, welche Produktverpackungen, z.B. Mehrweg- oder Einwegflaschen, „ökologischer“ sind (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.54). Die Anwendung auf Gebäude liegt erst in jüngerer Zeit vor. Hier kann die Ökobilanzierung während der Planungsphase genutzt werden, um Optimierungspotentiale aufzuzeigen, oder/und nach Baufertigstellung eine Basis bieten, um vergleichende Aussagen zwischen zwei unterschiedlichen Produkten, in diesem Fall Gebäuden, zu treffen. Letzteres Anwendungspotential generiert Vorteile bei der Vermarktung und Projektdarstellung – ein ökonomischer Nutzen entsteht.

3.1 Ökologische Aspekte Nachhaltigen Bauens

In den 1970er Jahren gab die Ölkrise Anlass zu weitreichenden Veränderungen im Bewusstsein über den Einfluss unserer Handlungen auf die Umwelt. Eine neue Richtung der „Low-Tech“-Architektur avancierte; sie ging mit zahlreichen Umweltinitiativen, vermehrtem Einsatz von natürlichen Bauprodukten wie Holz und Lehm sowie begrünten Dächern und Fassaden einher (vgl. Ebert et al., 2010, S.23). In den 80er Jahren nahmen Gesetze zum Schutz der Umwelt zahlenmäßig stark zu und setzten Standards für Energiegewinnung / -nutzung, Mülltrennung, Wasserbewirtschaftung, aber auch für Bautätigkeiten etc. Zur gleichen Zeit erfuhr aber auch die „High-Tech“-Architektur, vor allem im Bürosektor, in dem Gebäude mit enormem Energie- und Ressourcenaufwand konzipiert und errichtet wurden, einen Aufschwung. Das Erscheinungsbild ist hier von Metall- und Glasbauten geprägt (vgl. ebd.). Seit den 90er Jahren ist der Ansatz breiter gefächert und man tendiert sowohl zur Umsetzung ökologischer Prinzipien, dem Einsatz erneuerbarer Energien, als auch zur Optimierung von Raumklima und Behaglichkeit (vgl. ebd.). In Europa setzte sich ein Mittelweg zwischen High- und Low-Tech-Architektur durch (vgl. Gauzin-Müller, 2002, S.17), in der der Begriff der Nachhaltigkeit immer wichtiger wurde. Doch was ist mit „Nachhaltigem Bauen“ gemeint?

3.1.1 „Nachhaltiges Bauen“

Wallbaum et al. (2011, S.14) definieren „Nachhaltiges Bauen“ als einen Ansatz, der sich am gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks orientiert und das Bauwerk selbst als System oder als Element eines größeren Systems, betrachtet. Der zentrale Fokus des Planens ist nun vielmehr das Entwerfen alternativer Szenarien. Diese Szenarien enthalten Unsicherheiten, einerseits weil man die Optimierung der Leistungen eines Bauwerks langfristig – über mehrere Jahrzehnte – anlegt, andererseits weil Werthaltungen und damit die gesellschaftlichen Zielvorstellungen, als auch das Verständnis von ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit zeitlich wandelbar sind (vgl. ebd., S.85 und Ebert et al., 2010, S.8). Mit dem Ermitteln möglichst guter Lösungen für eine nachhaltige Entwicklung – wenn nötig und sinnvoll in Form eines Bauwerks – obliegt den Planenden eine maßgebliche Verantwortung (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.14), da „Nachhaltiges Bauen“ den Anspruch erhebt, „zukunftsfähig“ zu sein (vgl. Ebert et al., 2010, S.8).

Fünf wichtige Eckpunkte, die „Nachhaltiges Bauen“ charakterisieren, sind:

- Die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen sind im zeitlichen Wandel zu betrachten. Welchen Herausforderungen muss „Nachhaltiges Bauen“ begegnen – heute, sowie zukünftig? (Kapitel 3.1.2²).
- Wir sind gefordert Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen zu übernehmen,
- sodass wir sowohl auf unsere heutigen Bedürfnisse als auch auf jene zukünftiger Generationen eingehen können. Im Hinblick darauf ist es notwendig, sich der Dynamik von Werthaltungen und Bedürfnissen im Klaren zu sein.³
- Das Gebäude ist über seinen gesamten Lebenszyklus zu betrachten (Kapitel 3.1.3),
- und als komplexes System zu verstehen (Kapitel 3.1.4)

Heutzutage wird von Nachhaltigkeit meist in drei Dimensionen gesprochen: der ökologischen, der sozialen und der ökonomischen. Diese Dreigliederung tritt z.B. auch in den österreichischen Normenwerken auf (Kapitel 3.4). Es existieren allerdings auch andere Nachhaltigkeitskonzepte⁴ und selbst innerhalb der übergeordneten Trias Ökologie, Ökonomie und Soziales gibt es noch erweiterte Ansätze⁵. Die Drei-Gliederung ist also ein pragmatischer Lösungsversuch zur Klassifizierung (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.49), konsequenterweise befinden sich einzelne Themenbereiche in Überschneidungszonen (z.B. kann die Innenraumlufthematik sowohl zur Ökologie als auch zu Sozialem gezählt werden).⁶

² Im Kapitel 3.1.2 werden lediglich die für diese Arbeit relevanten – die ökologischen – Rahmenbedingungen dargestellt.

³ Dieser Aspekt wurde maßgeblich vom sogenannten Brundtland-Bericht „Our common future“ der WCED (World Commission on Environment and Development) von 1987 geprägt. Demnach ist eine Entwicklung dann nachhaltig, wenn sie *„die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation befriedigt, ohne dabei zu gefährden, dass zukünftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen können.“* (Eigene Übersetzung nach WCED, 1987, o.S.).

⁴ Z.B. das 5-Ebenen-Modell des ETH-Wohnforums (vgl. ETH Wohnforum – ETH CASE, s.a., online), das sich in die chemisch-physikalische, die biologische, die human-individuelle, die soziale und die kulturelle Ebene gliedert.

⁵ Das gewichtete Drei-Säulen-Modell unterscheidet „schwache“ und „starke Nachhaltigkeit“. Erstere bedeutet, dass alle drei Säulen gleich gewichtet werden – die drei Dimensionen sind also austauschbar. Z.B. können natürliche Ressourcen durch Human- oder Sachkapital ersetzt werden, während in der „starken Nachhaltigkeit“ Ökologie als die wichtigste und fundamentale Säule gesehen wird (vgl. Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.b). Im Ein-Säulen- oder Pyramiden-Modell gilt die natürliche Umwelt als Grundlage allen Lebens und Wirtschaftens. Ihre Bewahrung hat höchste Priorität (vgl. Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.c). Das integrative Nachhaltigkeitsmodell hingegen versteht Nachhaltigkeit als die Schnittmenge von Ökologie, Sozialem und Ökonomie und unterstreicht den vernetzten und ineinander übergehenden Charakter der drei Dimensionen. Für ein nachhaltiges Management ergeben sich dadurch vier Zielsetzungen: Steigerung der ökologischen (1) sowie sozialen Effektivität (2), und Effizienz (3) und integrative Zusammenführung dieser drei Herausforderungen (4) (vgl. Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.d und BMU, 2007, S.14).

⁶ Das Buch „Ökologie und urbane Lebensweise – Untersuchungen zu einem anscheinend unauflöselichen Widerspruch“ (Gestring et al.) aus 1997 gibt eine sehr ausführliche Einführung zur Entwicklung der Umweltthematik / -problematik und stellt die Vernetzung von sozialen und ökologischen Ansprüchen sehr anschaulich und ausführlich dar.

3.1.2 Aktionsfelder ökologisch Nachhaltigen Bauens

Einerseits sehen wir uns heute mit der Herausforderung konfrontiert, mit den Konsequenzen unseres Lebensstils der letzten Jahrzehnte und Jahrhunderte und der dadurch ausgelösten Umweltprobleme umzugehen, andererseits sind wir aufgefordert, Präventivmaßnahmen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung zu ergreifen (vgl. Gestring, 1997, S.9). Im Folgenden wird auf die Aktionsfelder „Nachhaltigen Bauens“ aus ökologischer Sicht eingegangen – Wo besteht Handlungsbedarf?

Nachfolgende Abbildung zeigt einen Überblick der mitteleuropäischen Aktionsfelder ökologisch-nachhaltigen Bauens. Je dunkler der Farbton, desto höhere Priorität haben die Agenda-Punkte zum heutigen Zeitpunkt; zukünftig könnten die heller unterlegten Felder an Bedeutung zunehmen.

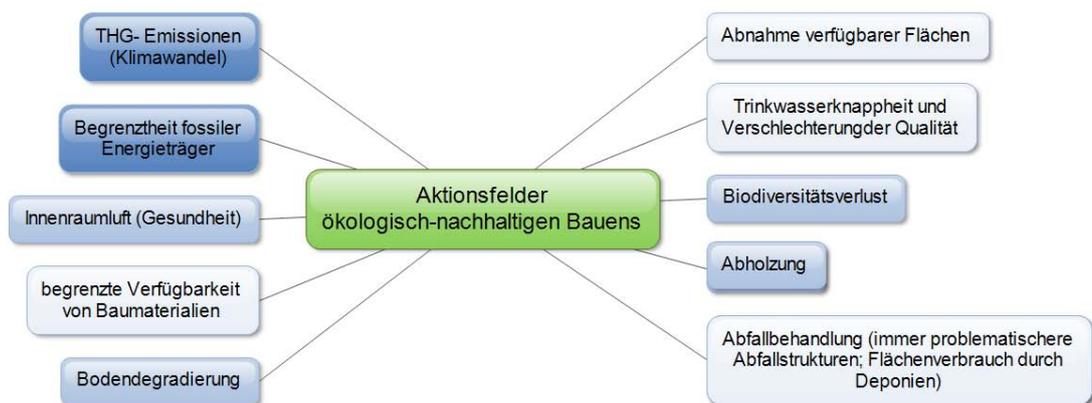


Abbildung 1: Aktionsfelder ökologisch-nachhaltigen Bauens

Quelle: Eigene Darstellung

3.1.2.1 Klimawandel und Energieverbrauch

Der Bausektor trägt durch Raumwärmebereitstellung und Baustoffherstellung⁷ erheblich zu den Treibhausgasemissionen bei (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.38). Klimaschutzmaßnahmen greifen aus diesem Grund stark in den Bausektor ein. Abbildung 2 zeigt, dass die Treibhausgasemissionen für die Raumwärmebereitstellung in den letzten 20 Jahren abgenommen haben. Zurückzuführen ist dies auf Energieeffizienzsteigerungen und Sanierungstätigkeiten (vgl. ebd., S.33), aber auch auf eine Lastenverschiebung in den Bereich „Energieaufbringung“ durch die Zunahme an Fernwärme-Anschlüssen (vgl. Umweltbundesamt, 2012, S.25f.). Die politischen Forderungen gehen kongruent mit den Vorstellungen energetisch nachhaltigen Bauens, sprich die Energieeffizienz weiter zu steigern⁸ und erneuerbare Energiequellen zu fördern.

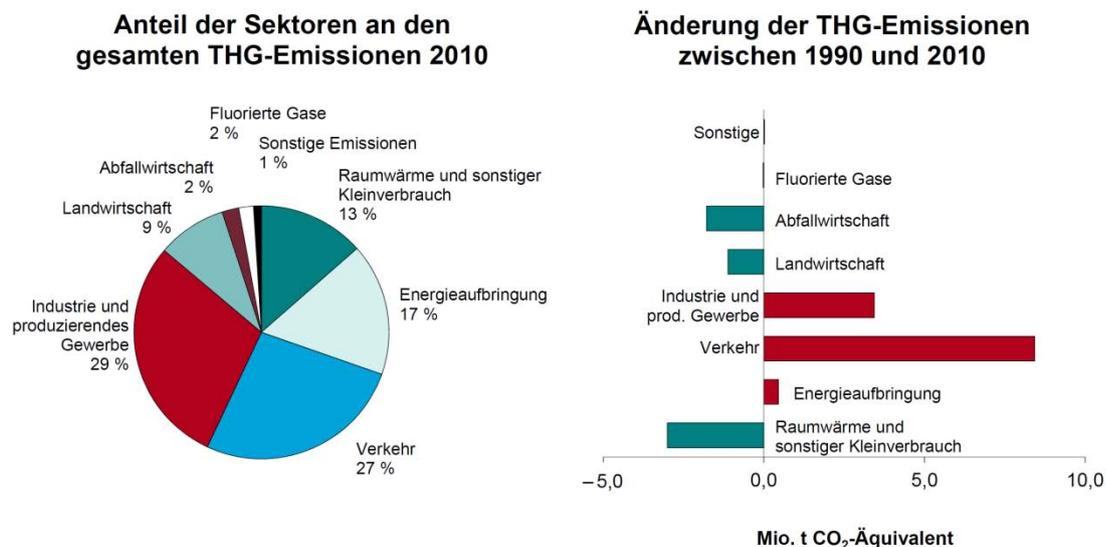


Abbildung 2: Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2010 und Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2010

Quelle: Umweltbundesamt, 2012, S.23

Die neue europäische Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD (European Performance of Buildings Directive), die mit 01.01.2013 in Kraft ging, schreibt für alle Neubauten ab dem 31.12.2020 den „Niedrigstenergiestandard“ vor (vgl. EU-Parlament und Rat, 2010a, S.21)⁹. Seit 01.01.2013 ist in Wien auch die neue OIB-Richtlinie 6 gültig, deren

⁷ Z.B. hat die Zementproduktion 5% Anteil an den jährlichen, anthropogen verursachten CO₂-Emissionen weltweit (vgl. WBCSD, 2009, S.2).

⁸ 2012 beginnt eine neue Periode des Kyoto-Abkommens, die bis 2020 andauern wird und in der sich Österreich verpflichtet, weitere emissionsenkende Maßnahmen umzusetzen. Für Bereiche außerhalb des Emissionshandels (z.B. Verkehr, Raumwärme) soll eine Senkung der Treibhausgasemissionen von -16% gegenüber 2005 erreicht werden (vgl. Statistik Austria, s.a.a, online). In der nationalen Energiestrategie 2010 wird weiters eine Stabilisierung des Endenergieverbrauchs auf dem Niveau von 2005 bis 2020 angestrebt (vgl. Umweltbundesamt, 2010, S.135). Dafür ist ein Senkung des Endenergieverbrauch vor allem im Verkehr und bei Gebäuden entscheidend (vgl. ebd., S.144).

⁹ Außerdem soll bis dahin die Anzahl der Niedrigstenergiegebäude erhöht und die genauen Maßnahmen dafür in nationalen Plänen festgelegt werden (vgl. EU-Parlament und Rat, 2010a, S.15). In Energieausweisen sind zusätzlich zum Heizwärmebedarf der Primärenergieinhalt und Kohlendioxidemissionen anzugeben. Die nationale Umsetzung dafür erfolgte im neuen Energieausweisvorlagegesetz (EAVG) seit 01.12.2012 (vgl. WKO, 2013, online).

HWB_{BGF,Ref} – Anforderung für Neubauten dem Niedrigenergiehaus-Standard entspricht (vgl. OIB, 2011a, S.3)¹⁰.

3.1.2.2 Recyclierbarkeit

Während in den letzten Jahrzehnten und noch in absehbarer Zukunft die Energieeffizienz und -einsparung an der Spitze der Prioritätenliste für ökologisch Nachhaltiges Bauen rangiert, könnte langfristig der Materialfluss und die Recyclierbarkeit von Produkten in den Vordergrund treten¹¹. Rein theoretisch steht den Menschen Energie in Form von Sonneneinstrahlung unendlich zur Verfügung, die Ressourcen auf der Erde (sprich Baumaterialien) hingegen sind begrenzt. Technisch ist es heute bereits möglich, den Wärme- und Strombedarf zu 100% von erneuerbaren Energiequellen zu decken (vgl. Mötzl et al., 2011b, S.121 f.). So legt die neue EU-Bauproduktenverordnung, die seit 01.07.2013 die Bauproduktenrichtlinie ersetzt, in der siebten Grundanforderung an Bauwerke die „Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen“ fest (vgl. EU-Parlament und Rat, 2011, s.p.)¹². Auf lange Sicht ist ein Recycling ohne Qualitätseinbußen anzustreben, nicht wie bei der Wiederverwendung als Sekundärrohstoff¹³ oder der thermischen Verwertung wie derzeit großteils üblich¹⁴.

Mit zunehmender Energieeffizienz wird auch die relative Bedeutung der Nutzungsphase in Ökobilanzen zugunsten der Errichtungs- und Entsorgungsphase abnehmen (vgl. Stoffregen et al., 2010, S.20). Entscheidungen bezüglich Materialwahl und Technik sollten dementsprechend angepasst werden (vgl. ebd.). Zusätzlich wird sich in den nächsten 30 Jahren die Abfallstruktur stark verändern und die Anteile von Kunststoff, Glas und Metallen durch High-Tech Baumaterialien enorm zunehmen (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.120f.). Die neue Bauproduktenverordnung kommt diesem Trend entgegen, wodurch sich die Industrie bereits bei Herstellung ihrer Produkte Recyclingkonzepte überlegen bzw. Verantwortung für die Rückführung ihrer Produkte in einen stofflichen Kreislauf übernehmen soll (vgl. ebd., S.122 und EU-Parlament und Rat, 2011, s.p.).

¹⁰ „Niedrigenergiehausstandard“ ist definiert gemäß Anforderungen der ÖNORM B 8110-1 (2011, S.10).

¹¹ Einer Studie zufolge wird Nachhaltiges Bauen heutzutage hauptsächlich mit Energieeffizienzmaßnahmen assoziiert (vgl. Meckmann, s.a., S.19).

¹² „Das Bauwerk muss derart entworfen, errichtet und abgerissen werden, dass die natürlichen Ressourcen nachhaltig genutzt werden und insbesondere Folgendes gewährleistet ist: a) Das Bauwerk, seine Baustoffe und Teile müssen nach dem Abriss wiederverwendet oder recycelt werden können; b) das Bauwerk muss dauerhaft sein; c) für das Bauwerk müssen umweltverträgliche Rohstoffe und Sekundärbaustoffe verwendet werden.“ (EU-Parlament und Rat, 2011, s.p.).

¹³ Bei der Nutzung von Recyclingmaterial als Sekundärrohstoff ist zusätzlich zu beachten, dass diese Verwertung in letzter Instanz negative Umweltwirkungen bilanzieren kann, wenn die Verbrennung etc. mehr Umweltschäden verursacht als eine ursprüngliche Entsorgung (z.B. altes Polystyrol in gebundener Schüttung) (vgl. Mötzl et al., 2011b, S.121 und Braungart, 2010, S.3).

¹⁴ Die Recyclingraten sind je nach Stoffgruppe sehr unterschiedlich. Vor allem Metalle, allen voran Aluminium, werden zu einem hohen Prozentsatz recycelt (vgl. Mötzl et al., 2011b, S.120). Recyceltes Aluminium kann außerdem als hochwertiger Rohstoff gehandelt werden (aus Armierungsstahl wird wieder Armierungsstahl), häufig erfolgt die Rückführung in den Materialkreislauf dennoch als Sekundärrohstoff für bspw. Gusslegierungen für Automobile (vgl. ebd., S.122). Lehm, Kalksandstein und Gips haben unter der Stoffgruppe massiver Baustoffe zumindest das Potential einer metabolischen Produktrückführung und Verwertung, Beton und Ziegel werden derzeit in einem offenen Kreislauf geführt – nach dem Shreddern verlieren sie ihre konstruktiven Eigenschaften und sind nur noch für minderwertige Anwendungen geeignet (vgl. ebd.). Bei Kunststoffen sieht die Situation anders aus. Nur wenige Abbruchmengen werden einem Recyclingprozess zugeführt (vgl. ebd., S.120). PVC wird heute bspw. hauptsächlich einer thermischen Verwertung zugeführt, allerdings nur mit kleinem Fraktionsanteil, da das aggressive Chlor die Verkleidung der Verbrennungsofen ansonsten zu stark angreifen würde. Zukünftig ist damit zu rechnen, dass der Kunststoffanteil wächst; für eine thermische Verwertung kann dies problematisch werden (vgl. ebd., S.121). Insgesamt ist der Anteil an Recyclingstoffen im Bauwesen in Österreich allerdings gering. Dies hängt unter anderem damit zusammen, dass viel weniger Baumassen abgebrochen als neu gebaut werden – selbst wenn 100% allen Abbruchs recycelt werden würde, wäre dessen Anteil an den gesamten Baumaterialien nur 10% (vgl. ebd., S.120).

3.1.2.3 Flächenverbrauch

Laut Statistik Austria stellt die Bodenversiegelung eines der größten Umweltprobleme unserer Zeit dar und ist nur sehr schwer reversibel; „*Ein kontinuierlicher Anstieg wird daher lang- und kurzfristig als sehr bedenklich angesehen.*“ (Statistik Austria, s.a.b, online). Abbildung 3 zeigt den Trend der Flächeninanspruchnahme. Die Gründe dafür liegen in der Bevorzugung des Einfamilienhauses (vgl. Umweltbundesamt, s.a.a, online) als auch in der Flächenwidmungspraxis und „Hortung“ von Bauland (vgl. Umweltbundesamt, s.a.b, online). Eine Verdichtung der Siedlungsstrukturen wäre ökologisch sinnvoll (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.42), wie beispielsweise durch Nutzung von bereits vorhandenen Baulandreserven (vgl. ÖROK, 2011, S.58) und Ausfüllen von Baulücken. Auch hier sind allerdings Grenzen gesetzt. Die Gegenposition zur Verdichtungspolitik fordert ein ökologisches Gleichgewicht auf allen Flächen (vgl. Gestring et al., 1997, S.28).

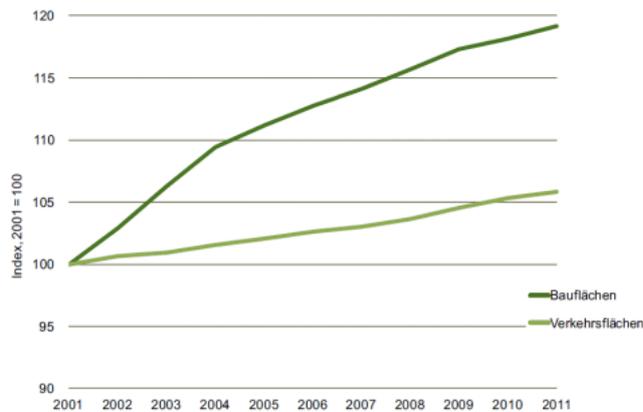


Abbildung 3: Flächeninanspruchnahme in Österreich getrennt nach Bau- und Verkehrsflächen
Quelle: Statistik Austria, s.a.b.

Untenstehende Abbildung zeigt, dass der Trend zu Einpersonenhaushalten auch zukünftig anhalten wird.

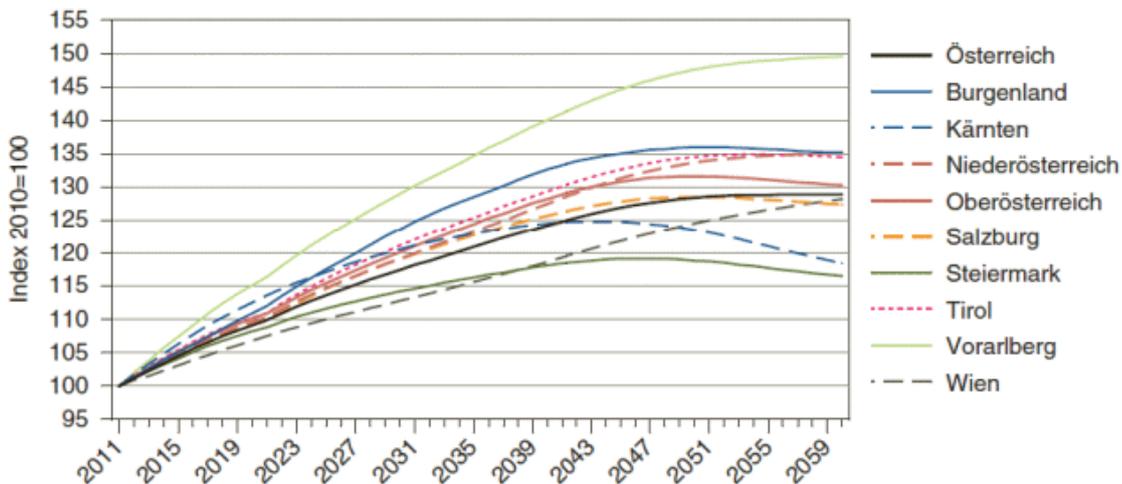


Abbildung 4: Entwicklung der Einpersonenhaushalte 2011 bis 2060 nach Bundesländern - Haushaltsprognose 2012
Quelle: Statistik Austria, 2012, online

3.1.2.4 Weitere Aktionsfelder

Weitere Aktionsfelder sind die Abholzung, respektive nachhaltige Forstwirtschaft, Trinkwasserversorgung, Biodiversitätsverlust, Innenraumluftqualität und Schadstoffbelastungen (z.B. Lärm, Staub); einige davon werden hier allerdings nur stark vereinfacht skizziert.

Für den Einbau von Holz als Baumaterial ist auf dessen Herkunft aus einer nachhaltigen Bewirtschaftung zu achten. Information darüber liefern bspw. Zertifikate wie das FSC (Forest Stewardship Council) oder PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification) (vgl. Ebert et al., 2010, S.16). Regionale Holzprodukte aus nachhaltiger Bewirtschaftung, die nicht zertifiziert sind, sollten dann aber nicht benachteiligt werden. Dieser Aspekt ist besonders für Holzimporte von Relevanz¹⁵.

Beim Trinkwasser ist es nicht nur erstrebenswert, eine quantitative Versorgung aufrechtzuerhalten, sondern auch die Wasserqualität zu schützen. Die Priorität dafür ist standortspezifisch (aride/humide Gebiete) abzuschätzen. Derzeit entfallen in Österreich vom gesamten Trinkwasserbedarf ein knappes Drittel auf Haushalte, der Rest hauptsächlich auf Gewerbe und Industrie (vgl. Lebensministerium, 2012, online). Der tägliche Bedarf im Haushalt liegt durchschnittlich bei ca. 130 Liter pro Kopf und Tag (vgl. ÖVGW, s.a.a, online)¹⁶. Da Österreich eine sehr gute Trinkwasserversorgung (in Qualität und Quantität) besitzt, hat dieses Aktionsfeld national geringe Priorität, sollte aber, aufgrund der Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen, nicht unbeachtet bleiben.

Stark emittierende Produkte im Innenraum führen in Kombination mit luftdichten Gebäudehüllen zu einer Belastung der Raumluft mit gesundheitsschädlichen Gasen (vgl. Braungart, 2010, S.2, Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.a, online, sowie Mötzl, 2008, S.14f.). Da die Innenraumluftqualität in den Normen (Kapitel 3.4) allerdings dem Kompetenzbereich der sozialen Nachhaltigkeitsbewertung zugeordnet ist, wird die Thematik nicht ausführlich behandelt.

3.1.3 Lebenszyklusperspektive

Eine Lebenszyklusperspektive einzunehmen bedeutet, ein System/Produkt über seinen gesamten Lebenszyklus, sprich Nutzungs- oder Lebensdauer, hin zu betrachten/bewerten. Im Gegensatz zur phasenorientierten Betrachtungsweise kann dadurch verhindert werden, dass Belastungen „unbemerkt“ lediglich von einer Phase in die nächste verlagert werden („Trade-Offs“) (vgl. Geissler et al., 2008, S.13 und Klöpffer et al., 2009, S.5).

Damit ein Gebäude nach sozialen, ökonomischen und ökologischen Aspekten optimiert werden kann, ist es notwendig, bereits in der Planungsphase „im Lebenszyklus“ zu denken und die Auswirkungen verschiedener Entscheidungen auf das Bauprojekt sichtbar zu machen.

¹⁵ Eine neue europäische Verordnung ist mit 03.03.2013 in Kraft getreten und soll für mehr Transparenz im Handel mit Holz und Holzserzeugnissen sorgen. Insbesondere der Problematik des illegalen Holzhandels bzw. -imports soll damit begegnet werden (vgl. AGDW e.V., 2011, o.S., online und EU-Parlament und Rat, 2010b, S.L 295/23).

¹⁶ Verbrauchssenkende Maßnahmen sind: Grauwasser- und Regenwassernutzung, wassersparende Armaturen oder Haushaltsgeräte, WC-Spülkästen mit Stoptaste oder Zweimengenspültechnik sowie das Sicherstellen einer einwandfreien Funktionsfähigkeit von Anlagen und Leitungen. Tropfende Wasserhähne verlieren beispielsweise bis zu fünf Liter Wasser, defekte Spülkästen gar bis zu 1500 Liter täglich (vgl. ÖVGW, s.a.b, online und Girmscheid et al., 2010, S.165). Grauwasser bezeichnet gering verschmutztes, fäkalienfreies Abwasser, z.B. aus der Dusche, vom Hände-, oder Wäschewaschen etc. Dieses kann nach einfachen Aufbereitungsverfahren für die Toilettenspülung oder Gartenbewässerung verwendet werden (vgl. Girmscheid et al., 2010, S.164).

Die Lebenszyklusphasen, nach denen Gebäude betrachtet werden können, sind:

- Errichtung/Herstellung
- Nutzung
- Instandhaltung
- Erneuerung/Instandsetzung
- Entsorgung/Abbruch (End-of-life)

Dies entspricht einer „Cradle to Grave“-Sichtweise, also „Von der Wiege bis zur Bahre“. Cradle to Cradle® (C2C) ist ein Ansatz, der mit dem gleichnamigen Buch von William McDonough und Michael Braungart, das 2002 erschienen ist, Bekanntheit erlangte (vgl. McDonough, 2006, online).¹⁷ Zu Deutsch „Von der Wiege bis zur Wiege“, wird die Zeitspanne des Lebenszyklus auf eine erneute Wiederherstellung des Produktes erweitert.

Es ist wichtig abzuklären, wo man die Grenzen der Lebenszyklusbetrachtung setzen möchte bzw. wo sie sinnvoll sind. Je weiter die Grenzen reichen, desto größer wird einerseits die Unsicherheit verschiedenster Parameter (z.B. wissen wir nicht, wie Beton in 100 Jahren entsorgt oder verwertet werden kann), zusätzlich steigt der Aufwand für die Informationsbeschaffung.

¹⁷ Weitere Informationen zum Cradle to Cradle Prinzip auf der offiziellen Homepage des US-Architekten William A. McDonough: http://www.mcdonough.com/cradle_to_cradle.htm (Abgerufen am 04.04.2013 (10:15)).

3.1.4 Das Gebäude als System

Treberspurg (1994, S.62) als auch Wallbaum et al. (2011, S.72 ff.) zeigen den Nutzen des Systemdenkens in der Gebäudeplanung sehr gut auf. Für den Bereich Energie könnte z.B. angenommen werden, dass ein Einfamilienhaus dann am energieeffizientesten ist, wenn es aus möglichst gut isolierten Bauteilen besteht. In Abbildung 5 ist gut erkennbar, dass die „Konstruktion der Hüllflächen“ allerdings nur ein Element des Systems Gebäude darstellt, das in Beziehung mit den anderen Elementen (wie Hüllgeometrie, Haustechnik etc.) steht. Unterschiedliche Strategien und Konzepte legen fest, wie die einzelnen Elemente optimiert werden. Meist führen sie dabei zu völlig konträren Maßnahmen, kommen in ihrer jeweiligen Kombination aber zu dem gleichen Ergebnis: z.B. Energieeffizienz¹⁸.

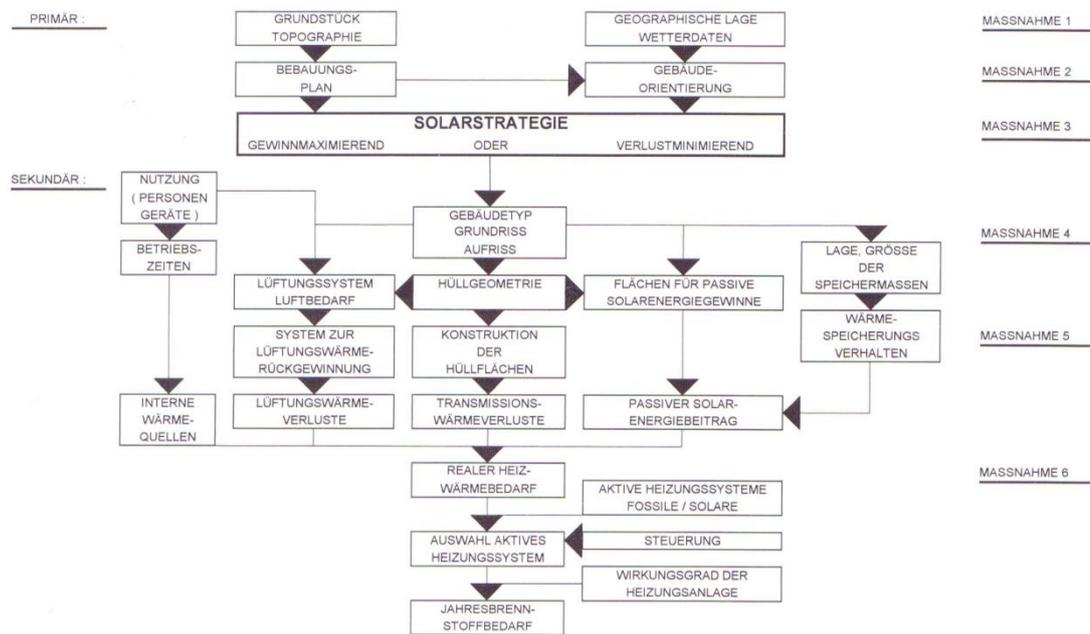


Abbildung 5: Übersicht über Maßnahmen der Solarstrategien

Quelle: Treberspurg, 1994, S.62

Die Objektplanung spielt sich auf der Ebene sekundärer Maßnahmen ab. Primäre Maßnahmen hingegen weiten den Gedanken auf Wohnsiedlungen oder ganze Regionen aus¹⁹ und betreffen die Raumplanung und den Städtebau. Auf dieser übergeordneten Ebene verursachen Maßnahmen keine Mehrkosten, sie wirken sich allerdings langfristig und quasi irreversibel auf die Entwicklung und die Struktur von Stadt und Gebäude aus (vgl. Treberspurg, 1994, S.62).

¹⁸ Z.B. verlustminimierende oder gewinnmaximierende Solarstrategie wie in Abbildung 5. Ein Haus nach dem Isolationsprinzip bzw. der verlustminimierenden Strategie besitzt kleine Fenster und eine konsequente Dämmung. Es hat demnach kleine Solargewinne, aber auch kleine Wärmeverluste etc. Ein Haus nach dem Direktgewinnprinzip hingegen besitzt viele und große, vor allem nach Süden ausgerichtete Fenster, eine konsequente Dämmung, sowie viel Speichermasse und kann große Solargewinne erzielen etc. (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.72ff.).

¹⁹ Zusätzliche Elemente sind dann z.B. Wärmerversorger, Transportmittel und BewohnerInnen etc. (vgl. ebd.). Ein Nullenergiehaus mit schlechter Infrastrukturanbindung z.B. wird indirekt über das Verkehrsaufkommen seiner Bewohner weniger nachhaltig sein als ein konventionelles Gebäude mit gutem Wärmestandard und guter Anbindung.

3.1.5 Zukunftsperspektiven

Zusammenfassend hat also ökologisch nachhaltiges Bauen vielfältige Anforderungen zu erfüllen - Anforderungen, die noch dazu einem zeitlichen Wandel unterlegen sind – und ist mit sozialen und ökonomischen Aspekten zu verknüpfen, denn „Nachhaltig Bauen“ bedeutet *„Bauwerke errichten und erhalten, die ein Kapital für zukünftige Generationen darstellen und keine Altlast.“* (Wallbaum et al., 2011, S.17). McDonough und Braungart verfolgen sogar den visionären Denkansatz, dass Gebäude zukünftig positive (Umwelt-)Wirkungen haben werden (vgl. Braungart, 2010, S.1 ff.)²⁰. Doch wo liegen zukünftig konkret die Prioritäten?

Die letzten Jahre wurden deutlich von Maßnahmen in der Effizienzsteigerung, allen voran des Energieverbrauchs, dominiert. In diesem Bereich konnten wichtige Erfolge erzielt werden. Daneben geht der Trend auch Richtung „Effektivitätsmaßnahmen“ wie das Vorantreiben regenerativer Energieträger. Als logische Konsequenz werden, wenn dieser Trend anhält, die Umweltwirkungen der Nutzungsphase immer weiter reduziert oder sogar in eine positive Bilanz gebracht werden, und die Errichtungs- und Entsorgungsphase wird an Bedeutung gewinnen²¹. Die Recycelbarkeit von Produkten spielt dabei eine wichtige Rolle.

Zukünftig kann auch eine Entwicklung hin zur Nachhaltigkeitsbewertung auf regionaler Ebene stattfinden, in der nicht mehr „bloß“ Gebäude, sondern ganze Siedlungen oder Regionen beurteilt werden. Die Kausalitäten in solchen Systemen sind noch komplexer und die Maßnahmen transdisziplinär (Mobilität etc.). LEED bspw. besitzt seit 2009 ein eigenes Bewertungssystem für diese Art von Zertifizierungen, das LEED for Neighborhood Development²²; die DGNB hat das Zertifikat „Neubau Stadtquartiere“ entwickelt.

M.E. liegt im „ökologischen Lernen“ durch Partizipation und Monitoring noch viel Potential²³. Dazu gehört die Evaluierung der tatsächlichen Performance während der Nutzungs- (z.B. Energieeffizienz, Wassereinsparung, Innenraumklima etc.) und in der Entsorgungsphase (tatsächliche Recyclingfähigkeit). Mit diesen Daten können Instrumente, wie Bewertungssysteme, für die Planung immer weiter verbessert werden, welche wiederum die Ausbildung eines Umweltbewusstseins durch „Learning by Doing“ fördern - und es entsteht ein positiver Rückkopplungseffekt (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.14).

3.2 Ökologische Gebäudebewertung mit Gebäudezertifikaten

Eine vergleichende ökologische Bewertung kann einerseits im Variantenvergleich innerhalb eines Gebäudes, andererseits zwischen unterschiedlichen Gebäuden stattfinden. Zusätzlich kann eine Bewertung in Teilbereichen (Energie, CO₂-Emissionen, Licht, Gesundheit etc.) oder aber nach einem ganzheitlichen Ansatz erfolgen, wie dies in Umweltzertifikaten der Fall ist.

3.2.1 Entwicklung

BREEAM war das erste Gebäudebewertungssystem am Markt und entstand in den 1990er Jahren in Großbritannien (vgl. Ebert et al., 2010, S.25). Für die Entwicklung spielten neben Umweltthematiken auch ökonomische Aspekte mit Hoffnung auf Vermarktungsvorteile eine wesentliche Rolle (Österreichische Bauzeitung, 2010, online). Damit „Nachhaltige Gebäudequalität“ ein Entscheidungskriterium und folglich zu Marketingzwecken eingesetzt werden kann, muss das Attribut möglichst vergleichbar gemacht werden – Abhilfe können Labels, Zertifikate und Bewertungssysteme schaffen (vgl. Ebert et al., 2010, S.8). *„Ähnlich dem Energieverbrauch, für den Energiepässe eine Vergleichbarkeit herstellen, bedarf es auch für die*

²⁰ Ihre Vision eines Gebäudes stellt Sauerstoff her, reinigt Wasser und Luft, bietet neuen Lebensraum für Tiere und Pflanzen, wird ausschließlich von regenerativen Energiequellen versorgt, und alle darin enthaltenen Stoffe können wieder in einen Kreislauf zurückgeführt werden etc. (vgl. Braungart, 2010, S.).

²¹ Dies zeigen auch die Ergebnisse der Masterthesis von Hampel (2012).

²² Weitere Informationen auf: <http://www.usgbc.org/neighborhoods> (Abgerufen am 03.04.2013 (18:10))

²³ Siehe dazu Gestring et al. 1997, S.19 ff.

Nachhaltigkeit von Gebäuden einfacher, verständlicher und dennoch genügend exakter Bewertungssysteme.“ (vgl. ebd. S.6). Umfragen bei Stakeholdern der Bauwirtschaft zeigen, dass Nachhaltigkeit immer mehr zu einem entscheidenden Kriterium für Planung und Vermarktung wird. Auch wenn der Markt (noch) keine höheren Verkaufspreise für zertifizierte Objekte hergibt, so ist deren Vermarktung doch wesentlich erleichtert (vgl. Deutsche Immobilienwirtschaft, 2008, o.S. zitiert nach Ebert et al., 2010, S.20). So wie für Investoren und Bauherren die ökonomische Verwertbarkeit als Nutzen der Gebäudebewertung im Vordergrund steht, ist es bei der Öffentlichkeit die Schaffung von Transparenz (vgl. Ebert et al., 2010, S.6). Natürlich muss der Aufwand für die Erstellung in angemessenem Verhältnis zum Nutzen stehen.

Zertifizierungen können auch ein politisches Instrument und somit richtungsweisend werden, z.B. als Hilfsmittel zur Festlegung von Planungszielen (vgl. Eßig, 2010, S.226). In Großbritannien ist beispielsweise die Gebäudezertifizierung für alle Wohngebäude seit 2008 gesetzlich vorgeschrieben, seit 2006 müssen alle Regierungsneubauten und –sanierungen dem BREEAM Excellent Standard entsprechen (vgl. Ebert et al., 2010, S.25 f.). Für Bauherren und Planende bilden Anforderungskriterien damit bereits eine Orientierung, Bewertungssysteme werden zu einer Planungshilfe und erleichtern es, nachhaltig zu bauen (vgl. ebd. 2010, S.6). Durch verschiedenste Audits im Zertifizierungsprozess geht damit gleichzeitig eine Qualitätskontrolle einher, was wiederum für den Wohnungsnutzer einen Vorteil darstellt.

Mit der Zeit haben sich viele nationale Bewertungsverfahren entwickelt, die untereinander schwer oder nicht vergleichbar sind. Eine Initiative zur internationalen Harmonisierung setzte die iISBE (International Initiative for a Sustainable Built Environment). Nach Anpassung an nationale Rahmenverhältnisse (Klima, Normen, Baukultur etc.) war die „Vergleichbarkeit“ der Bewertungsergebnisse allerdings nicht mehr gegeben. In Österreich wurde das Tool zum national gebräuchlichen TQB (Total Quality Building) weiterentwickelt (vgl. ebd., S.27). Seit 2010 läuft das 3,5-jährige EU-Projekt „Open House“, das die Vision eines international übergreifenden Bewertungstools wieder aufgegriffen hat und einheitliche Kernkriterien schaffen möchte (vgl. OPEN HOUSE, 2013a-b, online). Zeitgleich, von 2010 bis 2012, fand das ebenfalls EU-geförderte Projekt „SuPerBuildings“ statt, dessen Fokus unter anderem auf Benchmarking und Kriterien-Entwicklung gerichtet war (vgl. SuPerBuildings, 2013, online).

Heute gibt es einen Dschungel von ca. 600 Methoden zur Bewertung nachhaltiger Gebäudequalität (vgl. Reed et al., 2009, S.6). Solche Zahlen mögen erschreckend wirken und das Ziel einer Vergleichbarkeit in unerreichbare Ferne zu rücken. Gerade in den Anfängen ist so eine Vielfalt an Systemen mit ihren unterschiedlichen Ansätzen allerdings gut und trägt dazu bei, unterschiedliche Lösungsansätze, im Sinne eines ökologischen Lernens, zu testen (vgl. Die Presse, 2011, online). In diesem Lernprozess des Nachhaltigen Bauens kann man von Fehlern als auch von herausragend guten Leistungen lernen. Zertifizierte Vorzeigeprojekte können somit mögliche Lösungsansätze veranschaulichen und zu einer Quelle der Inspiration werden (Wallbaum et al., 2011, S. 15). Da jedes Gebäude eine eigene Aufgaben- und Problemstellung für sich ist, kann kein Konzept erfolgreich eins zu eins übertragen werden. Jedes Gebäude ist individuell – dafür gilt es individuelle Lösungen zu finden.

3.2.2 Ziele und Anwendung

Gebäudebewertungssysteme arbeiten also auf mehreren funktionalen Ebenen:

- Sie sind ein Werkzeug zur Vergleichbarkeit nachhaltiger Gebäudequalität. In diesem Sinne haben Bewertungssysteme auch eine Informationsfunktion für Konsumenten (z.B. Energiekosten für Mieter) zu erfüllen.
- Sie sind eine Orientierungshilfe, und geben sowohl Anforderungen als auch Zukunftsperspektiven Nachhaltigen Bauens vor.
- Durch sie kann eine gewisse Qualitätskontrolle erfolgen.
- Im Zentrum steht immer die Ausrichtung auf eine Nachhaltige Entwicklung, die die Minimierung von negativen Umweltbelastungen einschließt oder sogar auf eine positive Umwelteinwirkung abzielt.

Damit Gebäudebewertungstools als Orientierungshilfe effektiv genutzt werden können, ist es wichtig, die Kriterien des Tools bereits im gesamten Planungsprozess – vom Vorprojekt bis zum bewilligungsfähigen Bauprojekt – zu berücksichtigen und darauf aufbauend Entscheidungen zu treffen (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.122). Werden Bewertungstools auf diese Weise eingesetzt, können sie auch am besten auf ein Nachhaltiges Bauen hinsteuernd wirken. Abbildung 6 zeigt in welchen Projektphasen auf die Nachhaltigkeit noch am meisten Einfluss genommen werden kann. Es ist nicht erstaunlich, dass gerade in der Anfangsphase, in der Projektentwicklung und im Vorentwurf die Weichen gestellt werden (vgl. Ebert et al., 2010, S.80). Vorzertifizierungen können bereits in dieser Phase angewandt werden. BREEAM bspw. bietet ein eigenes Tool dafür an – das Interim BREEAM Certificate, in dem die Planungsziele bewertet werden (vgl. ebd., S.77).

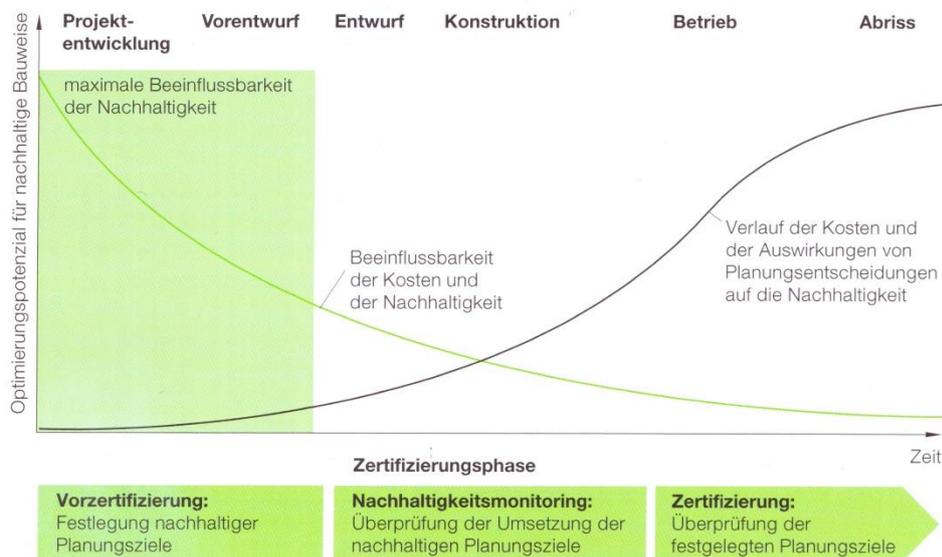


Abbildung 6: Potential zur Nachhaltigkeitsoptimierung in Abhängigkeit der Projekt- /Zertifizierungsphase
Quelle: Ebert et al., 2010, S.80

Wie bereits erwähnt ist es effektiver, Bewertungssysteme bereits während der ersten Planungsphase einzusetzen. Um sich einen Überblick zu verschaffen, wie gut/schlecht das Potential für eine gute Bewertung eines spezifischen Projektes ist, wird ein so genanntes Pre-Assessment durchgeführt, in dem der Assessor anhand verschiedener Eckdaten und seiner eigenen Erfahrung das Bewertungsergebnis abschätzt. Der weitere Schritt ist die Vorzertifizierung während der frühen Projektphase, hier wird bereits ein Zertifikat ausgestellt. Gegen Ende der Planungsphase oder schon bei Betrieb erfolgt dann die eigentliche

Zertifizierung. Hier kann auf reale Datensätze und nicht mehr Annahmen oder Default-Werte zurückgegriffen werden, sondern der Ist-Stand wird bewertet. Eine weitere Möglichkeit bietet die Nachzertifizierung für bereits abgeschlossene Bauprojekte (vgl. ebd., S.78).

3.2.3 Struktur von Bewertungssystemen

Für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung sind Instrumente z.B. zur Messung der Fortschritte, der Tendenzen als auch der Optimierungspotentiale unabdingbar. Sie geben uns Feedback, ob wir uns auf dem richtigen Kurs befinden und uns unserem Ziel einer (ökologisch) nachhaltigen Entwicklung zumindest nähern (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.144). Außerdem geben sie Aufschluss darüber, ob getroffene Maßnahmen Effekte zeigen und ob diese positiv oder sogar negativ sind. Grundsätzlich kann in Instrumente, die für Planungszwecke dienlich sind, und solche, die sich zur (vergleichenden) Bewertung eignen, unterschieden werden. Ausschließliche Planungstools sind z.B. Normen, Standards, Gesetze, Konzepte, Leitlinien, Ausschreibungshilfen, Objektbeispiele (Best Practice) etc. Im Anschluss werden Umweltzertifikate und die darin enthaltenen Instrumente näher erläutert, da sie sich für die Anwendung in der vergleichenden ökologischen Gebäudebewertung eignen. Dies schließt ihre Anwendung als Planungstool allerdings nicht aus. Es kann zwischen zwei Methoden in Zertifizierungssystemen unterschieden werden (vgl. König et al., 2009, S.9):

- **Bewertungs-/Rating-Verfahren:** In Kriteriensätzen oder -listen sind Grenzwerte festgelegt; nach quantitativen oder qualitativen Methoden werden pro Kriterium Punkte vergeben. Diese ergeben gewichtet oder einfach aufsummiert eine Gesamtpunktezahl, anhand welcher das Gebäude auf einer Skala bewertet wird.
- **Bilanzierungsverfahren:** Hier werden Bilanzen über den gesamten Lebenszyklus oder einzelne Phasen aufgestellt und Auswirkungen auf Umwelt, Ressourceninanspruchnahme, Emissionen, Ökonomie etc. ermittelt. Wie der Titel „Bilanzierungsverfahren“ verrät, werden die Input-Parameter den Output-Größen gegenübergestellt. Beispiele dieser ausschließlich quantitativen Methode sind die Ökobilanz und Streamline-Analysen (vereinfachte Ökobilanzen) (vgl. Geissler et al., 2008, S.10).

Praktisch treten beide Verfahren häufig in Kombination auf. In Kapitel 3.3 wird näher auf übliche Bewertungsverfahren in Österreich eingegangen, im Besonderen auf das darin verwendete Bilanzierungsverfahren der Ökobilanzierung.

Die Strukturierung von Zertifizierungssystemen erfolgt in unterschiedliche Ebenen. An oberster Stelle gilt es Ziele zu definieren bzw. zu erfüllen (Wasser, Energie sparen etc.). Diese können über Kriterien (z.B. Thermische Gebäudehülle; Wassersparende Armaturen etc.) spezifiziert werden, die ihrerseits in Kategorien zusammengefasst sind (z.B. Energie und Versorgung, Baustoffe und Konstruktion etc.). Innerhalb eines Kriteriums erfolgt die Einstufung mit Hilfe so genannter Indikatoren²⁴. Bspw. gelten CO₂-Emissionen als Indikator für die Energieeffizienz, oder auch den Klimawandel. Sind diese hoch, können negative Rückschlüsse auf den Energieverbrauch und den Beitrag zum Klimawandel gezogen werden (vgl. Ebert et al., 2010, S.90 f.) (Abbildung 7). Damit die Indikatoren bewertet werden können, müssen für diese spezifische Ziele definiert sein – dies können quantitative, Primärenergieinhalt $\leq 120\text{kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$, oder qualitative Ziele, Biodiversitätserhaltung am Standort, Erhaltung/Verbesserung der Bodenqualität etc., sein (vgl. Mötzl et al., 2011b, S.23). Nach Zuordnung der Punkte zu den Kriterien, kann die Gesamtpunktezahl entweder über eine einfache Summation der einzelnen Bewertungen oder mit Gewichtung ermittelt werden. Die Gewichtung ist je nach Bewertungssystem unterschiedlich, z.B. kann pro (Sub-)Kategorie eine Maximalpunktezahl angesetzt werden; dies ist bspw. bei klima:aktiv der Fall. Für die Präsentation des

²⁴ Lateinisch indicare: anzeigen.

Endergebnisses sind wiederum eine quantitative (Gesamtpunktezahl wie z.B. bei klima:aktiv) oder eine qualitative Wertung in Form von Noten wie „Ausgezeichnet“, „Sehr Gut“, „Gut“, „Befriedigend“ etc. (z.B. IBO ÖKOPASS), oder anderen Einstufungen wie „Platin“, „Gold“, „Silber“, „Bronze“ etc. (z.B. klima:aktiv, LEED) möglich (vgl. Ebert et al., 2010, S.90 f.). Dieser Schritt, die Bewertung vieler Indikatoren zu einer Kennzahl zusammenzuführen, wird Aggregation genannt (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.23).

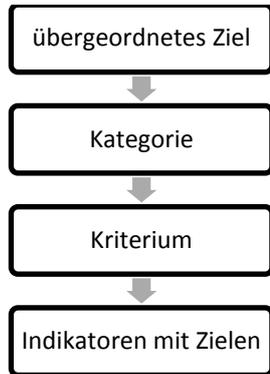


Abbildung 7: Element-Ebenen in Bewertungssystemen
Quelle: Eigene Darstellung

3.2.4 Methoden zur ökologischen Bewertung

Tabelle 1 zeigt in Anlehnung an die Klassifikation von Wallbaum et al. (2011, S.147 ff.) eine Übersicht über mögliche Tools zur vergleichenden ökologischen Bewertung und enthält eine kurze Beschreibung derselben. Wo nicht anders angegeben, wird auf die Angaben von Wallbaum et al. Bezug genommen.

Tabelle 1: Klassifikation von Planungs- und Bewertungstools

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wallbaum et al., 2011, S.147 ff.

Datengrundlagen	Umwelt-Produktdeklarationen (Environmental Product Declaration: EPD)	Die Verfügbarkeit sogenannter EPDs nimmt seit ihrer Normung zu. Sie stellen Informationen zu Emissionen etc. des deklarierten Produkts dar. Zu beachten ist, dass EPDs allerdings lediglich Informationen liefern, sie selbst enthalten noch keine eigentliche Bewertung (z.B. mithilfe einer Skala etc.). Diese Informationen können dann aber in eine Bewertung mit einfließen, wichtig ist allerdings der Bezug auf die funktionale Einheit.
	Datenbanken	Sind die Basis zur Erstellung von EPDs und LCAs (z.B. Ökobau.dat ²⁵ , GaBi Datenbank ²⁶ , EcoInvent ²⁷ , Baubook etc.). Natürlich kann in solchen Datenbanken nicht jedes einzelne Produkt enthalten sein; vielmehr handelt es sich um als repräsentativ erachtete Spezifikationen typischer „Produkt(-gruppen)“ (z.B. Ziegel, PE-Folie etc.).
	Güte- und Umweltzeichen für Produkte	Umweltzeichen existieren sowohl für Bauprodukte und Bauteile als auch für Technologien, Systeme etc. Zu beachten ist die Transparenz im Vergabeverfahren durch eine unabhängige Stelle. Beispiele sind der Blaue Engel, das Österr. Umweltzeichen, natureplus, EU-Ecolabel, FSC, PEFC etc. Im IBO ÖKOPASS bspw. werden Punkte in der Gebäudebewertung vergeben, wenn Produkte mit Umweltzeichen eingebaut sind. Diese können auch als qualitatives Instrument verwendet werden (vgl. ANEC, 2011, S.8).
	Energieausweis	Energieausweise beschränken sich auf die Ermittlung der energetischen/thermischen Qualität eines Gebäudes. Einzelne Kennzahlen daraus können als Datengrundlage für eine weitere Bewertung dienen, oder direkt darin einfließen.
Qualitative Methoden	Positiv-, Negativlisten bzw. Empfehlungs- und Ausschlusskriterien	Damit kann die Auswahl an Bauprodukten erleichtert und bewertet werden. Ausschlusskriterien könnten spezifische Inhaltsstoffe wie Formaldehyd oder Asbest sein. In Positiv- und Negativlisten bzw. Empfehlungskriterien sind zu vermeidende, respektive empfohlene Baustoffe verzeichnet.
	Simulationsmodelle	Simulationsmodelle können für unterschiedliche Bereiche wie Energie, Licht, Temperatur, Lüftung etc. erstellt werden. Sie können im Gegensatz zu LCAs nur für die Nutzungsphase erstellt werden (z.B. Tageslichtsimulationen etc.)
	ABC-Methode	ABC (Assessment of Buildings and Constructions)-Disposal wurde im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ entworfen, um eine qualitative Bewertung der Entsorgungseigenschaften von Bauprodukten / Konstruktionen und in weiterer Folge des gesamten Gebäudes zu ermöglichen. Die Bewertung erfolgt nach dem „Notenschema“ von 1 (ausgezeichnet) bis 4 (problematisch) (vgl. Mötzl et al., 2009, S.12).

²⁵ Die Ökobau.dat ist eine deutsche Datenbank und Grundlage für das LCA in der DGNB (Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen)-Bewertung (vgl. König et al., 2009, S.57). Online abrufbar unter: <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>.

²⁶ GaBi ist eine Software zur Ökobilanzerstellung. Die GaBi-Datenbank wurde von PE INTERNATIONAL erstellt (PE INTERNATIONAL AG, s.a.a.). Weitere Informationen: <http://www.gabi-software.com/databases/> (Abgerufen am 16.06.2013 (12:14)).

²⁷ Weitere Informationen auf: http://www.pre-sustainability.com/databases?gclid=CO__2MX0zLYCFUhZ3godIG8AsA (Abgerufen am 16.10.2013 (22:30)).

	Risk-Assessment	Chemikalienmanagement, Environmental Risk Assessment, Health Risk Assessment
	Güte- und Umweltzeichen für Produkte	siehe oben
Quantitative Methoden	LCA-Tools	Lebenszyklusanalysen hinsichtlich der ökologischen Performance können für den gesamten Lebenszyklus oder einzelne Phasen erstellt werden. Softwarebeispiele sind Simapro, Ecosoft, Gabi etc.
	Streamline-Analysen	Dies sind vereinfachte Ökobilanzen; sie werden anhand von Indikatoren wie Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS) oder Kumulierter Energieaufwand (KEA) erstellt (vgl. Geissler et al., 2008, S.10).
	Carbon-Footprint	Der CO ₂ -Fußabdruck spiegelt die gesamten Treibhausgasemissionen eines Produkts wider. Die gesamte Lieferkette wird dabei erfasst, teilweise auch die Phasen Nutzung und Entsorgung. Quantifizierbar ist er z.B. mit dem GWP (Global Warming Potential) (vgl. PE INTERNATIONAL AG, s.a.b.)
	OI3-Indikator, Eco-Indikator 99	Der OI3 Indikator ist eine Methode zur Ökobilanzierung, die nur die drei Indikatoren Versauerungs-, Treibhausgaspotential und Primärenergieinhalt aus nicht-erneuerbaren Quellen betrachtet und diese zu einem einzigen Indikator (dem OI3) aggregiert (vgl. IBO, 2011). Der Eco-Indikator 99 funktioniert ähnlich, ist jedoch ein schadensorientierter Indikator, der Auswirkungen auf die Humangesundheit (DALY), Ökosystemqualität (% vascular plant species*km ² *yr ²⁸) sowie den Ressourcenvorrat (MJ surplus energy) bewertet (vgl. Goedkoop, 2001, S.3).
	Messungen	Innenraumluftqualität (VOC, Formaldehyd, elektromagnetische Spannung), Schallübertragung, Lärm etc.

3.2.5 Überblick über nationale Bewertungssysteme

Österreichs Zertifikat-Landschaft ist breit gefächert mit Systemen wie: klima:aktiv, TQB, DGNB bzw. ÖGNI, BREEAM, LEED und Green Building (vgl. Die Presse, 2011, online und Österreichische Bauzeitung, 2010, online).

In Österreich gibt es einen stufenartigen Aufbau der Zertifizierungssysteme nach ihrem Detaillierungsgrad. Der Energieausweis kann dabei als elementarste Form der Bewertung angesehen werden und dient, nachdem er nun für jeden Neubau bereits verpflichtend ist, oftmals als Datengrundlage für weitere Zertifizierungsprozesse. Eine klima:aktiv Bewertung stellt den nächsten Schritt dar, der Aufwand ist größer aber überschaubar und die Kriterien sind relativ einfach gehalten. Eine TQB-Zertifizierung hat einen noch höheren Detaillierungsgrad. Der Zweck dieses stufenweisen Aufbaus ist, dass er die Entscheidung zu einer Zertifizierung erleichtern soll und die Bauherren langsam und schrittweise an diese Programme und ihre Vorgehensweisen heranführt; außerdem soll er die Marktdurchdringung vereinfachen (vgl. Geissler et al., 2008, S.20).

Der Trend geht deutlich in Richtung Anknüpfung der Wohnbauförderungen an die Erfüllung von Standards aus Bewertungssystemen. Z.B. der OI3 (Öko-Index 3) des IBO (Österreichisches

²⁸ Arten von Gefäßpflanzen * km² * Jahr.

Institut für Baubiologie und Bauökologie) eine vereinfachte Form der Ökobilanz, ist bereits in sechs österreichischen Bundesländern (Tirol, Salzburg, Kärnten, Vorarlberg, Steiermark und Niederösterreich) Bestandteil der Wohnbauförderung (vgl. Kärntner Landesregierung, 2012, S.10; Tiroler Landesregierung, 2012, S.22; SIR, 2010, S.10; Vorarlberger Landesregierung, 2013, S.19; Landesregierung Steiermark, 2011, S.29 sowie Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2011, S.20). Auch im neuen TQB (Total Quality Building) Tool, Version 2012, ist eine Erweiterung des OI3 auf Bilanzgrenze 3²⁹ beschlossen worden (vgl. ÖGNB, 2012, S. 53). Des Weiteren ist der OI3 auch in klima:aktiv und im IBO ÖKOPASS Bestandteil.

²⁹ Die Bilanzgrenze, erkenntlich gemacht durch einen Index (z.B. OI3_{BG3}), gibt an, welche Gebäudeteile mit bilanziert werden. So enthält die BG3 alle Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle, Zwischendecken, alle Innenwände, unbeheizte Puffer- sowie Kellerräume (vgl. IBO, 2011, S.17).

3.3 Nähere Betrachtung ausgewählter Zertifizierungssysteme, ihre ökologischen Kriterien und insbesondere die Applikation von Ökobilanzen

Für den österreichischen Raum relevante Zertifikate sind klima:aktiv, TQB und IBO ÖKOPASS auf nationaler und ÖGNI, BREEAM sowie LEED³⁰ auf internationaler Ebene. Vier davon werden im Anschluss hinsichtlich ihrer ökologischen Kriterien und dem Einsatz von Ökobilanzen näher untersucht und erläutert. Das Green Building Zertifikat wird zwar in Österreich ebenfalls propagiert, enthält aber hauptsächlich energetische Standards, verwendet keine LCA-Berechnung und wird deshalb nicht in diese Betrachtung mit einbezogen.

3.3.1 BREEAM

Die BREEAM-Methode (BRE Environmental Assessment Method) der Organisation BRE (Building Research Establishment) besteht seit 1990 und gilt weltweit als das erste Zertifizierungssystem (vgl. Geissler et al., 2008, S.5). Für die Zertifizierung von Wohngebäuden ist der so genannte „Code for Sustainable Homes“ (CSH), Version November 2010,³¹ anzuwenden, der an die britischen Rahmenbedingungen angepasst ist. Für Österreich gibt es derzeit keine nationale Adaptierung (Fellner, 2013, persönliche Mitteilung). Der CSH baut auf „Ecohomes“ auf und unterscheidet sich von den herkömmlichen BREEAM-Schemes in mehreren Aspekten wie den Haupt-Kategorien, den „Rating-Levels“, der Gewichtung als auch den Zielsetzungen (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.28).

Im CSH werden 9 Kategorien bewertet, die wiederum in einzelne Kriterien unterteilt sind (Kapitel 10 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Tabelle 28) und Tabelle 2). Bewertet wird abschließend in sechs Levels (Tabelle 6), wobei Level sechs für die Bestbewertung steht.

Tabelle 2: Kriterienkatalog BREEAM „Code for Sustainable Homes“ mit Punktezuteilung und Gewichtung

Quelle: Eigene Darstellung nach BREEAM, 2010, S.13

Categories	Total Credits	Weighting Factor
1) Energy and CO ₂ -Emissions	31	36,4 %
2) Water	6	9,0 %
3) Materials	24	7,2 %
4) Surface Water Run-Off	4	2,2 %
5) Waste	8	6,4 %
6) Pollution	4	2,8 %
7) Health and Well-being	12	14,0 %
8) Management	9	10,0 %
9) Ecology	9	12,0 %
Summe	107	100 %

³⁰ BREEAM und LEED sind keine nationalen Bewertungsprogramme und deshalb auch nicht auf den österreichischen Kontext speziell angepasst. Diese Internationalität ist aber auch ihre Stärke für bspw. international tätige Konzerne, die dann ihre Gebäude in den unterschiedlichsten Nationen mit ein und demselben Zertifikat bewerten lassen können. Anwendung finden können sie auch in Ländern, in denen keine nationalen Bewertungsprogramme bestehen (vgl. Geissler et al., 2008, S.15).

³¹ Der „Technical Guide“ ist online verfügbar auf der Homepage der britischen Regierung: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/5976/code_for_sustainable_homes_techguide.pdf (Abgerufen am 23.03.2013 (16:07)) (siehe auch BREEAM, 2010).

LCA-Indikatoren kommen hauptsächlich in der Kategorie 3) Materialien zur Anwendung vor, daneben fließen Einzelindikatoren (wie CO₂-Äquivalente) in die Bewertungen der Kategorien 1) Energie³², 6) Schadstoffemissionen³³ sowie 8) Management³⁴ ein (Kapitel 10 (Tabelle 29)).

Im Kriterium Mat1 werden die Dachaufbauten, Außenwände, Innenwände, erdberührte Bodenplatte, Decken und Fenster über ihren gesamten Lebenszyklus mit Hilfe eines eigens entwickelten Tools bewertet. Das Green Guide Calculator Tool³⁵ bewertet Aufbauten mit „Noten“ von A⁺ bis E, jeder Note wird für die Endbewertung eine Punktezahl zugewiesen. A⁺-Aufbauten erhalten 3 Punkte; da maximal 5 Aufbauten bewertet werden, ergibt dies eine aggregierte Maximalpunktezahl von 15 (vgl. BREEAM, 2010, S.92 ff.). Auch für die Kriterien Mat2 und Mat3 steht ein Kalkulationsprogramm (Code Mat 2 bzw. Mat3 Calculator Tool) zur Verfügung (vgl. ebd., S.98/114).

3.3.2 LEED

LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) ist ein amerikanisches Zertifizierungssystem der Organisation USGBC (United States Green Building Council) (vgl. Ebert et al., 2010, S.92) und wurde Ende der 1990er Jahre entwickelt (Geissler et al., 2008, S.16). Für Wohngebäude ist zu unterscheiden, ob sie über oder unter 4 Geschoße besitzen. Darunter erfolgt die Bewertung nach dem HOMES, darüber nach dem New Construction Kriteriensatz (vgl. USGBC, 2013b, S.xiv). Im Folgenden wird auf den Katalog des LEED for Homes Rating System, Version 2008 (USGBC, 2013a) Bezug genommen, da dieser speziell für Wohnhäuser entwickelt wurde und auch einige der untersuchten Projekte weniger als 4 Geschoße haben.

In den letzten Jahren forcierte der U.S. Green Building Council den Einsatz von LCAs und hat 2004 eine eigene Arbeitsgruppe zur Ausarbeitung eines einheitlichen Standards für die LCA-Berechnung im Zuge der LEED Zertifizierung gegründet. 2009 startete das Pilotkriterium LCA (vgl. Ebert et al., 2010, S. 47 und 96)³⁶. Ein weiteres Kriterium, das den Einsatz von Produkten mit EPDs (Environmental Product Declaration) honoriert, soll ebenfalls die Transparenz zu Produktinformationen erhöhen und Entscheidungsprozesse verbessern (vgl. Owens, 2011, online).

³² CO₂-Äquivalente.

³³ Treibhausgaspotential und NO_x-Emissionen.

³⁴ CO₂-Emissionen, Wasserverbrauch etc. für Baustellenprozesse.

³⁵ Das Green Guide Calculator Tool enthält folgende Themenfelder bzw. Indikatoren (vgl. BREEAM, s.a., online): Klimawandel (CO₂-Äquivalente – GWP (Global Warming Potential) 100), Wasserentnahme (m³), Abbau mineralischer Ressourcen (TMR: Total Material Requirement in Tonnen), Ozonabbau (kg CFC-11 Äquivalente), Humantoxizität (kg 1,4 Dichlorbenzene (1,4-DB) Äquivalente), Ökotoxizität für Süßwasser (kg 1,4 Dichlorbenzene (1,4-DB) Äquivalente), Nuklearer Abfall (mm³ high level waste), Ökotoxizität für Landflächen (kg 1,4 Dichlorbenzene (1,4-DB) Äquivalente), Abfallverwertung (Tonnen solider Abfall), Verbrauch fossiler Energieträger (Tonnen Öl-Äquivalente oder toe: tonnes of oil equivalent), Eutrophierung (kg Phosphat (PO₄) Äquivalente), Aufbau des photochemischen Ozons (kg Ethen (C₂H₄) Äquivalente), Versauerung (kg Schwefeldioxid (SO₂) Äquivalente). Nähere Informationen unter: <http://www.bre.co.uk/greenguide/podpage.jsp?id=2126> (Abgerufen am 16.10.2013 (22:28)).

³⁶ Brendan Owens, Vizepräsident des USGBC, hat auf Youtube (Owens, 2011, online) eine Begründung der Einführung des LCA-Tools in das Bewertungssystem veröffentlicht und weist auf methodische Schwächen (z.B. Bewertung von Human- und Ökotoxizität) als auch Stärken (Einbezug von Trade-Offs) hin.

Untenstehende Tabelle zeigt die maximale Punktezahl, die pro Kategorie erreicht werden kann.³⁷

Tabelle 3: Kriterienkatalog LEED Homes mit Punktezuteilung und Gewichtung
Quelle: Eigene Darstellung und eigene Übersetzung nach USGBC, 2013a, S.11

Categories	Maximum Points available	Anteil an Gesamtpunktezahl
1) Innovation & Design Process (ID)	11	8,09 %
2) Location & Linkages (LL)	10	7,35 %
3) Sustainable Sites (SS)	22	16,18 %
4) Water Efficiency (WE)	15	11,03 %
5) Energy & Atmosphere (EA)	38	27,94 %
6) Materials & Resources (MR)	16	11,76 %
7) Indoor Environmental Quality (EQ)	21	15,44 %
8) Awareness & Education (AE)	3	2,21 %
Summe	136	100 %

Die Gesamtpunktezahl ergibt sich durch Aggregation der einzelnen Punkte aus den Kriterien ohne Gewichtung; je nach Punktezahl wird das Gebäude von „Certified“ bis „Platinum“ (als Bestbewertung) zertifiziert (Tabelle 6).

Bei der Kriterien-Nachweisführung gibt es sehr oft die Wahlmöglichkeit zwischen deskriptiven/qualitativen und quantitativen Methoden. Die Möglichkeit, eine LCA-Bewertung mit einzubeziehen, gibt es im LEED Homes Katalog zurzeit nicht. In der Kategorie MR erleichtert eine Liste an „environmentally preferable products“ die Bewertung und Baustoffwahl für den Bauherrn. Derzeit wird für die Energiebewertung die Energieeinsparung bezogen auf einen Referenzwert betrachtet und durch den sogenannten HERS-Index angegeben³⁸. Zukünftig soll jedoch der Primärenergieinhalt für die Bewertung herangezogen werden (vgl. Ebert et al., 2010, S.47).

³⁷ Einige der Kriterien (hier nicht extra vermerkt) sind Musskriterien, für die keine Punkte vergeben werden. Für manche Kategorien ist eine Mindestpunktzahl erforderlich.

³⁸ HERS-Index: *“a system for evaluating the energy efficiency of a home using an energy simulation model. A HERS index of 100 represents the energy efficiency of a home that meets basic IECC code requirements; each additional index point represents a 1% increase in energy use, and lower index numbers indicate the percentage savings in energy use.”* (USGBC, 2013a, S.116).

3.3.3 ÖGNI/DGNB

Die ÖGNI (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft) ist das österreichische Pendant zur DGNB (Deutsche Gesellschaft Nachhaltigen Bauens), über die das DGNB-System angepasst in den österreichischen Markt eingeführt wurde. Es wurde 2007 entwickelt und ist damit in unserem Vergleich das jüngste System. Heute stehen bereits viele verschiedene Nutzungsprofile zur Verfügung, für die nachfolgenden Angaben ist der Katalog Neubau, Wohngebäude (mehr als 6 Wohneinheiten) Version 2012 maßgeblich. Tabelle 4 zeigt einen Überblick aller Kategorien.

Tabelle 4: DGNB-System, Kategorienübersicht, Wohngebäude Neubau, Version 2012
Quelle: Eigene Darstellung nach DGNB, 2013a, online

Kategorie	Anteil an der Gesamtbewertung
Ökologische Qualität (ENV)	22,50 %
Ökonomische Qualität (ECO)	22,50 %
Soziokulturelle und funktionale Qu. (SOC)	22,50 %
Technische Qualität (TEC)	22,50 %
Prozessqualität (PRO)	10 %
Standortqualität (SITE)	0 %
Summe	100 %

Unter den österreichweit relevanten Systemen ist es jenes, das die Ökobilanzierung am weitesten als Bewertungstool entwickelt hat. So nimmt das LCA in der Kategorie ENV³⁹ einen Schwerpunkt ein. Während der Frischwasserbedarf ebenso quantitativ erfasst wird, werden die Kriterien Flächeninanspruchnahme, Risiken für die lokale Umwelt und nachhaltige Ressourcenverwendung qualitativ bewertet (vgl. Ebert et al., 2010, S.54). Als Benchmarks dienen Referenz-, Grenz- (Mindestanforderung für Punktezuteilung) und Zielwerte (Bestbewertung) (vgl. ÖGNI, 2013, S.18).

Bei der Endbewertung werden die Plaketten „Bronze“, „Silber“ und „Gold“ ausgestellt (Anforderungswerte siehe Tabelle 6).

³⁹ ENV1.1: Ökobilanz - emissionsbedingte Umweltwirkungen und ENV2.1: Ökobilanz – Primärenergie (vgl. DGNB, 2013a, online). LCA-Indikatoren sind die Wirkungsindikatoren Treibhausgas-, Ozonschichtabbau-, Ozonbildungs-, Versauerungs- und Überdüngungspotential und die Sachbilanzindikatoren nicht-erneuerbarer Primärenergieinhalt und Gesamt-Primärenergieinhalt (vgl. Ebert et al., 2010, S.54).

3.3.4 TQB

Das TQB (Total Quality Building), ein System der ÖGNB (Österreichischen Gesellschaft Nachhaltigen Bauens), ist 2002 entwickelt worden. Zwei Nutzungsprofile, Dienstleistungs- und Wohngebäude, stehen zur Verfügung (vgl. ÖGNB, 2013a, online). Die Kategorien lt. Wohngebäudekatalog sind im Folgenden aufgelistet:

Tabelle 5: Kategorien in TQB, Wohngebäude
Quelle: Eigene Darstellung nach ÖGNB, 2013b, online

Kategorie	Maximal anrechenbare Punktezahl
A. Standort und Ausstattung	200
B. Wirtschaftlichkeit und technische Qualität	200
C. Energie und Versorgung	200
D. Gesundheit und Komfort	200
E. Ressourceneffizienz	200
Summe	1000

Die Punkte der einzelnen Kategorien werden addiert, jedoch gibt es für jede Sub- sowie jede weitere Kategorie eine Grenze maximal anrechenbarer Punkte. Am Ende werden die Punkte der Kategorien zusammengezählt, welche auch die Endbewertung ausmachen.

Der $OI_{BG3,BZF}^{40}$, eine vereinfachte Form der LCA-Anwendung, wird als Zeiger für die Ökoeffizienz des Gesamtgebäudes verwendet, wofür maximal 60 Punkte angerechnet werden können; das entspricht einer Gewichtung von 6 % bezogen auf die Gesamtpunktezahl.

3.3.5 Vergleich der Zertifizierungssysteme und des Einsatzes von Ökobilanzen

Die derzeitige Anwendung von LCAs in (inter-)nationalen Bewertungssystemen ist sehr unterschiedlich (Tabelle 6); zumeist (mit Ausnahme von DGNB) wird sie für die Bewertung der Materialwahl (BREEAM und TQB) verwendet. Diese hat allerdings einen relativ geringen Einfluss auf die gesamte ökologische Gebäudeperformance, was sich auch in der Punkteverteilung vieler internationaler Zertifikate wie BREEAM, LEED und DGNB widerspiegelt - meist werden lediglich knappe 5% der Gesamtpunktezahl über die Materialwahl bestimmt - (vgl. Schmidt, 2012, S.2); Ähnliches gilt für TQB. In den vorhergehenden Unterkapiteln hat sich gezeigt, dass in der Praxis viele ökologische Kriterien bewertet werden, die außerhalb des Erfassungsrahmens eines LCA liegen (z.B. Flächenverbrauch, standortspezifische Qualitäten wie Mikroklima etc.; siehe auch Kapitel 4.2.1). Tabelle 6 gibt einen Überblick der betrachteten Systeme.

⁴⁰ Die Indizes BG3 und BZF stehen für: Bilanzgrenze 3 bzw. Bezugsfläche. „Die Bezugsfläche ist definiert als konditionierte Bruttogrundfläche plus 50 % der Bruttogrundfläche von Pufferräumen (Keller,...)“ (vgl. IBO, 2011, S.18).

Tabelle 6: Übersicht Zertifizierungssysteme im Vergleich mit Fokus auf LCA
Quelle: Eigene Darstellung nach Ebert et al., 2010, S.92 ff.

Zertifizierungssystem	BREEAM – Code for Sustainable Homes	LEED Homes	ÖGNI / DGNB Wohngebäude Neubau	TQB - Wohngebäude
Organisation	BRE	USGBC	DGNB	ÖGNB
Start (Jahr)	1990	1990er Jahre	2007	2002
Bewertungsstufen	Level 1 (≥ 36 Percentage Points) Level 2 (≥ 48) Level 3 (≥ 57) Level 4 (≥ 68) Level 5 (≥ 84) Level 6 (≥ 90) Gesamt: 100 ⁴¹	Certified (≥ 45 Punkte), 33% Silver (≥ 60 Punkte), 44% Gold (≥ 75 Punkte), 55 % Platinum (≥ 90 Punkte), 66% Von insgesamt: 136 Punkten ⁴²	Bronze (≥ 50%) Silber (≥ 65%) Gold (≥ 80 %) ⁴³	Maximale Punktezahl: 1000
Gewichtung	Gewichtung der einzelnen Kategorien	Keine Gewichtung	Gewichtung der einzelnen Kategorien und zusätzliche Angabe von Bedeutungsfaktoren für Kriterien	Keine Gewichtung, aber Maximalpunktezahlen je Sub- und Kategorie.
Ökobilanz (LCA)	Abhängig von der Systemvariante verschiedene Ansätze: z.B. LCA-Instrument „Green Guide to Specification“; • Phasen: Herstellung; alternativ: nationales LCA-System • Phasen: Herstellung, Nutzung und Verwertung • mind. 3 Umweltindikatoren	Bisher nur als Pilotprojekt: LCA der Gebäudebauteile und Materialien ⁴⁴ • Phasen: Herstellung, Transport, Instandhaltung, Rückbau, Entsorgung • Inhalte ⁴⁵ : PE, AP, GWP, Einflusspotenzial auf Atemwege, ODP, EP	Diverse LCA-Instrumente aufbauend auf der nationalen Datenbank Ökobau.dat; LCA-Instrument: GaBi, LEGEP, BAULOOP etc. • Lebenszyklus: 50 Jahre • Phasen: Herstellung, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung • Inhalte ⁴⁶ : GWP, ODP, POCP, AP, EP, PE PE _{ne} , PE _e , • Funktionale Einheit: NGF ⁴⁷	OI3 _{BG3,BZF} , aufbauend auf der IBO-Baustoffdatenbank • Lebenszyklus: 100 Jahre • Phasen: Herstellung und Instandsetzung • Inhalte: GWP, AP, PE _{ne} • Funktionale Einheit: Bezugsfläche

⁴¹ Vgl. BREEAM, 2010, S.13/17.

⁴² Vgl. USGBC, 2013a, S.5.

⁴³ Dies sind Angaben zum Gesamterfüllungsgrad (aller Kategorien), daneben gibt es noch den Mindesterfüllungsgrad für die ersten fünf Kategorien (vgl. DGNB, 2013b, online).

⁴⁴ Gilt nicht für LEED Homes.

⁴⁵ PE: Primärenergieinhalt, AP (Acidification Potential): Versauerungspotential, GWP (Global Warming Potential): Treibhauspotential, ODP (Ozone Depletion Potential): Ozonschichtabbaupotenzial, EP (Eutrophication Potential): Überdüngungspotenzial.

⁴⁶ Siehe oben, POCP: Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential), PE_{ne}: Primärenergieinhalt nicht erneuerbarer Energien, PE_e: Anteil erneuerbarer Primärenergie.

⁴⁷ NGF: Nettogrundfläche.

3.4 Normenlandschaft zur Gebäudebewertung

Normungsaktivitäten finden sowohl auf europäischer als auch internationaler Ebene statt. In Europa sind Technische Komitees (TC) des Europäischen Komitees für Normung (CEN) mit der Normenentwicklung betraut, während internationale Normen der International Standardisation Organisation (ISO) entspringen. Solche ISO-Normen müssen nicht in das nationale Normenwerk übergeführt werden, sind aber an der Kennzeichnung ÖNORM ISO erkennbar. Von der ISO und den europäischen technischen Komitees gemeinsam entwickelte Normen erhalten den Zusatz ÖNORM EN ISO. Diese Zusammenarbeit schafft Vereinheitlichung und verhindert widersprüchliche Festlegungen auf internationaler und europäischer Ebene (vgl. Bundeskanzleramt Österreich, 2013, online). In den nationalen Normen wird für deren korrekte Anwendung auch auf zahlreiche ISO-Normen verwiesen. Tabelle 7 zeigt die Gliederung nationaler Normenwerke für die Nachhaltigkeitsbewertung im Bausektor. Das CEN/TC 350⁴⁸ ist mit der Bearbeitung dieser Normen betraut.

An den Ausgabedaten der ÖNORMEN (Tabelle 7) ist erkennbar, dass gerade im Bereich der EPDs und der Berechnungsmethode der umweltbezogenen Qualität in jüngster Zeit Aktualisierungen der Normenlandschaft stattgefunden haben.

Tabelle 7: Übersicht Normenlandschaft - nationale Umsetzung europäischer Normen
Quelle: Eigene Darstellung überarbeitet nach ÖNORM 15978, 2012, S.6

	Umweltbezogene Qualität	Soziale Qualität	Ökonomische Qualität	Ausgabedatum der jeweiligen ÖNORM ⁴⁹
Rahmendokumente	EN 15643-1, Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Allgemeine Rahmenbedingungen			2010-11-01
	EN 15643-2, Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität	EN 15643-3 Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität	EN 15643-4 Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität	ÖNORM 15643-2: 2011-04-15 ÖNORM 15643-3: 2012-03-15 ÖNORM 15643-4: 2012-03-15
Gebäudeebene	EN 15978, Bewertung der umweltbezogenen Qualität – Berechnungsmethode	prEN 16309 ⁵⁰ , Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden – Methoden	WI 017, Bewertung der ökonomischen Qualität	ÖNORM 15978: 2012-10-01 ÖNORM 16309: 2011-09-01
Produkt-ebene	EN 15804, Umweltproduktdeklarationen für Produkte			ÖNORM 15804: 2012-04-01

⁴⁸ Europäisches Komitee für Normung / Technisches Komitee 350 – Sustainability of construction works.

⁴⁹ Vgl. ÖNORM 15643-1, 2010; ÖNORM 15643-2, 2011; ÖNORM 15643-3, 2012; ÖNORM 15643-4, 2012; ÖNORM 15978, 2012.

⁵⁰ Der Zusatz „pr“ lässt erkennen, dass es sich um einen Normenentwurf zur Prüfung handelt.

3.4.1 Bewertungsgegenstand und Systemgrenze

Die oben angeführten Normenreihen beziehen sich auf die Beurteilung der umweltbezogenen, sozialen und ökonomischen Qualität eines Gebäudes; die Beurteilung der technischen und funktionalen Eigenschaften jedoch fällt nicht in diesen Anwendungsbereich (vgl. ÖNORM 15978, 2012, S.5). Der Bewertungsgegenstand der „Umweltbezogenen Qualität“ eines Gebäudes ist definiert als die Qualität bezüglich der Umweltaspekte und -auswirkungen (vgl. ÖNORM 15643-2, 2011, S.11). Unter Umweltaspekten sind Eigenschaften von Bauwerken oder Bauwerksteilen zu verstehen wie z.B. die Energienutzung, Abfallproduktion etc. Aufgrund seiner Umweltaspekte kann also ein Bauwerk(-steil) Veränderungen der Umwelt, sowohl positiv als auch negativ, verursachen – anders ausgedrückt: Umweltauswirkungen werden als Folge der Umweltaspekte verstanden (vgl. ebd., S.10f.).

Die EN 15643-1 „Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Allgemeine Rahmenbedingungen“ legt fest, dass der Bewertungsgegenstand das Gebäude einschließlich der Fundamente und Außenanlagen sowie Baustellenaktivitäten während der Errichtungsphase umfasst (vgl. ÖNORM 15643-1, 2010, S.19). Allfällige Begrenzungen sind anzugeben, wobei die Bewertung „Auswirkungen und Aspekte des gebäudeintegrierten technischen Systems und der mit dem Gebäude verbundenen Einrichtungen, Ausrüstungen und Ausstattungen einschließen [muss]“. (ebd.). Zu „mit dem Gebäude verbundenen Einrichtungen etc.“ zählen solche, die dauerhaft im Gebäude eingebaut sind⁵¹. Haushaltsgeräte bspw. fallen nicht in diese Kategorie. Nicht mit dem Gebäude verbundene Geräte, Einrichtungen, Ausrüstungen und Ausstattungen dürfen natürlich mit bewertet werden, allerdings nur separat und gesondert dargestellt (vgl. ebd., S.20).

3.4.2 Methode

Laut EN 15643-2, Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität, kann ein Gebäudebewertungssystem aus einem quantitativ beschreibenden, analytischen Teil und aus einem bewertenden Teil bestehen (vgl. ÖNORM 15643-2, 2011, S.18). Für letzteres sind quantitative Verfahren (z.B. Ökobilanz⁵²) heranzuziehen, mit Hilfe derer die Umweltaspekte und -auswirkungen eines Gebäudes während seines gesamten Lebenszyklus erfasst werden sollen (vgl. ebd., S.26). So werden in der EN 15978 als Bewertungsindikatoren sowohl Umweltwirkungsindikatoren (z.B. Versauerungspotential, Global Warming Potential etc.) als auch weitere quantifizierbare Parameter wie Primärenergieinhalt herangezogen. Grundsätzlich sind in den Nachhaltigkeitsbewertungen der drei Dimensionen Doppelzählungen von Qualitätsaspekten und -auswirkungen zu vermeiden (vgl. ÖNORM 15643-3, 2012, S.16).

Resümierend bezieht sich das gesamte Normenwerk des CEN 350 auf quantitative Bewertungsinstrumente. Alle anderen Formen der qualitativen oder semi-quantitativen Bewertung sind somit kategorisch ausgeschlossen und nicht genormt.

3.4.3 Vergleichbarkeit mittels funktioneller/funktionaler Äquivalenz

Ein Produktsystem wird für die Erfüllung eines ganz spezifischen Nutzens entworfen. Der Vergleich mit anderen Produktsystemen kann daher nur auf Basis seiner Funktion/Nutzens erfolgen (vgl. Klöpffer et al., 2009, S.3). Systeme mit gleicher Funktion erfüllen also das Kriterium der funktionalen Äquivalenz. Ausgedrückt wird diese über die „Funktionale Einheit“, für Dämmstoffe kann bspw. die Dämmwirkung gemessen in $W/(m^2 \cdot K)$ als funktionale Einheit dienen; für Gebäude werden häufig die Bruttogrundfläche (BGF) oder auch die Nutzflächen (NF) herangezogen.

⁵¹ Anm. der Autorin: Demnach gehört z.B. die technische Ausstattung des Energie-Monitoring (z.B. Screen) zu dauerhaft mit dem Gebäude verbundenen Einrichtungen und müsste mit bilanziert werden. M.E. ist dies innerhalb von Ökobilanzen aufgrund der derzeitigen Datenverfügbarkeit und des zeitlichen Aufwands nicht möglich und auch nicht sinnvoll.

⁵² Nach ÖNORM EN ISO 14044 (vgl. ÖNORM 15643-2, 2011, S.26).

Die ÖNORM 15643-1 definiert das funktionale Äquivalent „als Grundlage für Vergleiche dienende quantifizierte **funktionale Anforderungen** [...] und/oder **technische Anforderungen** [...] an ein **Gebäude** [...] oder ein **zusammengesetztes Bauteil (Bauwerksteil)** [...]“ (ÖNORM 15643-1, 2010, S.11); dieses bildet also die Basis für Vergleiche der Bewertungsergebnisse auf Bauteil- sowie Gebäudeebene (vgl. ebd., S.20).

Das funktionale Äquivalent muss Angaben zu folgenden Merkmalen enthalten (vgl. ebd.):

- Art des Gebäudes (Nutzungstyp) (z.B. Büro-, Dienstleistungs-, Wohngebäude etc.)
- Nutzungsgefüge (z.B. Belegung)
- Maßgebliche technische und funktionale Anforderungen (z.B. gesetzliche Rahmenbedingungen und besondere Anforderungen des Auftraggebers)
- Geforderte Nutzungsdauer
- Weiter von Bedeutung können Beschreibungen der klimatischen Beanspruchung oder Bedingungen aus der unmittelbaren Umgebung etc. sein.

3.4.4 Transparenz - Darstellung der Ergebnisse

Die Bewertungsergebnisse müssen nach den Informationsgruppen „Auswirkungen und Aspekte, die sich speziell auf die Bausubstanz und das Grundstück beziehen“⁵³, „Auswirkungen und Aspekte, die sich speziell auf das Gebäude im Betrieb beziehen“⁵⁴ und „Auswirkungen und Aspekte außerhalb des Lebenszyklus des Gebäudes“⁵⁵ gegliedert sein; gesondert können sie auch als Zusatzinformation aggregiert werden (vgl. ÖNORM 15643-1, 2010, S.21ff). Indikatoren aus dem umweltbezogenen, ökonomischen oder sozialen Bereich sind einzeln darzustellen. Auch hier gilt die Prämisse, dass eine Aggregation durchgeführt werden kann, aber als separate Information anzugeben ist (vgl. ebd. S.21). Um Aussagen über die Nachhaltigkeit eines Gebäudes treffen zu können, sind alle drei Aspekte (umweltbezogen, sozial und ökonomisch) zu bewerten. Wird nur ein Aspekt bewertet, können auch nur über diesen Aussagen getroffen werden (vgl. ÖNORM 15643-3, 2012, S.15). Eine Verknüpfung der Ergebnisse der umweltbezogenen, sozialen und ökonomischen Qualität kann nur über dasselbe funktionale Äquivalent erfolgen (vgl. ebd.).

M. E. ist es sehr schwierig, wenn nicht sogar unmöglich und unzulässig, Aussagen über einen Nachhaltigkeitsaspekt zu treffen, ohne die anderen Aspekte mit zu berücksichtigen. Wie in den Eingangskapiteln beschrieben, sind die ökologische, ökonomische und soziale Dimension stark ineinander verwoben, sogar voneinander abhängig. Diese Dreigliederung kann eine Hilfestellung in der Bewertung sein, sollte aber nicht zu dem Gedanken führen, dass man das Thema Ökologie klar abgrenzen und unabhängig von sozialen oder ökonomischen Aspekten bewerten kann.

3.4.5 Indikatoren in der Berechnungsmethode nach ÖNORM 15978

Ein Indikator wird laut ÖNORM 15978 (2012, S.10) als ein „quantifizierbarer Wert in Bezug auf Umweltauswirkungen/-aspekte“ verstanden. 22 solcher Indikatoren sind vorgesehen, wobei jene außen vor gelassen wurden, für deren Kalkulation es kein wissenschaftlich anerkanntes Verfahren, in Hinblick auf eine LCA-Berechnung, gibt.

⁵³ Hierzu zählen Ergebnisse aus der Errichtungs-, Entsorgungs- und auch Betriebsphase, ausgenommen jedoch Energie- und Wassereinsätze (vgl. ÖNORM 15643, 2010, S.22).

⁵⁴ Dazu zählt der Energie- sowie Wasserhaushalt (vgl. ebd., S.25).

⁵⁵ Diese Kategorie inkludiert die weitere Wiederverwendung, Recycling, Energierückgewinnung etc. (vgl. ebd.).

Tabelle 8: Indikatoren, die Umweltauswirkungen beschreiben
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.47

Indikatoren, die Umweltauswirkungen beschreiben⁵⁶	
Indikator	Einheit
Treibhausgaspotential, GWP	kg CO ₂ äquiv
Potential in Bezug auf die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht, ODP	kg FCKW 11 äquiv
Potential in Bezug auf die Versauerung von Wasser und Boden, AP	kg SO ²⁻ äquiv
Eutrophierungspotential, EP	kg (PO ₄) ³⁻ äquiv
Potential zur Bildung von bodennahem Ozon, ausgedrückt als fotochemisches Oxidans, POCP	kg Ethen äquiv
Abiotisches Ressourcenabbaupotential für Elemente, ADP-Elemente	kg Sb äquiv
Abiotisches Ressourcenabbaupotential für fossile Brennstoffe, ADP-Brennstoffe	MJ, Heizwert

Tabelle 9: Indikatoren, die die Verwendung von Ressourcen beschreiben
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.47

Indikatoren, die die Verwendung von Ressourcen beschreiben⁵⁷	
Indikator	Einheit
Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen, ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen ⁵⁸	MJ, Heizwert
Verwendung von erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen ⁵⁹	MJ, Heizwert
Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, ohne Energieressourcen, die als Rohstoff dienen ⁶⁰	MJ, Heizwert
Verwendung von nicht erneuerbaren Primärenergieressourcen, die als Rohstoff dienen ⁶¹	MJ, Heizwert
Verwendung von Sekundärmaterialien	kg
Verwendung von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ
Verwendung von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen	MJ
Verwendung von Frischwasser, netto	m ³

⁵⁶ Die Charakterisierungsfaktoren, die für die Auswirkungskategorie-Indikatoren von LCIA verwendet werden, sind in EN 15804 festgelegt (vgl. ÖNORM 15978, 2012, S.47).

⁵⁷ Daten basieren auf Inputs aus LCI (vgl. ebd.).

⁵⁸ Biotisch, stoffliche Ressourcen wie z.B. Holz als Baustoff etc.

⁵⁹ Biotisch, energetische und stoffliche Ressourcen wie z.B. Holz, das als Energieträger zur Baustoffproduktion eingesetzt wurde.

⁶⁰ Abiotisch, stoffliche Ressourcen wie z.B. das in Polystyrol (PS) enthaltene Erdgas etc.

⁶¹ Abiotisch, energetische und stoffliche Ressourcen wie z.B. Erdgas, das einerseits im PS enthalten ist, aber zusätzlich auch jenes, das zur PS-Produktion benötigt wird etc.

Tabelle 10: Indikatoren, die zusätzliche Umweltinformationen beschreiben – Abfallkategorien
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.48

Indikatoren, die Abfallkategorien beschreiben	
Indikator	Einheit
Entsorgter gefährlicher Abfall	kg
Entsorgter ungefährlicher Abfall	kg
Entsorgter radioaktiver Abfall	kg

Tabelle 11: Indikatoren, die zusätzliche Umweltinformationen beschreiben – Abgabeströme
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.48

Indikatoren, die aus dem System austretende Abgabeströme beschreiben	
Indikator	Einheit
Komponenten für die Wiederverwendung	kg
Materialien für das Recycling	kg
Materialien für die Energierückgewinnung (keine Abfallverbrennung)	kg
Exportierte Energie	MJ je Energieträger

3.4.6 Abgrenzung zur sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit

Gut abgrenzbar zum sozialen und ökologischen Bewertungsgegenstand sind ökonomische Qualitätsparameter. Einerseits werden die Lebenszykluskosten im engeren Sinne erhoben. Die ökonomische Qualität definiert sich hierbei über entstandene Kosten im Verlauf des Lebenszyklus. Andererseits dient der Kapitalwert des Bewertungsobjekts – auch als Lebenszykluskosten im weiteren Sinne bzw. Lebenszykluserfolg bezeichnet – als Indikator (vgl. ÖNORM 15643-4, 2012, S.18f).

Zwischen der sozialen und umweltbezogenen Qualität gibt es m.E. mehrere Überschneidungszonen. Unter den Oberbegriff der „technischen und funktionalen Qualität“ eines Gebäudes fallen diverse Aspekte wie Anforderungen an die Standsicherheit, den Brandschutz, Innenraumluftqualität, Sicherheit, Anpassungsfähigkeit, Energieeffizienz, Zugänglichkeit, den einfachen Abbau, Recyclingfähigkeit, Instandhaltungsfreundlichkeit, Dauerhaftigkeit, und Nutzungsdauer (vgl. ÖNORM 15643-1, 2010, S.19). Einige davon werden dem Bewertungsgegenstand der umweltbezogenen, andere der sozialen Qualität zugeordnet, während sie tatsächlich auf beide Einfluss üben.

Die ÖNORM 15643-3, Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität, zählt zu ihrem Aufgabenbereich folgende Aspekte (vgl. ÖNORM 15643-3, 2012, S.7):

- Zugänglichkeit
- Anpassungsfähigkeit
- Gesundheit und Behaglichkeit⁶²
- Instandhaltung

⁶² Inkl. Innenraumluftqualität.

- Sicherheit/Schutz⁶³
- Beschaffung von Materialien und Dienstleistungen⁶⁴
- Einbeziehung der Beteiligten

Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgt mittels quantitativ bestimmbarer Indikatoren (vgl. ebd.), die in ÖNORM prEN 16309 (2011) spezifiziert sind⁶⁵. Indikatoren der Innenraumlufthausqualität⁶⁶ werden durch direkte Messungen ermittelt (vgl. ÖNORM 16309, 2011, S.26). Für die Bewertung von Lärm werden Belastungen für die Nachbarschaft berücksichtigt und nach Fertigstellung durch Messung des emittierten Schalldruckpegels beurteilt; während der Entwurfsphase sind die Aspekte Schallschutz und externe Lärmschutzwände auf ihr schallemissionsminderndes Potential hin zu bewerten (vgl. ebd., S.29).

M.E. hat die Aufgabenverteilung zwischen sozialer und umweltbezogener Qualitätsbewertung einige nachteilige Effekte. Aspekte wie die Innenraumlufthausqualität haben direkten Einfluss auf die Umwelt. So betrifft der Einsatz von Materialien mit gesundheitsschädigender Wirkung aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung auch die Abbaufähigkeit, die Wiederverwendungs-, Wiederverwertungs- und Deponiefähigkeit der Baustoffe/Bauteile. Die Norm lässt offen, inwieweit diese Aspekte in der ökologischen Bewertung Fuß fassen können. Das Emissionsverhalten der Bauprodukte sollte m.E. bereits im Vorfeld (z.B. Planungsstadium) bedacht⁶⁷ und nicht erst durch Messungen nach Fertigstellung quantifizierbar gemacht werden.

Kriterien, die nicht über quantitative Indikatoren in einem LCA erfassbar sind, fallen in den Bereich der sozialen Qualitätsbewertung, so z.B. Lärm und Emissionen, die während des Gebäudebetriebs verursacht werden als auch humantoxische Aspekte (z.B. durch das Anfallen gefährlicher Stoffe beim Bau) (vgl. ÖNORM 15643-3, 2012, S.26). Lärm sowie Feinstaub-Emissionen durch Transporte und Baustellenaktivitäten werden ganz vernachlässigt.

Im Folgekapitel wird nun die theoretische Analyse der Ökobilanzierung (Kapitel 3) rückbezüglich den gewünschten Zielen einer ökologischen Gebäudebewertung gegenüber gestellt. So sollen Aussagen bezüglich der Stärken und Schwächen des LCA im Anwendungsrahmen einer ökologischen Gebäudebewertung getroffen werden können.

⁶³ Inkl. Beständigkeit gegen klimatische Veränderungen (Wind, Schnee, Überflutungen, Temperaturveränderungen etc.) und außergewöhnliche Einwirkungen wie Erdbeben, Feuer etc. (vgl. ÖNORM 15643-3, 2012, S.24).

⁶⁴ Darunter fallen verantwortungsvolle Beschaffung und Rückverfolgbarkeit von Produkten und Dienstleistungen (vgl. ebd.).

⁶⁵ Dies gilt mit Ausnahme der letzten beiden Kategorien Beschaffung von Materialien und Dienstleistungen sowie Einbeziehung der Beteiligten.

⁶⁶ Gemessen werden unter anderem die Konzentration einer ausgesuchten Reihe von Stoffen, Gasen, Partikeln, die Kohlendioxidkonzentration sowie die Lüftungsrate (vgl. ÖNORM 16309, 2011, S.26).

⁶⁷ Z.B. mittels Chemikalienmanagement.

4 Stärken und Schwächen der Ökobilanzierung in der ökologischen Gebäudebewertung

Dieses Kapitel geht nur sehr rudimentär auf die methodischen Hintergründe der Ökobilanz ein; es enthält lediglich einen kurzen Abriss zu den wichtigsten Begriffen, um ein Verständnis der nachfolgenden Unterkapitel zu gewähren. Für nähere Erläuterungen der Methode Ökobilanz möchte ich an dieser Stelle auf das Buch von Walter Klöpffer und Birgit Grahl „Ökobilanz (LCA)“ (Klöpffer et al., 2009) und natürlich auf die entsprechenden Normen ÖNORM EN ISO 14040 und ÖNORM EN ISO 14044 sowie die o.g. Normen (Kapitel 3.4) verweisen.

4.1 Kurze Einführung in die Ökobilanzierung (LCA)

Die anfänglichen Erwartungen an die Methode der Ökobilanz waren sehr hoch; man erhoffte sich eine Antwort auf die Frage nach der objektiven „ökologischen Wahrheit“, um anhand derer Konsumententscheidungen (z.B. Art der Getränkeflasche) treffen zu können. Als sich allerdings herausstellte, dass das Ergebnis einer Ökobilanz beispielsweise durch Änderung der Nutzungsdauer maßgeblich beeinflusst werden kann, wurden diese Erwartungen enttäuscht (vgl. König et al., 2009, S.48). Aufgrund dieser Erfahrungen erfuhr die LCA-Methode in den 90er Jahren zahlreiche Standardisierungen, so z.B. die ÖNORM EN ISO (International Standard Organisation) 14040 sowie ÖNORM EN ISO 14044 (vgl. Wallbaum et al., 2011, S.54 f.). Die Ökobilanz ist heute also eine standardisierte Methode, um Umweltaspekte und -wirkungen von Produktsystemen zu analysieren (vgl. Klöpffer et al., 2009, S.1). Grundlegend ist das Denken im Lebenszyklus (Kapitel 3.1.3) und in Systemen (vgl. ebd., S.2 f.). Durch Fokussierung auf einzelne Phasen oder Systemkomponenten können Teilbereiche bewertet werden, z.B. die Umweltfolgen aufgrund der Baustoffwahl (vgl. Gestring et al., 1997, S.29). Die Wahl der funktionalen Einheit ist ausschlaggebend für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse (Kapitel 3.4).

Die wichtigsten Schritte einer Ökobilanzerstellung sind in Abbildung 8 dargestellt. Als erstes werden Ziele und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz festgelegt. In einem nächsten Schritt wird die Sachbilanz oder LCI (Life Cycle Inventory) erstellt, in der die Inputs und Outputs eines Produkts während seines Lebenszyklus quantifiziert und zusammengestellt sind (vgl. ÖNORM 15643-2, 2011, S.14)⁶⁸. Die dritte Phase wird als LCIA (Life Cycle Impact Assessment) oder Wirkungsabschätzung bezeichnet. Hier werden die zuvor ermittelten Output-Ströme und ihre potentiellen Umweltauswirkungen evaluiert, um deren Ausmaß und Bedeutung besser verstehen und beurteilen zu können (vgl. ebd.). In einem vierten Schritt erfolgt die Interpretation der Ergebnisse (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.82f). Optional können die Ergebnisse zusätzlich normiert werden, z.B. in dem sie in Relation zu Referenzdaten gesetzt werden. Bei diesem Vorgang werden die Wirkungsindikatorwerte, also die numerischen Ergebnisse der Charakterisierung (z.B. kg CO₂-Äquivalente für das Treibhauspotential), durch Referenzwerte dividiert (z.B. jährliche CO₂-Emissionen in Österreich/Europa etc.) (vgl. Klöpffer et al., 2009, S.207f.). Als Ergebnis erhält man einen dimensionslosen Wert, den so genannten spezifischen Beitrag, der in Relation zu den anderen Wirkungsindikatoren zeigt, welche Wirkungskategorie des jeweiligen untersuchten Produkts/Gebäudes zur Gesamtsituation im Referenzgebiet (Österreich/Europa etc.) am stärksten beiträgt (vgl. ebd., 208f.) „Die Normierung erlaubt damit eine erste Gliederung der Wirkungen in ihrer Bedeutung zueinander“ (ebd., S.209).

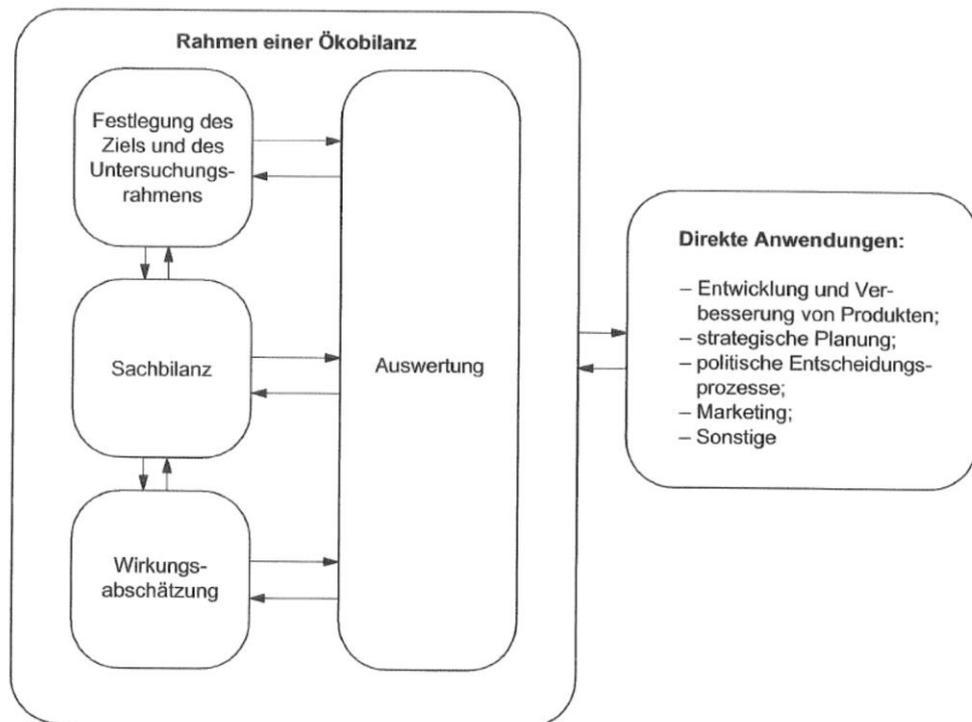


Abbildung 8: Phasen einer Ökobilanz

Quelle: ÖNORM EN ISO 14040, 2006, S.13

Charakteristisch für ein LCA sind die Quantifizierung der Umwelteinwirkungen und deren räumliche als auch zeitliche Aggregation. Indikatoren können direkt aus dem LCI oder dem LCIA bezogen werden (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.82f.)⁶⁹. Daraus abgeleitet gelten folgende simple Anforderungen an LCA-Indikatoren: Sie müssen quantifizierbar, aggregierbar und modellierbar sein (vgl. ANEC, 2011, S.7).

⁶⁸ Im Kontext der Gebäudebewertung gilt lt. Norm ein zusammengesetztes Bauteil oder ein Gebäude als „Produkt“ (vgl. ÖNORM, 2011a, S.14).

⁶⁹ Beispiele für LCI-Indikatoren siehe Tabelle 9 bis 11. Tabelle 8 enthält typische LCIA-Indikatoren.

Vor diesem Hintergrund wird nun in den Anschlusskapiteln untersucht, wo die Vor- und Nachteile der Ökobilanz als Tool zur vergleichenden ökologischen Gebäudebewertung liegen; gebündelt werden die Erkenntnisse in einer SWOT-Analyse.

4.2 Erfassung der Aktionsfelder

Betrachtet man die Wirkungskategorien und anderen Indikatoren des LCA genau, können Schwachstellen herausgefunden werden, in denen die Aktionsfelder nicht vollständig abgedeckt werden oder auch manche Indikatoren veraltet wirken.

4.2.1 Unvollständigkeit

Während manche Aktionsfelder wie Energie und Klimawandel genau und auf vielfältige Weise (Primärenergieverbrauch, CO₂-Äquivalente etc.) abgebildet werden können, fällt dies bei anderen schwerer. Der Einbezug von Indikatoren zur Bewertung der Öko- oder Humantoxizität hat sich immer noch nicht durchsetzen können; eine wissenschaftliche Basis mit einem entsprechenden Modell zur Quantifizierung und Aggregation konnte noch nicht gefunden werden (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.82f.).⁷⁰ Auch wenn eingewandt werden kann, dass sich neuere Studien mit dieser Thematik beschäftigen, z.B. das USEtoxTM-Modell.⁷¹ Dieselbe Problematik gilt für die Felder Flächennutzung, Bodenqualität, Biodiversität (vgl. ebd. und Peuportier et al., 2005, S.43) sowie Schadstoffe (z.B. Feinstaub) und Lärm. Qualitätsaspekte wie bspw. die Herkunft der Materialien (z.B. Holz aus nachhaltiger Bewirtschaftung) werden in der Berechnung völlig vernachlässigt.⁷² Selbst die Möglichkeit der Quantifizierung bedeutet nicht implizit eine gute Erfassung der Problematik. So kann die Flächeninanspruchnahme natürlich quantifiziert werden, vernachlässigt werden dann allerdings Qualitätsaspekte der Raumplanung, denn geringe Flächeninanspruchnahme ist nicht gleichzusetzen mit ökologisch sinnvoller Flächennutzung (vgl. Kapitel 3.1.2.3). In einem LCA gibt es nur zwei Möglichkeiten, wie sich die Indikatoren verhalten können: Ihr Wert nimmt zu, oder nimmt ab; nicht alle ökologischen Aktionsfelder sind damit ausreichend darstellbar.

Zusätzlich gibt es Stoffe, deren Auswirkungen heute noch nicht bekannt und daher auch nicht quantifizierbar sind wie z.B. CMR⁷³ Substanzen. In einem solchen Fall sollte das Vorsorgeprinzip gelten (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.86). Das gleiche gilt für POPs⁷⁴ (vgl. ANEC, 2009, S.2). In der ÖNORM 15978 (ÖNORM 15978, 2012) werden diese Substanzen in der ökologischen Bewertung nicht berücksichtigt.

Die Normen (Kapitel 3.4) gehen auf die Thematiken Ökotoxizität, Flächennutzung, Bodenqualität, Biodiversität, Schadstoffe und Lärm⁷⁵ in der ökologischen Bewertung nicht ein. Humantoxische Aspekte, die in die Überschneidungszone von ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit fallen, werden der sozialen Nachhaltigkeitsbewertung zugeordnet und von der ÖNORM prEN 16309 geregelt (vgl. ÖNORM 16309, 2011, S.26). Auch hier erfolgt die Bewertung rein quantitativ. Die „akustischen Merkmale“ werden nach Fertigstellung ebenfalls

⁷⁰ Die Schwierigkeiten der Erfassung humantoxischer Auswirkungen in Ökobilanzen liegen einerseits in den Ursache-Wirkungszusammenhängen, die äußerst schwer herzustellen sind. Die Symptome sind diffus und langfristige Belastungen sind selbst im Niedrigdosisbereich schädlich. Methodisch schwierig ist die Klassifizierung, Gewichtung und Aggregation humantoxischer Eigenschaften. Des Weiteren bleiben in Ökobilanzen lokale Effekte per se unberücksichtigt. Das DALY-Modell ist methodisch bisher am weitesten entwickelt, für die breite Anwendung sind aber noch weitere Studien notwendig (vgl. Mötzl, 2008, S.12).

⁷¹ Weitere Infos unter: <http://www.usetox.org/> (Abgerufen am 27.05.2013 (14:18)). Dieses Modell charakterisiert öko- sowie humantoxische Wirkungen in einem LCA-Ansatz, beinhaltet allerdings z.B. keine Feinstaubbelastung (vgl. USEtoxTM, 2013, online).

⁷² In der ÖNORM 15978 (2012, S.48) wird darauf hingewiesen, dass Angaben bezüglich nachhaltiger Bewirtschaftung gemacht werden können.

⁷³ CMR: carcinogenic, mutagenic or toxic for reproduction.

⁷⁴ POPs: persistent organic pollutants.

⁷⁵ Lärm aus der Konstruktionsphase.

quantitativ bewertet (z.B.: Messung des Luftschall- und Trittschallpegels etc.) (vgl. ebd., S.27). Die Frage zur Einbringung der Themen Biodiversität, Ökotoxizität, Flächennutzung und Bodenqualität bleibt völlig offen, ebenso Aspekte, die in den Bereich Baustellenmanagement fallen (z.B. Lärm, Partikel und Staub; nur der Energieverbrauch wird mit bilanziert) (vgl. ANEC, 2011, S.10).

4.2.2 Relevanz der Indikatoren

Damit Indikatoren für die Bewertung relevant sind, müssen sie einerseits signifikant unterschiedliche Werte annehmen können, bzw. Effizienz-Steigerungsmaßnahmen zulassen (vgl. ANEC, 2011, S.8). Des Weiteren sollen sie wenig miteinander korrelieren (vgl. ebd., S.9), da ansonsten das gleiche Problem nur anders dargestellt wird. Stark korrelierende Indikatoren sollten lediglich bei einem daraus entstehenden Informationsgewinn beibehalten werden.

Manche Wirkungskategorien gelten als überholt bzw. irrelevant, da die Umweltproblematik ganz einfach bereits durch entsprechende Maßnahmensetzungen reguliert wurde. Dies kann z.B. für die Kategorie Versauerung (vgl. ebd., S.10) angenommen werden, eine Thematik, die in den 80er Jahren für Aufregung sorgte, welche die Menschheit heutzutage allerdings weitgehend im Griff zu haben scheint. Gleiches gilt für den stratosphärischen Ozonabbau, dem in den 80er Jahren mit Hilfe des Montreal-Protokolls begegnet wurde (vgl. ebd.).⁷⁶ Manche der ozonabbaufördernden Substanzen, die vor allem in Kälte- und Klimaanlage Verwendung finden, sind ganz verboten, andere auf bestimmte Verwendungszwecke reduziert (vgl. Turney et al., 2012, S.108).⁷⁷ Die ANEC-Studie (2011, S.10) geht sogar so weit, dass sie den Ressourcenabbau im Bausektor als irrelevant bezeichnet, mit Ausnahme spezifischer Materialien.⁷⁸

Nachfolgend wird auf einige Aktionsfelder eingegangen; speziell auf Stärken bzw. Schwächen der LCA-Methode für ihre Bewertung.

4.2.3 Energie

Trusty et al. (s.a.) befürworten speziell für dieses Aktionsfeld den methodischen Ansatz des LCA. Hergeleitet wird diese These aufgrund der Tatsache, dass es zu kurz gefasst wäre in einem Kriterium ganz banal niedrigen Energieverbrauch zu „belohnen“, ohne die Art des Energieträgers mit zu bewerten. Die Emissionen aus dem Verbrennungsprozess sind je nach Energieträger sehr unterschiedlich, ebenso die Umweltwirkungen der vorgelagerten Produktionsprozesse (vgl. ebd., S.3). „[...] a credit system that promotes minimal energy use without regard for the form of that energy may be misleading“ (ebd.) – diese Aussage ist vor allem dann zutreffend, wenn Energieträger favorisiert werden, die hohe Umweltwirkungen durch Emissionen bei der Energieumwandlung oder in der Herstellung implizieren.

In einer Ökobilanz gibt es zahlreiche Möglichkeiten, den Energiebereich abzudecken. Grundsätzlich kann zwischen Indikatoren der Sachbilanz (z.B. Energieverbrauchsindikatoren) und solchen mit Wirkungsabschätzung (z.B. CO₂-Indikatoren) unterschieden werden. Konsequenterweise korrelieren CO₂- und Energieverbrauchsindikatoren tendenziell recht stark.

⁷⁶ 1987 wurden in Montreal und 1997 in Kyoto Protokolle zur Reduzierung ozonschichtschädigender Stoffe verabschiedet. Diese dienen als Grundlage für die Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (Verordnung des europäischen Parlaments und Rates vom 29. Juni 2000) (vgl. Turney et al., 2012, S.107). Weiterführende Informationen unter: http://europa.eu/legislation_summaries/other/l28064_de.htm (Abgerufen am 16.10.2013 (22:18)).

⁷⁷ Die Verordnung über Stoffe, die zum Abbau der Ozonschicht führen (siehe oben), verbietet z.B. den Einsatz von FCKWs und Halonen. Als Ersatzstoffe gelten fluorierte Treibhausgase, z.B. HFKWs (vgl. Turney et al., 2012, S.108). Bei Wärmepumpen kann bereits eine HFKW-Freiheit durch Ersatzstoffe wie Propan, Ammoniak oder CO₂ erreicht werden (vgl. Turney et al., 2012, S.108).

⁷⁸ Die Autorin stimmt dieser Betrachtungsweise nicht zu; aufgrund des Vorsorgegedankens und des Nachhaltigkeitsprinzips sollte gerade im Bausektor, der von hohen Materialumsätzen charakterisiert ist, eine Bewertung des Materialflusses stattfinden.

Da CO₂-Indikatoren jedoch die Umweltwirkungen direkt repräsentieren, eignen sie sich, um nachhaltigere Energieformen von weniger nachhaltigen zu unterscheiden (vgl. ANEC, 2009, S.4). Zu ihrem Nachteil lassen CO₂-Indikatoren allerdings eventuell die Effizienz der Energieversorgung und andere Umweltwirkungen neben dem Treibhauspotential (z.B. Umweltwirkungen verursacht durch Nuklearpower) außer Acht (vgl. ebd.).⁷⁹ Häufige Energieindikatoren der Sachbilanz sind Heizwärmebedarf, Primärenergieinhalt, Endenergiebedarf sowie Anteile an erneuerbarer bzw. nicht-erneuerbarer Energie (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.48). Abbildung 9 zeigt den Zusammenhang der einzelnen Energieformen. Für den Konsumenten/Bewohner interessant ist hauptsächlich die Menge der Endenergie, die sich in den Energiekosten niederschlägt (vgl. ebd., S.49). Für die Umwelt relevant ist der Einsatz an Primärenergie, insbesondere der Anteil nicht-erneuerbarer Energieträger, der die Aktionsfelder Ressourcenverbrauch einerseits und Umweltwirkungen (z.B. Treibhauseffekt) andererseits betrifft.

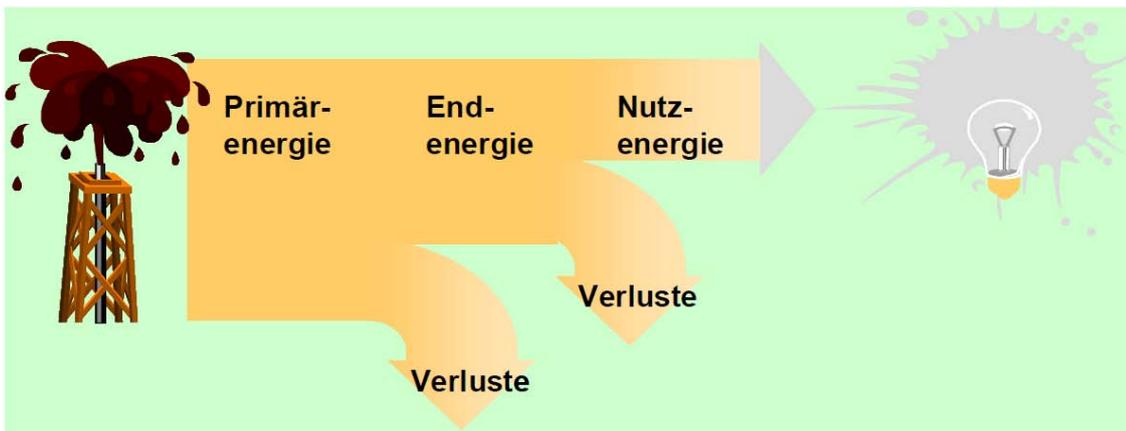


Abbildung 9: Energieformen und ihr Zusammenhang.

Quelle: Mötzl, 2010, S.6

4.2.4 Abfall

Betrachten wir zuerst, wie die Abfallbeseitigung im Bausektor derzeit praktiziert wird. Ca. 80% der Abfälle aus dem Bauwesen⁸⁰ werden verwertet (Stand 2009), der Rest landet auf der Deponie oder in sonstigen Zwischenlagern. Verwertungswege sind die stoffliche (z.B. Bauschutt als Zuschlagstoffe für die Betonproduktion) sowie energetische Verwertung (Verbrennung) (vgl. BMLFUW, 2011, S.63 f.). Beim Gebäudeabbruch allerdings landet die größte Abfallfraktion auf der Deponie (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.88).

Da das Deponieren kaum Auswirkungen auf die LCA-Ergebnisse zeigt (ausschließlich die Treibstoffverbrennung beim Transport und in der Bearbeitung hat relevanten Einfluss), schlagen Mötzl et al. (ebd.) qualitative Methoden zur Bewertung der Abfallentsorgung vor. Auch Peupartier et al. (2005, S.43) weisen darauf hin, dass weitere Forschungsarbeit geleistet werden muss, bevor der Indikator „Abfall“ in einer LCA-Berechnung treffend erfasst werden kann. *“It can be said in principle, that LCA is not the fitting methodology for measuring the environmental impacts of the building’s disposal”* (Mötzl et al., 2011a, S.88).

Grundsätzlich ist die Bewertung der Entsorgungsphase auf Grund des hohen Unsicherheitsfaktors (Wie werden Baustoffe in Zukunft entsorgt? Welche Technologien werden sich bis dahin entwickeln? etc.) problematisch, und die Ergebnisse der Berechnungen nur mit

⁷⁹ Mit „grüner Elektrizität“ kann die CO₂-Bilanz gegen Null gehen, während die verbrauchten Energiemengen möglicherweise enorm sind (vgl. ANEC, 2009, S.4).

⁸⁰ Abfälle aus dem Bauwesen gliedern sich in Bauschutt, Straßenaufbruch, Bitumen und Asphalt, Betonabbruch, Gleisschotter sowie Baustellenabfälle (kein Bauschutt) (vgl. BMLFUW, 2011, S.63).

Vorbehalt zu interpretieren. Quantitative Methoden „gaukeln“ dann eine Sicherheit vor, die nicht gegeben werden kann.⁸¹ Hier könnte es sinnvoller sein, auf qualitative oder semi-quantitative Methoden zurückzugreifen (vgl. ANEC, 2011, S.10). Andererseits können durch die Mitbilanzierung der Entsorgungsphase Gebäudeentwürfe, die auf die Demontierbarkeit der Bauteile Acht geben, honoriert werden (vgl. Peuportier, 2011, s.p.).

Ein interessanter Unterpunkt dieses Aktionsfeldes ist die Recyclierbarkeit der Baustoffe.

4.2.5 Recyclierbarkeit

Grundsätzlich sollte eine fundierte Bewertung im Bereich Recycling folgende Aspekte beachten (vgl. ebd.):

- Verwendung von Recycling-Produkten während der Konstruktionsphase
- Abfalltrennung und Recyclingpotential beim Abbau
- Vermeidung von Doppelzählungen des Nutzens aus dem Recycling

Recyclingpotentiale entstehen also an beiden Seiten des Lebenszyklus, nämlich bei der Herstellung der Bauprodukte als auch bei der Entsorgung am Lebensende (vgl. ebd.). Es genügt allerdings nicht, hohe Recyclierbarkeit per se als umweltfreundlich zu titulieren. So kann es passieren, dass es weniger Umweltwirkungen verursacht, einen Baustoff aus Primärrohstoffquellen zu produzieren als mit Recyclingrohstoffen (vgl. Trusty et al., s.a., S.2).⁸² Diese Argumentationsweise führt definitiv zu weiter greifenden Kriterien als bloß hohe Recyclinganteile linear proportional zu belohnen; mit ins Auge gefasst werden müssen vor- bzw. nachgelagerte Prozesse und deren Umweltwirkungen. Dies kann mithilfe der LCA-Methode erfolgen. Es existieren bereits verschiedene Modelle, um Recyclingraten in LCA-Berechnungen zu integrieren (vgl. Peuportier, 2011, s.p.).

4.2.6 Innenraumluftqualität

Aus Sicht der Autorin ist es nicht zufriedenstellend, die Raumlufqualität nach Fertigstellung zu messen; bereits in der Planungsphase müssen die Baustoffe hinsichtlich ihrer Auswirkungen darauf ausgewählt werden.⁸³ Dieser umfassende Themenbereich sowie Anwendungspotentiale der LCA-Methode liegen allerdings außerhalb des Rahmens dieser Arbeit und werden daher bewusst nicht näher erläutert.

4.3 Werden die Ziele einer vergleichenden ökologischen Gebäudebewertung mit der LCA-Methode erreicht?

Im Eingangskapitel 3.2 wurden die Ziele einer ökologischen Gebäudebewertung beschrieben. Die Ziele Orientierungshilfe und Qualitätskontrolle liegen außerhalb des Bearbeitungsrahmens dieser Masterarbeit, da sie sich nicht auf die vergleichende Bewertung beziehen. Bleibt noch die Frage, inwieweit das Ziel der Vergleichbarkeit – insbesondere für Konsumenten, aber auch für Bauträger – und die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung erreicht werden kann.

Problematisch ist, dass die ÖNORM 15978, die schließlich die normative Grundlage für eine ökologische Bewertung auf LCA-Basis bildet, die „*Auslegung und Beurteilung der Ergebnisse*“

⁸¹ „Quantitative figures are, therefore, misleading as they suggest a precision which the method cannot deliver.“ (ANEC, 2011, S.10).

⁸² Ein Kriterium eines Zertifizierungssystems, das Recyclierbarkeit „belohnt“, stellt nach Meinung von Trusty et al. (s.a., S.2) ein klassisches Beispiel für die Verwechslung von „ends with means“, also Zielsetzungen (Recyclinganteile erhöhen), mit Maßnahmen dar. Außerdem argumentieren sie, dass ein solches Kriterium nicht den Recyclinganteil erhöhen würde, da es sich um eine von der Industriewirtschaft bestimmte Größe handle (vgl. ebd., S.3).

⁸³ In den diversen Zertifizierungssystemen (TQB, DGNB, IBO ÖKOPASS etc.) entspricht dies auch der üblichen Praxis; dieser „Kritikpunkt“ bezieht sich auf den Umgang mit der Thematik in ÖNORM EN 16309 (2011) (Kapitel 3.4.6).

der Bewertung“ nicht zum Gegenstand hat (vgl. ÖNORM 15978, 2012, S.7). Sie sieht das Ziel der Bewertung darin, „die umweltbezogene Qualität des Bewertungsgegenstandes durch Erfassung und Zusammenfassung von Umweltinformationen zu quantifizieren“ (ebd., S.16). Eine reine Quantifizierung der umweltbezogenen Qualität ermöglicht allerdings ohne Festlegung eines Referenzwertes keine Bewertung. Diese Referenzwerte können Entwurfsoptionen, rechtliche Anforderungen, festgelegte Referenzwerte in einem Zertifizierungssystem sein oder es werden Werte unterschiedlicher Gebäude direkt miteinander verglichen. Letztere Variante wird in dieser Masterarbeit eingesetzt. Auf ein breiteres Interesse stößt die Vergleichbarkeit von Gebäuden in der Vermarktung, für die vor allem Zertifizierungssysteme eingesetzt werden. Bisher liegen nur im DGNB- und HQE-Bewertungssystem Benchmarks für die einzelnen Indikatoren einer LCA-Berechnung vor.⁸⁴ Selbst dann bleibt fraglich, wie die Ergebnisse für die Konsumenten verständlich dargestellt werden können. Wer kann sich praktisch unter Versauerungspotential, photochemischem Ozonbildungspotential etc. etwas vorstellen bzw. diese als Entscheidungshilfe heranziehen?

Im Hinblick auf die Förderung einer nachhaltigen Entwicklung bleibt zu sagen, dass dieses Ziel eher früheren Bauphasen zuzuordnen ist (Entwurfs- und Planungsphase). Dennoch können zertifizierte Best-Practice Beispiele einen Anreiz für neue Bauvorhaben und Entwurfsoptionen bieten. In diesem Fall sieht die Autorin die Schwachstellen LCA-fundierter ökologischer Bewertungen einerseits in den Einschränkungen der Erfassung der Aktionsfelder (Kapitel 4.2) sowie in der schlechten Rückverfolgbarkeit von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen.⁸⁵

4.4 Reaktion auf zukünftige Entwicklungen

Im Kapitel 3.1.5 wurde erarbeitet, welche Veränderungen im Baubereich mittel- bis langfristig zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund soll nun ermittelt werden, wo Schwachstellen und Stärken der Ökobilanzierung liegen.

Bereits heute ist der Wärmebedarf bei Neubauten stark minimiert, dafür nimmt in Relation der Stromverbrauch an Bedeutung zu (vgl. König et al., 2009, S.53). Für die Zukunft wird es daher nötig sein, auch diesen in Ökobilanzen mit zu erfassen und zu bewerten. Zusätzlich ist in Europa ein Trend zu vermehrtem Bedarf an Kühlungssystemen zu beobachten, wobei Formen der passiven Kühlung Priorität gegeben werden sollte (vgl. EU-Parlament und Rat, 2009, S.10). Hierzu zählt beispielsweise die Ausbildung des Mikroklimas rund um das Gebäude (vgl. ebd.). Solche Maßnahmen sollten zukünftig mit bewertet werden (können). Dafür ist die Ökobilanz (zum heutigen Zeitpunkt) ungeeignet.⁸⁶ Auch über die Zunahme der Verstädterung wird der Zustand des Mikroklimas immer wichtiger werden (z.B. Einplanung von Retentions- und Erholungszonen). M.E. ergibt sich auch hier eine Überschneidungszone von sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit. Unabhängig davon welchem Bereich diese Thematik zugeordnet wird; sie sollte auf jeden Fall mitberücksichtigt und bewertet werden.

Kommen neue, innovative Bauprodukte auf den Markt, können Ökobilanzen nur schwerfällig darauf reagieren. Je nach Produkt müssen vielleicht erst neue Datensätze generiert werden, vor allem wenn keine EPD vorhanden ist.

⁸⁴ Im DGNB (Deutschland) gibt es Benchmarks für sieben Indikatoren (Abbildung 10) über den gesamten materialbezogenen Lebenszyklus (exklusive der Module B6 und B7), im HQE (Frankreich) für die Indikatoren GWP, non-renewable primary energy, water consumption (Modul B7) und inert waste (vgl. Wittstock et al., 2012, S.350).

⁸⁵ NO_x-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe z.B. tragen sowohl zur Versauerung als auch zur Eutrophierung und photochemischen Ozonbildung bei. Konkrete Verbesserungsoptionen sind daher schwer erkennbar, da die Ursprungsquelle „vernebelt“ wird (vgl. ANEC, 2011, S.10).

⁸⁶ Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass in der vorliegenden Arbeit ausschließlich von attributivem, zeitunabhängigem LCA die Rede ist, da die Normenserie des CEN/TC 350 nur diese Form der LCA behandelt. Für zukunftsorientierte Aussagen würden sich das folgenorientierte (consequential) LCA eignen.

Einen deutlichen Vorteil haben Ökobilanzen gegenüber anderen Methoden, da sie „Trade-offs“, also Lastenverschiebungen, offenlegen können – vorausgesetzt natürlich, die entsprechenden Datensätze sind vorhanden.

Die Erhebung und Bewertung von regionalen Systemen im Gegensatz zu individuellen Baukörpern könnte m.E. mit Ökobilanzen schwierig werden. Gebäude an sich sind extrem komplexe Systeme; je weiter die Grenzen gezogen werden (Siedlungen, ganze Regionen), desto aufwändiger und intransparenter werden die Datenerfassung und Interpretation der Ergebnisse werden.

4.5 Genauigkeit der Ergebnisse und Datenqualität/-verfügbarkeit

Grundsätzlich besteht bei Ökobilanzierungen immer die Frage nach der Datenqualität einerseits, aber auch nach der Datenverfügbarkeit andererseits. Neben diesen Aspekten bestimmen fehlerhafte Eingaben, Vereinfachungen oder fehlerhafte Annahmen die Genauigkeit/Ungenauigkeit der Ergebnisse. Bspw. sind Technologieentwicklungen als auch Einflussgrößen wie Schäden, Umbauten etc. über den Betrachtungszeitraum eines Gebäudes (häufig zwischen 50 und 100 Jahren) nur schwer bzw. nicht zu prognostizieren (vgl. König et al., 2009, S.16). Konsequenterweise liegen die größten Unsicherheitsfaktoren, respektive Fehlerquellen, in Annahmen zur Nutzungsphase (vgl. ebd., S.50).

Die Verwendung generischer Daten bringt einige Nachteile mit sich. Es kann z.B. der Fall sein, dass die Unterschiede zwischen Produkten der gleichen Produktkategorie (z.B. Ziegel verschiedener Produktionsanlagen) größer sind als die Unterschiede zwischen zwei Produktgruppen (Ziegel oder Kalkstein) (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.88). Kritisch an generischen Daten ist auch, dass sich die Eigenschaften von Bauprodukten, wenn sie im Verbund vorkommen, wieder verändern können (vgl. Treberspurg, 2006, S.212).

Die Genauigkeit der Ergebnisse trägt auch wesentlich zur Vergleichbarkeit bei (Kapitel 4.7).

4.6 Korrelation der Indikatoren

Grundsätzlich spielt speziell bei Gebäuden mit niedrigerem Energiestandard der Energieverbrauch aufgrund der Verbrennungsprozesse bei der Raumwärmebereitstellung und der vorgelagerten Industrieprozesse zur Energieträgerherstellung eine wesentliche Rolle bei den meisten Umweltwirkungsindikatoren (vgl. Nemry et al., 2008, S.XVII-XVIII). Eine Ausnahme bildet das Ozonschichtabbaupotential, das nicht mit dem Energieverbrauch, sondern mit dem Freilassen von ozonzerstörenden Substanzen korreliert (Mötzl et al., 2011a, s.87). Turney et al. (2012, S.103) beschreiben dennoch, dass sich das Treibhauspotential nahezu redundant mit dem Ozonschichtabbau-, Ozonbildungs-, Versauerungs- und Überdüngungspotential sowie dem Primärenergieinhalt und Gesamtenergieinhalt inklusive Anteil erneuerbarer Energieträger verhält.

Einzelne Indikatoren reagieren sehr stark auf spezifische Produktgruppen. Hohe POCP-Werte rühren bspw. hauptsächlich aus VOC-hältigen Produkten (z.B. Kunststoff oder lösemittelhaltigen Bitumenanstrichen) (vgl. Lipp, 2009, S.9f.). Auf das Versauerungspotential haben insbesondere Produkte der Metallproduktion wie Kupfer Einfluss (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.87). Bei der Zementklinkerproduktion oder auch dem Brennen von kalkhaltigem Ton zur Ziegelproduktion werden hohe CO₂-Emissionen verursacht, die im Treibhausgaspotential ausschlagen (vgl. ebd.).

4.7 Vergleichbarkeit und Benchmarking

Für einen ökobilanziellen Vergleich von Produktsystemen (Gebäude) gelten folgende Voraussetzungen (vgl. Loewe et al., s.a., s.p.):

- gleiche Funktion
- gleiche funktionelle Einheit
- gleiche Systemgrenzen
- gleiche Berechnungsmethode (Anm.: Eigene Erweiterung) inkl. Datenbank

Diese können natürlich je nach Projekt definiert sein (z.B. bei Szenarienanalysen). Um einen Vergleich zwischen Projekten herstellen zu können, sind die harmonisierten Definitionen bzw. Festlegungen notwendig. Unter gleiche Funktion fallen Angaben wie Standort, Gebäudetyp (Einfamilien-Wohnhäuser, Reihenhäuser, mit/ohne Keller etc.), Kubatur und Flächen (umbauter Raum, Anzahl der Geschosse, Bruttogrundfläche BGF, Nettogrundfläche NGF, Nutzfläche NF), Nutzungsart (Dienstleistungs-, Büro-, Wohngebäude etc.) und -intensität (vgl. König et al., 2009, S.48). Funktionale Einheiten sind je nach Zertifizierungssystem unterschiedlich. Die Zertifizierungssysteme DGNB und HQE greifen auf $m^2NGF \cdot a$ zurück; In Österreich wird für die OI3-Berechnung in der Regel eine funktionale Einheit von $m^2BGF \cdot a$ herangezogen. Derzeit gibt es weder internationale noch europaweite Harmonisierungen in diesem Bereich. Beim Ziehen der Systemgrenze ist z.B. festzulegen, ob die Kohlenstoffaufnahme durch Holz während des Wachstums ausgewiesen wird oder nicht wird und welche Nutzungsdauern angenommen werden (einerseits für die Bauprodukte, Bauteile, andererseits für das Gebäude). Natürlich muss auch die Berechnungsmethode an sich gleich sein, sprich die Wahl der Datensätze⁸⁷, die Charakterisierungsfaktoren und Berechnungsmethoden für die Wirkungsabschätzung sowie die Ermittlung des Energieverbrauchs des Gebäudes (falls dieser in die Ökobilanz miteinfließt) etc. Um international ökobilanzielle Vergleiche vornehmen zu können, ist auf eine harmonisierte Vorgehensweise zu achten. Auf nationaler Ebene ist eine Vergleichbarkeit leichter zu erreichen als auf internationaler, da die Erfassung und Berechnung grundlegender Daten, bspw. des Energiebedarfs, einheitlich vorgegeben sind (vgl. Geissler et al., 2008, S.15).

Referenzwerte können entweder vom gleichen Gebäude stammen, in dem Varianten/Szenarien (z.B. unterschiedliche Bauweise) analysiert werden, oder aber es wird eine Vielzahl an Gebäuden berechnet, auf Grundlage derer Benchmarks gesetzt werden (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.91). Diese Festlegung der Benchmarks ist dann zwar subjektiv, jedoch für die Bewertung bzw. das Scoring notwendig (vgl. Trusty et al., s.a., S.6). Das Zertifizierungssystem DGNB (Deutschland) ist das einzige, das für jeden einzelnen Indikator über den gesamten materialbezogenen Lebenszyklus (exklusive der Module B6 und B7⁸⁸) Benchmarks bereitstellt (Abbildung 10).⁸⁹

⁸⁷ Passer et al. (2008) führten eine Studie durch, in der OI3-Berechnungen einmal mit ECOSoft-Daten und einmal mit Ecolnvent-Daten hinterlegt wurden. Je nach Datensatz zeigten sich signifikante Unterschiede in den Ergebnissen.

⁸⁸ Modul B6: Energieverbrauch im Betrieb und Modul B7: Wasserverbrauch im Betrieb.

⁸⁹ Im HQE-Bewertungssystem gibt es nur für ausgewählte Indikatoren Benchmarks (Kapitel 4.3).

Educational, of- fice, hotel, resi- dential buildings (ref. study peri- od 50 years)	GWP	ODP	POCP	AP	EP	PEnr	PEtot
	[kg CO ₂ - Equ./m ² *a]	[kg CFC ₁₁ - Equ./m ² *a]	[kg C ₂ H ₄ - Equ./m ² *a]	[kg SO ₂ - Equ./m ² *a]	[kg PO ₄ ⁻³ - Equ./m ² *a]	[MJ]/ m ² *a]	[MJ]/ m ² *a]
Reference value for construction, refurbishment and EoL (Modules A1–A3, B2–B5, C, D)	9,40	5,30E-07	0,0042	0,037	0,0047	123	151

Abbildung 10: Benchmarks für Ökobilanzen von Wohnhausanlagen bei DGNB.⁹⁰

Quelle: Wittstock et al., 2012, S.348

Gegenüber Szenarienanalysen haben Vergleiche unterschiedlicher Gebäude den Nachteil, dass Unsicherheiten der Datengenauigkeit schwerer zu handhaben sind. Bei Szenarienanalysen korrelieren die Ungenauigkeiten der Ergebnisse; Unsicherheiten sind daher geringer (vgl. Blengini et al., 2009, S.878).

4.8 SWOT – ANALYSE

Tabelle 12 zeigt zusammengefasst die Erkenntnisse aus der vorangegangenen Literaturrecherche in Form einer SWOT-Analyse, in der die Stärken (Strengths), Schwächen (Weaknesses), Möglichkeiten (Opportunities) und Gefahren (Threats) dargestellt sind. Hervorgehoben sind jene Aspekte, welche die Vergleichbarkeit im engeren Sinne betreffen (schwarz) und jene, die in besonderem Maße für die beiden Hauptthesen der Arbeit relevant sind (rot).

⁹⁰ Diese Benchmarks gelten für die Gebäudekonstruktion (Module A1-A3), Instandhaltung und -setzung (Module B2-B5) sowie Entsorgung (Module C und D) (vgl. Wittstock et al., 2012, S.348).

Tabelle 12: SWOT-Analyse der Ökobilanzierung als Tool zur ökologischen Gebäudebewertung
Quelle: Eigene Darstellung

	HELPFUL	HARMFUL
INTERNAL	<p>STRENGTHS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Trade-offs/Interdependenzen ▪ Klare Vergleiche ▪ Genormte Methode ▪ Manche Aktionsfelder: Klimawandel & Energieverbrauch; Recyclierbarkeit (Demontierbarkeit) ▪ Sachbilanzen mit Wirkung verknüpft ▪ Wenig Subjektivität 	<p>WEAKNESSES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Manche Aktionsfelder: Flächenverbrauch, Biodiversität, Innenraumluft, Herkunft der Materialien (z.B. Holz), End-of-life, einzelne Substanzen (CMR & POPs) etc. ▪ Lokale Besonderheiten (Wasser) ▪ Funkt. Einheit ▪ Setzung von Referenzwerten oder Benchmarks ▪ Nutzungsdauerthematik ▪ Generische Daten ▪ Trade-Offs bezüglich sozialer/ökonomischer Nachhaltigkeit ▪ Normung ▪ Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge – Einfluss einzelner Produkt(-gruppen) ▪ Darstellung der Ergebnisse
EXTERNAL	<p>OPPORTUNITIES</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ EPDs ▪ Simplifying ▪ Informationsquelle für Konsumenten ▪ Feedback für Planer ▪ Anreiz, in Lebenszyklusperspektive zu denken und zu planen ▪ Kosten und Aufwand senken ▪ Trade-offs (zukünftig) ▪ Verknüpfung mit ökonom. Nachhaltigkeit 	<p>THREATS</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Auslassen wichtiger Aktionsfelder ▪ Große Unsicherheiten/Fehlerquellen ▪ Vergleiche, obwohl keine funktionale Äquivalenz ▪ Kosten, Aufwand und Komplexität sehr hoch ▪ Verzerrte Ergebnisse durch: Aggregation, Vereinfachungen(OI3), funkt. Einh. ▪ Vortäuschen einer Objektivität u. Gewissheit (End-of-life)

Einen klaren Vorteil gegenüber anderen quantitativen oder qualitativen Bewertungsmethoden hat die Ökobilanzierung, da sie „Trade-Offs“ erkennbar macht. Andererseits sind durch die komplexen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und Interdependenzen die Verursacher oftmals verschwommen und nicht genau zu identifizieren.

Die quantitative Natur bietet sich für Vergleiche an. Die Gefahr ist, dass die Ergebnisse durch Eingabefehler (z.B. in der Annahme von Nutzungsdauern, Vereinfachungen mit generischen Daten⁹¹ etc.), durch Nichteinhalten der funktionalen Äquivalenz oder schlichtweg durch methodische Unsicherheiten verzerrt bzw. de facto nicht vergleichbar sind. Ein Punkt, der die

⁹¹ Lt. Wallbaum et al., (2011, S.39) weist die „Zementindustrie [...] im internationalen Vergleich noch eine starke Streuung in der Performance auf.“ Standort- oder länderspezifische Unterschiede bleiben in generischen Daten bis dato unberücksichtigt.

Anwendung in Bewertungssystemen derzeit erschwert, ist die Bestimmung von Referenzwerten bzw. Benchmarks und die Darstellung der Ergebnisse. Die Methode ist zwar in ihren Fundamenten bereits genormt, manche Felder und Details sind aber immer noch nicht harmonisiert (Bilanzierung von Holzprodukten, Annahmen von Nutzungsdauern, Bezugsfläche etc.). Damit werden die Ergebnisse einem internationalen Vergleich entzogen. Zukünftig hat die Anwendung der Ökobilanzierung definitiv Potential; im Detail wird dieses in den Folgekapiteln untersucht.

5 Ansätze aus verschiedenen Studien zur Anwendung der Ökobilanz in Bewertungssystemen

Die nachfolgenden Empfehlungen geben einen Überblick über die Erkenntnisse diverser Studien und Arbeiten der vergangenen Jahre. Als Grundlage dienten unter anderem:

- „IMPRO-Bericht“ von Nemry et al. (2008)
- Masterthesis von Hampel (2012): „Einfluss zukünftiger energetischer Standards auf die Ergebnisse der Ökobilanz (LCA) und Lebenszykluskosten (LCC) am Beispiel Einfamilienhaus“
- Studie von Blengini et al. (2009): „The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings“
- Studie von Stoffregen et al. (2010): „Ökologische Bewertung der Haustechnik“
- ANEC-Studien (2011): „ANEC position paper: Sustainable construction – a building site without end – Alternatives to flawed standards“
- Mötzl et al. (2009): „Assessment of Buildings and Constructions (ABC)-Disposal – Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung“
- Mötzl et al. (2011a): „Environmental and health related criteria for buildings“
- Trusty et al. (s.a.): „Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems“

Die Methode der Ökobilanzierung von Gebäuden befindet sich in einem rasanten Entwicklungsprozess. Selbst wenn sich die Arbeit kritisch mit Stärken und Schwächen auseinandersetzt, soll bedacht sein, dass der derzeitige Wissensstand natürlich dynamisch ist. Heutige Schwächen könnten bald ausgeglichen oder sogar in Stärken umgewandelt werden. Selbst wenn LCA-Berechnungen derzeit noch recht aufwändig und teuer sind, erwarten Trusty et al. (s.a., S.7), dass zukünftig Kosten und Komplexität der Bewertungsverfahren mithilfe der Ökobilanzierung minimiert werden können.

5.1 Setzen von zeitlichen und räumlichen Bilanzgrenzen

Sind Ökobilanz-Ergebnisse von Gebäuden im Bestand maßgeblich durch die Nutzungsphase bestimmt, so ändert sich dies bei Neubauten mit hohen energetischen Niveaus zu Gunsten der Konstruktionsphase. Einerseits weil der Raumwärmebedarf stark reduziert wird, andererseits auch weil die Aufwendungen in der Konstruktion (Dämmung, Haustechnik etc.) zunehmen. Die Masterarbeit von Hampel (2012, S.74) zeigt, dass im Falle eines Passivhauses mit PV-Anlagentechnik die relative Bedeutung der Konstruktionsphase für das Treibhausgaspotential bis auf 50% ansteigen kann (in Holzbauweise). Die absoluten Umweltwirkungen sind aber dennoch in Summe geringer als bei konventionellen Bauformen.⁹²

⁹² Ähnliche Ergebnisse sind bei Stoffregen et al. (2010, S.20) zu beobachten. Sie haben insbesondere den Einfluss von Haustechnikanlagen bei Dienstleistungsgebäuden untersucht und herausgefunden, dass die negativen Umweltwirkungen in der Herstellungsphase durch innovative Technologien (wie z.B. Solarkollektoren) in der Nutzungsphase mehr als kompensiert werden. Zabalza Bribián et al. (2009, S.2520) zeigten hingegen, dass trotz besserer energetischer Eigenschaften die absoluten CO₂-Emissionen steigen können. Ihrer Studie zufolge gibt es ein „CO₂-Optimum“ in Abhängigkeit der thermischen Qualität der Gebäudehülle. Zu Bedenken ist, dass das Forschungsobjekt ein Einfamilienhaus in Spanien war, an dem verschiedene Szenarien untersucht wurden.

5.1.1 Errichtungsphase

Bereits im IMPRO-Bericht (Nemry et al., 2008, S.XVII-XVIII) wurde festgestellt, dass besonders bei Neubauten die Errichtungsphase signifikant ist. Auch Mötzl et al. (2011a, S.87) weisen auf die Bedeutung dieser Phase hin.

Als hauptsächliche Quellen der Umweltwirkungen wurde die thermische Gebäudehülle (Außenwände, Fundament, Decken, Innenwände) erkannt, Mötzl und Blengini et al. erweitern den Bereich auf Dach und Fenster (vgl. ebd., S.91 und Blengini et al., 2009, S.869). Stoffregen et al. (2010, S.20) plädiert darauf, die Haustechnik mit zu erfassen, da trotz geringem Stoffmassenanteil die Umwelteinträge aufgrund der Materialien (Kunststoffe und Metalle) signifikant sind (vgl. ebd., S.18). Blengini et al. (2009, S.869) hingegen bezeichnen die Heizungsanlagentechnik als vernachlässigbar. Einheit besteht darüber, dass Baustellenprozesse bzw. -aktivitäten (vgl. ebd. und Nemry et al., 2008, S.22)⁹³ sowie Transport (Blengini et al., 2009, S.869) nur einen kleinen (vernachlässigbaren) Beitrag liefern.

Trusty et al. (s.a., S.7) bewerten das LCA trotz der methodischen Schwächen als die beste Möglichkeit, um v.a. bezüglich der Baumaterialien die ökologisch nachhaltigste Variante herauszufinden.

5.1.2 Instandsetzung

Mötzl et al. (2011a, S. 87⁹⁴) und Blengini et al. (2009, S.879) befürworten das Inkludieren der Instandsetzungsphase. Vor allem bei Haustechnikanteile, die oft nur relativ kurze Lebensdauern haben, sollte diese Phase bilanziert werden (vgl. Stoffregen et al., 2010, S.18).

5.1.3 Nutzungsphase

In allen vorliegenden Studien wurde die Nutzungsphase mit bilanziert. In der Praxis ist sie in nationalen Bewertungssystemen (TQB, klima:aktiv und IBO ÖKOPASS), die eine OI3-Berechnung vorsehen, meist nicht enthalten. Das DGNB-System rechnet über den ganzen Lebenszyklus, Nutzungsphase inklusive. Der IMPRO-Bericht kam zu dem Schluss, dass indirekt die Parameter Gebäudegeometrie und Qualität der thermischen Gebäudehülle und direkt die Energieverbräuche für die Ergebnisse dieser Phase bestimmend sind (vgl. Nemry et al., 2008, S.XVII f.).

Die Nutzungsphase und/oder den Energieverbrauch alleine darzustellen ist für eine Nachhaltigkeitsbewertung nicht mehr ausreichend (v.a. bei neueren Energiestandards); Blengini et al. (2009, S.869) sehen einen Lebenszyklusansatz aufgrund der Komplexität des Systems Gebäude als unabdingbar.

5.1.4 Entsorgungsphase

LCA-Ergebnisse der Wirkungsindikatoren reagieren nach Mötzl et al. (2009, S.54), wenn Recycling- und Verwertungsprozesse ausgeschlossen werden⁹⁵, nicht sensitiv auf Entsorgungsprozesse. Eine Ausnahme bildet die thermische Verwertung, die im Treibhausgaspotential ausschlägt. Ebenso wird im IMPRO-Bericht die Entsorgungsphase als minder relevant erachtet (Nemry et al., 2008, S.XVII-XVIII). In der Studie von Stoffregen et al. (2010, S.18) wurden Recycling- und Verwertungsprozesse mit bilanziert. Die Entsorgungsphase hielt einen signifikanten Anteil in der Gesamtökobilanz und wies für einige Indikatoren wie z.B.

⁹³ Eyerer et al. (2000, S.135f.) widmen sich der Frage nach den Anteilen der Baustellenprozesse bei den unterschiedlichen LCA-Indikatoren mit größerer Ausführlichkeit. Die Bilanzierungsergebnisse zweier Bauprojekte zeigten, dass die Anteile der Baustellenprozesse zwischen 1% (GWP) und 20% (AP) schwanken, wobei die Transporte der Baustoffe zur Baustelle mit einberechnet wurden. Diese waren mit dem Stromverbrauch der Baumaschinen an zweiter Stelle die wichtigsten Einflussfaktoren.

⁹⁴ Als meinungsbildende Studien wurden Zelger et al. (2009) sowie Bruck et al. (2004) genannt.

⁹⁵ Wie in den Normen EN 15804 und EN 15978.

dem GWP sogar negative Werte auf. Auch bei Blengini et al. (2009, S.869) haben die Recyclingpotentiale wesentlich die Ökobilanz-Ergebnisse beeinflusst.

5.2 Indikatoren-Mix

Für eine ganzheitliche Bewertung ökologischer Aspekte nachhaltigen Bauens sollten nach derzeitigem Stand verschiedene Indikatoren qualitativ als auch quantitativ eingesetzt werden. Vor allem dort, wo Kausalzusammenhänge noch nicht quantitativ bekannt sind, ist die Anwendung qualitativer oder semi-quantitativer Methoden zu bevorzugen (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.86). Das Tool der Ökobilanzierung von Gebäuden befindet sich in einem Entwicklungsprozess, die Einsetzbarkeit kann sich immer weiter verbessern und erweitern. Dennoch sollte immer wieder reflektierend gefragt werden: Was hat sich in der Praxis bisher gut bewährt? – Welche (qualitativen/semi-quantitativen) Kriterien (z.B. Ecolabels) wollen wir (noch) beibehalten und außerhalb des LCA bewerten? (vgl. ANEC, 2011, S.11).

5.2.1 Qualitative Indikatoren

Qualitative Indikatoren können unterteilt werden in:

- prozessorientierte Indikatoren: z.B. Quality Management Systems, Environmental Management Systems (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.11), Environmental Impact Assessment, Chemical Risk Assessment (vgl. Prakash et al., 2008, S.VIII). Solche Indikatoren sollen die Prozesse verbessern, geben damit allerdings keine Garantie für die Erfüllung gesetzter Ziele (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.11).
- zielorientierte Indikatoren: z.B. Einsatz von Fahrzeugen und Maschinen mit geringer Geräuschbelastung und Emissionen etc. (vgl. ANEC, 2011, S.15), Vermeiden von VOC-hältigen Produkten (vgl. Lipp, 2009, S.9f.). Diese Indikatoren beschreiben im Detail bestimmte Maßnahmen, um ein definiertes Ziel zu erreichen (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.11).

Aktionsfelder, die gut, oder nach derzeitigem Wissensstand besser mit qualitativen Indikatoren abgedeckt werden könnten, sind:

- Transport (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.8)
- Abfall/End-of-life Indikatoren (vgl. ebd., S.21)
- chemische Anforderungen (Verbot spezifischer Inhaltsstoffe, Vermeidung von Stoffen etc.) (vgl. ANEC, 2011, S.15)

5.2.2 Auswahl quantitativer Leitindikatoren innerhalb der Ökobilanz

Einige Forschungsarbeiten schlagen die Konzentration auf Primärenergieinhalt und Treibhausgaspotential vor, welche gute Indikatoren zur Abschätzung der Umweltperformance eines Gebäudes seien (vgl. Nemry et al., 2008, S.XVII und Mötzl et al., 2011a, S.6). Weitere Indikatoren schaffen keinen nennenswerten zusätzlichen Informationsgewinn (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.9). Die Kompaktheit eines Gebäudes könne als zusätzliche Information einer ersten Annäherung dienen (vgl. ebd.).

Der Vorteil einer geringeren Anzahl an Indikatoren besteht darin, dass die Frage nach der Gewichtung der Indikatoren eingegrenzt wird oder sogar wegfällt (vgl. ebd.) als auch deren Aggregation leichter vermieden werden kann (vgl. ANEC, 2009, S.6).⁹⁶

⁹⁶ ANEC (2009a, S.6) rät von den derzeitigen Methoden zur Aggregation der Wirkungsindikatoren wie EcoGrade oder Ecoindicator ab.

6 Überprüfung der Arbeitsthese A und Folgerungen für die praktische Analyse (Arbeitsthese B)

Die erste Arbeitsthese lautete:

A. Wird ein Gebäude hinsichtlich seiner ökologischen Performance ausschließlich mittels Ökobilanzierung bewertet, werden wichtige Kriterien nicht erfasst. Alleine aufgrund von Ökobilanzierungsergebnissen ist es daher nicht zulässig, umfassende Aussagen bezüglich der „umweltbezogenen Qualität“ eines Gebäudes zu treffen.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigten eindeutig, dass eine Ökobilanzierung alleine aus methodischen Gründen nicht alle ökologischen Aktionsfelder abdecken kann. Offen bleiben Fragen bezüglich:

- Biodiversität
- Flächennutzung
- Bodenqualität
- Qualitätsaspekte der Materialbeschaffung (z.B. Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft)
- Lärm und Staub während der Konstruktionsphase
- (Innenraumlufthqualität, sowie Human- und Ökotoxizität)

Letzterer Punkt wurde in Klammer gesetzt, da die ÖNORM EN 15978 (2012) dieses Kriterium zum Bereich sozialer Nachhaltigkeit zählt, nach Ansicht der Autorin ist diese Vorgehensweise allerdings mit Vorbehalt zu betrachten. Messungen nach Fertigstellung reichen für eine nachhaltige Bauweise nicht aus (wie in ÖNORM prEN 16309 (2012) empfohlen), vielmehr ist bereits während der Planung und Konstruktion auf die Auswahl emissionsarmer Baustoffe zu achten.

Gut abgedeckt werden die Aktionsfelder

- Klimawandel (Treibhausgaspotential)
- Energieverbrauch
- Materialeinsatz
- Trinkwasser⁹⁷

Bedingt erfassbar, aufgrund der Unsicherheiten über die lange Lebensdauer, ist der Bereich

- Abfallverwertung und Recyclierbarkeit⁹⁸

Dass die ökologischen Aktionsfelder mittels Ökobilanzierung nur begrenzt erfasst werden können, wird in den Kriteriensätzen der aktuellen Bewertungssysteme bestätigt. Jedes der Systeme, wobei das DGNB-System als einziges die Ökobilanzierung über den gesamten Lebenszyklus einsetzt, verfügt über zusätzliche, qualitativ bestimmbare Indikatoren in der Ökologiebewertung (Kapitel 3.3). Die erste These wurde also bestätigt.

⁹⁷ Die Norm EN 15978 sieht zwar eine Bilanzierung des Wasserbedarfs in der Nutzungsphase vor (Modul B7), begnügt sich aber damit, die verbrauchten Süßwassermengen zu addieren ohne einen Bezug zur lokalen Verfügbarkeit herzustellen.

⁹⁸ Dies gilt insbesondere für Materialien mit hohem Herstellungsaufwand (z.B. Metalle) und thermisch verwertbaren Materialien. Nach Meinung von H. Mötzl (2013, schriftliche Mitteilung) ist das Recycling der Baustoffe mit den größten Massen im Bauwesen (Beton, Ziegel etc.) mit derzeitigen Ökobilanzen nicht einmal bedingt erfassbar.

Resümierend wird m.E. auch in naher Zukunft von qualitativen Indikatoren in der Nachhaltigkeitsbewertung ökologischer Aspekte nicht abgesehen werden können. Selbst wenn einige Aspekte mittels Ökobilanz gut dargestellt und erfassbar sind, stellt sich immer noch die Frage nach der Praktikabilität dieser Vorgehensweise. Für Treibhausgaspotential und Energieverbrauch scheint die Ökobilanz die vorrangige Methode zu sein, bei EOL-Prozessen scheiden sich die Geister.

Für das Kriterium Trinkwasser könnten Maßnahmenregelungen (wassersparende Armaturen und Geräte sowie Regen- und/oder Grauwassernutzung etc.) größeren Einfluss haben.

Die Recherche hat zusätzlich ergeben, dass einige Indikatoren bereits veraltet, oder für eine vergleichende Analyse nicht mehr aussagekräftig sein könnten (z.B. ODP, AP etc.). Eine eindeutige Stärke der Ökobilanz liegt in der Darstellung von Trade-Offs, beziehungsweise der Erfassung der Interdependenzen der verschiedenen Stellschrauben wie Kompaktheit, Energieeffizienz, Bauweise etc. Für Forschungszwecke und für die Planungsphase sieht die Autorin deshalb ein großes Anwendungs- und Informationspotential, auf Basis dessen fundierte Entscheidungen getroffen werden können.

Die praktische Analyse soll die zweite These überprüfen. Diese lautet:

B. Die Ökobilanzierung eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus bringt kaum einen Mehrwert an Informationen für die vergleichende ökologische Gebäudebewertung.

Die Arbeitsthese B legt offenkundig die Frage nahe, was „Mehrwert an Informationen“ bedeutet, und wie dieser in eine wissenschaftlich greifbare Größe umgewandelt werden kann. Aufgrund der theoretischen Analyse kann bereits zu diesem Zeitpunkt gesagt werden, dass definitiv ein Mehrwert an Informationen hinsichtlich Lastenverschiebungen, oder Trade-Offs besteht.

In der Praxis und der Normung der Bewertungssysteme sind zwei Richtungen zu beobachten. Einerseits wird auf eine möglichst ausführliche Erfassung gesetzt, wie in der ÖNORM EN 15978 (2012) (24 Indikatoren) und im DGNB-System (sieben Indikatoren), andererseits besitzt national der OI3-Indikator einen großen Anwenderkreis. Zukünftig ist interessant, wie sich die Systeme und Anwendbarkeit des LCA weiter entwickeln werden und ob sich langfristig tatsächlich die in EN 15978 genormte Ökobilanz über den gesamten Lebenszyklus mit derzeit 24 festgeschriebenen Indikatoren durchsetzen wird. Kurz- bis mittelfristig könnten sich auch Mittelwege etablieren. Derzeit ist der Aufwand an Zeit und Kosten für diese Art der Ökobilanzen noch sehr groß und daher oftmals unwirtschaftlich. Aus diesem Gedankengang und nach den Erkenntnissen der Literaturrecherche erschien es der Autorin sinnvoller, die Ausgangsthese abzuwandeln in:

B. Innerhalb der Ökobilanzierung können Vereinfachungen (Anzahl der Indikatoren, zeitliche und räumliche Bilanzgrenzen) vorgenommen werden, die zu keinem Informationsverlust für eine vergleichende Bewertung führen.

Empirisch wird nun untersucht, ob für eine vergleichende ökologische Gebäudebewertung in der Ökobilanzierung folgende Vereinfachungen vorgenommen werden können, ohne dass dabei essentielle Informationen verloren gehen:

- **B.a Reduktion der Anzahl der Indikatoren**
 - B.a.a Aussagekraft: Einzelne (Wirkungs-)Indikatoren sind dann für die Bewertung der ökologischen Qualität geeignet, wenn sie bei unterschiedlichen Bauprojekten auch signifikant unterschiedliche, numerische Werte annehmen. Bewegen sich einzelne Indikatoren im gleichen Rahmen haben sie für einen Vergleich keine Aussagekraft und sind für eine vergleichende Bewertung vernachlässigbar.

- B.a.b Korrelationen untereinander: Wenn einzelne Indikatoren stark voneinander abhängen und miteinander korrelieren, ist es ausreichend einen davon zu bestimmen, der maßgeblich zur Bewertung herangezogen wird.
- B.a.c Maßnahmen statt Indikatoren: Die Werte von einzelnen Indikatoren werden nicht hauptsächlich durch eine Produktgruppe bestimmt. Wenn dem so ist, wäre es für eine vergleichende Gebäudebewertung effektiver und effizienter gezielt die Vermeidung dieser Produktgruppen anzustreben.
- B.a.d Von der Literaturrecherche inspiriert soll herausgefunden werden, ob Primärenergieinhalt und Treibhausgaspotential als Indikatoren ausreichend sind. Sprich, alle anderen Indikatoren sind entweder nicht aussagekräftig (B.a.a), korrelieren mit einem dieser beiden (B.a.b) oder können über konkrete Maßnahmen gezielt beeinflusst werden (B.a.c)
- **B.b räumliche und zeitliche Bilanzgrenzen:**
 - Für die Limitierung der räumlichen und zeitlichen Bilanzgrenze wird untersucht, ob einzelne Bauteile oder Phasen vernachlässigt werden können. Besonderes Augenmerk wird hier auf die Innenwände und Haustechnik sowie der Instandsetzungsphase gelegt, da dies der gebräuchlichen Praxis im OI3-Index entspricht.

7 Darstellung der Projekte und der angewandten Methode

In diesem Kapitel werden die Datenbasis, sprich die einzelnen Projekte sowie Informationen zur Bilanzierungsmethode möglichst transparent dargelegt. Da es sich um reale Projekte handelt, werden sie anonym behandelt und die Projekteigenschaften nur so weit als nötig kommuniziert.

Der Ablauf eines Bewertungsprozesses nach ÖNORM 15978 ist in Abbildung 11 ersichtlich; nach diesem richtet sich der Aufbau des Kapitels. Zunächst jedoch werden kurz die Projekte vorgestellt.

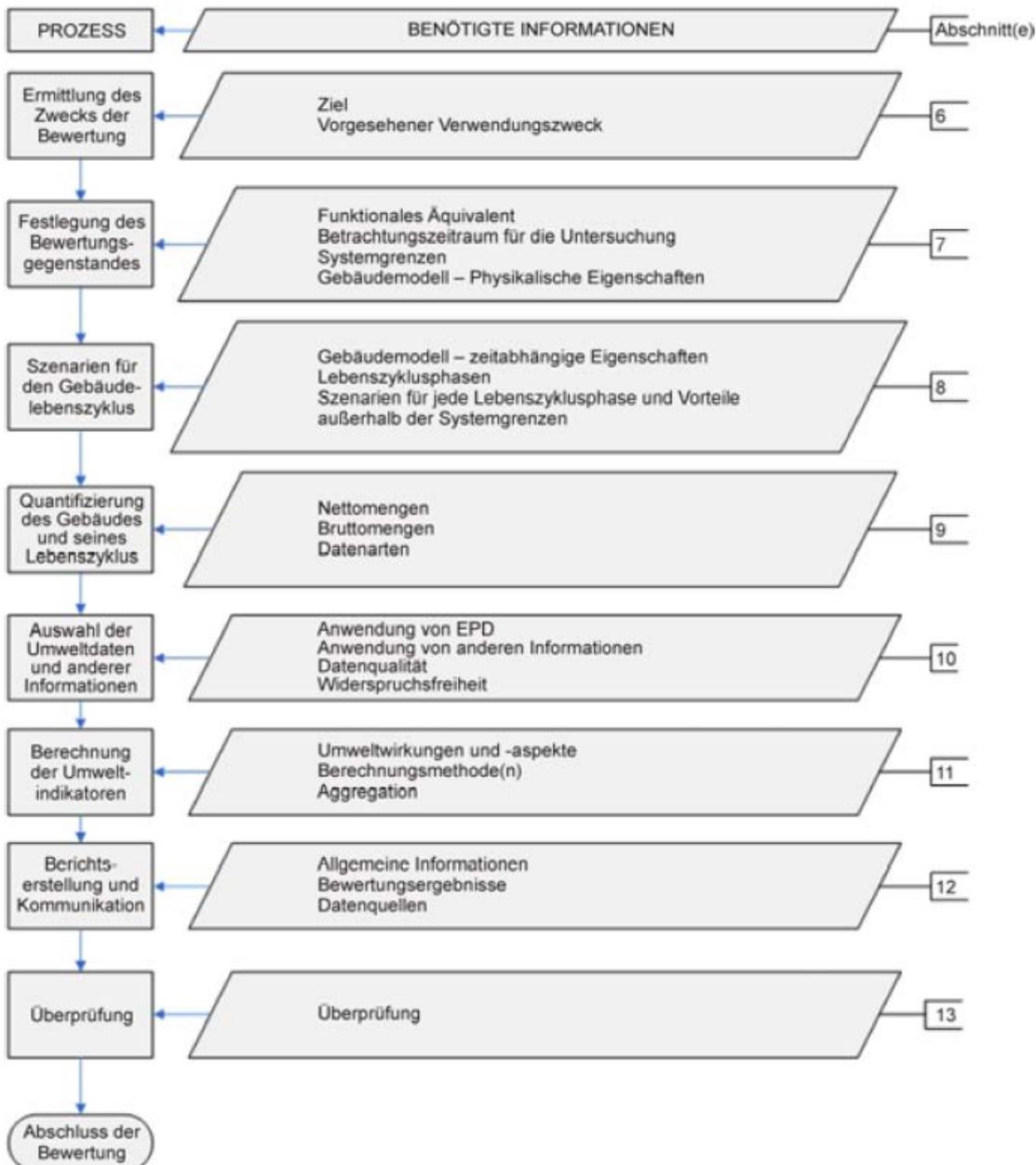


Abbildung 11: Ablaufdiagramm des Bewertungsprozesses der umweltbezogenen Qualität
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.15

7.1 Projektliste

Folgende Kriterien waren für die Projektauswahl maßgeblich:

- Standort: Es wurden hauptsächlich Projekte im Großraum Wien ausgewählt. Lediglich das Projekt Nr.10 wurde in Niederösterreich realisiert.
- Projektgröße: Die gewählten Gebäude haben eine konditionierte Bruttogrundfläche von ca. 500 – 6000 m². Die Spanne wurde möglichst klein gehalten.
- Zeitraum: Die Projekte wurden/werden zwischen 2012 und 2014 fertiggestellt, eine Ausnahme hiervon ist das Projekt Nr.9, welches 2006 fertiggestellt wurde, sich wegen seiner optimierten Holzmassivbauweise jedoch für die Vergleichsstudie eignet.
- Die Energieausweise wurden alle nach OIB-Richtlinie 6 (2007) ausgestellt. Für das Projekt Nr.9 lagen eine PHPP-Berechnung sowie ein nachgezogener Energieausweis nach OIB-Richtlinie 6 (2007) vor.
- In Bauweise, Energieeffizienzklasse (EEK) (Tabelle 13) und Art der Energieversorgung sollten sich die Projekte möglichst unterscheiden.

Alle Projekte sind in Tabelle 14 gelistet.

Tabelle 13: Klassengrenzen des jährlichen Heizwärmebedarfs pro m² konditionierter Brutto-Grundfläche (BGF) bezogen auf das Standortklima (SK)

Quelle: OIB, 2011a, S.10

Klasse	HWB _{BGF,SK} [kWh/m ² a]
Klasse A++	≤ 10
Klasse A+	≤ 15
Klasse A	≤ 25
Klasse B	≤ 50
Klasse C	≤ 100
Klasse D	≤ 150
Klasse E	≤ 200
Klasse F	≤ 250
Klasse G	> 250

Tabelle 14: Projektliste
Quelle: Eigene Darstellung

Projekt-Nr.	EEK ⁹⁹	Energieversorgung	Bauweise	kond. BGF	BGF/kond. BGF	Besonderheiten
1.	B	Erdgas	Massivbau - STB	5200 m ²	1,53	inkl. Kellergeschoß
2. (Bauteile A und B)	A	Fernwärme	Holzmassivbau	1500 m ²	1,25	kein Kellergeschoß, Komfortlüftung, Haustechnik gekoppelt mit Bauteil B
	B	Fernwärme	Holzmassivbau	560 m ²		inkl. Kellergeschoß, Komfortlüftung, Haustechnik gekoppelt mit Bauteil A
3.	A++	Fernwärme	Massivbau - STB (Außenwand im DG in Leichtbauweise)	2800 m ²	1,16	inkl. Kellergeschoß, Komfortlüftung
4.	B	Fernwärme	Mischbauweise	6800 m ²	1,60	inkl. Kellergeschoß
5.	B	Fernwärme	Mischbauweise	1100 m ²	1,59	inkl. Kellergeschoß
6.	B	Erdgas	Massivbau - STB	1800 m ²	1,20	inkl. Kellergeschoß
7.	A	Erdgas	Massivbau - STB	3300 m ²	1,51	inkl. Kellergeschoß
8.	A	Erdgas + thermische Solaranlage	Massivbau - STB	1900 m ²	1,27	inkl. Kellergeschoß (kleinräumig)
9.	A++	Erdgas + thermische Solaranlage	Holzmassivbau	2100 m ²	1,39	inkl. Kellergeschoß, Komfortlüftung
10.	A++	Pellets + thermische Solaranlage	Massivbau - Ziegel	2300 m ²	1,26	beheiztes Kellergeschoß, Komfortlüftung
11.	A++	Fernwärme	Massivbau - STB	780 m ²	1,51	inkl. Kellergeschoß, Komfortlüftung

⁹⁹ EEK: Energieeffizienzklasse nach OIB-Richtlinie 6 (vgl. OIB, 2011a, S.10).

7.2 Festlegung des Bewertungsgegenstandes

Als funktionales Äquivalent wurde, wie national üblich, die Bruttogrundfläche (BGF) gewählt.¹⁰⁰ Grundsätzlich wurde versucht, die Bilanzgrenze möglichst weit zu fassen. Sie umschließt die thermische Gebäudehülle, Zwischendecken, Innenwände inkl. Innentüren, Haustechnikanlagen (Heizkessel, Pufferspeicher, Solarkollektoren) sowie unbeheizte Keller-, und Pufferräume. Für spezifische Analysen wurden an Einzelprojekten auch Wandfarben und Fußbodenbeläge bilanziert. Das funktionale Äquivalent für diese Gesamt-Ökobilanzierung bildet die BGFgesamt, bestehend aus der konditionierten Bruttogrundfläche (kond.BGF) zuzüglich der BGF der Keller- und Pufferräume.

Gegenstand der Arbeit ist es allerdings auch, die Auswirkungen von unterschiedlichen Bilanzgrenzen zu untersuchen. Für die Absteckung der zeitlichen und räumlichen Grenzen hat sich die Autorin hier nahe an die Klassifizierung des IBO gehalten, die auch für den OI3-Indikator herangezogen wird (Tabelle 15).

BGO	Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle exkl. Dacheindeckung exkl. Feuchtigkeitsabdichtungen exkl. hinterlüftete Fassaden inkl. Zwischendecken
BG1	Konstruktionen der thermischen Gebäudehülle (Konstruktionen vollständig) inkl. Zwischendecken
BG2	BG1 inkl. Innenwände (Trennbauteile)
BG3	BG2 inkl. Innenwände (gesamt) inkl. Keller inkl. unbeheizte Pufferräume (Baukörper komplett) exkl. direkte Erschließung
BG4	BG3 inkl. direkte Erschließung (Stiegen, Laubengänge usw.)
BG5	BG4 inkl. Haustechnik
BG6	BG5 inkl. gesamte Erschließung inkl. Nebengebäude

Tabelle 15: Bilanzgrenzen laut OI3-Leitfaden inkl. Markierung der gewählten Bilanzgrenze für die praktische Analyse

Quelle: Abgeändert nach IBO, 2011, S.17

¹⁰⁰ So ist in Österreich die funktionelle Einheit für den Energieverbrauch $m^2_{\text{kond.BGF}} \cdot a$ (vgl. Mötzl et al., 2011a, S.10).

Je nach räumlicher Bilanzgrenze ändert sich konsequenterweise auch die Bezugsgröße. Für die BG0 ist die kond.BGF die Bezugsgröße, für die BG3 die „Bezugsfläche“ (BZF) nach Definition des IBO (2011, S.18) und für die Gesamtbetrachtung die BGFgesamt (BGF).

In die Betriebsphase sind der Raumwärme-, Warmwasserwärme-, Haustechnikenergiebedarf, sowie der Strombedarf eingeflossen. Der Betrachtungszeitraum wurde mit 100 Jahren festgelegt.¹⁰¹

Die einzelnen Bauteile wurden in folgende Gruppen zusammengefasst, um eine anschließende Auswertung zu erleichtern und übersichtlicher gestalten zu können:

Tabelle 16: Einteilung der Bauteile
Quelle: Eigene Darstellung

Außenwände	Außenwände der thermischen Gebäudehülle, Wände von unbeheizten Räumen zur Außenluft, erdberührte Wände, opake Außentüren
Fundament, Boden	erdberührte Bodenplatte, Decken gegen unbeheizt, Decken gegen Außenluft
Trenndecken	Zwischendecken beheizt gegen beheizt oder unbeheizt gegen unbeheizt
Dach	Dach, Terrassen
Fenster	Fenster, Verglasungen, Außentüren aus Glas
Innenwände	Innenwände beheizt gegen beheizt oder unbeheizt gegen unbeheizt, Innentüren

Von der Bilanzgrenze ausgenommen sind auskragende Bauteile wie Balkone oder Loggien.

¹⁰¹ Dies entspricht der Praxis im OI3. Ebert et al. (2010, S.77) sieht die wirtschaftlichen Nutzungsdauern für frei finanzierte Mietwohngebäude bei 60-80 Jahre, im sozialen Wohnbau bei 50-70 Jahre.

7.3 Szenarien für den Gebäudelebenszyklus - Lebenszyklusphasen

Die Einteilung der Lebenszyklusphasen richtete sich nach der normativen Vorgabe (Abbildung 12).

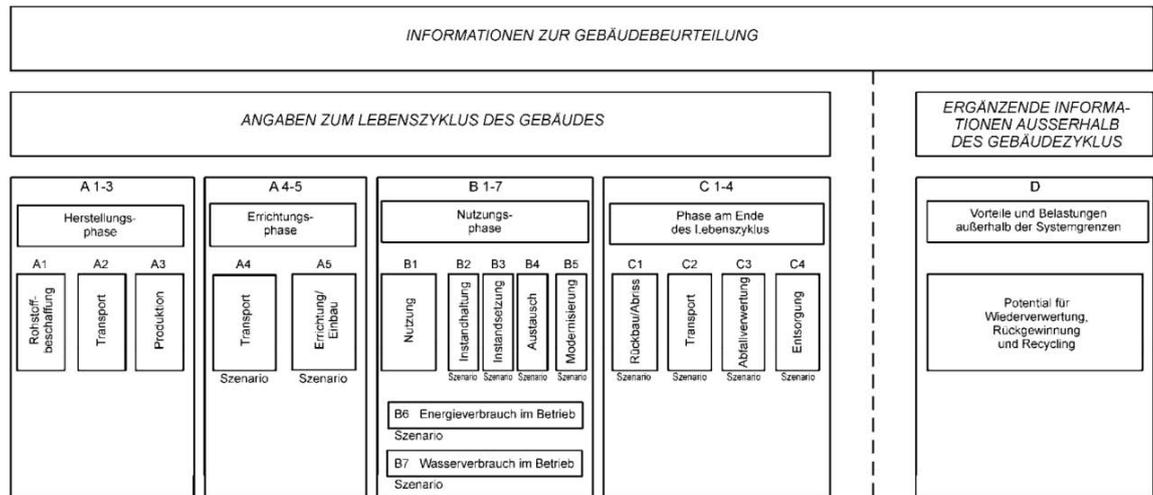


Bild 6 — Anzeige modularer Informationen für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes

Abbildung 12: Modulare Gliederung der Informationen zur Gebäudebewertung für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes nach ÖNORM 15978
Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.23

Die in den Berechnungen abgedeckten Module sind in untenstehender Tabelle fett gedruckt.

Tabelle 17: Einteilung der Lebenszyklusphasen im Projekt
Quelle: Eigene Darstellung

A 1-3 Herstellungsphase			A 4-5 Errichtungsphase		B 1-7 Nutzungsphase							C 1-4 Phase am Ende des Lebenszyklus			
A1 Rohstoffbeschaffung	A2 Transport	A3 Produktion	A4 Transport	A5 Errichtung / Einbau	B1 Nutzung	B2 Instandhaltung	B3 Instandsetzung	B4 Austausch	B5 Modernisierung	B6 Energieverbrauch im Betrieb	B7 Wasserverbrauch im Betrieb	C1 Rückbau/Abriss	C2 Transport	C3 Abfallverwertung	C4 Entsorgung

Die Module A1-3 und A5 werden fortan zusammengefasst unter dem Begriff „Errichtungsphase“. Modul A4 wird als „Transport“, B4 als „Austausch“ bzw. „Erneuerung“, wenn Transport und Entsorgung der in dieser Phase anfallenden Baumassen nicht berücksichtigt wurden, und B6 als „Betrieb“ bezeichnet. Der Transport am Ende des Lebenszyklus ist in Modul C4 „Entsorgung“ enthalten.

- A 1-3 + A5: „Errichtung“
- A4: „Transport“

- „Erneuerung“ (entspricht B4 exkl. Transport und Entsorgung während dieser Phase)
- B4: „Austausch“ (inkl. Transport und Entsorgung während dieser Phase)¹⁰²
- B6: „Betrieb“
- C2 + C4: „Entsorgung“

Bei den Auswertungen kommt der Begriff „Konstruktionsphase“ vor, darunter fallen die Module A1-3, A5, A4, B4, C2, C4. Der Konstruktionsphase werden demnach alle konstruktionsbedingten Ökobilanzergebnisse zugeordnet.

7.4 Quantifizierung des Gebäudes und seines Lebenszyklus

Grundlagen der Datenerhebung bildeten die Energieausweisberechnungen, Einreichpläne und Angaben der Bauteilaufbauten. Die Datengrundlagen wurden vom IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie – zur Verfügung gestellt und stammen von realen Projekten.

Die Qualität der verfügbaren Datengrundlage setzte die Grenzen für den Detaillierungsgrad der Berechnungen in der Betriebsphase; grundsätzlich wurden die Endenergiebedarfswerte den Energieausweisberechnungen nach OIB-Richtlinie 6 (2007) entnommen. Für einzelne Projekte lagen PHPP-Berechnungen vor, aus denen spezifische Werte, beispielsweise der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen oder der Haushaltsstrom, entnommen werden konnten. In den anderen Fällen wurde der Betrieb der Lüftungsanlagen nicht bilanziert und für den Haushaltsstrom ein Default-Wert von 16,43 kWh/m²kond.BGF angenommen (vgl. BMLFUW et al., 2012, S.35).¹⁰³

Wenn für den Warmwasserspeicher kein Nenninhalt ausgewiesen war, wurde dieser wie folgt angenähert:

Tabelle 18: Nenninhalt von Warmwasserspeicher
Quelle: nach Pöhn et al., 2007, S.46

Art des Wärmespeichers (Defaultwerte)	Nenninhalt (l)
Nenninhalt des indirekt beheizten Öl, Gas, fest, Fernwärme WW-Speichers	1,75*BF
	Solar, Wärmepumpe 2,5*BF
gasbeheizte Warmwasserspeicher	1,75*BF
Elektro-Warmwasserspeicher	1,5*BF

Die Bezugsfläche (BF) wird durch Multiplikation der kond.BGF mit dem Faktor 0,8 errechnet.

EcoSoft hat lediglich für Warmwasserspeicher mit einem Nenninhalt von 600l und 2000l Datensätze für die Ökobilanzindikatoren hinterlegt. Zur Extrapolation für größere oder kleiner Speichergrößen wurden Faktoren, die sich auf das Speichergewicht beziehen, verwendet.

¹⁰² Nach dem Modularitätsprinzip (vgl. ÖNORM 15978, 2012, S.21) sind die Prozesse Entsorgung und Transport, die während der Lebenszyklusphase Nutzung (B1-7) anfallen, auch dieser zuzuschreiben.

¹⁰³ Mit diesem Default-Wert wird für Wohngebäude auch nach OIB-Richtlinie 6 (2011) gerechnet. Nachzusehen im frei downloadbaren EXCEL-Schulungs-Tool für Wohngebäude (exakt) „EA-WGe-2012-01-01-V10b2.xls“ der Homepage <http://www.oib.or.at/richtlinien11.htm> (Abgerufen am 01.10.2013 (12:17)).

Diese Annäherung folgte den Angaben des Ecolnvent-Reports v2.0 (vgl. Jungbluth, 2007, S.19).

Die Ökopotentialdaten der Bilanzierungssoftware enthalten Kennzahlen zur Rohstoffbeschaffung, dem Transport sowie der Produktion während der Herstellung. Die Phasen A 1-3 sind somit abgedeckt. Die Massenermittlung erfolgte auf Basis der Energieausweisberechnungen und Angaben der Bauteilaufbauten sowie durch direktes Auslesen aus den Plänen für A5. Modul A4 wurde separat berechnet unter der Annahme, dass die Baustoffmassen mit einem LKW mit 28 Tonnen Fassungsvermögen angeliefert wurden. Zu den Distanzweiten wurden Annahmen zwischen 50 und 300 Kilometern getroffen, basierend auf Einstufungen des Forschungsprojekts EcoTimber (vgl. Dolezal et al., 2013, S.12).

7.5 Auswahl der Umweltdaten und anderer Informationen

Im Tool EcoSoft v5.0 sind Umweltindikatoren für einzelne Produkt(-gruppen) sowie Prozesse (Entsorgung, Energieträger) enthalten. Die Grundlage bildet die IBO-Referenzbaustoff-Datenbank, welche wiederum auf der Ecolnvent v2.2-Datenbank basiert, und von Daten aus IBO-Forschungsprojekten ergänzt wurde (vgl. IBO, 2012, S.8).

Unabhängig vom tatsächlichen Strommix wurden die Ökobilanz-Daten aus Ecolnvent v2.2 des Europäischen Strommix UCTE hinterlegt.

Für den Primärenergieinhalt wurde, wie in der EN 15804 vorgegeben, der untere Heizwert herangezogen, vormals richteten sich die Daten nach dem oberen. Tabelle 19 zeigt eine Gegenüberstellung der Konversionsfaktoren der Energieträger nach OIB-Richtlinie 6 (2011) und EcoSoft. Für die CO₂-Äquivalente wird in EcoSoft zwischen den Kennzahlen GWP-Prozess, GWP-CO₂-Speicherung und GWP-gesamt, als Summe der beiden, differenziert (Kapitel 7.6). Den Ergebnissen in Kapitel 8.1.2 liegen die Konversionsfaktoren für Energieträger von EcoSoft (grau hinterlegt) zu Grunde.

Tabelle 19: Gegenüberstellung der Konversionsfaktoren für Energieträger
Quelle: Daten aus EcoSoft sowie OIB-Richtlinie 6 (OIB, 2011a, S.6)

Energieträger	f _{PE}		f _{PE,n.ern.}		f _{PE,ern.}		f _{CO2} [g/kWh]	
	OIB-6	EcoSoft	OIB-6	EcoSoft	OIB-6	EcoSoft	OIB-6	EcoSoft ³⁾
Erdgas	1,17	1,17	1,17	1,17	0,00	0,00	236	262
Strom ¹⁾	2,62	2,86	2,15	2,67	0,47	0,19	417	514
Fernwärme ²⁾	0,92	1,11	0,20	0,03	0,72	1,08	73	9,3

¹⁾ OIB-6: Österreich-Mix; EcoSoft: Europäischer Mix
²⁾ OIB-6: Fernwärme aus hocheffizienter KWK (Defaultwert)
³⁾ Fernwärme: GWP-gesamt Daten; Ansonsten: GWP-Prozess Daten

7.6 Berechnung der Umweltindikatoren

Die Daten der Sachbilanzindikatoren basieren auf Ecolnvent Datensätzen. Die Wirkungsabschätzung wird nach dem Charakterisierungsmodell CML 2001 vollzogen, dies entspricht dem aktuellen Diskussionsstand zur Ergänzung der EN 15804 Normstandard (Entwurf zur ÖNORM EN 15804/A1, 2013-06-15) (Mötzl, 2013, persönliche Mitteilung).

Die errechneten Indikatoren sind:

- Wirkindikatoren: Treibhausgaspotential (GWP in kg CO₂-Äquivalenten), Versauerungspotential (AP in kg SO₂-Äquivalenten), Photochemisches

Ozonbildungspotential (POCP in kg C₂H₂-Äquivalenten), Eutrophierungspotential (EP in kg PO₄-Äquivalenten) und Ozonabbaupotential (ODP in kg FCKW₁₁-Äquivalenten)

- Sachbilanzindikatoren: Primärenergieinhalt nicht erneuerbar (PE ne in Megajoule), Primärenergieinhalt erneuerbar (PE e in Megajoule) und Primärenergieinhalt gesamt (PE in Megajoule)

In EcoSoft wird grundsätzlich die CO₂-Speicherung ausgewiesen. Die Software errechnet daher drei GWP-Werte. Diese sind GWP-CO₂-Speicherung, GWP-Prozess und die Summe der beiden (GWP gesamt). Diese Vorgehensweise begünstigt Holzbauten im Errichtungsprozess. In der End-of-life (EOL) Phase wird das gespeicherte CO₂ wieder freigesetzt und die Bilanz somit ausgeglichen.¹⁰⁴

¹⁰⁴ Unter WissenschaftlerInnen ist hier die methodische Vorgehensweise umstritten. „*However, when assigning an ex ante credit to wood, one has to make sure that the full life cycle of the biomass is considered, from forestry to EOL (either incineration, landfill or re-use), otherwise the potential carbon sequestration could be overestimated.*“ (Blengini et al., 2009, S.873).

8 Ergebnisse und Interpretation

Im Anschluss sind die Ergebnisse der Ökobilanzierungen dargestellt (Kapitel 8.1) und hinsichtlich der einzelnen Hypothesen analysiert (Kapitel 8.2, 8.3 sowie 8.4).

8.1 Vergleich der verschiedenen Bauprojekte und Konzepte

Die folgenden Vergleichsstudien sind unterteilt in die Kategorien „Konstruktionsphase“, in der die konstruktionsbedingten Ökobilanzergebnisse genauer untersucht werden, „Energieversorgung“, bei der die nutzungsbedingte Phase (Betriebsphase) betrachtet wird und schlussendlich die „Gesamtbetrachtung“ über den gesamten Lebenszyklus. Für den Vergleich werden unterschiedlichste Gebäude herangezogen, welche sich durch ihre Größe, Kompaktheit, Energieeffizienzklasse, Bauweise etc. unterscheiden. Ziel der folgenden Vergleiche ist es, herauszufinden, wie sich unterschiedliche Eigenschaften auf die Ökobilanz auswirken.

8.1.1 Konstruktionsbedingte Ökobilanzindikatorwerte

Abbildungen 13, 14 und 15 zeigen die Indikatorwerte für die Phasen Errichtung (Modul A1-3+A5) und Erneuerung (Modul B4 exkl. Transport und Entsorgung). Farblich hervorgehoben sind einerseits Unterschiede in der Bauweise (Abbildung 15), andererseits in der Energieeffizienzklasse (Abbildung 13) und dem Verhältnis von BGF zu kond.BGF (Abbildung 14). Projekte in Holzmassiv-/Mischbauweise sind grün bzw. braun markiert, STB-Gebäude hellgrau und das Projekt in Ziegelbauweise ist in Violett dargestellt. Das Projekt Nr.2 besteht aus zwei Bauteilen mit jeweils unterschiedlicher EEK, nämlich A und B, und wird deshalb in Abbildung 13 gesondert ausgewiesen.

Die Analyse nach einem Zusammenhang zwischen der EEK und den Ökobilanzergebnissen lässt keine Tendenzen erkennen. Es wäre zu erwarten, dass Gebäude höherer EEK (A++) durch den zusätzlichen Dämmaufwand mehr Umweltwirkungen verursachen. Ein solcher Zusammenhang ist aus den Ergebnissen allerdings nicht ableitbar (Abbildung 13).

Ähnliches zeigt eine Analyse hinsichtlich der Kompaktheit, die über die charakteristische Länge (l_c) dargestellt wird. Je kompakter (größere l_c) ein Gebäude, desto geringere Umweltwirkungen wären zu vermuten. Diese Erwartung kann allerdings nicht bestätigt werden (Anhang 10.2).

Abbildung 14 zeigt den Zusammenhang zwischen den Bilanzierungsergebnissen und dem Verhältnis von BGF zu kond.BGF. Besitzt ein Gebäude ein großes Verhältnis, deutet dies auf eine relativ große Fläche von Keller- und Pufferräumen hin. Während ein großer Kelleranteil zu einer Verbesserung der Indikatorwerte in der Nutzungsphase führt (Kapitel 8.1.2), trifft auf konstruktiver Ebene der umgekehrte Fall zu. Die Konstruktion von Untergeschoßen wie Kellerräume bzw. Tiefgaragen ist aufwändiger im Materialeinsatz und beeinflusst die Ergebnisse daher negativ.¹⁰⁵ Die Projekte Nr.4 und Nr.5 haben die größten/ungünstigsten BGF/kond.BGF-Verhältnisse; sind in Mischbauweise jedoch Sonderfälle. Innerhalb der Stahlbetonbauten ist eine deutliche Tendenz erkennbar. Die Projekte Nr.3 und Nr.6 haben das BGF/kond.BGF-Verhältnis von 1,16-1,20 (blaue Markierung). Die Projekte Nr.1, 7 und 11 haben viel ungünstigere Werte von 1,51-1,53 (orange Markierung). Deutlich in Abbildung 15 erkennbar schneiden die blau markierten Projekte bei allen Indikatorwerten (mit Ausnahme des PE e) besser ab, als die orange markierten. Projekt Nr.8 (rote Markierung) müsste mit einem BGF/kond.BGF-Verhältnis zwischen diesen beiden genannten Gruppen rangieren, schneidet unter den STB-Bauten jedoch am schlechtesten ab. Dies ist durch die installierte Solarkollektor-Anlage zu erklären.

¹⁰⁵ Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zu den Erkenntnissen von Sellner (2012, S.67). In dieser Masterarbeit wurden allerdings Bürogebäude mit einer Lebensdauer von 50 Jahren untersucht.

Bezüglich der unterschiedlichen Bauweisen ist bei den Indikatoren GWP, PE e und PE eine deutliche Splittung zwischen STB-Gebäuden (hellgrau) und Holz-/Mischbauten erkennbar (grün bzw. braun) (Abbildung 15). Grund dafür ist beim GWP der Einfluss des im Holz gespeicherten Kohlenstoffs und beim PE erneuerbar und PE gesamt die in der Holzkonstruktion gespeicherte erneuerbare Energie. Dass die Projekte in Holzmassivbau (Nr.2 und Nr.9) beim POCP solche „Ausreißer“ darstellen, ist auf die Bilanzierung der Bauteilschicht Bitumenanstrich zurückzuführen (siehe weiter unten). Die Ökopotentiale des Ziegelbaus (Nr.10) ähneln sich durchgängig jenen der STB-Bauten.

Abbildung 16 ähnelt der vorhergehenden Abbildung, erfasst nun allerdings alle konstruktionsbedingten Ökobilanzergebnisse, sprich Errichtung (Modul A1-3+A5), Austausch (Modul B4) sowie Transport (Modul A4) und Entsorgung (Modul C2+C4). Es ist eine eindeutige Veränderung zur vorherigen Darstellung erkennbar. Die Ökobilanzergebnisse streuen weniger, insbesondere die GWP-Werte sind recht kompakt. Grund dafür sind die CO₂-Emissionen aus der thermischen Entsorgung, welche die positiv bilanzierte CO₂-Speicherung der Errichtungsphase wieder „ausgleichen“.

Nachfolgend sind die konstruktionsbedingten Indikatorwerte der einzelnen Indikatoren nach Bauteilen dargestellt (Abbildungen 17 bis 24). Alle Abbildungen wurden von der Autorin erstellt; für alle gilt dieselbe Legende wie in den Abbildungen 23 und 24.

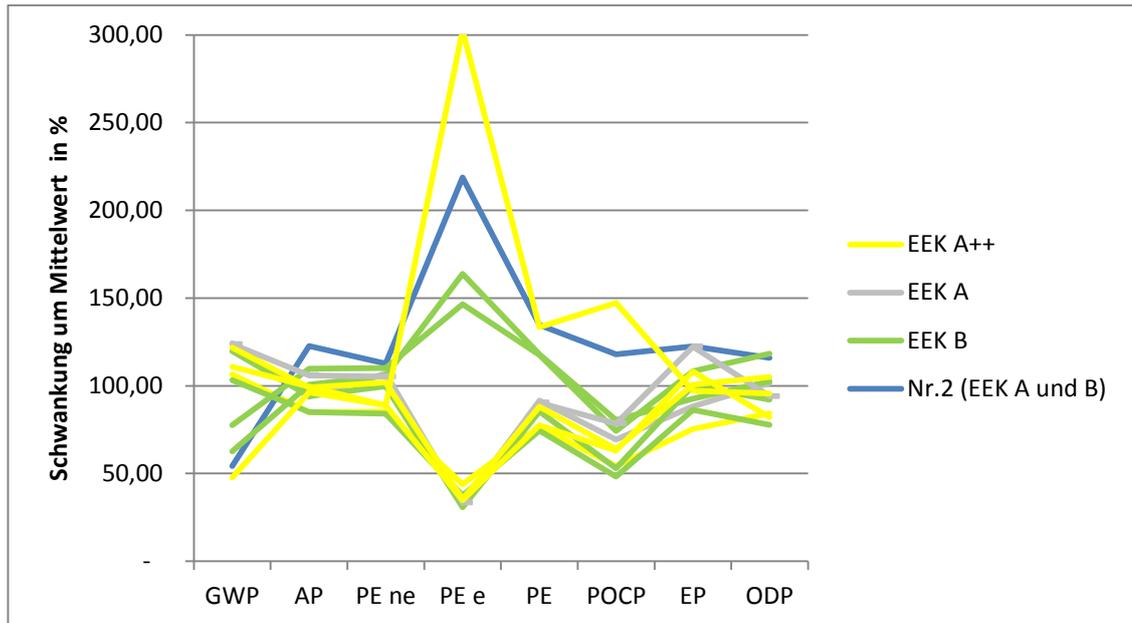


Abbildung 13: Schwankung der Indikatorwerte aus Errichtung und Erneuerung um den Mittelwert; BGF bezogen; inklusive Hervorhebung der Energieeffizienzklasse
Quelle: Eigene Darstellung

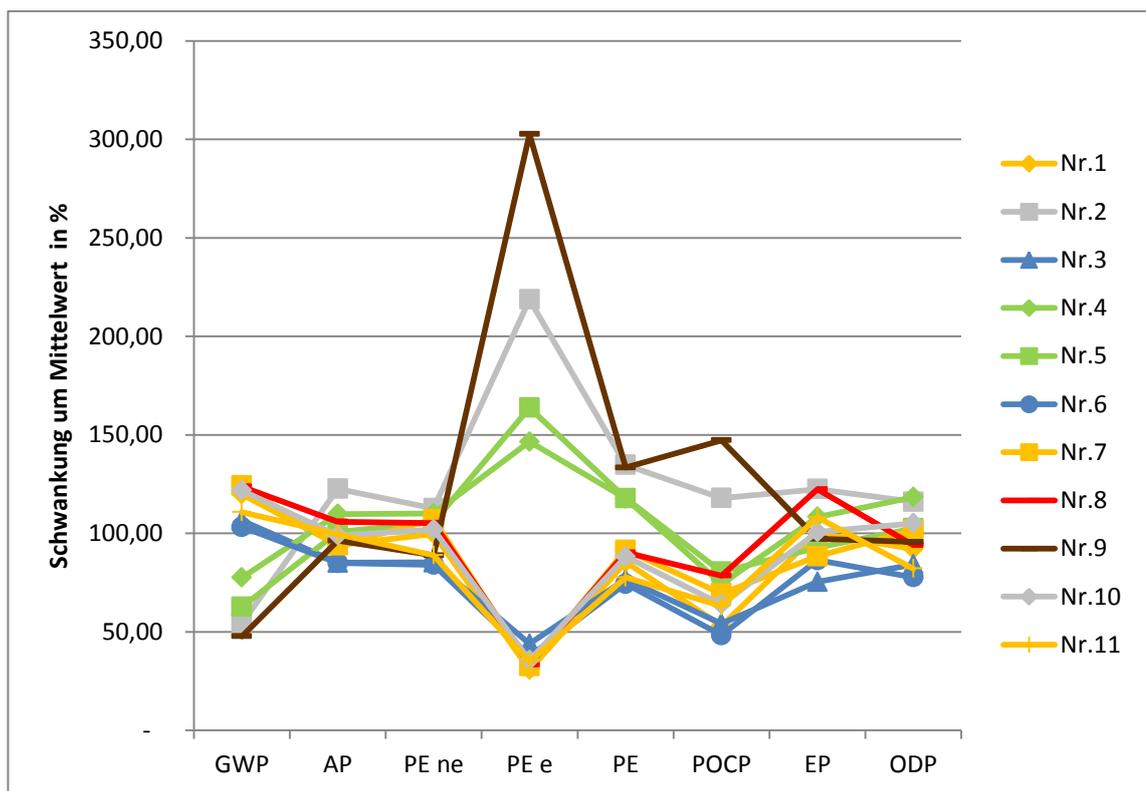


Abbildung 14: Schwankung der konstruktionsbedingten Indikatorwerte um den Mittelwert; BGF bezogen; ; inklusive Hervorhebung der unterschiedlichen BGF/kond.BGF-Verhältnisse
Quelle: Eigene Darstellung

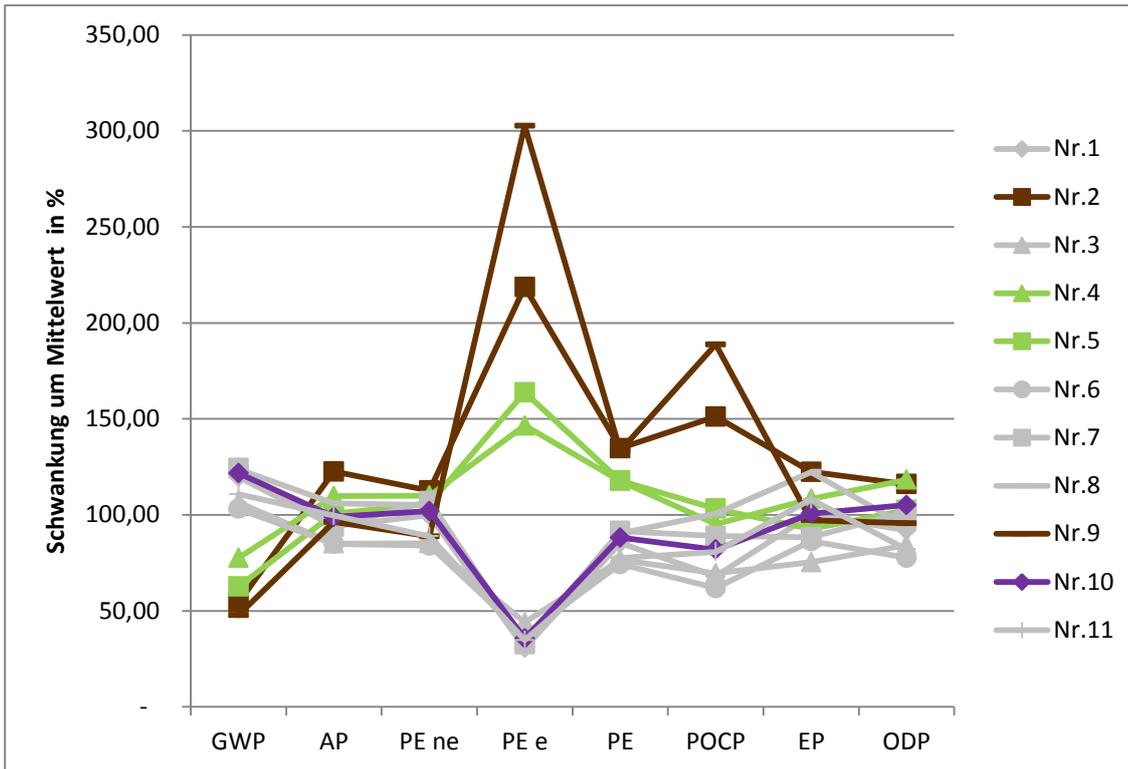


Abbildung 15: Schwankung der Indikatorwerte aus Errichtung und Erneuerung um den Mittelwert; BGF bezogen; inklusive Markierung der Bauweise
Quelle: Eigene Darstellung

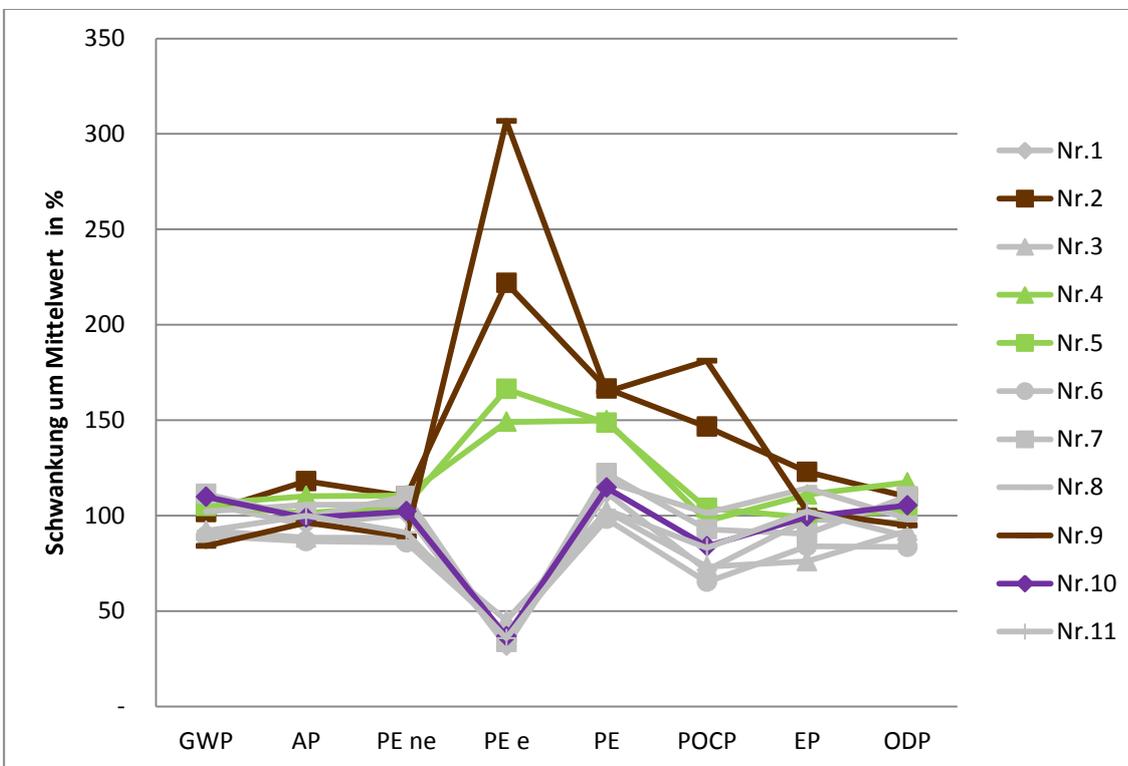


Abbildung 16: Schwankung der konstruktionsbedingten Indikatorwerte um den Mittelwert; BGF bezogen
Quelle: Eigene Darstellung

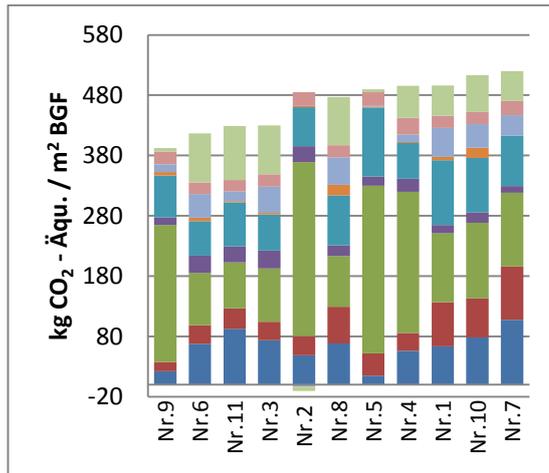


Abbildung 17: GWP, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

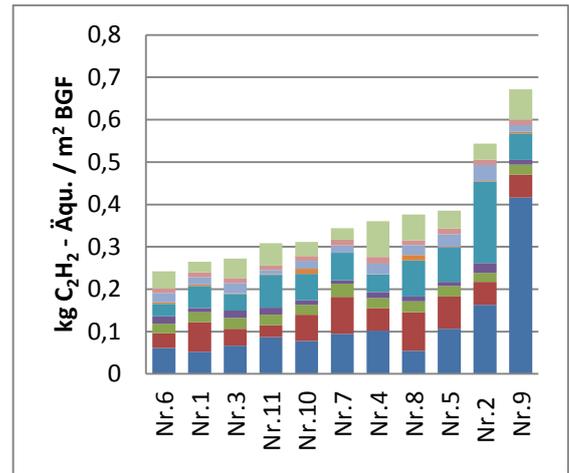


Abbildung 20: POCP, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

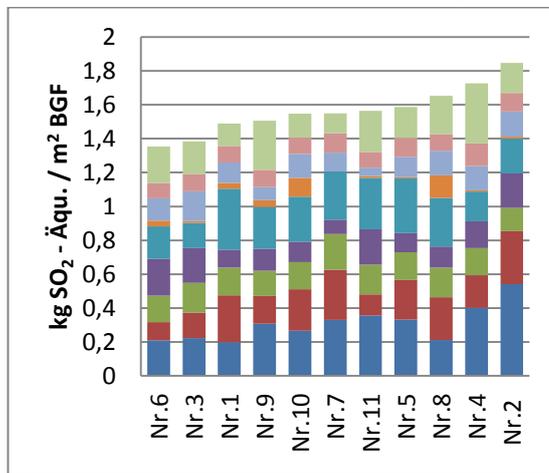


Abbildung 18: AP, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

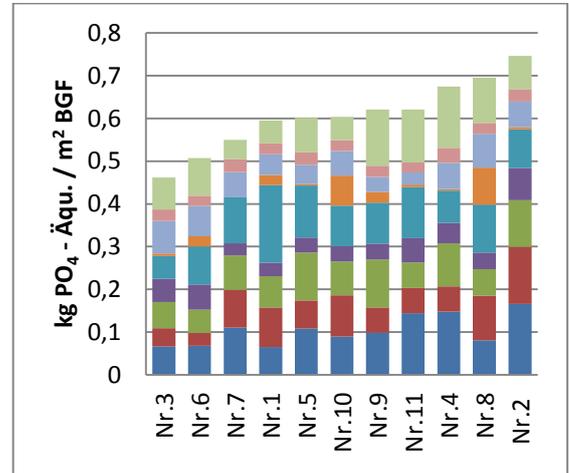


Abbildung 21: EP, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

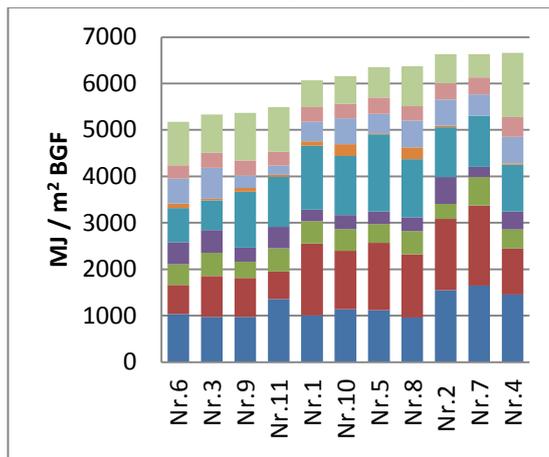


Abbildung 19: PE ne, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

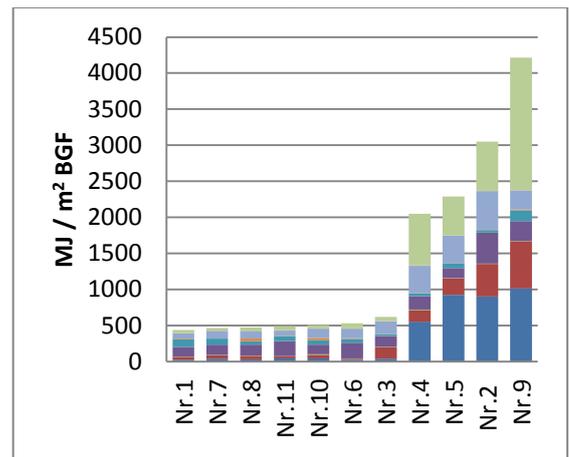


Abbildung 22: PE e, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

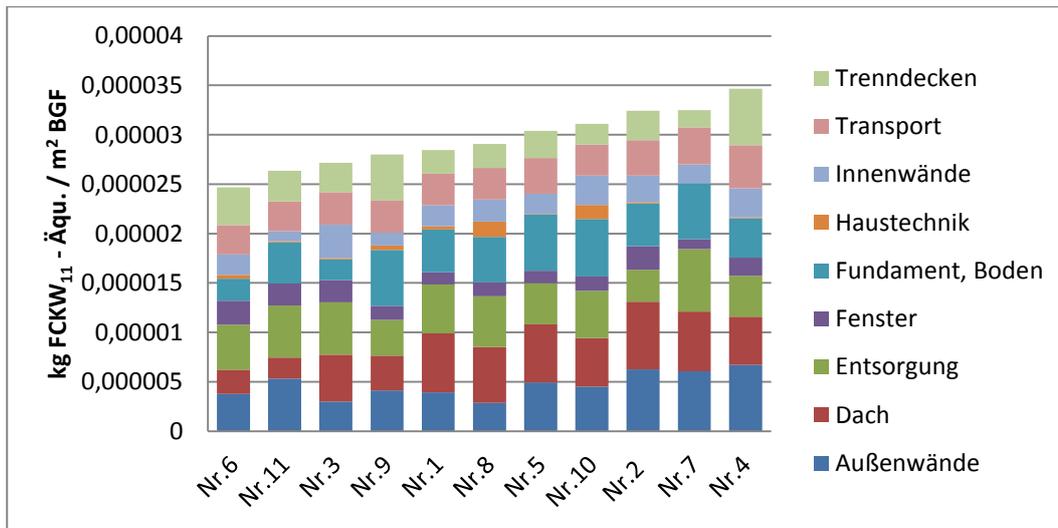


Abbildung 23: ODP, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

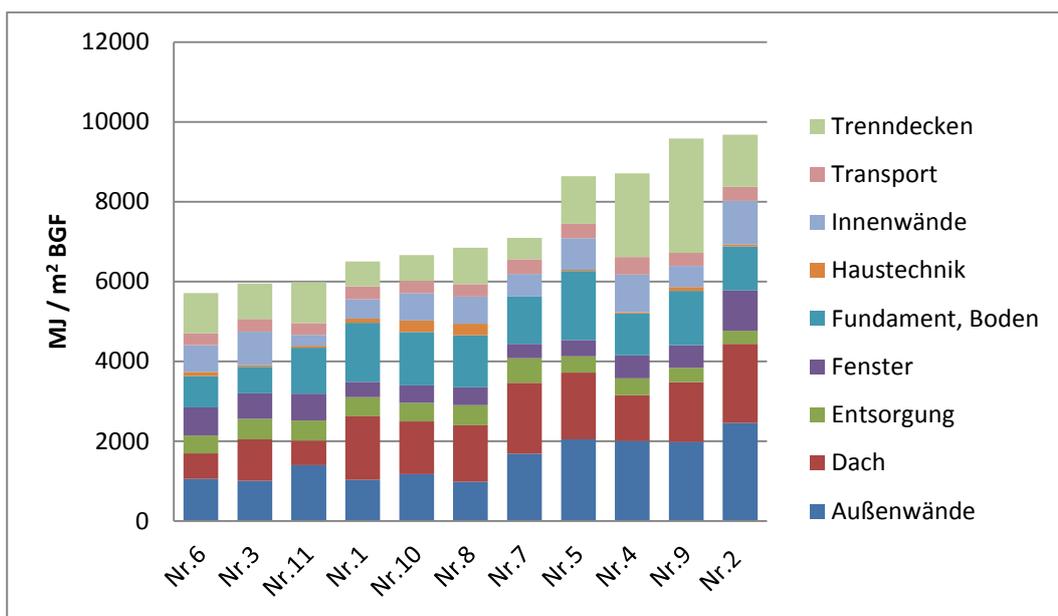


Abbildung 24: PE, Konstruktionsphase
Quelle: Eigene Darstellung

Treibhausgaspotential (Abbildung 17)

Das GWP wird hauptsächlich (bis zu 60%) von der Entsorgungsphase bestimmt wie bereits oben erwähnt. An den Projekten Nr.2 und Nr.6 wird neben der Holzverbrennung ein weiterer maßgeblicher Einflussfaktor auf die Entsorgungsphase erkennbar: die Verbrennung von PE-Dichtungsbahnen in Holzbauten (Abbildung 25).¹⁰⁶ Unsicher ist jedoch die Entwicklung zukünftiger Entsorgungstechnologien; den Ergebnissen liegen Annahmen für

¹⁰⁶ Nicht berücksichtigt wird in den Szenarien, dass bei der Verbrennung von Holz und Kunststoffen auch Energie gewonnen wird. Dafür könnten Gutschriften in Modul D gemäß EN 15978 angerechnet werden.

Entsorgungsprozesse nach heutigem Kenntnisstand und eine Gebäudenutzungsdauer von 100 Jahren zugrunde. Die reale Situation in 100 Jahren kann von diesen Annahmen erheblich abweichen.

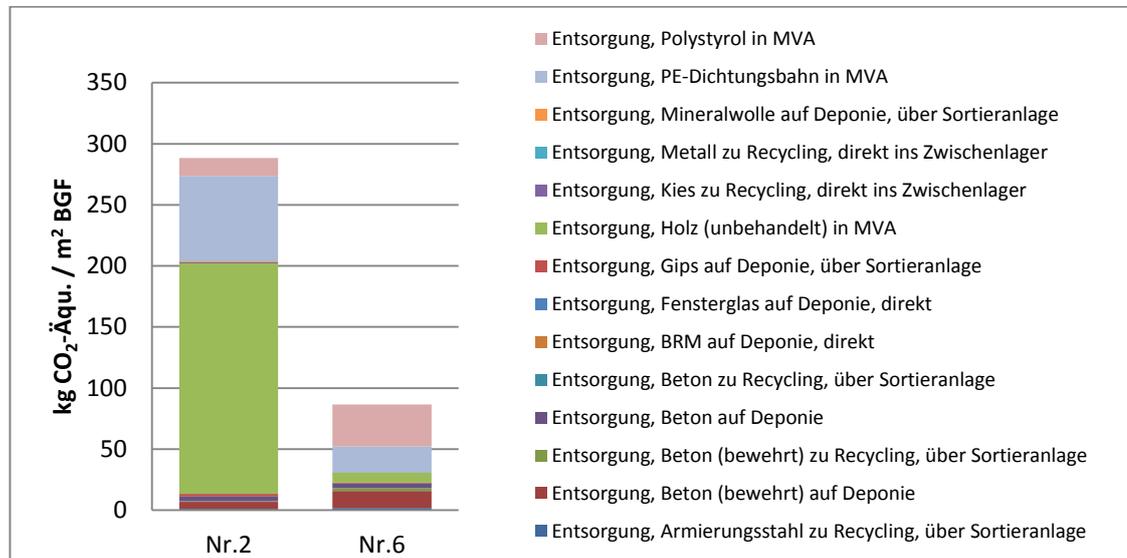


Abbildung 25: Analyse der GWP-Werte in der Entsorgungsphase – ein Vergleich der Projekte Nr.2 (Holzmassivbauweise) und Nr.6 (Massivbauweise-STB)
Quelle: Eigene Darstellung

Die Optimierungspotentiale für das GWP liegen bei Massivbauten z.B. bei den Trenndecken, die bis zu 20% des GWPs verursachen. Die Ausführung der Trenndecken bei den Projekten mit den niedrigsten GWPs erfolgte mittels Brettsperholz (Nr.5 und Nr.2) und Brettschichtholz (Nr.9). Die Situation bei den Innenwänden ist vergleichbar, auch wenn sie nur max. 10% des GWP verursachen.¹⁰⁷

Bei den Haustechnikkomponenten kommen ausschließlich die Solarkollektoren der Projekte Nr.8 und Nr.10 zum Tragen. Bei Nr.9 sind zwar ebenfalls Solarkollektoren installiert, jedoch mit deutlich geringerer Fläche.

Die GWP-Anteile der Innenwände erreichen ca. 10% (beim PE ne ca.13%); jene der Fenster ca. 7% (beim PE ne ca. 10%). Werden die Indikatorwerte der Fenster als relevant angesehen, sollten konsequenterweise auch Innenwände mit bilanziert werden.

Bei Nr.9 wurde das Dach, dessen Aufbau im Projektvergleich das niedrigste GWP hat, mit Brettschichtholz und einer EPS-Dämmung ausgeführt. Das Dach von Nr. 7 ist als Umkehrdach mit STB und einer XPS- sowie EPS-Dämmung realisiert. Die Begründung für das relativ schlechte Abschneiden des Projekts Nr.7 liegt in der Gebäudegeometrie, da die Dachfläche einen hohen Anteil an der gesamten Konstruktionsfläche hat. Es wurden projektweise die GWP-Werte der Dachkonstruktionen auf Korrelation mit dem Anteil der Dachfläche an der Gesamtkonstruktionsfläche geprüft. Innerhalb der STB-Bauten beträgt der Korrelationskoeffizient 0,93; die Gebäudegeometrie hat also einen messbaren Einfluss auf die spezifischen GWPs. Grafisch ist dieser Zusammenhang in Abbildung 26 aufbereitet.

¹⁰⁷ Die tragende Struktur der Innenwände besteht bei Nr.5 und Nr.2 aus Brettsperholz, bei Nr.9 aus Brettschichtholz und STB.

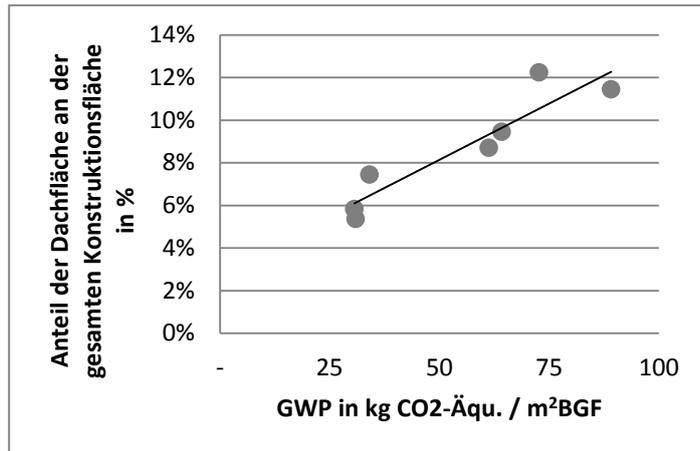


Abbildung 26: Korrelation der spezifischen Indikatorwerte der Dachaufbauten mit den jeweiligen Dachflächenanteilen in Bezug auf die gesamte Konstruktionsfläche (innerhalb der STB-Bauten)
Quelle: Eigene Darstellung

Außenwände verursachen bis zu ca. 20% des GWP. Die Außenwände der Projekte Nr.7 und Nr.11 fallen durch hohe Indikatorwerte auf; sind in ihren Aufbauten aus STB und EPS bzw. STB und XPS (bei erdberührten Bauteilen) allerdings nicht weiter ungewöhnlich. Der, im Vergleich zur restlichen Außenwandfläche, große Kelleranteil erklärt das höhere, spezifische GWP. Nr.9 und Nr.5 haben Außenwände aus Brettschichtholz bzw. Brettsperrholz; zudem sind die Flächenanteile der Kellerwände, die ebenfalls aus STB und XPS bestehen, bei diesen Projekten viel geringer – insgesamt schneiden sie BGF-bezogen daher am besten ab.

Versauerungspotential (Abbildung 18)

Abbildungen 27 und 28 zeigen das Versauerungspotential, den nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt sowie die Masse der jeweiligen Baustoffgruppen der Projekte Nr.2 und Nr.6. Gewählt wurden die beiden Projekte, da sie das größte bzw. niedrigste AP aufweisen. Mit 100% sind die Ökobilanzergebnisse aus den Phasen Errichtung und Erneuerung (Modul A1-3, A5 und Teile von B4) definiert. Bei Projekt Nr.2 haben die genaueren Analysen gezeigt, dass vor allem die Bauteilschicht Steinwolle-Putzträgerplatte, die in einem AW-Aufbau eine Dicke von 16cm erreicht, für das vergleichsweise schlechte Abschneiden verantwortlich ist. Das Versauerungspotential wird beim Holzmassivbau Nr.2 außerdem von den Baustoffgruppen „Dämmung“, „Holz“¹⁰⁸, sowie „Folie aus PE“¹⁰⁹ und beim STB-Bau Nr.6 von den Gruppen „Massive Baustoffe, Schüttung“, „Glas“ sowie „Dämmung“ bestimmt. Daraus erklärt sich, dass vor allem die Bauteile der thermischen Gebäudehülle: Außenwand, Fundament/Boden und Dach zum AP beitragen.

¹⁰⁸ V.a. Brettsperrholz.

¹⁰⁹ PE: Polyethylen.

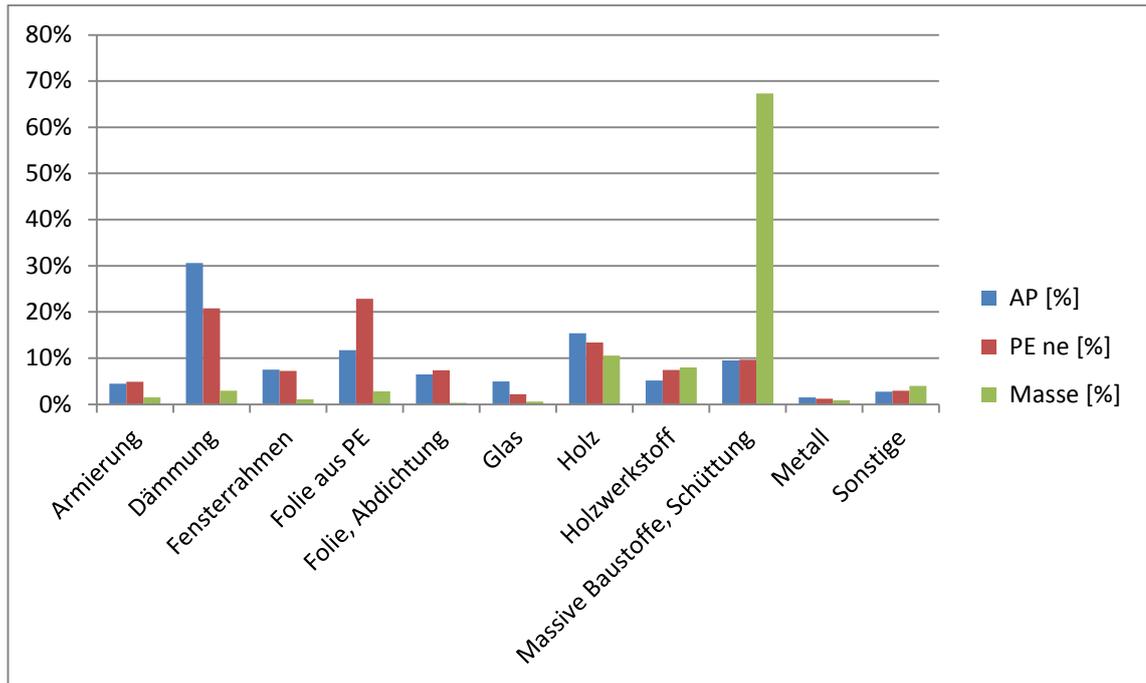


Abbildung 27: AP, PE ne und Masse in Prozent der Phasen Errichtung und Erneuerung; Projekt Nr.2
Quelle: Eigene Darstellung

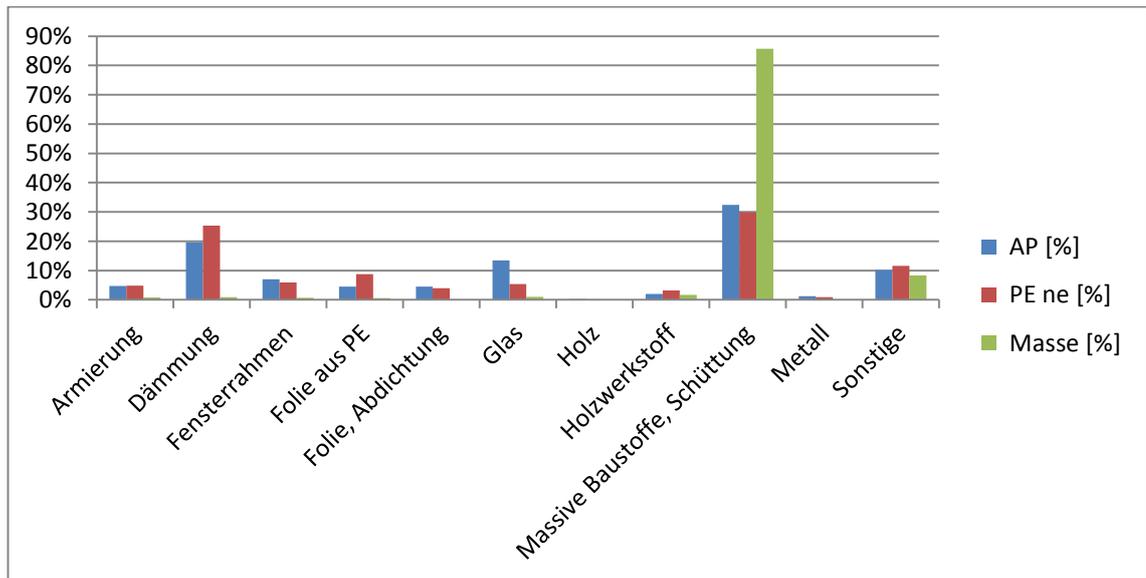


Abbildung 28: AP, PE ne und Masse in Prozent der Phasen Errichtung und Erneuerung; Projekt Nr.6
Quelle: Eigene Darstellung

Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar (PE ne) (Abbildung 19)

Beim PE ne ist der Einfluss der Bauteile der thermischen Gebäudehülle noch größer als beim AP. Betrachtet man den Sachverhalt bei den einzelnen Baustoffgruppen spiegelt sich die Ähnlichkeit der Verursacher der Umweltwirkungen wider (Abbildungen 27 und 28). Wie auch beim AP tragen vor allem die Bauteile der thermischen Gebäudehülle wie Außenwand, Fundament/Boden und Dach zum PE ne bei.

Primärenergieinhalt, erneuerbar (PE e) (Abbildung 22)

Der PE erneuerbar setzt sich aus dem erneuerbaren Energieverbrauch für die Herstellung sowie der in den Baustoffen gespeicherten erneuerbaren Energie zusammen. Auf diesen Indikator haben daher lediglich Holzmassiv- bzw. Mischbauten einen Einfluss, was sich in den Ergebnissen widerspiegelt. Lediglich die Holzmassivbauten Nr.2 und Nr.9 sowie die Mischbauten Nr.4 und Nr.5 haben nennenswerte Primärenergieinhalte aus erneuerbaren Ressourcen. Der Einsatz von Holzkonstruktionen kann bei diesem Indikator gut nachvollzogen werden (bspw. der Trenndecken, Innenwände, Dachaufbauten und Außenwände der o.g. Projekte).

Photochemisches Ozonbildungspotential (Abbildung 20)

Eine genauere Aufbauten-Studie bei den Projekten Nr.9 und Nr.2, welche die höchsten POCPs haben, ergab, dass ein Bauprodukt als Verursacher besonders herausragt – der Bitumenanstrich in den Kellerwänden und im Fundament. Weitaus geringeren, aber dennoch relevanten Einfluss haben die Brettschicht- sowie Brettsperrholz- und die Steinwolle-Dämmung. Diese Ergebnisse bestätigen die Studie von Lipp (2009). Bei den restlichen Bauprojekten wurden die Abdichtungsebenen der erdberührten Bauteile nur mit Polymerbitumen-Dichtungsbahn oder mit Alu-Bitumendichtungsbahn bilanziert. Besonders beim Aufbau der Abdichtungsebenen ist also auf Präzision in den Eingaben zu achten; es ist eine konsequente Bilanzierungsmethode – mit oder ohne Bitumenanstrich – zu wählen.

Eutrophierungspotential (Abbildung 21)

Dieser Indikator hat große Ähnlichkeiten mit dem Versauerungspotential. Die Auswirkungen der Haustechnikkomponenten und insbesondere der thermischen Solaranlage sind hier am größten und erreichen bis zu 12,5% des gesamten EP. Im Vergleich dazu reicht dieser Beitrag bei den anderen Indikatoren nie über 5%.

Ozonabbaupotential (Abbildung 23)

Auffallend hoch ist im Vergleich zu den anderen Indikatoren das Ozonabbaupotential aus dem Transport und zwar bei allen Projekten. Im Mittel haben die Transportprozesse einen Anteil von 11,7%, der Maximalwert liegt bei 12,7%. Ansonsten sind keine Bauphasen oder -teile hervorstechend; die Umweltwirkungen sind gleichmäßig darauf verteilt.

Primärenergieinhalt gesamt (PE) (Abbildung 24)

Beim PE haben Holzmassiv- bzw. Mischbauten die höchsten Wertergebnisse. Die Auswirkungen des hohen Primärenergieinhalts kommen wiederum im GWP, dort insbesondere in der Entsorgungsphase, zum Ausdruck.

Zusammenfassend hat die Holz- als auch Mischbauweise je nach zeitlicher Bilanzgrenze Vorteile beim GWP, wobei eine Brettschichtholz-Tragstruktur noch vor jener aus Brettsperrholz rangiert. Der vermehrte Einsatz von Folien und Abdichtungen bei Holz- und Mischbauten wirkt sich negativ auf das GWP in der Entsorgungsphase aus. Der GWP-Indikator reagiert sensitiv auf das Verhältnis AW-Flächen zu KW (Kellerwand)-Flächen (mit XPS-Dämmung). Die Aussage der Studie von Lipp (2009) kann als bestätigt angesehen werden. Der Indikator POCP wird maßgeblich durch bituminöse Anstriche der thermischen Gebäudehülle determiniert. In der Praxis ist es günstig, gezielt bituminöse Anstriche, wenn möglich, zu vermeiden, sowie das l_c -Verhältnis¹¹⁰ günstig zu halten.

¹¹⁰ l_c : charakteristische Länge in m ist ein Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes und definiert als Kehrwert des A/V-Verhältnisses.

Offen bleibt, wie sich die Optimierung der Dämmung, z.B. mit Zellulose auf die einzelnen Indikatoren auswirken würde und welche Optimierungspotentiale darin noch liegen.

Zu hinterfragen ist die methodische Vorgehensweise, dass die tragenden Bauteile der Holzbauten mit 50 Jahren Nutzungsdauer angesetzt sind.¹¹¹ Dies würde im Verlauf eines Lebenszyklus von 100 Jahren einem völligen Neubau des Gebäudes gleichkommen; eine vermutlich praxisferne Annahme, die zur Benachteiligung der Holzbauweise führt.

8.1.2 Energieversorgung

Abbildung 29 zeigt die Schwankung der nutzungsbedingten, spezifischen Indikatorwerte (Modul B6) um den Mittelwert, angegeben in Prozent. Zusätzlich dargestellt sind die Endenergiebedarfswerte (EEB) in kWh/m²BGF*a. Deutlich erkennbar ist die Bildung von zwei Hauptgruppen. Einerseits sind das die Fernwärme-versorgten Projekte mit den Nummern 2, 3, 4, 5 und 11 (rot markiert), andererseits die Projekte Nummer 1, 6, 7, 8 und 9. Die blaue Markierung kennzeichnet eine Versorgung mit Erdgas (Projekte Nr. 1, 6, 9), während die Farbe Grün eine Kombination von Erdgas mit Solar markiert (Projekte Nr. 8 und 9). Nr.10 ist mit einer Versorgung von Pellets und Solar keiner der Gruppen zuzuordnen. Durch die farbliche Hervorhebung der Energieträger, lässt sich deren Einfluss sehr deutlich erkennen. Die Frage ist nun, welches der Versorgungssysteme nach diesen Ergebnissen das umweltfreundlichere ist?

Auf den ersten Blick liegen die Erdgas-versorgten Projekte bei den meisten Indikatoren über der 100% Linie – haben also überdurchschnittlich hohe Ökobilanzergebnisse. Eine Ausnahme bildet selbstverständlich der Indikator PE e, auf den das Erdgas keinerlei Auswirkung hat – all jene Projekte bündeln sich also in einem Punkt. „Ausnahmen“ sind die Indikatoren AP, EP und PE, bei denen keine klare Abgrenzung mehr von Erdgas und FW (Fernwärme)-versorgten Projekten erkennbar ist.

Projekt Nr.1 und Projekt Nr.6 haben praktisch identische EEB-Werte, dennoch gehen ihre ÖPs stark auseinander. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Verhältnissen der konditionierten BGF zur BGF gesamt (inkl. Puffer- und Kellerräume). Nr.6 hat eine kleine Garage; Nr. 1 im Vergleich dazu eine sehr große UG-Fläche, was die Ökobilanzergebnisse beeinflusst. Die Autorin schlägt deshalb vor, entweder betriebsbezogene Verbräuche (z.B. Beleuchtung der Tiefgarage) mit zu bilanzieren, oder in dieser Phase die kond.BGF als Bezugsfläche heranzuziehen. Die ÖP-Linien der Projekte Nr.1 und Nr.7 verlaufen annähernd parallel, was auf ein ähnliches Verhältnis der kond.BGF zur BGFgesamt hinweist (Tabelle 14). Der Abbildung 30 sind dieselben Daten zugrunde gelegt, diesmal allerdings auf m²kond.BGF bezogen, um den Einfluss der Bezugsfläche und den Effekt der Ergebnis-Verbesserung durch vergleichsweise große Garagenflächen, derer im Falle dieser Arbeit keine Betriebsverbräuche zugerechnet wurden, zu tilgen.

¹¹¹ Brettschichtholz ist eine Nutzungsdauer von 50 Jahren, Brettsperrholz von 100 Jahren hinterlegt.

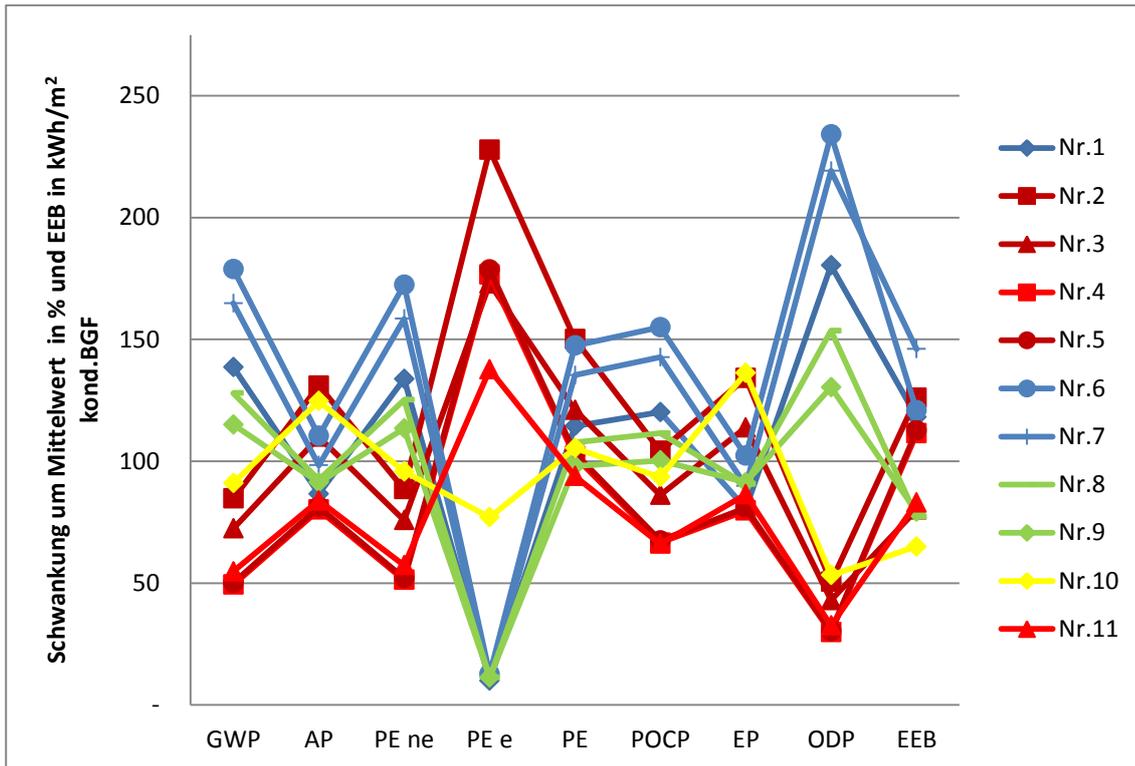


Abbildung 29: Schwankung der nutzungsbedingten Indikatorwerte pro m² BGF um den Mittelwert in Prozent. EEB in kWh/m² kond.BGF
Quelle: Eigene Darstellung

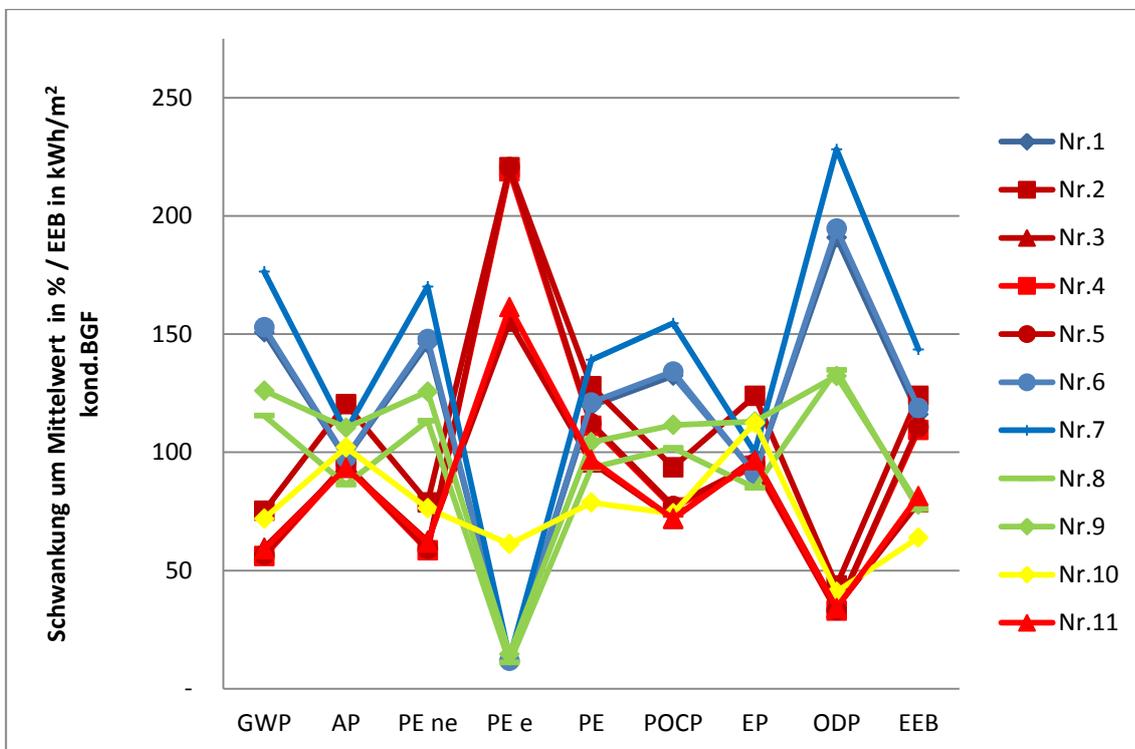


Abbildung 30: Schwankung der nutzungsbedingten Indikatorwerte pro m² kond.BGF um den Mittelwert in Prozent. EEB in kWh/m² kond.BGF
Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 30 ist nun ein deutlicher Zusammenhang zwischen EEB und ÖP gegeben. Ein gleicher EEB, sowie eine Versorgung mit demselben Energieträger haben nun gleiche Indikatorwerte zur Folge, so z.B. im Falle von Nr.1 und Nr.6. Eine Kombination von Erdgas mit Solar (Nr.8 und Nr.9) bringt im Vergleich zur reinen Erdgasversorgung eine deutliche Verbesserung des EEB und folglich auch der Ökobilanzergebnisse. Nr.10 (Pellets und Solar) ist vergleichbar mit den FW-Systemen, mit Ausnahme des PE e, bei dem Nr.10 deutlich niedrigere Indikatorwerte hat. Begründet liegt dies darin, dass der Strom zum Betrieb der Solaranlage keinen Einfluss auf diesen Indikator hat.

Nr.3 und Nr.11 haben eine sehr gute thermische Qualität (6-9 kWh/m² kond.BGF), was der EEK A++ entspricht. Nr.5 und Nr.4 gehören zur EEK B (ca. 30 kWh/m² kond. BGF). Interessant ist, dass sich dies lediglich auf den Indikator PE e auswirkt. Alle anderen Indikatoren bleiben offenbar von der thermischen Qualität unbeeinflusst (die ÖPs sind dann bei allen 4 Projekten gleich). Ursache dafür ist, dass die FW eigentlich nur auf den Indikator PE e Einfluss hat, die restlichen sind vom Stromverbrauch bestimmt, welcher unabhängig von der thermischen Qualität des Gebäudes ist. Nr.2 hat im Vergleich zu den anderen „FW-Projekten“ hohe Indikatorwerte; verantwortlich dafür ist der erhöhte Hilfsstrombedarf, da in diesem Energieausweis im Gegensatz zu den anderen der Hilfsstrom für die Lüftungsanlage inkludiert wurde.

Abbildungen 31 bis 38 zeigen genauer den Einfluss einzelner Energieträger und Bereiche (Heizung, Warmwasser etc.) während der Betriebsphase auf die verschiedenen Ökobilanzindikatoren. Der Einfachheit halber wurde die für alle Abbildungen gültige Legende nur in Abbildung 38 dargestellt. Anders als bei den restlichen Auswertungen wurden für die Projekte Nr.9 und Nr.10 erweiterte Verbrauchs-Daten aus PHPP-Berechnungen herangezogen. Ist bei den restlichen Projekten nur eine Gliederung in „Haushaltsstrom“, „Hilfsstrom“ und „RW/WW“ (Bereitstellung der Raum- und Warmwasserwärme) möglich, kann aus den PHPPs der Hilfsstrom genauer ausgelesen und differenziert werden in „Strom Solar“, „Strom Lüftung“, „Strom Trinkwasser“, und „Strom Heizung“. Die beiden letzteren sind beim Projekt Nr.10 in „Strom Heizung, WW“ zusammengefasst.

Untenstehende Tabelle stellt die Zusammenhänge zwischen den Stellschrauben der Betriebsphase und den Ökobilanzindikatoren dar. Ein Minus steht für einen negativen Zusammenhang (je weniger, desto weniger), ein Plus für einen positiven (je mehr, desto mehr). Der Sachbilanzindikator PE ist der Einzige, der auf alle Parameter reagiert und sie gemeinsam abbildet.

Tabelle 20: Zusammenhang zwischen Ökobilanzindikatoren und Energieverbrauchsparametern
Quelle: Eigene Darstellung

Indikator	Energieeffizienz (EEB)	Strom	Erdgas	Fernwärme/ Pellets
GWP	-	+	+	
AP		+		
PE e	-			+
PE ne	-	+	+	
PE	-	+	+	+
POCP	vor allem durch Konstruktion bestimmt			
EP		+		
ODP	-		+	

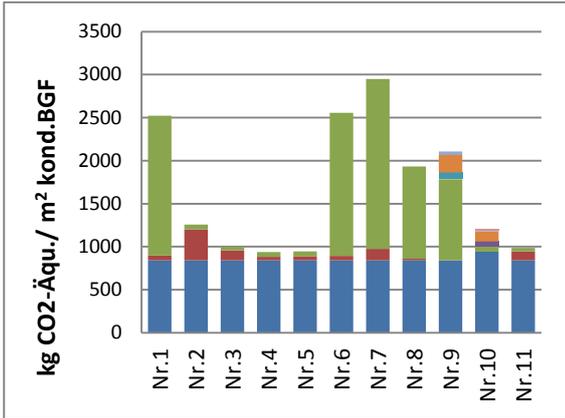


Abbildung 31: GWP, Nutzungsphase

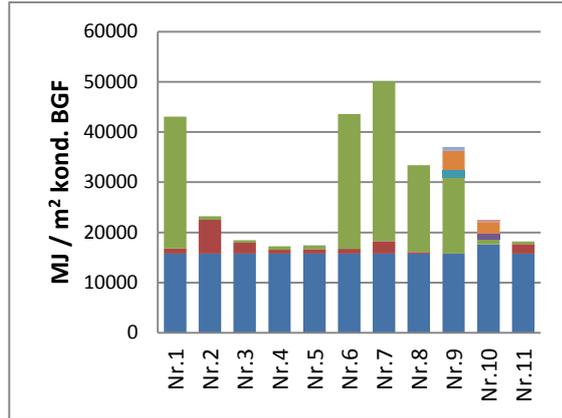


Abbildung 35: PE ne, Nutzungsphase

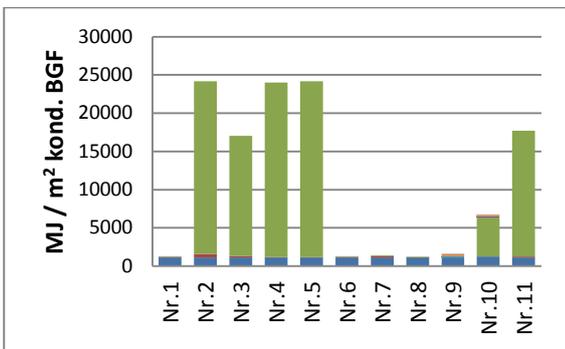


Abbildung 32: PE e, Nutzungsphase

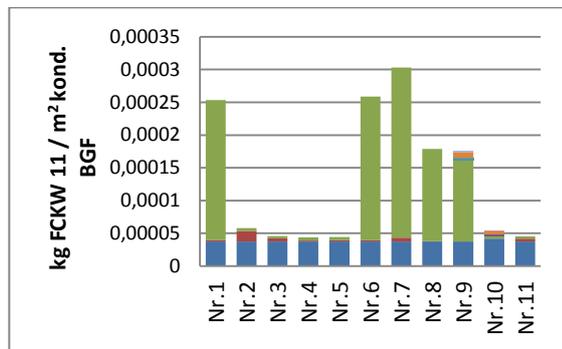


Abbildung 36: ODP, Nutzungsphase

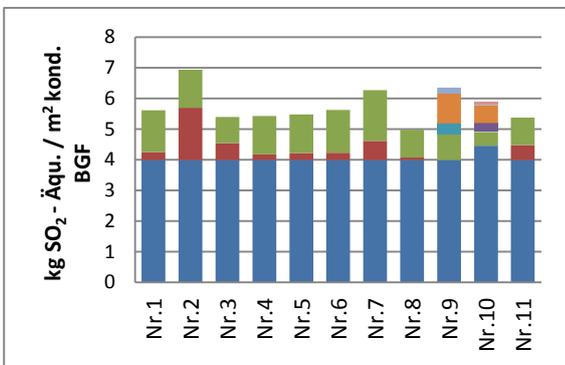


Abbildung 33: Versauerung, Nutzungsphase

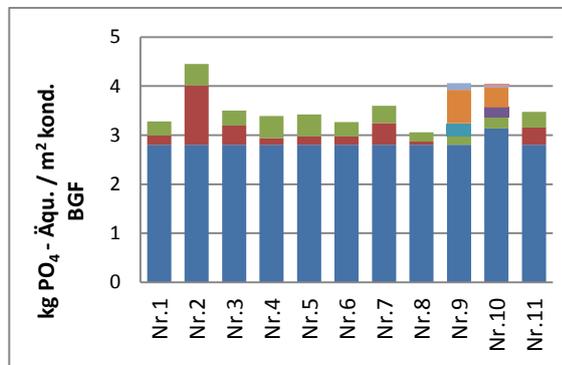


Abbildung 37: EP, Nutzungsphase

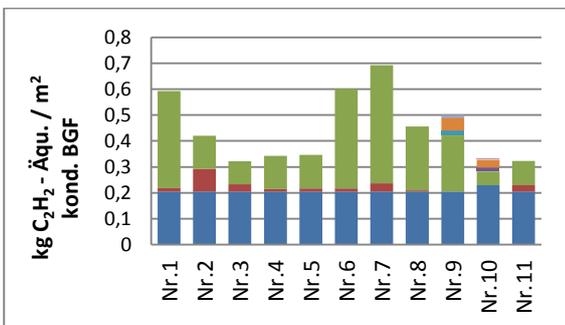


Abbildung 34: POCP, Nutzungsphase

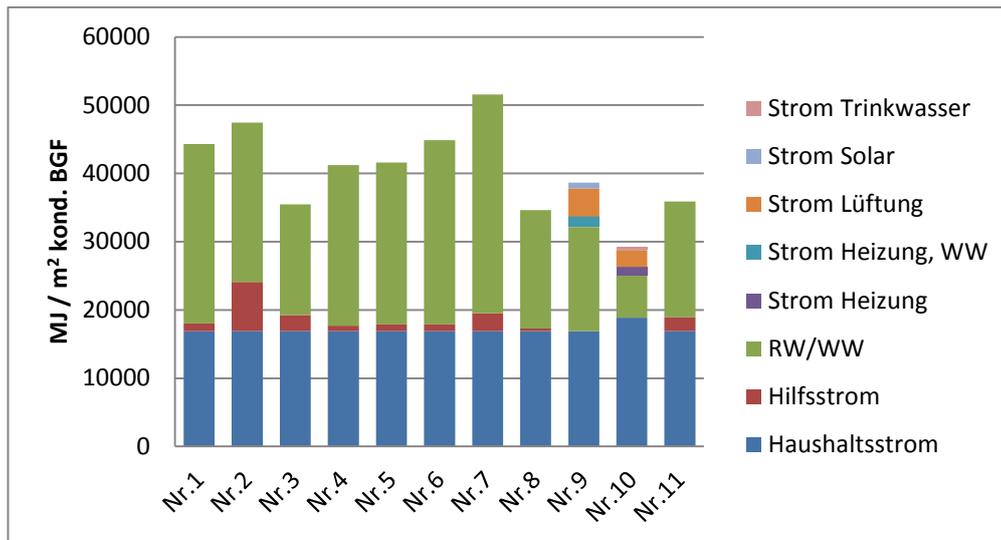


Abbildung 38: PE, Nutzungsphase

Erneuerbare Energieträger sind grundsätzlich vor nicht erneuerbaren zu bevorzugen. Eine Steigerung der thermischen Qualität wirkt sich auf den Energiebedarf für RW aus, nicht jedoch auf den WW- oder Strombedarf. Letztere sollten deshalb in einer Bewertung unbedingt miterfasst werden. Während das für den WWWB bereits der gewöhnlichen Praxis entspricht, muss dies beim Strombedarf noch nachgeholt werden.

Wird die Energie zum Betrieb von Keller- und Pufferräumen mit bilanziert, kann als Bezugsfläche die BGFgesamt gewählt werden, ansonsten ist die kond.BGF zu bevorzugen. Für eine Gesamtbewertung eignet sich besonders der Indikator PE – in Kombination mit PE ne oder PE e – vor allem wenn unterschiedliche Energieträger (erneuerbar und nicht erneuerbar) kombiniert werden, da er als einziger auf alle Parameter (Energieeffizienz, erneuerbare sowie nicht erneuerbare Energieträger für RW und Strombedarf) reagiert.

8.1.3 Ökobilanzindikatorwerte nach Modulen laut ÖNORM 15978 (2012)

In diesem Unterkapitel werden nun die Daten aus Kapitel 8.1.1 und 8.1.2 kombiniert. Trade-Offs können so sichtbar gemacht werden. Konstruktionsbedingte Ökobilanzergebnisse der Phasen Errichtung (Module A1-3+A5), Austausch (Modul B4), Transport (Modul A4) und Entsorgung (Module C2+C4) sind in bläulichen Farbtönen gehalten, nutzungsbedingte (Modul B6) sind in Rot abgebildet. Für alle Phasen wurde hier die gleiche Bezugsgröße (BGFgesamt) gewählt. Mit der in Kapitel 8.1.2 beschriebenen Problematik bezüglich der Betriebsphase¹¹² ist hier noch eine optimalere Lösung zu finden. Alle Abbildungen sind, insofern nicht anderes angegeben, von der Autorin selbst erstellt worden. Der Einfachheit halber wurde die für alle Abbildungen gültige Legende in nur zweien dargestellt (Abbildungen 39 bis 46).

Die Prozentanteile von nutzungs- und konstruktionsbedingten Ökobilanzergebnissen schwanken je nach Indikator, aber auch innerhalb der Indikatoren stark. Die Konstruktionsphase des Projekts Nr.4 erreicht beim GWP einen Anteil von 46%. Dieses Ergebnis ist vergleichbar mit den Aussagen von Hampel (2012) (Kapitel 5.1)¹¹³. Interessanterweise ist Projekt Nr.4 ein Gebäude von mittlerer thermischer Qualität mit der EEK B. Warum ist der Anteil der Konstruktionsphase am GWP dann so hoch? Der Heiz- und

¹¹² Im Kapitel 8.1.2 konkludierte die Autorin, dass es für die Nutzungsphase sinnvoller wäre als Bezugsgröße die kond.BGF zu wählen, wenn keine Verbräuche im Betrieb der Puffer- und Kellerräume bilanziert sind, wie es in dieser Arbeit der Fall ist.

¹¹³ Bei einem Passivhaus mit PV-Anlage in Holzbauweise erreicht nach seinen Erkenntnissen die Konstruktionsphase einen Anteil von 50% am GWP.

Warmwasserbedarf wird bei Projekt Nr. 4 mit Fernwärme gedeckt, wie in Kapitel 8.1.2 erläutert hat dieser Energieträger keinen Einfluss auf das GWP. Verursacher von Umweltwirkungen beim GWP ist also lediglich der Strombedarf. Auf das nutzungsbedingte, spezifische GWP hat das Verhältnis von kond.BGF zu BGF einen wesentlichen Einfluss (Kapitel 8.1.2). Projekt Nr.3 beispielsweise hätte eine höhere Energieeffizienz (EEK:A++; Energieträger: Fernwärme), aber ein schlechteres Bezugsflächenverhältnis. Folglich ist bei Nr.3 das spezifische, nutzungsbedingte GWP höher und das konstruktionsbedingte relativ geringer.

Die Lebensdauern der Gebäude wurden mit 100 Jahren gewählt, was sich natürlich auf die Betriebs-, aber auch die Konstruktionsphase insbesondere bei Holzbauten auswirkt. Bezüglich der Nutzungsdauer-Thematik für Holzbauten siehe Kapitel 8.1.1.

Beim PE e stechen Holz-/Mischbauten und erneuerbare Energieträger (Fernwärme) deutlich hervor. Das POCP hat die höchsten konstruktionsbedingten Anteile. Für die Begründung siehe Kapitel 8.1.1. Die Phase „Austausch“ kommt beim POCP des Projekts Nr.9 deshalb so stark zum Tragen, da der Hauptverursacher der Bitumenanstrich in den großflächigen Außenwandaufbauten ist. Beim Projekt Nr.2 hingegen wurde die Bauteilschicht Bitumenanstrich nur für erdberührte Bauteile bilanziert, die flächenmäßig einen geringen Anteil aufweisen. Bei diesem Projekt spielt für den POCP-Wert der Errichtungsphase das Brettsperrholz sogar eine wichtigere Rolle als der Bitumenanstrich.

Projekt Nr.2 schneidet bei den meisten Indikatoren schlecht ab, begründet liegt dies sowohl in der Konstruktion als auch im Betrieb. Bei letzterem ist wieder das Flächenverhältnis von kond.BGF zu BGF ausschlaggebend. Konstruktiv weist das Projekt einige Nachteile auf (hoher Anteil PE-Folien, Bitumenanstrich – siehe Kapitel 8.1.1); auch hier spielt die Gebäudegeometrie mit einer geringen Kompaktheit eine Rolle.

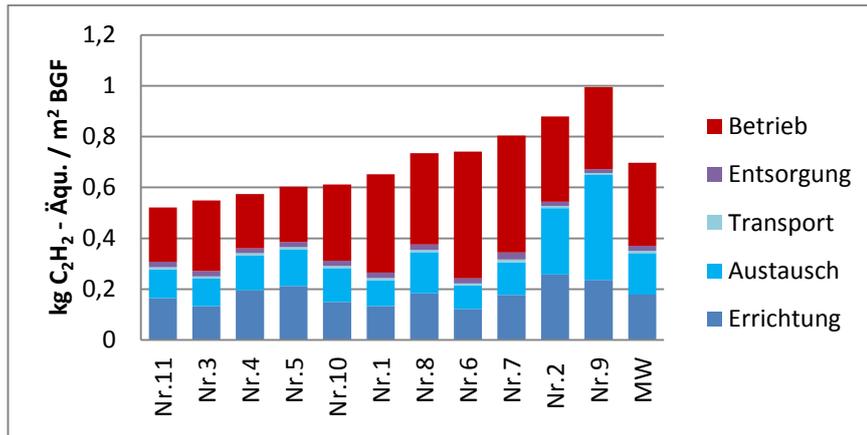


Abbildung 39: POCP, gesamtes LCA

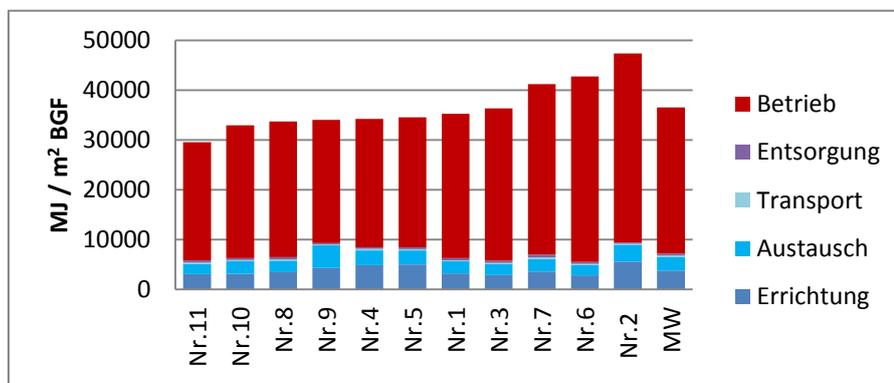


Abbildung 40: PE, gesamtes LCA

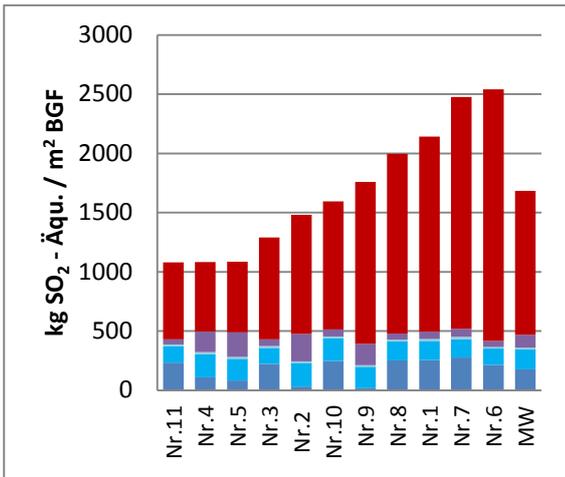


Abbildung 41: GWP, gesamtes LCA

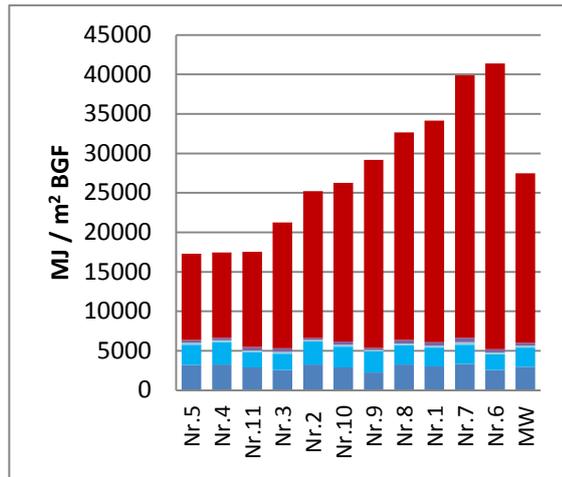


Abbildung 44: PE ne, gesamtes LCA

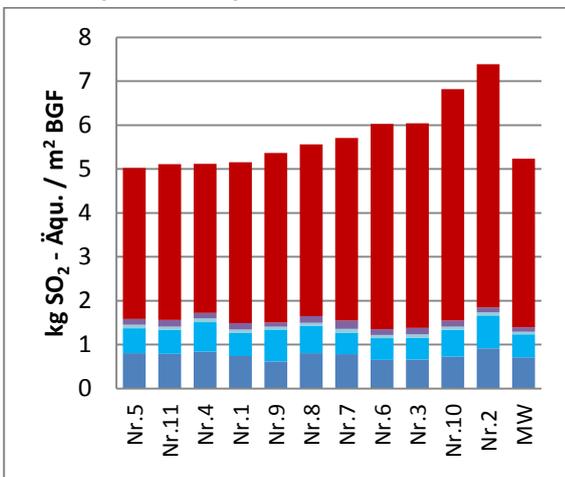


Abbildung 42: AP, gesamtes LCA

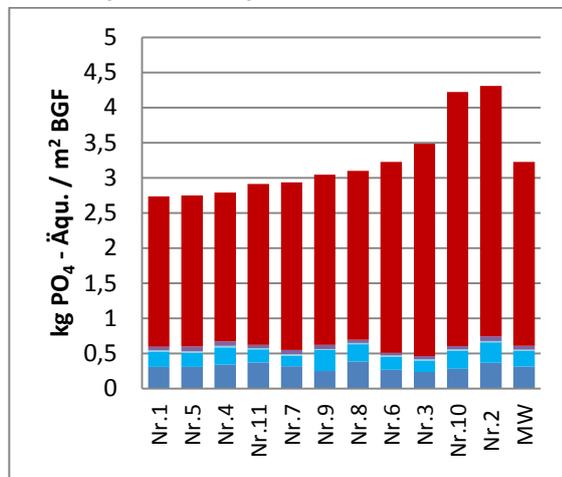


Abbildung 45: EP, gesamtes LCA

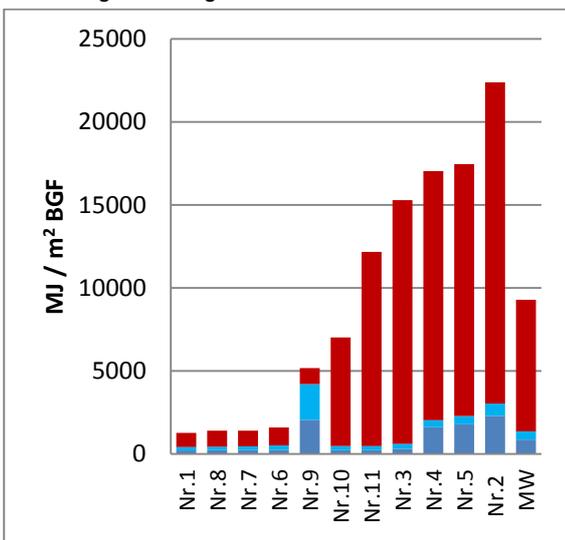


Abbildung 43: PE e, gesamtes LCA

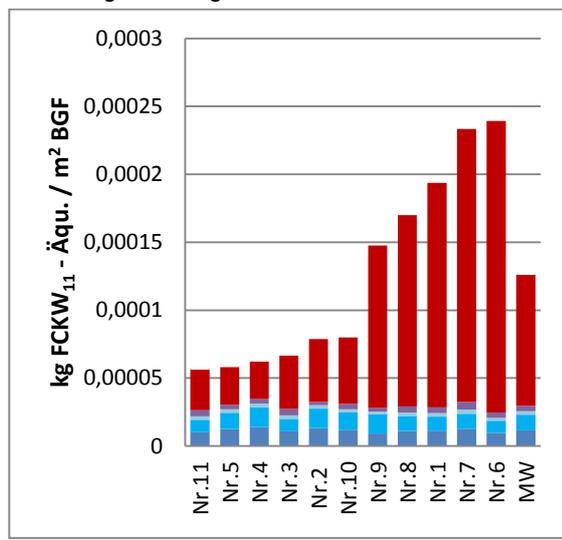


Abbildung 46: ODP, gesamtes LCA

8.2 Untersuchung auf Relevanz der einzelnen Ökobilanz-Indikatoren

Dieses Kapitel beschäftigt sich nun mit der Bestätigung/Widerlegung der anfangs definierten Hypothesen.

Grundsätzlich kann natürlich die Sinnhaftigkeit einer Reduktion der Anzahl der Indikatoren hinterfragt werden. Schließlich geht ihre Erstellung mit kaum weiterem, zeitlichem Aufwand einher. Trotzdem ist eine solche Vorgehensweise m.E. damit gerechtfertigt, dass die Auswertung der Ergebnisse, ebenso wie die Frage nach der Indikator-Addition und die Suche nach dem/der „umweltfreundlichsten“ Projekt/Variante wesentlich erleichtert werden. Zudem können sich dann Optimierungsansätze auf eine beschaulichere Anzahl von Indikatoren beschränken, das System verliert an Komplexität, wird verständlicher und auch leichter kommunizierbar. M.E. ist eher jene Vorgehensweise zu hinterfragen, wie sie derzeit im DGNB-Bewertungssystem praktiziert wird, in der alle Indikatoren berechnet und einzeln mittels Punktevergabe bewertet werden. Kann bei allen Indikatoren dieselbe maximale Punktezahl erreicht werden, fließen sie quasi gleich gewichtet in die Gesamtbewertung ein. Warum sollte einem Indikator, der wenig aussagekräftig ist, die gleiche Bedeutung beigemessen werden wie einem aussagekräftigem. Oder warum sollte ein Indikator, der stark mit einem anderen korreliert, noch in die Bewertung miteinfließen – wird dann nicht einfach dasselbe Ergebnis auf zwei unterschiedliche Arten dokumentiert?

Die ursprüngliche These lautete:

B.a.a Einzelne (Wirkungs-)Indikatoren sind dann für die Bewertung der ökologischen Qualität geeignet, wenn sie bei unterschiedlichen Bauprojekten auch signifikant unterschiedliche, numerische Werte annehmen. Bewegen sich einzelne Indikatoren im gleichen Rahmen haben sie für einen Vergleich keine Aussagekraft und sind für eine vergleichende Bewertung vernachlässigbar.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Aussagekraft je nach Bilanzgrenze variiert. Untersucht wurden die Bilanzgrenzen:

- Errichtungsphase (TGH (Thermische Gebäudehülle) + Innenwände + Haustechnik + unbeheizte Räume) (auf BGFgesamt bezogen)
- Errichtung + Erneuerung (auf BGFgesamt bezogen)
- gesamte Konstruktion (Errichtungsphase + Austausch + Transport + Entsorgung) (auf BGFgesamt bezogen)
- Betriebsphase (auf kond.BGF bezogen)
- gesamte Ökobilanz (auf BGFgesamt bezogen)

Die Ergebnisse und Aussagen sind in Tabelle 25 gesammelt.

Abbildung 47 zeigt die Differenzen der maximalen und minimalen Abweichungen zum Mittelwert von 100% für die einzelnen Indikatoren und in den verschiedenen Phasen. Wird der Mittelwert aller GWP-Werte mit 100% definiert, liegen der Maximalwert in der Errichtungsphase bei ca. 153% (Projekt Nr.7) und der Minimalwert bei ca. 10% (Projekt Nr.9). Die Differenz beträgt ca.143% und ist in Abbildung 47 visualisiert. Die Differenz ragt nie unter 25 % (PE ne) und reicht bis zu ca. 300% beim PE e. Im Bereich von 25% bis ca. 40% wurde die Aussagekraft der Indikatoren als bedingt angesehen; diese Vorgehensweise kann natürlich kritisch hinterfragt werden. In Zukunft wäre es interessant weitere Studien mit einer höheren Anzahl an Projekten durchzuführen, anhand derer die Ergebnisse bestätigt, respektive revidiert werden könnten.

Das AP weist für alle Phasen geringe Differenzen (bis max. 41%) auf, das EP bis max. ca. 49%. Die ODP Werte gehen nur in der Betriebsphase und in Folge auch in der Gesamtökobilanz auseinander, der Grund dafür liegt in der Sensibilität auf den Energieträger Erdgas (Kapitel 8.1.2). Aus diesem Grund erscheinen die Indikatoren AP und ODP für alle Phasen wenig aussagekräftig, beim EP trifft dies vor allem auf die Betriebsphase zu. Das POCP wird bei den Beispielprojekten, wie in 8.1.1. erläutert, von lösemittelhaltigen Produkten wie bituminösen Anstrichen bestimmt, und für eine vergleichende Bewertung daher nur mit Vorbehalt empfohlen. Das GWP scheint bis auf die Konstruktionsphase aussagekräftig zu sein. Die Situation beim PE ne verhält sich sehr ähnlich zum ODP. Der PE e weist erwartungsgemäß große Schwankungen auf, da allerdings in ihm keine Information für nicht-erneuerbare Baustoffe (z.B.: STB), oder Energieträger (z.B. Gas) enthalten ist, eignet er sich wie auch der PE ne, als Zusatzindikator zum PE, nicht jedoch als eigenständiger Indikator. Der PE scheint für alle Phasen aussagekräftig zu sein; mit steigender Bilanzgrenze nehmen die Abweichungen ab und erreichen in der Gesamtökobilanz nur mehr ca. 50%.

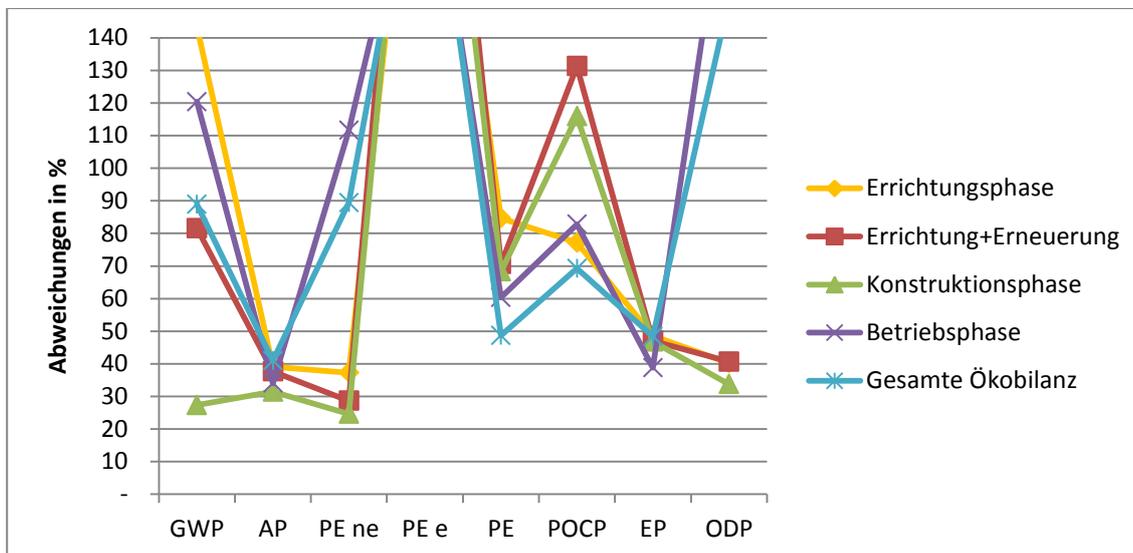


Abbildung 47: Aussagekraft der Ökoindikatoren nach Phasen
Quelle: Eigene Darstellung

Die weitere Sub-These betrifft die Korrelation der Indikatoren untereinander:

B.a.b. Wenn einzelne Indikatoren stark voneinander abhängen und miteinander korrelieren, ist es ausreichend einen davon zu bestimmen, der maßgeblich zur Bewertung herangezogen wird.

Auch hier sind die Korrelationen je Phase unterschiedlich. Untersucht werden die Errichtungs- sowie Konstruktionsphase, Betriebsphase und die Gesamtökobilanz. Die Tabellen 21 bis 24 zeigen die jeweiligen Korrelationskoeffizienten. Farblich abgehoben sind jene mit Werten von 1/-1 bis 0,7/-0,7, also von sehr hoher bis mittlerer Korrelation. Die Klassifikation wird wie folgt vorgenommen (vgl. Bühl, 2012, S.420):

- bis 0,2 => sehr geringe Korrelation
- bis 0,5 => geringe Korrelation
- bis 0,7 => mittlere Korrelation
- bis 0,9 => hohe Korrelation
- über 0,9 => sehr hohe Korrelation

Zwischen Errichtungs- und Konstruktionsphase ändern sich vor allem die Korrelationskoeffizienten des GWP. In letzterer werden auch die Entsorgungsprozesse der Errichtung als auch Erneuerung mit bilanziert; diese wirken sich, wie in Kapitel 8.4 noch veranschaulicht wird, vor allem auf das GWP aus. Während das GWP in der Errichtungsphase mit dem PE e in einem starken, indirekt proportionalen Zusammenhang steht, korreliert es in der Konstruktionsphase und noch stärker in der Betriebsphase mit dem PE ne. In der Gesamtökobilanz ist eine starke Korrelation mit dem ODP gegeben.

Wie in Kapitel 8.1.3 gezeigt, haben die Ökobilanzergebnisse der Betriebsphase meist einen recht hohen prozentualen Anteil an jenen der Gesamtökobilanz. Dies spiegelt sich auch in den Korrelationen wider; die Korrelationskoeffizienten der Betriebsphase unterscheiden sich mit Ausnahme des POCP kaum von jenen des Gesamt-LCA.

Das AP weist in allen Phasen eine starke Korrelation mit dem EP sowie eine mittlere mit dem PE auf. Das ODP korreliert in allen Phasen stark mit dem PE ne; mit dem GWP besteht in jenen Phasen eine Korrelation, in denen auch PE ne und GWP korrelieren.

Das GWP steht in allen Phasen mindestens mit einem der PE-Indikatoren in Zusammenhang, entweder direkt (PE ne) oder indirekt proportional (PE e). Mit dem PE gesamt korreliert es am seltensten, da sich die direkt proportionale Korrelation mit dem PE ne und die indirekt proportionale Korrelation mit dem PE e quasi aufheben; dies ist vor allem in der Betriebsphase und der Gesamtökobilanz der Fall.

Das POCP ist in der Gesamtökobilanz der einzige Indikator, der keine starken, noch mittleren Korrelationen aufweist. In den anderen Phasen besteht ein starker Zusammenhang mit dem PE. Diese Ergebnisse sind in Tabelle 25 zusammengefasst.

Tabelle 25: Übersichtstabelle zur Aussagekraft und Korrelation der einzelnen Indikatoren sowie Schlussfolgerungen daraus
Quelle: Eigene Darstellung

Indikator	Aussagekraft	Korrelation	als Indikator empfohlen
GWP	Konstruktionsphase: Nein Alle anderen Phasen: Ja OI3 _{BGG} : Nein	K. mit PE e in Errichtungsph.; K. mit PE ne im Betrieb; K. mit ODP in Gesamt- LCA	Errichtungsphase; OI3 _{BGG} ; Errichtung + Austausch; Betriebsphase; Gesamte Ökobilanz
AP	Alle Phasen: Nein	In allen Phasen starke Korrelation mit EP; mittlere K. mit PE	Bedingt (mittlere Korr. mit PE)
PE ne	Betriebsphase & Gesamtökobilanz: Ja Alle anderen Phasen: Nein	In allen Phasen starke K. mit ODP; mit GWP nur bei n.e. Energietr./ Baust.	Als Zusatzinformant zu PE
PE e	Nur bei erneuerbaren Energieträgern oder Baustoffen	Bei erneuerb. Energieträgern/ Baust. Korrelation mit GWP	Als Zusatzinformant zu PE
PE	Ja, in allen Phasen	Mittlere K. mit AP in allen Phasen	Ja, für alle Phasen
POCP	Bedingt, da maßgeblich von lösemittelhaltigen Bauprodukten ¹¹⁴ beeinflusst	K. mit PE und PE e, außer in Gesamtökobilanz	Bedingt (in Gesamtökob. zwar keine Korrelationen, aber dafür von lösemittelhaltigen Produkten dominiert)
EP	Betriebsphase: Nein	In allen Phasen: Starke Korrelation mit AP	Nein (korreliert mit AP)
ODP	Alle Phasen: Nein	In allen Phasen: Starke Korrelation mit PE ne	Nein (korreliert mit PE ne)

B.a.c Die Werte von einzelnen Indikatoren werden nicht hauptsächlich durch eine Produktgruppe bestimmt. Wenn dem so ist, wäre es für eine vergleichende Gebäudebewertung effektiver und effizienter gezielt die Vermeidung dieser Produktgruppen anzustreben.

Wie bereits in Kapitel 8.1.1 erläutert, wird der Indikator POCP maßgeblich von lösemittelhaltigen Produkten wie Bitumenlösungen bestimmt. In Kapitel 8.3 werden auch Bodenbeläge inklusive lösemittelhaltiger Verlegewerkstoffe, wie Kleber, bilanziert. Daraus soll

¹¹⁴ Wie lösemittelhaltige Bitumenanstriche.

geschlossen werden können, ob tatsächlich v.a. lösemittelhaltige Bauprodukte das POCP bestimmen. Mit Fortschreiten der Arbeit hat die Autorin erkannt, dass es den Rahmen der Masterarbeit sprengen würde, alle Indikatoren auf Reaktion auf spezifische Bauprodukte/ Bauproduktgruppen hin zu analysieren.

B.a.d Von der Literaturrecherche inspiriert soll herausgefunden werden, ob Primärenergieinhalt und Treibhausgaspotential als Indikatoren ausreichend sind. Sprich, alle anderen Indikatoren sind entweder nicht aussagekräftig, korrelieren mit einem dieser beiden, oder können über konkrete Maßnahmen gezielt beeinflusst werden.

Tatsächlich konnte gezeigt werden, dass alle Indikatoren mit Ausnahme des POCP, sehr stark bis mittel mit den Indikatoren Primärenergieinhalt oder Treibhausgaspotential korrelieren; die konkreten Zusammenhänge jedoch sehr stark phasenabhängig sind. Je nach Phase sind auch einige Indikatoren aussagekräftig, andere nicht. Für eine bestimmte Bilanzgrenze, räumlich als auch zeitlich, sollte daher m.E. individuell entschieden werden, welche Indikatoren zum Projekt-Vergleich heranzuziehen sind.

8.3 Einfluss von Fußbodenbelägen und Wandanstrichen

Lipp (2009, S.10) kommentierte, dass das POCP hauptsächlich von lösemittelhaltigen Bauschichten wie Bitumenanstrichen, Lacken, Fußbodenbelägen, Klebern, Farben etc. bestimmt wird. Die Ergebnisse der bisherigen empirischen Studie konnten den Einfluss der Baustoffgruppe lösemittelhaltige Bitumenanstriche auf das POCP bereits bestätigen. Dieses Kapitel widmet sich der genaueren Betrachtung von lösemittelhaltigen Verlegewerkstoffen (Klebern), als auch der Auswirkungen von Wandanstrichen (Dispersionsfarbe) auf die Ökobilanz.

Nachfolgende Abbildungen 48 und 49 zeigen die Veränderung der Indikatoren wenn die Bilanzgrenze um Fußbodenbeläge (Fliesen, Parkett) inkl. Verlegewerkstoffe (Kleber) (Nr.3c, Nr.9c; Nr.10b) als auch Wandanstriche (Nr.3d) erweitert wird. In der zweiten Abbildung enthalten die hinterlegten Datensätze für das POCP des Verlegewerkstoffs (Kleber) auch die VOC-Emissionen vor Ort in die Innenraumluft; in ersterer Abbildung sind diese VOC-Emissionen nicht enthalten.

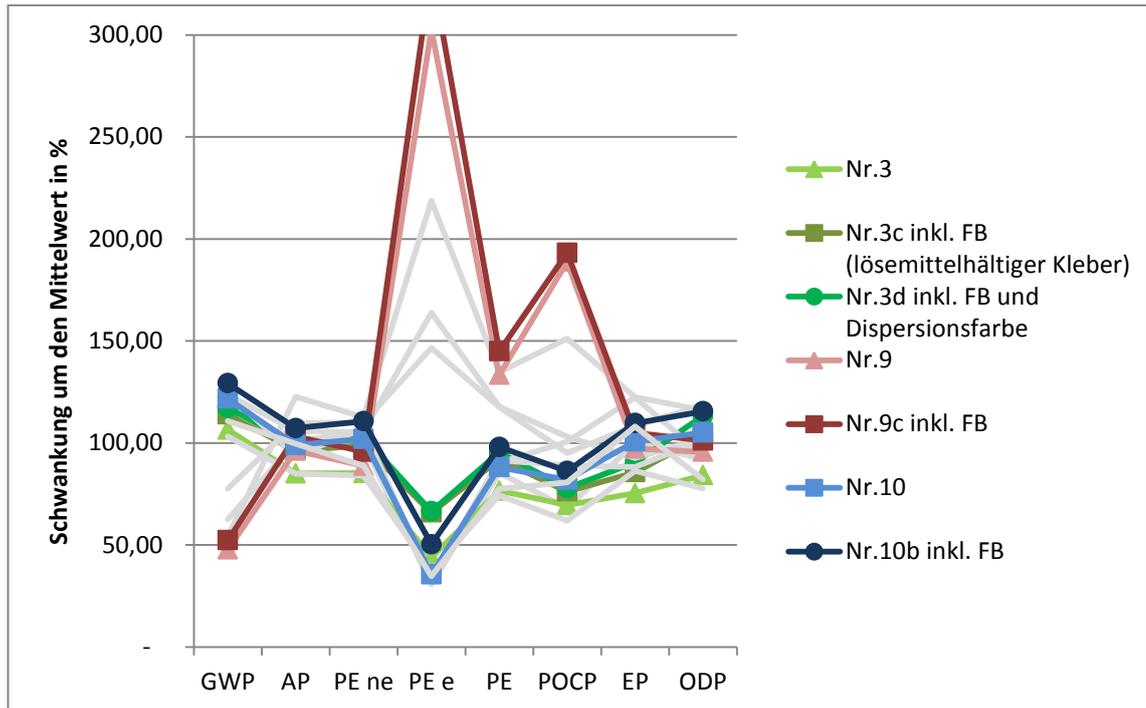


Abbildung 48: Vergleich der Indikatorwerte in der Phasen Errichtung und Erneuerung mit/ohne Fußbodenbeläge sowie mit/ohne Dispersionsfarbe. Der POCP-Wert für lösemittelhaltigen Klebstoff enthält keine VOC-Emissionen vor Ort in die Innenraumluft.
Quelle: Eigene Darstellung

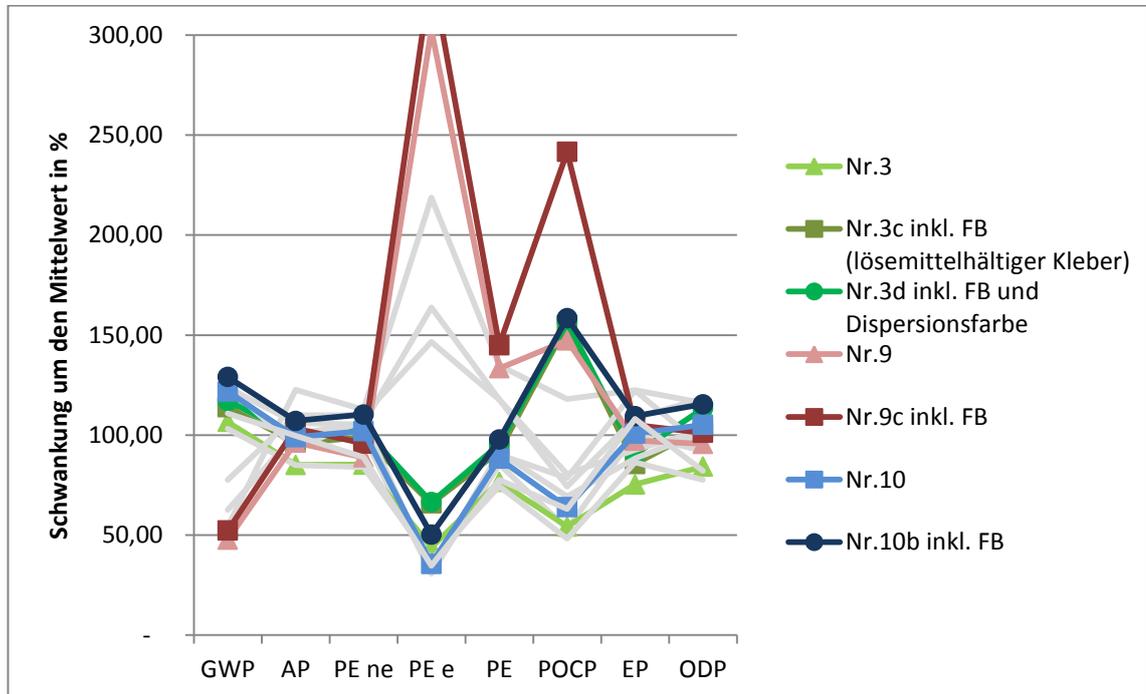


Abbildung 49: Vergleich der Indikatorwerte in der Phasen Errichtung und Erneuerung mit/ohne Fußbodenbeläge sowie mit/ohne Dispersionsfarbe. Der POCP-Wert für lösemittelhaltigen Klebstoff enthält die VOC-Emissionen vor Ort in die Innenraumluft.
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 50 stellt dar, wie viel Prozent der gesamten Umweltpotentiale der Phasen Errichtung und Erneuerung die einzelnen Komponenten des FB-Belags und des Wandanstriches ausmachen. Es ist gut erkennbar, dass der Verlegewerkstoff Kleber („lösemittelhaltiger Klebstoff“ sowie „Parkettkleber“) bei fast allen Indikatorwerten nur einen geringen Anteil hat; ein sehr starker Einfluss ist jedoch auf das POCP zu erkennen, wenn lokale VOC-Emissionen in den Datensätzen berücksichtigt werden. Die Parkettböden (Mehrschicht- oder Massivparkett) schlagen konsequenterweise vor allem im PE e aus. Die Fliesen haben beim Projekt Nr.10 einen signifikanten Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse – dieser geht allerdings kongruent mit ihren Massenanteilen und ist demnach nicht außergewöhnlich. Die "Kleber" tragen im Vergleich zu ihren Massenanteilen relativ viel zu den Ergebnissen bei und sind vor allem bezüglich des POCP für die ökologische Bewertung relevant.

Im Projekt Nr.3 wurden zusätzlich zu den Bodenbelägen Wandanstriche (Dispersionsfarbe) für alle Innenwände sowie -decken bilanziert. Das Ergebnis zeigt, dass sich diese Bauteilschicht vor allem auf das ODP auswirkt. Der Beitrag liegt bei ca. 7% der Gesamtbelastung (Abbildung 50).

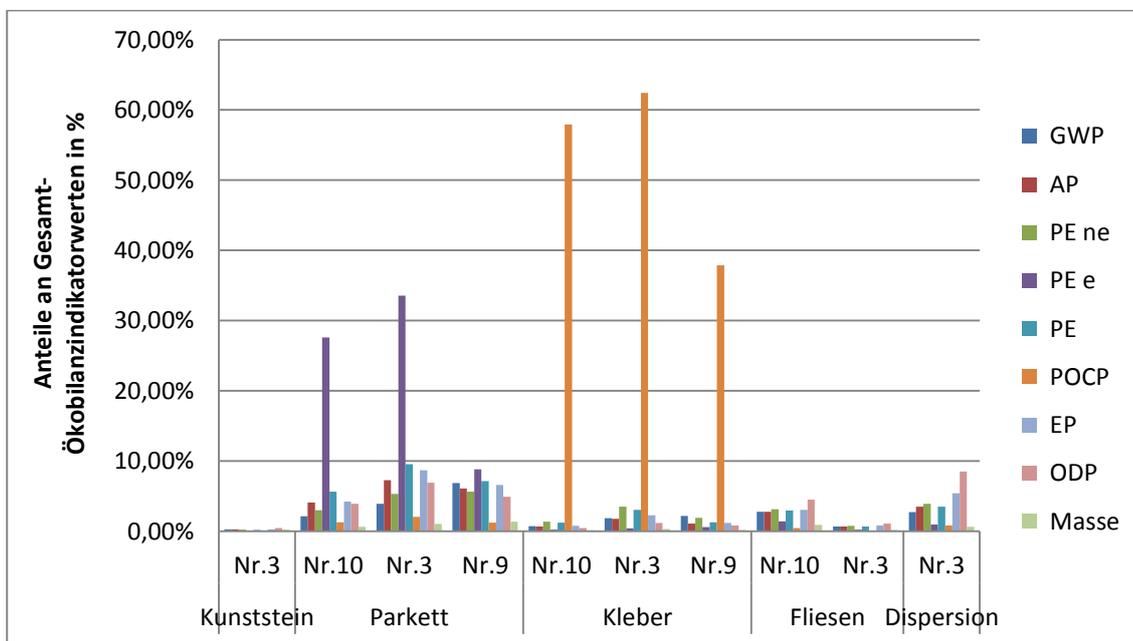


Abbildung 50: Einfluss von Fußbodenbelägen inkl. Verlegewerkstoffen und Wandanstrichen (Innendispersion) auf die Indikatorwerte der Phase Errichtung + Erneuerung (ohne Transport oder Entsorgung). Inklusive lokaler VOC-Emissionen lösemittelhaltiger Klebstoffe. Quelle: Eigene Darstellung

Tabelle 26 zeigt die Änderungen der Indikatorwerte mit bzw. ohne Fußbodenbeläge und Verlegewerkstoffe je nach Indikator für die Phasen Errichtung und Erneuerung. Grund für die hohen Veränderungen beim PE e ist das Parkett. Für die Zunahme der Umweltwirkungen beim ODP (bis 23%) sind ebenfalls vor allem der Parkettboden, teils aber auch die Fliesen verantwortlich. Die starke POCP-Zunahme ist auf VOC-Emissionen der Verlegewerkstoffe in die Innenraumluft zurückzuführen. Im Mittel beträgt die Zunahme an Umweltwirkungen ca. 10% (exklusive lokaler VOC-Emissionen) bzw. ca. 30% (inklusive lokaler VOC-Emissionen); eine Mitbilanzierung von Fußbodenbelägen inkl. Verlegewerkstoffen ist also auf jeden Fall empfehlenswert.

Tabelle 26: Wertänderung mit/ohne Fußbodenbelag inkl. Verlegewerkstoff nach Indikatoren in den Phasen Errichtung und Erneuerung.
Quelle: Eigene Darstellung

	GWP	AP	PE ne	PE e	POCP ¹	POCP ²	EP	ODP
Nr.3	7,0%	13,3%	16,0%	49,9%	9,6%	186,2%	13,6%	23,0%
Nr.9	9,4%	7,3%	7,7%	9,7%	2,3%	64,0%	8,0%	5,8%
Nr.10	6,2%	8,4%	8,5%	41,4%	5,2%	147,9%	9,0%	9,9%
¹ exkl. lokaler VOC-Emissionen lösemittelhaltiger Klebstoffe								
² inkl. lokaler VOC-Emissionen lösemittelhaltiger Klebstoffe								

8.4 Vergleich unterschiedlicher Bilanzgrenzen

Die Ausgangshypothesen für dieses Kapitel sind:

B. Innerhalb der Ökobilanzierung können Vereinfachungen (Anzahl der Indikatoren, zeitliche und räumliche Bilanzgrenzen) vorgenommen werden, die zu keinem Informationsverlust für eine vergleichende Bewertung führen.

B.b Für die Limitierung der räumlichen und zeitlichen Bilanzgrenze wird untersucht, ob einzelne Bauteile oder Phasen vernachlässigt werden können. Besonderes Augenmerk wird hier auf die Innenwände und Haustechnik sowie der Instandsetzungsphase (Modul B4) gelegt, da dies der gebräuchlichen Praxis im OI3-Index entspricht.

Die gewählten Bilanzgrenzen sind jenen des OI3 Index angelehnt (Tabelle 15).

War früher in nationalen Bewertungssystemen (TQB, klima:aktiv) der OI3_{BG0} vorherrschend, wird heute häufig mit BG3 gerechnet (Kapitel 3.2 und 3.3). Die Beispielgebäude dieser Masterarbeit wurden grundsätzlich auf BG5 bilanziert. Nun sollen die Ergebnisse auf BG0, BG3, BG5 und dann noch erweitert um die Phasen Transport und Entsorgung präsentiert werden, um Rückschlüsse auf die „optimale“ Bilanzgrenze ziehen zu können. Zwischen den Bilanzgrenzen Null und Drei ändert sich auch die Bezugsfläche. Während der OI3_{BG0} auf die konditionierte BGF bezogen ist, ist die funktionale Einheit beim OI3_{BG3} die BFZ, „definiert als konditionierte Bruttogrundfläche plus 50% der Bruttogrundfläche von Pufferräumen (Keller, ..)“ (IBO, 2011, S.18). Die Abbildungen 51 bis 53 zeigen die Indikatoren GWP, AP und PE ne, welche für den OI3 herangezogen werden, in fünf unterschiedlichen zeitlichen als auch räumlichen Bilanzgrenzen¹¹⁵. Die Werte von BG3, BZF und BG3, BGF unterscheiden sich lediglich in ihren Bezugsflächen. Stufenweise wurde die BG3 um die Haustechnik, den Transport und schließlich Entsorgungsprozesse erweitert, die jeweils auf die gesamte BGF bezogen sind. In der Praxis wird der OI3_{BG3} inklusive Fußbodenbeläge berechnet; diese Bauteilschicht wurde hier allerdings nur bei den Projekten Nr.3c und Nr.10b ermittelt.

Die Abbildung 51 zeigt deutlich den Einfluss der Bauweise auf das GWP in der Bilanzgrenze Null; die Gebäude gruppieren sich in Massiv- und Holzbauten. In der nächsten Bilanzgrenze (BG3) wird diese „Trennung“ durch den Einbezug der Puffer- sowie Kellerräume aus Stahlbeton relativiert. Durch Mitbilanzierung der Haustechnik und des Transports gibt es mit Ausnahme von Projekten mit Solarkollektoren kaum Veränderungen. Die Entsorgungsphase hingegen ist von Bedeutung. Holzbauten weisen hier durch die thermische Verwertung der Holzbaustoffe und PE-Folien bzw. Abdichtungen hohe CO₂-Emissionen auf. Herausragend ist das Projekt Nr.9, das auf Konstruktionsebene das optimierteste Gebäude mit den geringsten Umweltwirkungen

¹¹⁵ Die zeitliche Bilanzgrenze bezieht sich auf die unterschiedlichen Phasen des Lebenszyklus; die räumliche Bilanzgrenze auf die physischen Bauteile des Gebäudes.

ist. Neben der Bauweise wirkt sich bei diesem Projekt das Flächenverhältnis der Außenwände gegen Außenluft zu den Kellerwänden günstig aus.

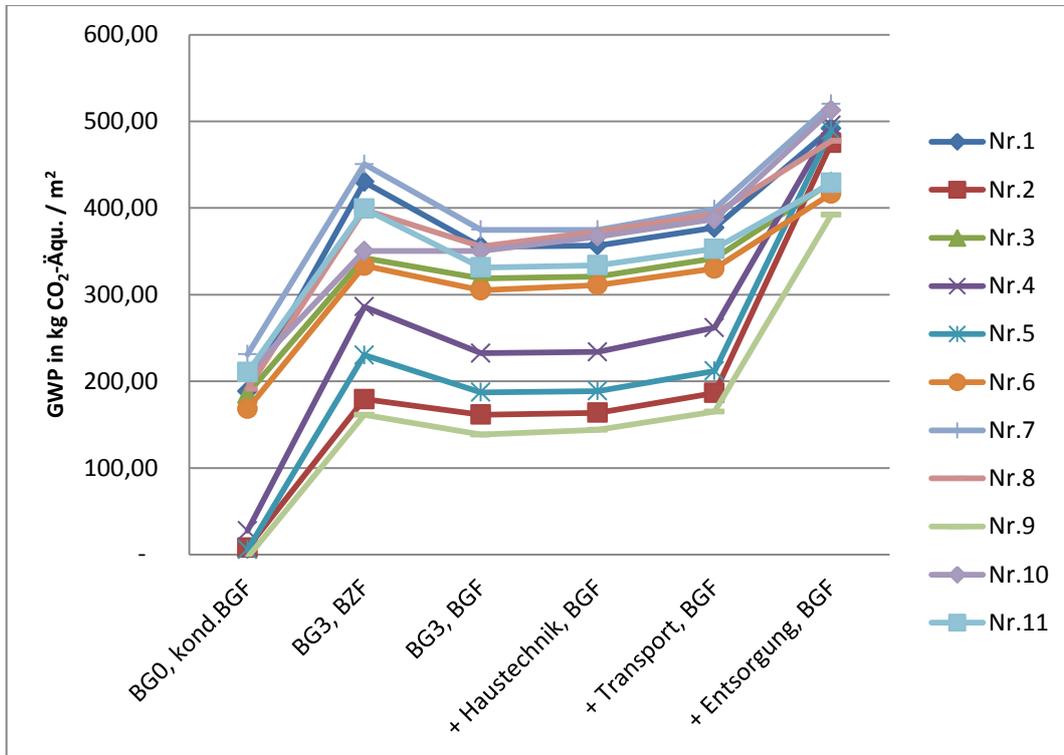


Abbildung 51: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim GWP
Quelle: Eigene Darstellung

Bei den Indikatoren AP und PE ne (Abbildungen 52 und 53) gibt es keine so klare Differenzierung zwischen Stahlbeton- und Holzbauten in der Bilanzgrenze Null. Wie beim GWP verschlechtern sich die Ökobilanzergebnisse bei Mitbilanzieren der Haustechnik nur bei Projekten mit Solarkollektoranlagen. Die Erweiterung der Bilanzgrenze auf den Transport führt zu keinen Veränderungen im Projekt-Ranking.

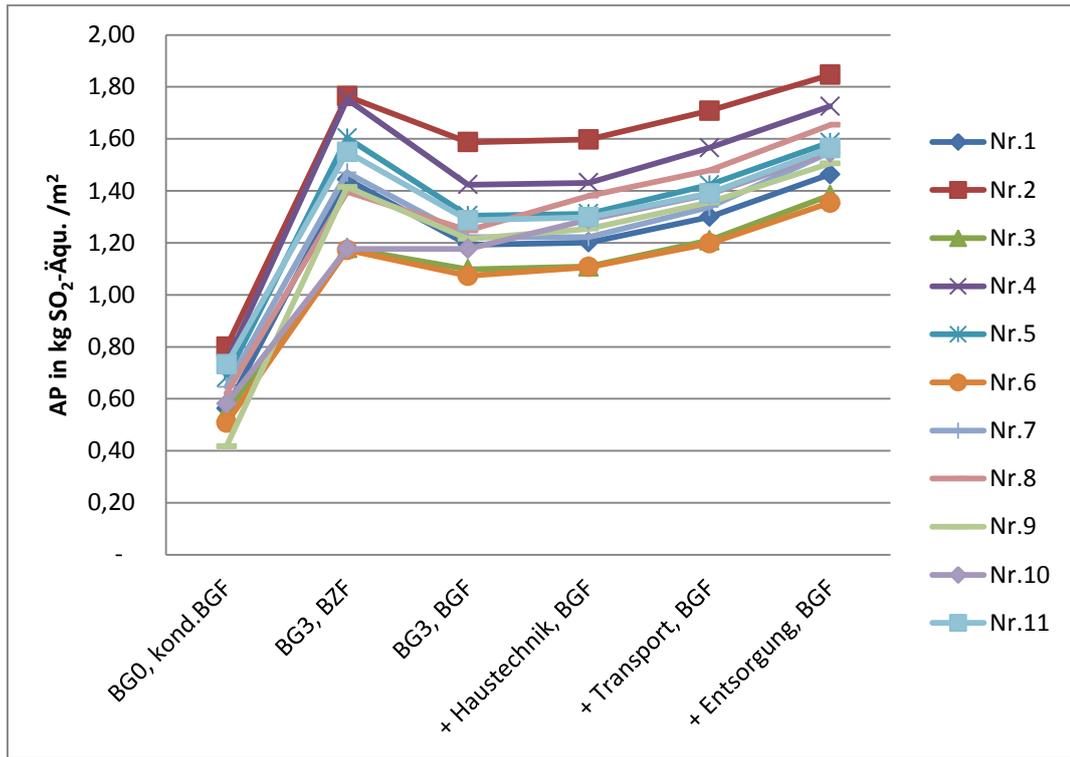


Abbildung 52: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim AP
Quelle: Eigene Darstellung

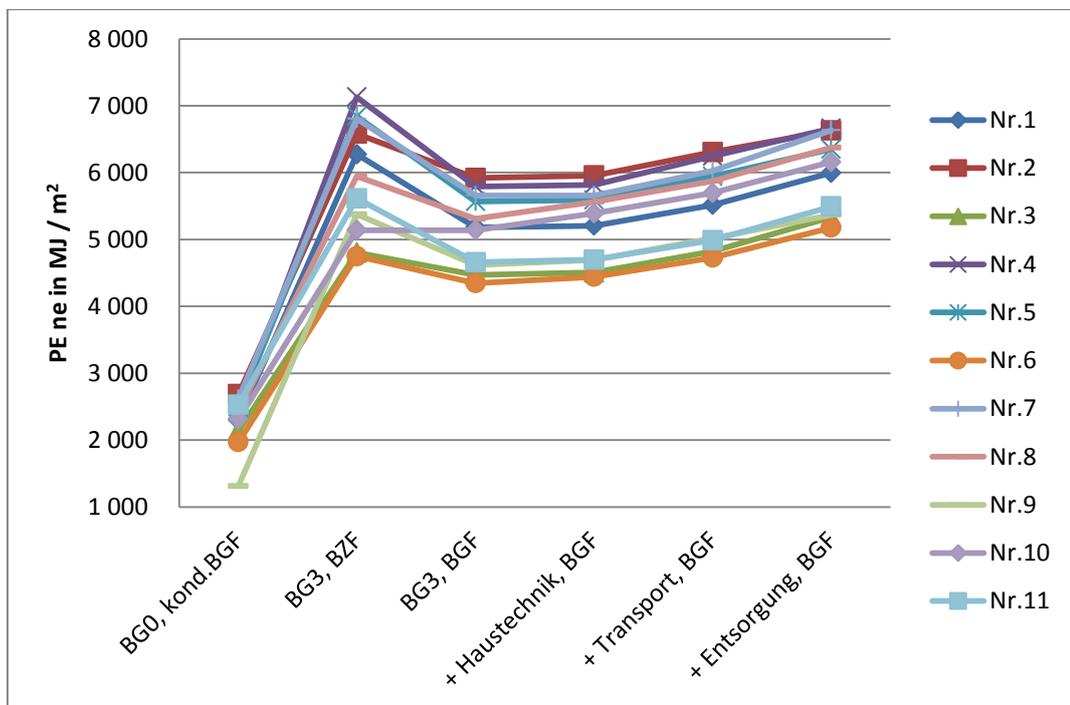


Abbildung 53: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim PE ne
Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 54 zeigt die OI3-Werte der Bilanzgrenzen Null und Drei. Bei klima:aktiv ist für den Ökoindikator ein Wertebereich vorgegeben, anhand dessen sich die Gebäudebewertung orientiert. Dieser liegt beim $OI3_{BG0,kond.BGF}$ liegt für Wohngebäude im Neubau zwischen 38 und 295 Punkten und beim $OI3_{BG3,BZF}$ zwischen 300 und 900 Punkten (vgl. BMLFUW et al., 2012, S.60f.). Die Ergebnisse der Projekte dieser Masterarbeit liegen zwischen 63 und 197 Punkten beim $OI3_{BG0,kond.BGF}$ bzw. 342 und 542 Punkten beim $OI3_{BG3,BZF}$.

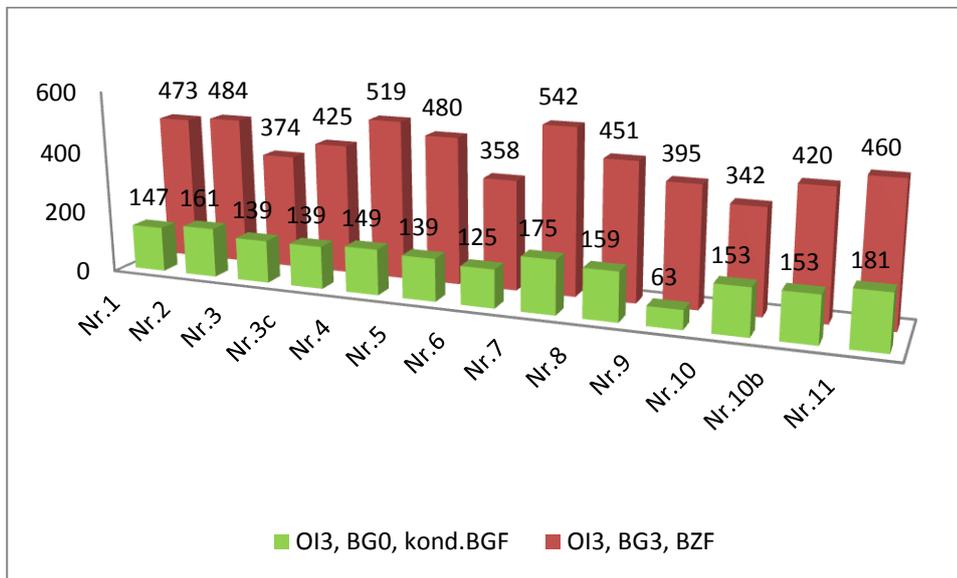


Abbildung 54: Ergebnisse $OI3_{BG0,kond.BGF}$ und $OI3_{BG3,BZF}$
 Quelle: Eigene Darstellung

Wie stark die jeweiligen Indikatoren GWP, AP bzw. PE ne zum OI3 beitragen, ist in Tabelle 27 dargestellt. Dadurch wird erkennbar, welche Gewichtung den einzelnen Indikatoren im OI3 zugeteilt wird. Angegeben sind jeweils die maximalen sowie minimalen, prozentualen Anteile. Unter allen Projekten trägt der Indikator GWP also maximal zu 30%, minimal zu 6% zum $OI3_{BG0,kond.BGF}$ bei. Beim $OI3_{BG0}$ sind alle Indikatoren noch recht ausgeglichen gewichtet – der geringe minimale Anteil (6%) des GWP ist durch die für diesen Indikator optimierten Konstruktionen bei den Holzbauten zu erklären; beim $OI3_{BG3}$ ist ein deutlicher Schwerpunkt auf den Indikatoren AP und PE ne zu erkennen. Sowohl bei Stahlbeton- als auch bei Holzbauten wird das GWP mit maximal 15% gewichtet. Dies trifft auch auf die Projekte Nr.3c und Nr.10b inkl. FB-Beläge zu. Die Gewichtung des GWP beim $OI3_{BG3}$ ist m.E. zu hinterfragen.

Tabelle 27: maximale und minimale Beiträge der Indikatoren GWP, AP und PE ne zum Gesamtergebnis des OI3 aller Beispielprojekte
 Quelle: Eigene Darstellung

		GWP	AP	PE ne
OI3_{BG0,kond.BGF}	max. Anteil	29%	49%	48%
	min. Anteil	6%	32%	37%
OI3_{BG3,BZF}	max. Anteil	15%	49%	47%
	min. Anteil	6%	38%	41%

Das Projekt-Ranking verändert sich zwischen den Bilanzgrenzen Null und Drei bei allen drei Indikatoren. Damit also die Umweltwirkungen zwar simplifiziert, dennoch möglichst realitätsnah abgebildet werden können, würde die Autorin mindestens die Bilanzgrenze Drei empfehlen, jedoch mit Korrektur der GWP-Gewichtung. Die hohen Treibhausgaspotentiale bei der Entsorgung von Holzbauten sind durch Verbrennungsprozesse (Holzbaustoffe sowie PE-Folien bzw. Abdichtungen) zu erklären. Diese gespeicherte Energie kann bereits in der vorhergehenden Phase der Errichtung über den gesamten Primärenergieinhalt (PE) erfasst werden. Eine Erweiterung des OI3 um diesen Indikator wäre daher empfehlenswert. Die Autorin konkludiert, dass dann von einer Erweiterung der zeitlichen Bilanzgrenze auf End-of-life-Prozesse ohne maßgeblichen Informationsverlust abgesehen werden könnte. Weitere Studien wären für konkrete Aussagen allerdings unumgänglich; insbesondere unter Berücksichtigung weiterer EOL-Prozesse wie Wiederverwendung, Recycling etc.

Als Folge der Ergebnisse aus Kapitel 8.2 kann eine Reduktion auf einige wenige Indikatoren, wie es im OI3 der Fall ist, als gerechtfertigt angesehen werden. Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse ist das Versauerungspotential jedoch kein besonders geeigneter Indikator für eine vergleichende Bewertung. Viel eher sollten der Primärenergieinhalt gesamt, der PE nicht erneuerbar, als Zusatzinformant, und das Treibhausgaspotential, mit stärkerer Gewichtung im OI3_{BG3}, herangezogen werden. Fußbodenbeläge inkl. Verlegewerkstoffe tragen zu ca. 10% zu den Gesamtumweltauswirkungen bei und sollten definitiv miterfasst werden. Dies entspricht auch der derzeitigen Praxis des OI3_{BG3,BZF}.

8.5 Sensitivitätsanalyse

Im Zuge der empirischen Forschungstätigkeit dieser Masterarbeit hat sich gezeigt, dass die Eingabe von Folien und Abdichtungen das Ökobilanzergebnis maßgeblich beeinflussen. Wie groß dieser Einfluss tatsächlich ist, soll nun exemplarisch anhand von Polymerbitumen-Dichtungsbahnen gezeigt werden. Im Normalfall wurde für diese eine Schichtdicke von 7,8 mm angenommen. Laut WECOBIS – einem online verfügbaren Baustoffinformationssystem – wird *„Eine beständige Abdichtung [...] mit einer 5 mm Dichtungsbahn als untere Lage erreicht.“* (BMVBS, 2013, online). Abbildung 55 zeigt die Veränderung der Indikatoren in Prozent bei Verminderung der Schichtdicke der Polymerbitumen-Dichtungsbahnen um 2,8 mm in Dachaufbauten und erdberührten Außenwänden (8% der gesamten Konstruktionsfläche) des Projekts Nr.6. Die Abdichtungsebene der Fundamentplatte besteht bei diesem Projekt aus einer Alu-Dampfsperre, hier wurden deshalb keine Änderungen vorgenommen. Die Auswirkungen auf die Phase Austausch sind höher als auf die Phase Errichtung, was in der angenommenen Nutzungsdauer der Abdichtungsbahn von 25 Jahren begründet liegt. Diese Annahme ist kritisch zu hinterfragen, beinhaltet sie doch, dass die Abdichtungsebene in erdberührten Bauteilen innerhalb von 100 Jahren 3 Mal vollständig erneuert wird.

Die Auswirkungen auf einzelne Bauteilgruppen wie z.B. Dachaufbauten sind beträchtlich. In der Phase Austausch ändert sich das ODP um knappe 34%. In der Ökobilanz der Konstruktionsphase (in der Abbildung mit „Gesamt“ bezeichnet) verändert sich das ODP um mehr als 4%; die Indikatoren PE, PE ne und GWP um 2,3% bis 2,7%.

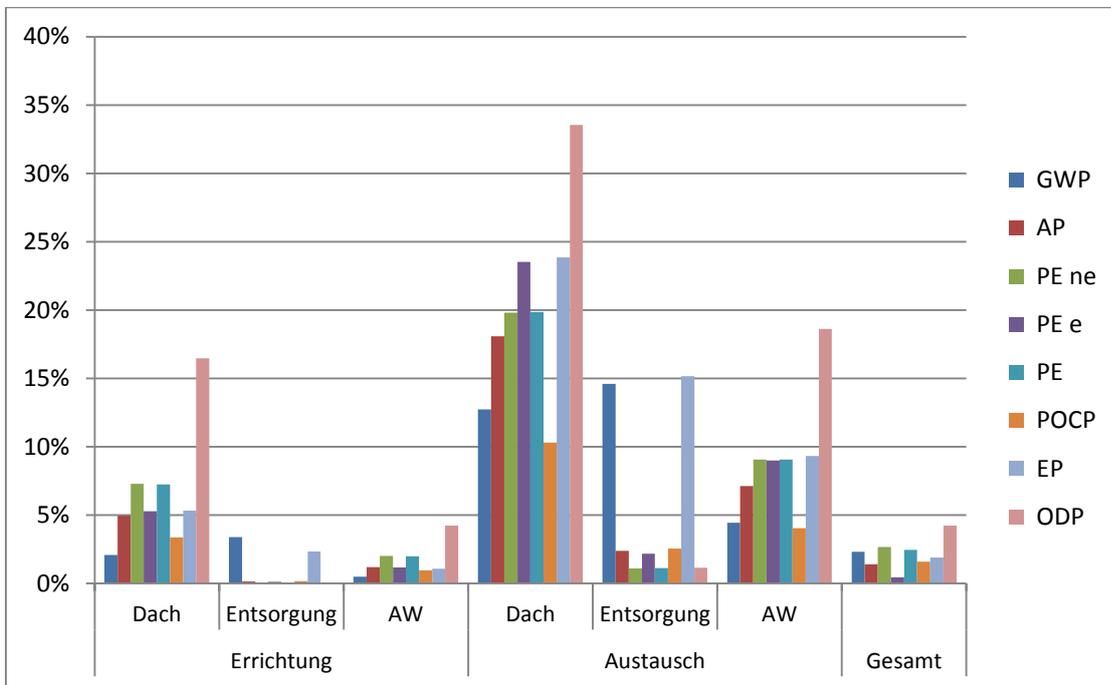


Abbildung 55: Änderung der Indikatorwerte in Prozent nach Verminderung der Schichtdicke der Polymerbitumen-Dichtungsbahnen um 2,8 mm in Dachaufbauten und erdberührten Außenwänden des Projekts Nr.6 für die Phasen Errichtung, Austausch und die Konstruktionsphase („Gesamt“)
Quelle: Eigene Darstellung

Diese Sensitivitätsanalyse stellt natürlich nur ein Exemple dar; jedenfalls ist daran bereits erkennbar, dass sich Fehler oder Unklarheiten in der Eingabe von Folien und Abdichtungen sehr stark auf das Gesamtergebnis einer Ökobilanz auswirken können. Für diese sensitiven Schichten ist auf Einheitlichkeit in der Bilanzierung besonders zu achten. Auch bei der Bilanzgrenzensetzung ist sehr klar zu definieren, ob Folien und Abdichtungen mit zu bilanzieren sind, oder nicht und in welcher Schichtdicke sie angenommen werden. Energieausweise und Bauteillisten, die häufig als primäre Informationsquelle zur Bilanzerstellung herangezogen werden, wie auch in dieser Masterarbeit, enthalten oft nur ungenaue oder sehr vereinfachte Angaben zu Folien bzw. Abdichtungen und vor allem in unterschiedlicher Qualität. Auch auf Ebene der OI3-Berechnungen sieht es die Autorin als unumgänglich klare Vorgaben für die Eingabe von Folien und Abdichtungen zu definieren.

9 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden die Erkenntnisse aus der theoretischen sowie empirischen Analyse hinsichtlich der anfänglichen Fragestellungen resümiert.

Die erste Fragestellung lautete: **Gibt es Bereiche der ökologischen Gebäudebewertung, die mit einem LCA nicht erfasst werden können?** Diese Frage lässt sich nur in einem über das LCA hinausreichenden Blickfeld beantworten. In der Literaturrecherche befasste sich die Autorin deshalb mit dem ganzheitlichen Bild der ökologischen Gebäudebewertung. Für Aktionsfelder wie Biodiversität, Flächennutzung, Bodenqualität, Qualitätsaspekte der Materialbeschaffung (z.B. Holz aus nachhaltiger Forstwirtschaft) und Innenraumluftqualität eignet sich die Ökobilanzierung als Bewertungstool bedingt oder gar nicht (Kapitel 4). Das Kriterium Innenraumluftqualität wird nach ÖNORM EN 15978 (2012) zum Bereich sozialer Nachhaltigkeit gezählt; ragt in Wirklichkeit aber auch in den Bereich der ökologischen. Die Empfehlung lt. ÖNORM prEN 16309 (2011, S.26) zur Messung der Innenraumluftqualität nach Projekt-Fertigstellung ist m.E. für eine Nachhaltigkeitsbewertung unzureichend. Die Auswahl emissionsarmer Baustoffe muss bereits in Planung und Ausführung forciert und unterstützt werden.

Die erste Arbeitsthese konnte anhand der Literaturrecherche bestätigt werden. Sie lautete:

A. Wird ein Gebäude hinsichtlich seiner ökologischen Performance ausschließlich mittels Ökobilanzierung bewertet, werden wichtige Kriterien nicht erfasst. Alleine aufgrund von Ökobilanzierungsergebnissen ist es daher nicht zulässig, umfassende Aussagen bezüglich der „umweltbezogenen Qualität“ eines Gebäudes zu treffen.

Ferner wird sie von den Kriteriensätzen der aktuellen Bewertungssysteme, in denen neben dem LCA (über den gesamten Lebenszyklus oder simplifiziert) auch qualitative Bewertungsmethoden umgesetzt werden, bekräftigt (Kapitel 3.3).

Die theoretische Recherche als auch der empirische Teil der Masterarbeit zeigten **Stärken und Schwächen des LCA** auf.

Die **Genauigkeit der Ergebnisse** eines LCA ist durch verschiedene Unsicherheitsfaktoren limitiert. So weichen mit zunehmender Dauer des Betrachtungszeitraums (100 Jahre in dieser Masterarbeit) die Annahmen zu EOL-Prozessen immer weiter von realen Szenarien ab, da technologische Entwicklungstendenzen im Bereich der Entsorgung und Verwertung nicht zuverlässig vorhergesagt werden können; die Berechnungsergebnisse beruhen auf dem heutigen Stand der Technik und sind langfristig gesehen Approximationen. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor sind Bauproduktnutzungsdauern. 11 Bauprojekte – drei davon in Leicht-, der Rest in Massivbauweise (STB) – wurden mit der LCA-Software EcoSoft v5.0 in den Phasen Errichtung, Erneuerung, Nutzung und Entsorgung bilanziert. In den generischen Bauprodukt Datensätzen der Software sind die jeweiligen Nutzungsdauern als Voreinstellungen bereits hinterlegt; für den Holzbaustoff Brettschichtholz mit 50 Jahren, für Brettsperrholz mit 100 Jahren. Auf eine einheitliche Bilanzierungsmethode, in der die Nutzungsdauer der primären Tragstruktur dem Betrachtungszeitraum entspricht, ist unbedingt zu achten. Die Ergebnisse – insbesondere von Holzbauten im Vergleich mit Massivbauten – werden ansonsten verzerrt dargestellt.

Quantitative Kennzahlen – wie sie ein LCA generiert – eignen sich besonders für (Produkt-)Vergleiche, bergen jedoch die Gefahr eine ökologische Wahrheit „vorzugaukeln“ (vgl. ANEC, 2011, S.10). Bei einer Bewertung muss natürlich berücksichtigt werden, dass die Bilanzierungsergebnisse von den zugrunde gelegten Annahmen abhängen. Beispiele sind die Anrechnung der **CO₂-Speicherung im GWP** und die Annahme der **Produktnutzungsdauern**. Werden Holzbauten mit einer maximalen Nutzungsdauer von 50 Jahren und einem

Betrachtungszeitraum von 100 Jahren bilanziert, fallen beim GWP in der Errichtungs- und in der Erneuerungsphase „Gutschriften“ an. Bei der Entsorgung werden diese quasi wieder „aufgehoben“. Je nach zeitlicher Bilanzgrenze könnte dies bei Holzbauten zu einer überproportionalen Reduzierung des GWP-Indikators und durch den erhöhten Ressourceneinsatz zur Zunahme der Umweltwirkungen bei den anderen Indikatoren führen. M.E. sollte dieser offene Handlungsspielraum – Berücksichtigung der CO₂-Speicherung und Festlegung von Nutzungsdauern – normativ eingegrenzt werden.

Ein weiterer offener Punkt ist die Wahl der **funktionellen Einheit**. In der Praxis wird mit der konditionierten BGF, der gesamten BGF und beim OI3 der BZF gearbeitet. Die Berechnungen zeigten, dass eine Erweiterung der Bilanzgrenze der thermischen Gebäudehülle auf das Gesamtgebäude (inkl. Keller, Tiefgarage und Pufferräume) starke Auswirkungen auf die Bilanzierungsergebnisse hat. Erdberührte Bauteile können bis dato ausschließlich in Stahlbeton (mit XPS-Dämmung) realisiert werden; insbesondere bei Holzbauten haben sie deshalb einen wesentlichen Anteil an den Umweltwirkungen. Bei der Ergebnisdarstellung und Interpretation zeigte sich besonders in der Betriebsphase, welchen Effekt die Wahl der funktionellen Einheit hat. Da den Tiefgaragen und Kellerräumen keine nutzungsbedingten Bedarfswerte zugeordnet waren, beschränkte sich ihr Beitrag auf die Erweiterung der Bezugsfläche. In logischer Konsequenz reagierten die Ökobilanzergebnisse stark auf das Flächenverhältnis von kond.BGF zu gesamter BGF. Die Autorin schlägt deshalb vor, auf diese Bezugsflächenerweiterung in der Nutzungsphase entweder zu verzichten, oder Energieverbräuche von nicht konditionierten Räumen mit zu bilanzieren (z.B.: Beleuchtung). Als Stellschrauben für die Optimierung der Nutzungsphase wurden die Energieeffizienz (Endenergiebedarf), die Wahl des Energieträgers für das Heizungs- und Warmwasserbereitstellungssystem sowie der Strombedarf erkannt.

Damit die LCA-Ergebnisse zur Gebäudebewertung herangezogen werden können, werden **Benchmarks und Referenzwerte** benötigt. Dazu gibt es erste Ansätze – z.B. im DGNB Bewertungstool. Weitere Forschungstätigkeiten und Studien erschienen der Autorin allerdings notwendig.

Die zweite Forschungsfrage war: Bringt ein LCA einen Mehrwert an Informationen für eine vergleichende ökologische Gebäudebewertung? Bereits in der Literaturrecherche konnten klare Stärken der LCA-Methode identifiziert werden. Einerseits können **Aktionsfelder** wie Klimawandel (Treibhausgaspotential), Energieverbrauch und Materialeinsatz in einem LCA gut abgebildet werden. Andererseits bietet sie die Möglichkeit Lastenverschiebungen (Trade-Offs) aufzuzeigen und Interdependenzen der verschiedenen Stellschrauben wie Kompaktheit, Energieeffizienz, Bauweise etc. zu erfassen. Nach diesen Erkenntnissen konnte die zweite Forschungsfrage also bereits bejaht werden. Um diesen Mehrwert jedoch konkreter zu filtern, wurden für die praktische Arbeit differenzierte Sub-Thesen neben der Hauptthese definiert (Kapitel 6). Die Hauptthese lautete:

B. Innerhalb der Ökobilanzierung können Vereinfachungen (Anzahl der Indikatoren, zeitliche und räumliche Bilanzgrenzen) vorgenommen werden, die zu keinem Informationsverlust für eine vergleichende Bewertung führen.

In einem ersten Schritt wurden die Projekte nach Bauweise, Energieversorgung und schließlich alle Phasen gemeinsam analysiert. Die Indikatoren **Primärenergiebedarf gesamt (PE) und Treibhausgaspotential (GWP)** waren in den meisten untersuchten Bilanzierungsphasen sowohl aussagekräftig als auch richtungsweisend für die anderen Indikatoren (mit Ausnahme des POCP). Die Indikatoren PE_{ne} oder/und PE_e sollten nach Meinung der Autorin jedenfalls als Zusatzinformanten fungieren. Für eine gesamtökobilanzielle Bewertung werden das GWP, der PE und der PE_{ne} empfohlen. Bei der Untersuchung auf Aussagekraft der Indikatoren wurde von der Sub-These ausgegangen, dass eine geringe Differenz der Indikatorwerte im Projektvergleich auf eine geringe Aussagekraft hinweist. Als bedingt aussagekräftig galten jene Indikatoren, die weniger als 40% Differenz aufwiesen. Es wäre interessant, weitere Studien mit

einer höheren Projektanzahl durchzuführen, anhand derer die Methodik gerechtfertigt, respektive widerrufen werden könnte (Kapitel 8.2).

Ziel der Masterarbeit war es, bezüglich der räumlichen Bilanzgrenzensetzung Aussagen vor allem für die **Haustechnik und Innenwände** treffen zu können. Die Haustechnikkomponenten zeigten bei allen Indikatoren vernachlässigbare Umweltwirkungen – außer bei Projekten mit thermischer Solaranlage reichen die Anteile nie über 5% (bei allen Indikatoren); mit thermischer Solaranlage bis max. 12,5 % (beim EP). Aufgrund der vorhandenen Datenqualität wurde von der Bilanzierung von Leitungen, Kabeln etc. abgesehen; auch PV-Elemente wurden nicht bilanziert, da sie in keinem der Projekte zum Zeitpunkt der Verfassung der Masterarbeit vorgesehen waren. Wie sich diese Haustechnikkomponenten auf die Ergebnisse auswirken, wäre als weitere Forschungsfrage interessant. Nach Ansicht der Autorin kann von der Bilanzierung der Haustechnikanlagen bei Wohnhausanlagen mit derzeit üblichem Ausstattungsstandard (keine PV-Anlagen installiert, max. Passivhausstandard) abgesehen werden. Werden zukünftig vermehrt Gebäude mit PV-Anlage und/oder Null-Energie-/Plus-Energie-Gebäude bewertet, verändert dies die Situation. Dann könnte die Wahl der Haustechnik in der Gebäudebewertung immer wichtiger werden und einen bedeutenderen Einfluss auf die Ökobilanzergebnisse haben. Innenwände verursachen bis zu ca. 10% der Umweltwirkungen beim GWP; beim PE ne sogar bis zu ca. 13%. M.E. sind die Innenwände für die Bilanzierungsergebnisse daher relevant und sollten mit erfasst werden (Kapitel 8.1.1).

Die Analyse der Nutzungsphase zeigte, dass grundsätzlich erneuerbare Energieträger vor nicht erneuerbaren zu bevorzugen sind. Da sich eine Steigerung der Energieeffizienz auf den **Warmwasserwärme- und Strombedarf** nicht auswirkt, müssen diese in einer Bewertung unbedingt miterfasst werden. Während dies beim WWW-Bedarf bereits der Praxis entspricht, muss dies beim Strombedarf noch nachgeholt werden. Die neuen Energieausweisvorlagen der aktuellen OIB-Richtlinie 6 (2011) gehen ansatzweise bereits in diese Richtung (Kapitel 8.1.2)¹¹⁶.

Beim POCP fiel vor allem eine Baustoffgruppe ins Gewicht: **lösemittelhaltige Bauprodukte** wie bituminöse Voranstriche und lösemittelhaltige Kleber. Im Aufbau der erdberührten Bauteile fehlte bei den meisten Projekten diese Bauteilschicht allerdings. Sowohl in der Konstruktionsphase als auch in der Gesamtökobilanz hat diese besondere Bedeutung, da die Gewichtung konstruktionsbedingter Bilanzierungsergebnisse von allen Indikatoren beim POCP am höchsten ist. Bei der Bilanzierung erdberührter Bauteile inkl. ihrer Abdichtungsebenen sind daher präzise Eingaben wesentlich; es ist eine konsequente Bilanzierungsmethode – mit oder ohne Bitumenanstrich – zu wählen (Kapitel 8.1.1). Die Literaturrecherche gab den Hinweis, dass das POCP auf lösemittelhaltige Bauprodukte reagiert (vgl. Lipp, 2009, S.10). Konkret untersucht wurden in dieser Masterarbeit lösemittelhaltige Kleber. Die Ergebnisse variierten je nachdem, ob lokale VOC-Emissionen des Verlegewerkstoffs Kleber in den Datensätzen enthalten waren oder nicht. Werden lokale VOC-Emissionen berücksichtigt, haben diese einen erheblichen Einfluss (bis über 60%) auf das POCP-Ergebnis. Ein offenes Forschungsfeld wären jedoch genauere Analysen welche Bauprodukte und ferner welche Inhaltsstoffe konkret sich auf die anderen Indikatoren auswirken (Kapitel 8.3).

Mit Fortschreiten der Arbeit wurde deutlich, dass es den Rahmen der Masterarbeit sprengen würde, alle Indikatoren auf Reaktion mit spezifischen Bauprodukt(-gruppen) hin zu analysieren. Im Zuge der Berechnungen hat sich eine große Sensitivität auf die Eingabe von **Folien und Abdichtungen** gezeigt. Exemplarisch wurde deshalb eine Sensitivitätsanalyse auf die Schichtdicke der Abdichtungsebene im Dach- und Außenwandaufbau eines Projektes

¹¹⁶ So inkludiert die Berechnung des Endenergiebedarfs für Nicht-Wohngebäude den BelEB (Beleuchtungs-Energiebedarf). Der Betriebsstrombedarf bzw. Haushaltsstrombedarf wird zukünftig sowohl bei Nicht-Wohngebäuden als auch bei Wohngebäuden mit einem Default-Wert einfließen. Neu ist auch, dass die Hilfsenergie aus Lüftungsanlagen mit bilanziert wird. Allerdings werden nur die Bedarfswerte von konditionierten Räumen berücksichtigt (vgl. OIB, 2011b, S.4 ff.).

durchgeführt. Bei einer Veränderung von nur 2,8 mm Dicke der Polymer-Bitumendichtungsbahn in ca. 8% der Konstruktionsflächen veränderte sich das ODP der konstruktionsbedingten Umweltwirkungen um mehr als 4%, das GWP, der PE und PE ne im Mittel um 2,5%. Nach den Erfahrungen der Autorin aus dieser Masterarbeit ist die Eingabe von Folien und Abdichtungen für LCA-Ergebnisse wesentlich. Entweder normativ, oder individuell in den jeweiligen Bewertungssystemen sollte eine einheitliche Vorgehensweise festgelegt sein. Vor allem da gerade diese Schichten in den herkömmlichen Datengrundlagen wie Energieausweisen nur annäherungsweise eingegeben oder sogar vernachlässigt sind (Kapitel 8.5).

Die **Gebäudegeometrie** zeigte deutliche Korrelationen mit den Bilanzierungsergebnissen beim GWP. Je geringer die Kompaktheit, desto größer die Relation von Hüllflächen zu Bezugsfläche (BGF). Die spezifischen Umweltwirkungen von Bauteilen der thermischen Gebäudehülle nahmen dadurch mit Zunahme der Kompaktheit (I_c) ab. Gezeigt wurde dies exemplarisch an den Dachaufbauten. Ferner wirkt sich ein großes Verhältnis von AW-Flächen¹¹⁷ zu KW-Flächen¹¹⁸ positiv auf das GWP aus. Projekte mit vergleichsweise großem Keller/Tiefgarage schnitten beim spezifischen GWP der Außenwände schlechter ab. Begründet liegt dies im Kellerwandaufbau; zu den STB-Wänden mit XPS-Dämmung gibt es derzeit noch keine Alternative, weshalb eine Optimierung nach ökologischen Kriterien nicht möglich ist (Kapitel 8.1.1).

Nach logischen Überlegungen müsste mit steigender **Energieeffizienzklasse** und damit zunehmender thermischer Qualität auch die Bedeutung der Nutzungsphase in Relation zur Konstruktionsphase abnehmen. Die Auswertungen zeigten, dass dies zumindest beim GWP nicht zwingend der Fall ist. Je nach Kombination von Energieträger, Strombedarf, Bezugsflächenverhältnis (kond.BGF/BGF) usw. hat auch die Konstruktionsphase von Gebäuden mittlerer Energieeffizienz (EEK B) einen Anteil von bis zu 46% am GWP (Kapitel 8.1.3). Es konnte kein nachvollziehbarer Zusammenhang zwischen Energieeffizienzklasse und konstruktionsbedingten Umweltwirkungen ermittelt werden (Kapitel 8.1.1).

Resümierend wird m.E. auch in naher Zukunft von qualitativen Indikatoren in der Nachhaltigkeitsbewertung ökologischer Aspekte nicht abgesehen werden können. Die Ökobilanz eignet sich jedoch gut für die Darstellung einiger Aspekte, wie Primärenergieinhalt und Treibhausgaspotential. Die Reduktion auf ausgewählte Indikatoren wie im **Ökoindikator (OI3)**, dessen Anwendung in Österreich immer mehr zunimmt, ist nach den Erkenntnissen aus der Masterarbeit gerechtfertigt. Jedoch scheint das Versauerungspotential kein besonders geeigneter Indikator für eine vergleichende Bewertung zu sein. Viel eher schlägt die Autorin die Indikatorenkombination Primärenergieinhalt gesamt, Primärenergieinhalt nicht erneuerbar, als Zusatzinformant, und das Treibhausgaspotential vor. In der Gewichtung der Indikatoren zueinander sieht die Autorin auf Ebene der BG3 Handlungsbedarf; derzeit wird das GWP „unterbewertet“ (Kapitel 3.4). Fußbodenbeläge inkl. Verlegewerkstoffe tragen zu ca. 10% zu den Gesamtumweltauswirkungen bei und sollten miteingerechnet werden, wie es der derzeitigen Praxis des OI3_{BG3,BZF} entspricht. Wandanstriche (Dispersionsfarbe) tragen trotz sehr geringer Massenanteile mit bis zu 7% zum ODP bei, können in der OI3-Berechnung aber dennoch vernachlässigt werden, da dabei dieser Indikator unberücksichtigt bleibt (Kapitel 8.3). Wie bereits erwähnt müssen klare Vorgaben zur Bilanzierung von Folien und Abdichtungen gemacht werden. Auf eine Erweiterung um die Nutzungsphase rät die Autorin für den OI3_{BG3,BZF} aus derzeitiger Sicht ab; erst wenn Energieausweise standardmäßig nutzungsbedingte Bedarfswerte von Tiefgaragen und Kellerräumen enthalten, sind die Werte vergleichbar und nicht durch Bezugsflächenverhältnisse verzerrt (Kapitel 8.1.2). Weitere Studien mit entsprechender Datengrundlage wären wünschenswert. Die Entsorgungsphase wirkt sich vor allem bei den Holzmassivbauten im GWP aus; verantwortlich dafür ist die thermische

¹¹⁷ Außenwandfläche gegen Außenluft.

¹¹⁸ Erdberührte Kellerwandflächen.

Verwertung der Holzbaustoffe und PE-Folien. Die in diesen Baustoffen gespeicherte Energie kann bereits in der Errichtungsphase über den gesamten Primärenergieinhalt (PE) erfasst werden. Die Autorin konkludiert, dass mit Hinzuziehen des PE-Indikators, von einer Erweiterung der zeitlichen Bilanzgrenze auf End-of-life-Prozesse im OI3 ohne maßgeblichen Informationsverlust abgesehen werden könnte. Weitere Studien zur Konkretisierung dieser These sind m.E. notwendig.

10 Anhang

10.1 Kriterienübersicht

Tabelle 28: BREEAM „Code for Sustainable Homes“ Kategorien, Kriterien und Indikatoren

Quelle: Eigene Darstellung nach BREEAM, 2010

Kategorie	Kriterien	Indikator	Punkte	Gewichtung
1) Energie und CO ₂ -Emissionen	Ene1: Emissionen während der Nutzungsphase	quantitativ (kgCO ₂ /(m ² *a))	10	9%
	Ene2: Energieeffizienz	quantitativ (kWh/m ² *a)	9	8%
	Ene3: Energiemonitoring	deskriptiv	2	2%
	Ene4: Trockenraum / -geräte	deskriptiv	1	1%
	Ene5: Zertifizierte Haushaltsgeräte	deskriptiv (EU Energy Efficiency Labelling Scheme (G bis A ⁺⁺))	2	2%
	Ene6: Außenbeleuchtung	deskriptiv, Watt	2	2%
	Ene7: Low- und Zero-Carbon Technologien	quantitativ (kgCO ₂ /(m ² *a))	2	2%
	Ene8: Fahrradabstellplätze	quantitativ	2	2%
	Ene9: Arbeitsplatzmöglichkeit	deskriptiv	1	1%
2) Wasser	Wat1: Indoor Water Use	quantitativ (Liter / (Person*Tag))	5	5%
	Wat2: External Water Use	deskriptiv	1	1%
3) Materialien	Mat1: Umweltauswirkungen der Baumaterialien	quantitativ (LCA mittels Green Guide Calculator Tool); Green Guide Rating (A ⁺ bis E)	15	14%
	Mat2: Umweltbewusste Materialbeschaffung – grundlegende Gebäudeelemente	deskriptiv (Zertifikate (z.B. Holz), Umweltmanagementsysteme)	6	6%
	Mat3: Umweltbewusste Materialbeschaffung – Ausbauelemente und Innenausstattung	deskriptiv (Zertifikate (z.B. Holz), Umweltmanagementsysteme)	3	3%
4) Abfluss des Oberflächenwassers	Sur1: Oberflächenwasser -Management	deskriptiv, quantitativ (Flood Risk Assessment)	2	2%
	Sur2: Hochwasserrisiko	deskriptiv, quantitativ (Flood Risk Assessment)	2	2%
5) Abfall	Was1: Entsorgung des recycelbaren und nicht recycelbaren Hausmülls	deskriptiv, quantitativ	4	4%
	Was2: Baustellen- Abfallmanagement	deskriptiv, quantitativ	3	3%
	Was3: Kompostierung	deskriptiv	1	1%
6) Schadstoffemissionen	Pol1: Global warming Potential (GWP) der Dämmstoffe	GWP < 5	1	1%
	Pol2: NOx emissions	mg/kWh (NOx)	3	3%
7) Gesundheit und Behaglichkeit	Hea1: Tageslicht	Durchschnittlicher Tageslichtfaktor mit Grenzwerten und direkte Besonnung	3	3%
	Hea2: Schallschutz (zum Nachbarn)	dB	4	4%
	Hea3: Hauseigene Grünfläche	M2, deskriptiv	1	1%
	Hea4: Zugänglichkeit und Adaptierbarkeit	16 Lifetime Homes Design-Kriterien	4	4%
8) Management	Man1: "Bedienungsanleitung" für das Gebäude,	deskriptiv	3	3%
	Man2: Baustellen-management	deskriptiv (Zertifikat (national oder lokal))	2	2%
	Man3: Umweltauswirkungen der Baustelle	quantitativ (Verbrauch von CO ₂ , Wasser, Energie; Staubbelastung; Verschmutzung des Grundwassers; Recycling des Bauholz)	2	2%
	Man4: Sicherheit	deskriptiv	2	2%
9) Ökologie	Eco1: Ökologischer Wert des Baulandes	deskriptiv	1	1%
	Eco2: Verbesserung des ökologischen Wertes	deskriptiv	1	1%
	Eco3: Bewahrung ökologischer Besonderheiten am Standort	deskriptiv	1	1%
	Eco4: Veränderungen des ökologischen Werts	quantitativ (Spezien/ha)	4	4%
	Eco5: Fußabdruck des Gebäudes	quantitativ (Flächenverhältnis)	2	2%
Summe:			107	100%

Tabelle 29: LEED for Homes Rating System Kategorien, Kriterien und Indikatoren

Quelle: Eigene Darstellung nach USGBC, 2013c, online und USGBC, 2013a

Kategorie	Kriterien	Indikator	Punkte	Ge- wichtung
1) ID	IDc1: Integrated project planning	Deskriptiv	4	3 %
	IDc2: Durability mangement process	Deskriptiv, Verifizierung durch einen Dritten	3	2 %
	IDc3: Innovative or regional design	Deskriptiv	4	3 %
2a) LL	LLc1: LEED for Neighborhood Development	Deskriptiv, LEED-ND Zertifizierung	10	7 %
2b) LL (alternativ)	LLc2: Site selection	Deskriptiv	2	1 %
	LLc3: Preferred locations	Deskriptiv	3	2 %
	LLc4: Infrastructure	Deskriptiv, quantitativ	1	1 %
	LLc5: Community resources/transit	Deskriptiv, quantitativ	3	2 %
	LLc6: Access to open space	Deskriptiv, quantitative	1	1 %
	3) SS	SSc1: Site stewardship	Deskriptiv	1
SSc2: Landscaping		Deskriptiv, quantitativ (Wasser!)	7	5 %
SSc3: Local heat island effects		Deskriptiv	1	1 %
SSc4: Surface water management		Deskriptiv, quantitativ	7	5 %
SSc5: Non-Toxic Pest Control		Deskriptiv	2	1 %
SSc6: Compact Development		Quantitativ	4	3 %
4) WE	WEc1: Water Reuse	Deskriptiv, quantitativ	5	4 %
	WEc2: Irrigation System	Deskriptiv, quantitativ	4	3 %
	WEc3: Indoor Water Use	Quantitativ	6	4 %
5a) EA	EAc1: Optimize Energy Performance	Quantitativ (HERS Index)	34	25 %
	EAc7.1: Domestic Hot Water Distribution System	Deskriptiv, quantitativ	2	1 %
	EAc7.2: Domestic Hot Water Pipe Insulation	Deskriptiv, quantitativ	1	1 %
5b) EA (alternativ)	EAc11: Residential refrigerant management	Deskriptiv, quantitativ	1	1 %
	EAc2: Insulation	Deskriptiv	2	1 %
	EAc3: Air infiltration	Quantitativ	3	2 %
	EAc4: Windows	Quantitativ	3	2 %
	EAc5: Heating and cooling distribution system	Deskriptiv, quantitativ	3	2 %
	EAc6: Space heating and cooling equipment	Quantitativ	4	3 %
	EAc7: Water heating	Deskriptiv, quantitativ	6	4 %
	EAc8: Lighting	Deskriptiv, Energy Star Label	3	2 %
	EAc9: Appliances	Deskriptiv, Energy Star Label	3	2 %
	EAc10: Renewable energy	Quantitativ	10	7 %
	EAc11: Residential refrigerant management	Deskriptiv, quantitativ	1	1 %
6) MR	MRc1: Material-Efficient Framing	Deskriptiv, quantitativ (Waste Factor ¹¹⁹ , Framing Document, Prefabrication etc.)	5	4 %
	MRc2: Environmentally preferable products	Deskriptiv (FSC, Liste mit "environmentally preferable Products"); quantitativ (regionale Produkte, VOC contents (g/L))	8	6 %
	MRc3: Waste management	Deskriptiv (Waste Management Plan), quantitativ (Abfall (Menge /BGF), Percentage diverted ¹²⁰)	3	2 %
7a) EQ	EQc1: Energy Star with Indoor Air Package	Energy Star IAP ¹²¹	13	10 %
	EQc4.2: Enhanced Outdoor Air Ventilation	Deskriptiv (ASHRAE Standard 62.2 ¹²²), quantitativ (Test Flow Rate)	2	1 %
	EQc5.2: Enhanced Local Exhaust	Deskriptiv (Strategienliste)	1	1 %
	EQc5.3: Third-Party Testing	Quantitativ (Messung)	1	1 %
	EQc7.2 / 7.3: Better / Best Air Filters	Quantitativ (Particle matter), Deskriptiv (Filterqualität (MERV))	2	1 %
	EQc8.2: Indoor Contaminant Control	Deskriptiv (Checklist)	2	1 %
7b) EQ (alternativ)	EQc2: Combustion Venting	Deskriptiv (Liste mit Vorgaben (zb für Kamin))	2	1 %
	EQc3: Moisture Control	Quantitativ	1	1 %
	EQc4: Outdoor Air Ventilation	Deskriptiv (ASHRAE Standard 62.2), quantitativ (Test Flow Rate)	3	2 %
	EQc5: Local Exhaust	Quantitativ (Messung), Deskriptiv (Strategienliste)	2	1 %
	EQc6: Distribution Of Space Heating And Cooling	Quantitativ (Messung), Deskriptiv (Liste mit Vorgaben)	3	2 %
	EQc7: Air Filtering	Quantitativ (Particle matter), Deskriptiv (Filterqualität (MERV))	2	1 %
	EQc8: Contaminant control	Deskriptiv (Checklist)	4	3 %
	EQc9: Radon protection	Deskriptiv (Bauen nach anerkanntem Standard)	1	1 %
	EQc10: Garage pollutant protection	Deskriptiv (Checklist)	3	2 %
	8) AE	AEc1: Education of the homeowner or tenant	Deskriptiv (Handbuch zur Instandhaltung, Checklist), qualitativ (Einschulung zum Umgang mit dem Gebäude, Training, öffentl. Bewusstseinsbildung)	2
AEc2: Education of building manger		Qualitativ (Ausbildung)	1	1 %
Total:			136	100 %

¹¹⁹ Der "Waste Factor" gibt den Prozentsatz an überschüssig bestelltem Baumaterial für die Rahmenkonstruktion an (USGBC, 2013a, S.81).

¹²⁰ "Waste diversion" bedeutet Abfall zu verhindern, verwenden, oder verwerten (Reduce, Reuse, Recycle) (Ontario – Ministry of the Environment, 2011, online).

¹²¹ Für nähere Informationen siehe <http://www.energystar.gov/> (Abgerufen am 18.03.2013 (11:47)).

¹²² Für nähere Informationen siehe <https://www.ashrae.org/standards-research--technology/standards--guidelines> (Abgerufen am 18.03.2013 (11:51)).

Tabelle 30: DGNB – System Neubau Wohngebäude (mehr als 6 Wohneinheiten), Version 2011
Quelle: DGNB, 2013a, online

GEWICHTUNG DER KRITERIEN



Neubau Wohngebäude, Version 2012						
Themenfeld	Kriteriengruppe	Kriteriennummer	Kriterienbezeichnung	Bedeutungsfaktor	Anteil an der Gesamtbewertung	
Ökologische Qualität (ENV)	Wirkungen auf globale und lokale Umwelt (ENV10)	ENV1.1	Okobilanz - emissionsbedingte Umweltwirkungen	7	7,9%	
		ENV1.2	Risiken für die lokale Umwelt	3	3,4%	
		ENV1.3	Umweltverträgliche Materialgewinnung	1	1,1%	
	Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen (ENV20)	ENV2.1	Okobilanz - Primärenergie	5	5,6%	
		ENV2.2	Trinkwasserbedarf und Abwasseraufkommen	2	2,3%	
		ENV2.3	Flächeninanspruchnahme	2	2,3%	
Ökonomische Qualität (ECO)	Lebenszykluskosten (ECO10)	ECO1.1	Gebäudebezogene Kosten im Lebenszyklus	3	11,3%	
	Wertentwicklung (ECO20)	ECO2.1	Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit	2	7,5%	
		ECO2.2	Marktfähigkeit	1	3,8%	
Soziokulturelle und funktionale Qualität (SOC)	Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit (SOC10)	SOC1.1	Thermischer Komfort	5	4,0%	
		SOC1.2	Innenraumluftqualität	3	2,4%	
		SOC1.3	Akustischer Komfort	0	0,0%	
		SOC1.4	Visueller Komfort	3	2,4%	
		SOC1.5	Einflussnahme des Nutzers	2	1,6%	
		SOC1.6	Außenraumqualitäten	2	1,6%	
		SOC1.7	Sicherheit und Störfallrisiken	1	0,8%	
	Funktionalität (SOC20)	SOC2.1	Barrierefreiheit	3	2,4%	
		SOC2.2	Öffentliche Zugänglichkeit	0	0,0%	
		SOC2.3	Fahrradkomfort	1	0,8%	
	Gestalterische Qualität (SOC30)	SOC3.1	Verfahren zur städtebaulichen und gestalterischen Konzeption	3	2,4%	
		SOC3.2	Kunst am Bau	0	0,0%	
		SOC3.3	Grundrissqualitäten	5	4,0%	
Technische Qualität (TEC)	Qualität der technischen Ausführung (TEC10)	TEC1.1	Brandschutz	2	4,1%	
		TEC1.2	Schallschutz	2	4,1%	
		TEC1.3	Wärme- und feuchteschutztechnische Qualität der Gebäudehülle	2	4,1%	
		TEC1.4	Anpassungsfähigkeit der technischen Systeme	1	2,0%	
		TEC1.5	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit des Baukörpers	2	4,1%	
		TEC1.6	Rückbau- und Demontagefreundlichkeit	2	4,1%	
		TEC1.7	Immissionsschutz	0	0,0%	
Prozessqualität (PRO)	Qualität der Planung (PRO10)	PRO1.1	Qualität der Projektvorbereitung	3	1,4%	
		PRO1.2	Integrale Planung	3	1,4%	
		PRO1.3	Nachweis der Optimierung und Komplexität der Herangehensweise in der Planung	3	1,4%	
		PRO1.4	Sicherung der Nachhaltigkeitsaspekte in Ausschreibung und Vergabe	2	1,0%	
		PRO1.5	Schaffung von Voraussetzungen für eine optimale Nutzung und Bewirtschaftung	2	1,0%	
	Qualität der Bauausführung (PRO20)	PRO2.1	Baustelle / Bauprozess	2	1,0%	
		PRO2.2	Qualitätssicherung der Bauausführung	3	1,4%	
		PRO2.3	Geordnete Inbetriebnahme	3	1,4%	
Standortqualität (SITE)	Standortqualität (SITE10)	SITE1.1	Mikrostandort	2	0,0%	
		SITE1.2	Image und Zustand von Standort und Quartier	2	0,0%	
		SITE1.3	Verkehrsanbindung	3	0,0%	
		SITE1.4	Nähe zu nutzungsrelevanten Objekten und Einrichtungen	2	0,0%	

Tabelle 31: TQB Wohngebäude Neubau, Version 2010 W2.2, vereinfachte Darstellung
 Quelle: eigene Darstellung nach ÖGNB, 2012

Index	Bezeichnung Kriterium / Kriteriumgruppe / Bewertungskategorie	max. anrechenbare Punkte
A	Standort und Ausstattung	max. 200
A. 1.	Infrastruktur (öffentl.Verkehr, Nahversorgung, soziale Infrastr., Erholungsgebiete etc.)	max. 50
A. 2.	Standortsicherheit und Baulandqualität	max. 50
A. 3.	Ausstattungsqualität (Innere Erschließung, Ausstattung, Freiräume, Einbruchsschutz)	max. 50
A. 4.	Barrierefreiheit	max. 50
B	Wirtschaftlichkeit und technische Qualität	max. 200
B. 1.	Wirtschaftlichkeit im Lebenszyklus (integrale Planung, Variantenanalyse, Gebäudebetrieb, Instandhaltung, Wartung, LCC-Berechnung)	max. 100
B. 2.	Baustellenabwicklung und Logistik	max. 30
B. 3.	Flexibilität und Dauerhaftigkeit	max. 40
B. 4.	Brandschutz	max. 30
C	Energie und Versorgung	max. 200
C. 1.	Energiebedarf (HWB, EEB, Luftdichtheit, Wärmebrückenoptimierung, therm.Solaranlage, Lüftungsanlage)	max. 75
C. 2.	Energieaufbringung (Primärenergieinhalt, PV, energieeffiziente Lüftungsanlage, CO2-Emissionen (Gebäudebetrieb))	max. 75
C. 3.	Wasserbedarf und Wasserqualität (indiv. Verbrauchsabrechnung, Regenwassernutzung, wassersparende Sanitäreinrichtungen, hygienische Qualität)	max. 50
D	Gesundheit und Komfort	max. 200
D. 1.	Thermischer Komfort (im Sommer und Winter, Gebäudeautomation)	max. 50
D. 2.	Raumluftqualität (Lüftung, Emissionsarme Bau- und Werkstoffe im Innenausbau, Vermeidung von Schimmel und Feuchte)	max. 50
D. 3.	Schallschutz	max. 50
D. 4.	Tageslicht und Besonnung	max. 50
E	Ressourceneffizienz	max. 200
E. 1.	Vermeidung kritischer Stoffe (HFKW, PVC, VOC (ausgenommen Innenausbau))	max. 50
E. 2.	Regionalität, Recyclinganteil, Zertifizierte Produkte	max. 50
E. 3.	Ökoeffizienz des Gesamtgebäudes (OI3)	max. 60
E. 4.	Entsorgung (Entsorgungsindikator)	max. 60
Gesamt		max. 1000

10.2 Korrelation von Kompaktheit und Indikatorwerten

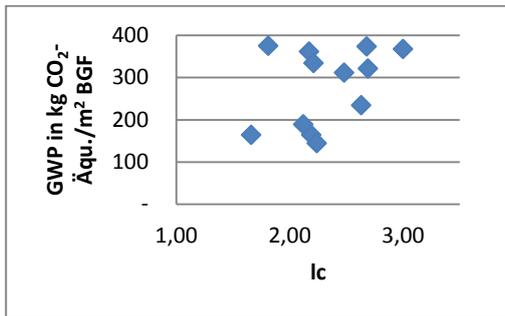


Abbildung 56: Korrelation von I_c und GWP
Quelle: Eigene Darstellung

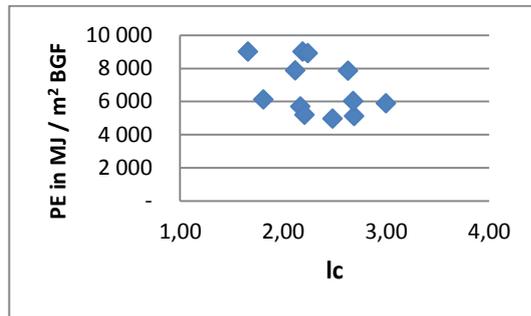


Abbildung 60: Korrelation von I_c und PE
Quelle: Eigene Darstellung

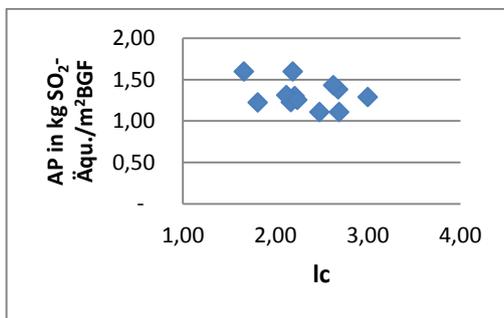


Abbildung 57: Korrelation von I_c und AP
Quelle: Eigene Darstellung

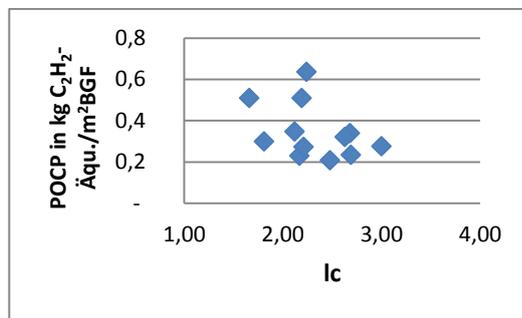


Abbildung 61: Korrelation von I_c und POCP
Quelle: Eigene Darstellung

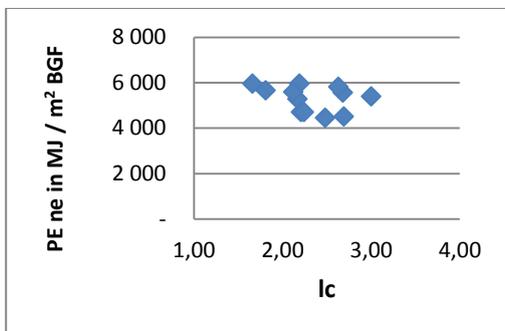


Abbildung 58: Korrelation von I_c und PE ne
Quelle: Eigene Darstellung

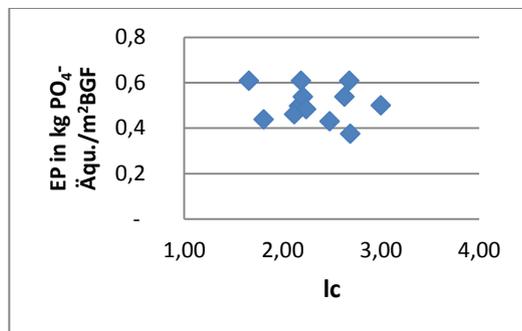


Abbildung 62: Korrelation von I_c und EP
Quelle: Eigene Darstellung

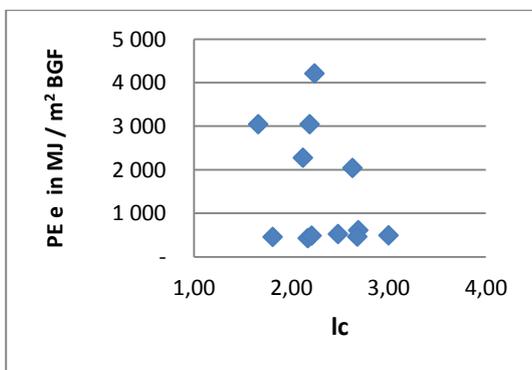


Abbildung 59: Korrelation von I_c und PE e
Quelle: Eigene Darstellung

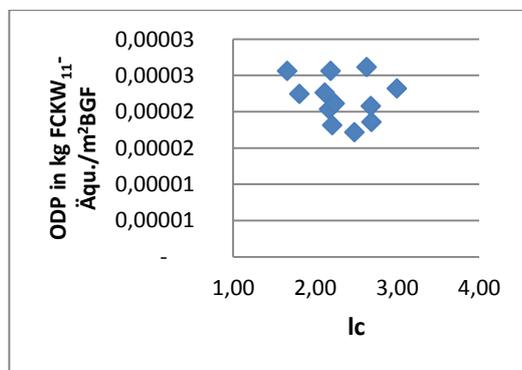


Abbildung 63: Korrelation von I_c und ODP
Quelle: Eigene Darstellung

11 Literaturverzeichnis

11.1 Primärliteratur – Normen und Richtlinien

- [Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2011] Amt der Niederösterreichischen Landesregierung (Hrsg.), 2011. *Wohnbauförderung Eigenheim*. Online verfügbar unter: http://www.noel.gv.at/bilder/d59/Broschuere_EH_Aufl11.pdf. Abgerufen am 17.10.2013 (17:08).
- [EU-Parlament und Rat, 2009] EU-Parlament und Rat (Hrsg.), 2009. *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast) (first reading)*. Interinstitutional File: 2008/0223 (COD). Brüssel.
- [EU-Parlament und Rat, 2010a] EU-Parlament und Rat (Hrsg.), 2010a. *Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*. Deutsche Fassung. Online verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:DE:PDF>. Abgerufen am 15.06.2013 (12:51).
- [EU-Parlament und Rat, 2010b] EU-Parlament und Rat (Hrsg.), 2010b. *Verordnung (EU) Nr. 995/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Oktober 2010 über die Verpflichtungen von Marktteilnehmern, die Holz und Holzzeugnisse in Verkehr bringen*. Amtsblatt der Europäischen Union. Online verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:295:0023:0034:DE:PDF>. Abgerufen am 11.03.2013 (20:32).
- [EU-Parlament und Rat, 2011] EU-Parlament und Rat (Hrsg.), 2011. *Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates Text von Bedeutung für den EWR*. Amtsblatt Nr. L 088 vom 04/04/2011 S. 0005 - 0043. Online verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:01:DE:HTML>. Abgerufen am 14.06.2013 (17:47).
- [Kärntner Landesregierung, 2012] Kärntner Landesregierung (Hrsg.), 2012. *Richtlinien vom 16. Jänner 2012 zum Kärntner Wohnbauförderungsgesetz 1997 und zum Gesetz, mit dem ein Wohn- und Siedlungsfonds für das Land Kärnten errichtet wird*. Online verfügbar unter: http://www.ktn.gv.at/187359_DE-Gesetze-187359_Richtlinie_vom_16.01.2012. Abgerufen am 26.02.2013 (22:48).
- [Landesregierung Steiermark, 2011] Landesregierung Steiermark (Hrsg.), 2011. *Die ökologische Wohnbauförderung II – Richtlinien*. Abteilung 15 – Wohnbauförderung. Online verfügbar unter: <http://www.verwaltung.steiermark.at/cms/dokumente/11700621/a01917fd/oekori.pdf>. Abgerufen am 27.02.2013 (19:49).
- [OIB, 2011a] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) (Hrsg.), 2011a. *OIB-Richtlinie 6 – Energieeinsparung und Wärmeschutz*. Online verfügbar unter: http://www.oib.or.at/RL6_b_061011.pdf. Abgerufen am 15.06.2013 (14:46).
- [OIB, 2011b] OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik) (Hrsg.), 2011b. *Leitfaden – Energietechnisches Verhalten von Gebäuden*. Online verfügbar unter: http://www.oib.or.at/LF6_301211%20Revision.pdf. Abgerufen am 17.10.2013 (18:13).

- [ÖNORM 15643-1, 2010] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2010. *ÖNORM EN 15643-1. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 1: Allgemeine Rahmenbedingungen* (Deutsche Fassung). Ausgabe 2010-11-01. Wien.
- [ÖNORM 15643-2, 2011] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2011. *ÖNORM EN 15643-2. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 2: Rahmenbedingungen für die Bewertung der umweltbezogenen Qualität* (Deutsche Fassung). Ausgabe 2011-04-15. Wien.
- [ÖNORM 15643-3, 2012] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2012. *ÖNORM EN 15643-3. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden - Teil 3: Rahmenbedingungen für die Bewertung der sozialen Qualität*. (Deutsche Fassung). Ausgabe 2012-03-15. Wien.
- [ÖNORM 15643-4, 2012] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2012. *ÖNORM EN 15643-4. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Teil 4: Rahmenbedingungen für die Bewertung der ökonomischen Qualität* (Deutsche Fassung). Ausgabe 2012-03-15. Wien.
- [ÖNORM 15978, 2012] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2012. *ÖNORM EN 15978. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden – Berechnungsmethode* (Deutsche Fassung). Ausgabe 2012-10-01. Wien.
- [ÖNORM 16309, 2011] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2011. *ÖNORM prEN 16309. Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der sozialen Qualität von Gebäuden – Methoden*. (Deutsche Fassung). Ausgabe 2011-09-01. Wien.
- [ÖNORM 8110-1, 2011] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2011. *ÖNORM B 8110-1. Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Deklaration des Wärmeschutzes von Niedrig- und Niedrigstenergiegebäuden – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf*. Ausgabe 2011-11-01. Wien.
- [ÖNORM EN ISO 14040, 2006] ÖNORM (Österreichisches Normungsinstitut) (Hrsg.), 2006. *ÖNORM EN ISO 14040. Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen* (Deutsche Fassung). Ausgabe 2006-10-01. Wien.
- [SIR, 2010] SIR (Salzburger Institut für Raumordnung und Wohnen) (Hrsg.), 2010. *SIR-Konkret – eine Information des Salzburger Instituts für Raumordnung und Wohnen – Salzburger Wohnbauförderung. Zuschlagspunkte für ökologische Maßnahmen. Energiebezogene Mindestanforderungen*. Online verfügbar unter: <http://www.salzburg.gv.at/zuschlagspunkte-6.pdf>. Abgerufen am 26.02.2013 (22:41).
- [Tiroler Landesregierung, 2012] Tiroler Landesregierung (Hrsg.), 2012. *Wohnbauförderungsrichtlinie*. Online verfügbar unter: http://www.tirol.gv.at/fileadmin/www.tirol.gv.at/themen/bauen-und-wohnen/wohnbaufoerderung/downloads/wbf-richtlinie_01-07-2012.pdf. Abgerufen am 26.2.2013 (22:36).
- [Vorarlberger Landesregierung, 2013] Vorarlberger Landesregierung (Hrsg.), 2013. *Neubauförderungsrichtlinie 2013*. Online verfügbar unter: <http://www.vorarlberg.at/pdf/neubaufoerderungsrichtlin.pdf>. Abgerufen am 27.02.2013 (19:30).

11.2 Sekundärliteratur

- [Umweltbundesamt, 2010] Umweltbundesamt (Hrsg.), 2010. *Neunter Umweltkontrollbericht*. Report REP-0286. Wien. Online verfügbar unter: <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0286.pdf>. Abgerufen am 10.03.2013 (16:05).
- [ANEC, 2009] ANEC (European Association for the Co-ordination of Consumer Representation in Standardisation) (Hrsg.), 2009. *ANEC-R&T-2009-ENV-002final, May 2009, New ANEC study - Environmental product indicators and benchmarks in the context of environmental labels and declarations*. s.l.
- [ANEC, 2011] ANEC (European Association for the Co-ordination of Consumer Representation in Standardisation) (Hrsg.), 2011. *Sustainable construction – a building site without end Alternatives to flawed standards*. Position Paper. Brussels.
- [BAK, 2008] BAK (Bundesarchitektenkammer), 2008. *Statement zur künftigen Gestaltung eines Systems zur Bewertung und Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden*. 9. Sitzung Runder Tisch Nachhaltiges Bauen am 13. März 2008 AZ: B 13 – 81 41.2/2. Berlin. Online verfügbar unter: <http://www.bak.de/site/ItemID=517/mid=836/844/default.aspx>. Abgerufen am 28.02.2013 (14:53).
- [BMLFUW, 2011] BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), Abteilung VI/3 (Hrsg. und Medieninhaber), 2011. *Bundesabfallwirtschaftsplan 2011 – Band 1*. Online verfügbar unter: <http://www.bundesabfallwirtschaftsplan.at/>. Abgerufen am 18.06.2013 (12:14).
- [Blengini et al., 2009] Blengini, G. A., Di Carlo, T., 2009. *The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings*. In: *Energy and Buildings* Elsevier. 42 (2010) S. 869–880.
- [BMLFUW et al., 2012] BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) und BMVIT (Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie) (Hrsg.), 2012. *Klima:aktiv Bauen und Sanieren – Kriterienkatalog Wohngebäude Neubau*. Version 5.0. Online verfügbar unter: <http://www.klimaaktiv.at/bauen-sanieren/gebaeudedeklaration/kriterienkatalog.html>. Abgerufen am 22.03.2013 (11:02).
- [BMU, 2007] BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (Hrsg.), 2007. *Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen – Von der Idee zur Praxis - Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility and Corporate Sustainability*. Wolfsburg. Online verfügbar unter: http://web.archive.org/web/20110113123001/http://www.econsense.de/PUBLIKATIONEN/ECONSENSE_PUBLIK/images/econsense_BMU_CSM_Nachhaltigkeitsmanagement_in_Unternehmen.pdf. Abgerufen am 23.03.2013 (17:14).
- [Braungart, 2010] Braungart, M., 2010. *16. Status-Seminar: „Forschen und Bauen im Kontext von Energie und Umwelt“ – Cradle to Cradle® als Design Prinzip in der Architektur*. ETH-Zürich. Online verfügbar unter: http://www.brenet.ch/pdfstat_2010/08_plen_braungart.pdf. Abgerufen am 22.03.2013 (13:44).
- [BREEAM, 2010] BREEAM Centre at the Building Research Establishment (BRE), 2010. *Code for Sustainable Homes – Technical Guide*. Department for Communities and Local Government (Hrsg.). London. Online verfügbar unter: https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/5976/code_for_sustainable_homes_techguide.pdf. Abgerufen am 23.03.2013 (16:07).

- [Bruck et al., 2004] Bruck, M., Fellner, M., 2004. *Externe Kosten im Hochbau, Band III: Externe Kosten: Referenzgebäude und Wärmeerzeugungssysteme*. Studie. Wien. In: Mötzl, H., Fellner, M., 2011a. *Environmental and health related criteria for buildings*. Final Report. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH. Wien.
- [Bühl, 2012] Bühl, A., 2012. *SPSS 20 – Einführung in die moderne Datenanalyse*. 13. Auflage. Pearson Deutschland GmbH. München.
- [Deutsche Immobiliengesellschaft, 2008] Deutsche Immobiliengesellschaft (Hrsg.), 2008. *Studie zur Zahlungsbereitschaft für nachhaltige Gebäude in Deutschland: Ergebnisse einer Befragung von ca. 200 Führungskräften aus der deutschen Immobilienwirtschaft im Rahmen der 15. Handelsblatt Jahrestagung Immobilienwirtschaft*. Berlin. In: Ebert, T., Eßig, N., Hauser, G., 2010. *Zertifizierungssysteme für Gebäude – Nachhaltigkeit bewerten – Internationaler Systemvergleich – Zertifizierung und Ökonomie*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. Edition Detail Green Books. München.
- [Dolezal et al., 2013] Dolezal, F., Spitzbart, C., Deutsch, A., Mötzl, H., Huemer, E., Mair, O., 2013. *EcoTimber. AP4: Primärenergie und Treibhausgas-Bilanz über den Gebäudelebenszyklus sowie die Rolle von Baustoffen bei der Bilanzierung von Zero-Energy-Gebäuden. Lebenszyklusberechnungen von 3 Beispielgebäuden*. Bericht des Forschungsprojekts „WWN Wood in carbon efficient construction“ des Fachverbands der Holzindustrie im Auftrag der FFG (Basisprogramm). Unveröffentlichter Bericht. 13. Sept. 2013. s.l.
- [Ebert et al., 2010] Ebert, T., Eßig, N., Hauser, G., 2010. *Zertifizierungssysteme für Gebäude – Nachhaltigkeit bewerten – Internationaler Systemvergleich – Zertifizierung und Ökonomie*. Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co. KG. Edition Detail Green Books. München.
- [Eßig, 2010] Eßig, N., 2010. *Nachhaltigkeit von Olympischen Sportbauten – Analyse der Umsetzbarkeit und Messbarkeit von Nachhaltigkeitsaspekten bei Wettkampfstätten von Olympischen Spielen*. Fraunhofer Verlag. Stuttgart.
- [Eyerer et al., 2000] Eyerer, P., Reinhardt, H., Kreißig, J., Kümmel, J., Baitz, M., Betz, M., Hutter, V., Saur, K., Schöch, H., 2000. *Ökologische Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden – Wege zu einer ganzheitlichen Bilanzierung*. Birkhäuser Verlag. Basel.
- [Gauzin-Müller, 2002] Gauzin-Müller, D., 2002. *Nachhaltigkeit in Architektur und Städtebau – Konzepte, Technologien, Beispiele*. Birkhäuser. Basel. [Einheitssachtitel: *L'architecture écologique <dt.>*, 2001.]
- [Geissler et al., 2008] Geissler, S., Holanek, N., Jetzinger, F., 2008. *Umwelt-nachhaltigkeitsorientierte Gebäudebewertung – nationale und internationale Bewertungssysteme im Überblick*. Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency (Hrsg.). Wien.
- [Gestring et al., 1997] Gestring, N., Heine, H., Mautz, R., Mayer, H., Siebel, W., 1997. *Ökologie und urbane Lebensweise – Untersuchungen zu einem anscheinend unauflösbaren Widerspruch*. Vieweg. Braunschweig / Wiesbaden.
- [Girmscheid et al., 2010] Girmscheid, G., Lunze, D., 2010. *Nachhaltig optimierte Gebäude – Energetischer Baukasten, Leistungsbündel und Life-Cycle-Leistungsangebote*. Springer. Berlin / Heidelberg.

- [Goedkoop et al., 2001] Goedkoop, M., und Spriensma, R., 2001. *The Eco-indicator 99 – A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment – Methodology Report*. 3. Auflage. Online verfügbar unter: http://www.pre-sustainability.com/download/misc/EI99_methodology_v3.pdf. Abgerufen am 15.04.2013 (17:28).
- [Hampel, 2012] Hampel, M., 2012. *Einfluss zukünftiger energetischer Standards auf die Ergebnisse der Ökobilanz (LCA) und Lebenszykluskosten (LCC) am Beispiel Einfamilienhaus*. Masterarbeit. Lehrstuhl für Bauphysik. Universität Stuttgart. Stuttgart.
- [Holzmann et al., 2012] Holzmann, G., Wangelin, M., Bruns, R., 2012. *Natürliche und pflanzliche Baustoffe – Rohstoff – Bauphysik – Konstruktion*. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage. Springer Vieweg. Wiesbaden.
- [IBO, 2011] IBO (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH) (Hrsg.), 2011. *OI3-Indikator – Leitfaden zur Berechnung von Ökokennzahlen von Gebäuden*. Version 2.2. Online verfügbar unter: http://www.ibo.at/de/documents/20111104_OI3_BerechnungsleitfadenV22.pdf. Abgerufen am 15.04.2013 (16:57).
- [IBO, 2012] IBO (Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH) (Hrsg.), 2012. *IBO-Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen*. Version 2.3. Online verfügbar unter: http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Richtwerte_kurz_120620.pdf. Abgerufen am 08.11.2013 (13:51).
- [Jungbluth, 2007] Jungbluth, N., 2007. *Sonnenkollektoranlagen*. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen – Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz - ecoinvent report No. 6-XI*. Dones, R (Hrsg.). Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Schweiz.
- [Klöpffer et al., 2009] Klöpffer, W., Grahl, B., 2009. *Ökobilanz (LCA) – Ein Leitfaden für Ausbildung und Beruf*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.
- [König et al., 2009] König, H., Kohler, N., Kreißig, J., Lützkendorf, T., 2009. *Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen, Berechnungen, Planungswerkzeuge*. Edition Detail Green Books. München.
- [Lipp, 2009] Lipp, B., 2009. *AP06 Nachhaltigkeit massiv – OI3-Erweiterungen: Bilanzgrenzen, Kennzahlen und Nutzungsdauer*. Wien.
- [Loewe et al., s.a.] Loewe, K., Albrecht, S., Wittstock, B., Fischer, M., Sedlbauer, K., s.a. *Anforderungen an den ökobilanziellen Vergleich verschiedener Bauweisen am Beispiel 1-2 Familienhaus*. Fraunhofer Institut für Bauphysik. Universität Stuttgart. Stuttgart. Online verfügbar unter: <http://info.tuwien.ac.at/bausim/conftool/loewe-2010-anforderungen-an-den-ökobilanziellen-vergleich-verschiedener-bauweisen-am-beispiel-eines-1-2.pdf>. Abgerufen am 24.05.2013 (13:46)
- [Meckmann, s.a] Meckmann, F., s.a. *Nachhaltiges Bauen - Eine qualitative Übersicht und quantitative Analyse*. Verlag der Technischen Universität Graz. Graz.
- [Mötzl et al., 2008] Mötzl, H., Boogmann, P., Lipp, B., Wurm, M., Tappler, P., Twrdik, F., 2008. *Raumluftindikator(en) für den Wohnbau – Teil 1: Modell für die Wohnbauförderung*. IBO-Forschungsbericht. Wien.

- [Mötzl et al., 2009] Mötzl, H., Pladerer, C., Aschenbrenner, U., Meissner, M., Wurm, M., Zelger, T., 2009. *Assessment of Buildings and Constructions (ABC)-Disposal – Maßzahlen für die Entsorgungseigenschaften von Gebäuden und Konstruktionen für die Lebenszyklusbewertung*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Hrsg.). Wien.
- [Mötzl et al., 2011a] Mötzl, H., Fellner, M., 2011a. *Environmental and health related criteria for buildings*. Final Report. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH (Hrsg.). Wien.
- [Mötzl et al., 2011b] Mötzl, H., Schneider, U., Brühl, S., Motz, E., Wurm, M., Zelger, T., Böck, M., Ladurner, S., Baumann, A., Breuer, S., Gattringer H., Waltjen, T., 2011b. *Bauen mit recycros - Bauen mit Recyclingmaterialien - Subprojekt 2 zum Leitprojekt „gugler! build & print triple zero“*. BMVIT (Bundesministerium für Verkehr und Technologie) (Hrsg.). Online verfügbar unter: http://download.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/endbericht_1130_recycros.pdf. Abgerufen am 23.03.2013 (16:22).
- [Mötzl, 2010] Mötzl, H., 2010. *EnergieberaterInnen-FB 2010 – Ökologische Bewertung von Baustoffen – Werkzeuge*. Präsentation. Online verfügbar unter: ftp://ftp.lev.at/Seminar_oekologische_Baustoffe/Hildegund%20M%F6tzl%20Teil%201.pdf. Abgerufen am 24.05.2013 (12:10).
- [Nemry et al., 2008] Nemry, F., Uihlein, A., 2008. *Environmental Improvement Potentials of Residential Buildings (IMPRO-Building)*. Report. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg.
- [ÖGNB, 2012] ÖGNB (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen und Wohnen) (Hrsg.), 2012. *Testversion für Wohngebäude – Dokumentation von TQB für Wohngebäude als pdf*. Online verfügbar unter: <https://www.oegnb.net/de/tqbttest.htm>. Abgerufen am 27.02.2013 (20:15).
- [ÖGNI, 2013] ÖGNI (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft) (Hrsg.), 2013. *ÖGNI-Systembroschüre – Ausgezeichnet. Nachhaltig Bauen mit Systemen*. Online verfügbar unter: <http://www.ogni.at/de/zertifizierung/>. Abgerufen am 12.07.2013 (15:11).
- [ÖROK, 2011] ÖROK (Geschäftsstelle der Österreichischen Raumordnungskonferenz) (Hrsg.), 2011. *ÖREK – Österreichisches Raumentwicklungskonzept*. Wien. Online verfügbar unter: http://www.oerok.gv.at/fileadmin/Bilder/2.Reiter-Raum_u_Region/1.OEREK/OEREK_2011/Dokumente_OEREK_2011/OEREK_2011_DE_Downloadversion.pdf. Abgerufen am 23.03.2013 (17:36).
- [Passer et al., 2008] Passer, A., Schuster, D., Michlmaier, M., Maydl, P., 2008. *Vorprojekt Gebäudebewertung*. Insitut für Materialprüfung und Baustofftechnologie. Technische Universität Graz. Graz. Online verfügbar unter: http://www.nachhaltigkeit-massiv.at/wp-content/uploads/images-nachhaltigkeit-massiv/AP01_TU-Graz_2008-04-28-Vorprojekt1.pdf. Abgerufen am 24.05.2013 (11:17).
- [Peuportier et al., 2005] Peuportier, B., Putzeys, K., 2005. *Practical Recommendations for Sustainable Construction (PRESCO) – Work Package 2, Inter-Comparison and Benchmarking of LCABased Environmental Assessment and Design Tools*. Final Report. s.l.
- [Peuportier, 2011] Peuportier, B., 2011. *Life cycle assessment methodologies in the construction sector: the contribution of the European LORE-LCA project*.

- Conference Paper. Proceedings of 6th World Sustainable Building Conference. Helsinki. Online verfügbar unter:
[http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0767/\\$FILE/cp0767.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0767/$FILE/cp0767.pdf).
 Abgerufen am 14.05.2013 (15:07).
- [Pöhn et al., 2007] Pöhn, C., Pech, A., Bednar, T., Streicher, W., 2007. *Bauphysik Erweiterung 1: Energieeinsparung und Wärmeschutz, Energieausweis – Gesamtenergieeffizienz*. Springer-Verlag. Wien.
- [Prakash et al., 2008] Prakash, S., Manhart, A., Stratmann, B., Reintjes, N., 2008. *Environmental product indicators and benchmarks in the context of environmental labels and declarations*. Final Report. Commissioned by ANEC. Freiburg / Darmstadt / Berlin.
- [Reed et al., 2009] Reed, R., Bilos, A., Wilkinson, S., Schulte, K., 2009. *International Comparison of sustainable Rating Tools*. In: JOSRE (Journal of Sustainable Real Estate), Vol. 1, No. 1. Online verfügbar unter: http://www.josre.org/wp-content/uploads/2012/09/Sustainable_Rating_Tools-JOSRE_v1-11.pdf. Abgerufen am 20.03.2013 (23:17).
- [Schmidt, 2012] Schmidt, A., 2012. *Analysis of five approaches to environmental assessment of building components in a whole building context*. Report commissioned by Eurima. Final Report. FORCE Technology, Department of Applied Environmental Assessment. Lyngby.
- [Sellner, 2012] Sellner, G., 2012. *Ökobilanzierung von Bürogebäuden – Analyse von Einflussfaktoren auf negative Umweltauswirkungen*. Masterarbeit. Universität für Bodenkultur Wien. Wien.
- [Stoffregen et al., 2010] Stoffregen, A., Kreißig, J., König, H., 2010. *Ökologische Bewertung der Haustechnik*. Forschungsbericht Projekt-Nr. 10.08.17.7 – 07.30. Endbericht. Online verfügbar unter:
http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/forschungsprojekte/Endbericht_TGA_20100727.pdf. Abgerufen am 24.05.2013 (11:51).
- [Treberspurg, 1994] Treberspurg, M., 1994. *Neues Bauen mit der Sonne – Ansätze zu einer klimagerechten Architektur*. Springer-Verlag. Wien, New York.
- [Treberspurg, 2006] Treberspurg, M., 2006. *Ressourcenorientiertes Bauen*. 2. Auflage. Lehr- und Lernunterlagen der Universität für Bodenkultur Wien. Wien.
- [Trusty et al., s.a.] Trusty, W. B., Horst, S., s.a. *Integrating LCA Tools in Green Building Rating Systems*. Athena™ Sustainable Materials Institute. Merrickville. Athena™ Institute International. Kutztown. Online verfügbar unter:
<http://www.stanford.edu/group/narratives/classes/08-09/CEE215/ReferenceLibrary/Green%20Materials/Integrating%20LCA%20Tools%20in%20Green%20Building%20Rating%20Systems.pdf>. Abgerufen am 24.05.2013 (09:28).
- [Turney et al., 2012] Turney, C., Lakenbrink, S., Bötzel, B., 2012. *Praxis-Handbuch für nachhaltige Gebäude – Optimierung der Kosteneffizienz im Zertifizierungsprozess*. Verlag Dr. Köster. Berlin.
- [Umweltbundesamt, 2012] Umweltbundesamt (Hrsg.), 2012. *Klimaschutzbericht 2012*. Report REP-0391. Wien. Online verfügbar unter:
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0391.pdf>.
 Abgerufen am 09.03.2013 (17:04).

- [USGBC, 2013a] USGBC (United States Green Building Council) (Hrsg.), 2013a. *LEED for Homes Rating System. January 2008*. Online verfügbar unter http://new.usgbc.org/sites/default/files/LEED%20for%20Homes%20Rating%20System_updated%20April%202013.pdf. Abgerufen am 06.04.2013 (20:06).
- [USGBC, 2013b] USGBC (United States Green Building Council) (Hrsg.), 2013c. *LEED 2009 for New Construction and Major Renovations Rating System*. Updated April 2013. Online verfügbar unter: http://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%202009%20RS_NC_04.01.13_current.pdf. Abgerufen am 18.06.2013 (09:55)
- [Wallbaum et al., 2011] Wallbaum, H., Kytzia, S., Kellenberger, S., 2011. *Nachhaltig Bauen – Lebenszyklus, Systeme, Szenarien, Verantwortung*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. Zürich.
- [WBCSD, 2009] WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) (Hrsg.), 2009. *Cement Technology Roadmap 2009 – Carbon Emissions Reductions up to 2050*. Report. Online verfügbar unter: <http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11423&NoSearchContextKey=true>. Abgerufen am 09.03.2013 (17:48).
- [WCED, 1987] WCED (World Commission on Environment and Development) (Hrsg.), 1987. *Our Common Future*. Report. Oxford. Online verfügbar unter: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>. Abgerufen am 08.03.13 (18:24).
- [Wittstock et al., 2012] Wittstock, B., Gantner, J., Lenz, K., Saunders, T., Anderson, J., Carter, C., Gyetvai, Z., Kreißig, J., Braune, A., Lasvaux, S., Bosdevigie, B., Bazzana, M., Schiopu, N., Jayr, E., Nibel, S., Chevalier, J., Hans, J., Fullana-i-Palmer, P., Gazulla, C., Mundy, J., Barrow-Williams, T., Sjöström, C., 2012. *EeBGuide Guidance Document – Part B: Buildings – Operational Guidance for the life cycle assessment studies of the Energy-Efficient Buildings Initiative*. Online verfügbar unter: http://www.eebguide.eu/?page_id=659. Abgerufen am 21.05.2013 (18:38).
- [Zabalza Bribián et al., 2009] Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A., Scarpellini, S., 2009. *Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. Building and Environment 44 (2009) S. 2510-2520.
- [Zelger et al., 2009] Zelger, T., Mötzl, H., Scharnhorst, A., Wurm, M., 2009. *Erweiterung des OI3-Index um die Nutzungsdauer von Baustoffen und Bauteilen: Zusammenstellung von Referenz-Nutzungsdauern für alle relevanten Baustoffe und Bauteile in typischen Einbausituation sowie den sich daraus ergebenden Instandhaltungszyklen innerhalb eines definierten Betrachtungszeitraums*. Teilprojekt AP3 im Rahmen des Energie der Zukunft Projekts 815716. Wien. In: Mötzl, H., Fellner, M., 2011a. *Environmental and health related criteria for buildings*. Final Report. IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH. Wien.

11.3 Onlinequellen

- [Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.a. , online] Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.c. *Lexikon der Nachhaltigkeit – Cradle to Cradle Vision*. http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_f_cradle_to_cradle_vision_1544.htm?sid=8023b997936201c1c7182205684bd2b7. Abgerufen am 22.03.2013 (12:42).
- [Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.b. , online] Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.d. *Lexikon der Nachhaltigkeit – Drei Säulen Modell*.

http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_a_drei_saeulen_modell_1531.htm.
Abgerufen am 23.03.2013 (16:51).

[Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.c. , online] Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.e. *Lexikon der Nachhaltigkeit – Ein Säulen Modell & Pyramiden Modelle*.

http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_e_ein_saeulen_modell_pyramiden_modelle_1543.htm. Abgerufen am 23.03.2013 (16:56).

[Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.d. , online] Aachener Stiftung Kathy Beys, s.a.f. *Lexikon der Nachhaltigkeit – Integratives Nachhaltigkeitsmodell*.

http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/1_3_c_integratives_nachhaltigkeitsmodell_1541.htm. Abgerufen am 23.03.2013 (17:08).

[AGDW e.V., 2011, online] AGDW (Arbeitsgemeinschaft Deutscher Waldbesitzerverbände) e.V., 2011. *Holzhandel*. <http://www.waldbesitzerverbaende.de/europa-und-internationales/europa/holzhandel>. Abgerufen am 11.03.2013 (20:23).

[Austrian Standards Institute, s.a.a. , online] Austrian Standards Institute, s.a.a. *Was ist eine Norm?* <http://www.as-institute.at/development/normen-entwickeln/grundlagen/was-ist-eine-norm.html>. Abgerufen am 07.03.2013 (12:46).

[Austrian Standards Institute, s.a.b. , online] Austrian Standards Institute, s.a.b. *Normen - wozu?* <http://www.as-institute.at/development/normen-anwenden/normen-wozu.html>. Abgerufen am 07.03.2013 (12:52).

[BMVBS, 2013, online] BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung), 2013. *Polymerbitumen-Dichtungsbahn – Produktgruppeninformation*.

[http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/dichtungen-abdichtungen/abdichtungen/abdichtungsbahnen/polymerbitumen-dichtungsbahn.html](http://www.wecobis.de/bauproduktgruppen/dichtungen-abdichtungen/abdichtungsbahnen/polymerbitumen-dichtungsbahn.html). Abgerufen am 08.10.2013 (16:01).

[BREEAM, s.a. , online] BREEAM, s.a.a. *Background to the Green Guide to Specification*. <http://www.bre.co.uk/greenguide/page.jsp?id=2069>. Abgerufen am 04.04.2013 (15:33).

[Bundeskanzleramt Österreich, 2013, online] Bundeskanzleramt Österreich, 2013. *Nationale / Europäische / Internationale Normen*.

<https://www.help.gv.at/Portal.Node/hlpd/public/content/218/Seite.2180003.html>. Abgerufen am 20.04.2013 (14:32).

[DGNB, 2013a, online] DGNB (Deutsche Gesellschaft Nachhaltigen Bauens), 2013. *DGNB-System. Neubau Wohngebäude*. http://www.dgnb-system.de/de/nutzungsprofile/alle-nutzungsprofile/neubau_wohngebäude.php.

Abgerufen am 12.06.2013 (10:54).

[DGNB, 2013b, online] DGNB (Deutsche Gesellschaft Nachhaltigen Bauens), 2013. *DGNB-System – Gold. Silber. Bronze. Die Bewertung*. <http://www.dgnb-system.de/de/system/gold-silber-bronze/>.

Abgerufen am 12.06.2013 (11:16).

[Die Presse, 2011, online] Die Presse, 2011. *Zukunft für Zertifikate*. Zeitungsartikel.

http://immobilien.diepresse.com/home/gebaeude/635957/Zukunft-der-Zertifikate?_vi_backlink=/home/gebaeude/636706/index.do&direct=636706.

Abgerufen am 20.03.2013 (23:23).

[ETH Wohnforum – ETH CASE, s.a. , online] ETH Wohnforum – ETH CASE, s.a.. *Nachhaltige Entwicklung – illustriert am Beispiel Bauen und Wohnen mit Holz: Interdisziplinär anwendbare Unterrichtsmaterialien (2002-2005)*.

<http://www.wohnforum.arch.ethz.ch/projekte/nachhalt-entw.html>. Abgerufen am 09.03.2013 (12:41).

- [Lebensministerium, 2012, online] Lebensministerium, 2012. *Trinkwasser und Wasserverbrauch*. <http://www.lebensministerium.at/wasser/nutzung-wasser/Trinkwasser.html>. Abgerufen am 14.03.2013 (11:13).
- [McDonough, 2006, online] McDonough, W.A., 2006. *Cradle to Cradle – Remaking the way we make things*. http://www.mcdonough.com/cradle_to_cradle.htm. Abgerufen am 22.03.2013 (14:15).
- [ÖGNB, 2013a, online] ÖGNB (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), 2013. *ÖGNB – TQB-Bewertung*. <https://www.oegnb.net/tqb.htm>. Abgerufen am 12.06.2013 (11:57).
- [ÖGNB, 2013b, online] ÖGNB (Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen), 2013. *TQB-Tool – Testversion für Wohngebäude*. <https://www.oegnb.net/tqbtest.htm>. Abgerufen am 12.06.2013 (12:28).
- [Ontario – Ministry of the Environment, 2011, online] Ontario – Ministry of the Environment, 2011. *Waste Diversion*. http://www.ene.gov.on.ca/environment/en/subject/waste_diversion/index.htm. Abgerufen am 08.04.2013 (17:29).
- [OPEN HOUSE, 2013a, online] OPEN HOUSE, 2013a. *Documents – OPEN HOUSE new brochure 1 / 2*. <http://www.openhouse-fp7.eu/documents>. Abgerufen am 14.06.2013 (11:59).
- [OPEN HOUSE, 2013b, online] OPEN HOUSE, 2013b. *Concept and Objectives*. http://www.openhouse-fp7.eu/about_project/concept_and_objectives. Abgerufen am 14.06.2013 (12:04).
- [Österreichische Bauzeitung, 2010, online] Österreichische Bauzeitung, 2010. *Umweltmedaillen für Gebäude*. Zeitungsartikel. <http://www.diebauzeitung.at/umweltmedaillen-fuer-gebaeude-104953.html>. Abgerufen am 05.03.2013 (17:00).
- [ÖVGW, s.a.a, online] ÖVGW (Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach), s.a.a. *Trinkwasser in Österreich*. <http://www.ovgw.at/wasser/themen/?uid:int=294>. Abgerufen am 14.03.2013 (11:16).
- [ÖVGW, s.a.b, online] ÖVGW (Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach), s.a.b. *Nutzung*. <http://www.ovgw.at/wasser/themen/?uid:int=290>. Abgerufen am 14.03.2013 (11:35).
- [Owens, 2011, online] Owens, B., 2011. *Youtube-Video Statement*. <http://www.youtube.com/watch?v=4MmODqrQmg0>. Abgerufen am 05.03.2013 (17:41).
- [PE INTERNATIONAL AG, s.a.a. , online] PE INTERNATIONAL AG, s.a.a. *LCA-Databases GaBi*. <http://www.gabi-software.com/databases/>. Abgerufen am 15.04.2013 (16:40).
- [PE INTERNATIONAL AG, s.a.b. , online] PE INTERNATIONAL AG, s.a.b. *Carbon Footprint / CO2-Fußabdruck – Was ist ein Carbon Footprint?* <http://www.pe-international.com/ce-eu-german/services-loesungen/carbon-footprint/>. Abgerufen am 15.04.2013 (17:21).
- [Statistik Austria, 2012, online] Statistik Austria, 2012. *Entwicklung der Einpersonenhaushalte 2011 – 2060 nach Bundesländern - Haushaltsprognose 2012*. http://www.statistik.at/web_de/statistiken/bevoelkerung/demographische_prognose_n/haushalts_und_familienprognosen/index.html. Abgerufen am 17.03.2013 (11:58).

- [Statistik Austria, s.a.a, online] Statistik Austria, s.a.a. *Umweltorientierte Nachhaltigkeit – Treibhausgasemissionen*.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wie_gehts_oesterreich/umweltorientierte_nachhaltigkeit/index.html. Abgerufen am 09.03.2013 (17:55).
- [Statistik Austria, s.a.b, online] Statistik Austria, s.a.b. *Umweltorientierte Nachhaltigkeit – Flächeninanspruchnahme durch Bau- und Verkehrsflächen (getrennte Entwicklung)*.
http://www.statistik.at/web_de/statistiken/wie_gehts_oesterreich/umweltorientierte_nachhaltigkeit/index.html. Abgerufen am 09.03.2013 (13:42).
- [SuPerBuildings, 2013, online] SuPerBuildings, 2013. *Objectives*.
<http://cic.vtt.fi/superbuildings/node/8>. Abgerufen am 14.06.2013 (12:10).
- [Umweltbundesamt, s.a.a, online] Umweltbundesamt, s.a.a. *Versiegelung nimmt zu*.
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/flachen-inanspruch/>. Abgerufen am 09.03.2013 (18:11).
- [Umweltbundesamt, s.a.b, online] Umweltbundesamt, s.a.b. *Ursachen für die steigende Flächeninanspruchnahme*.
<http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/raumordnung/flachen-inanspruch/ursachen/>. Abgerufen am 09.03.2013 (18:20).
- [USEtox™, 2013, online] USEtox™, 2013. *Frequently Asked Questions*.
<http://www.usetox.org/faq#t25n118>. Abgerufen am 27.05.2013 (14:18).
- [USGBC, 2013c, online] USGBC (United States Green Building Council), 2013b. *LEED Homes v2008*. <http://new.usgbc.org/credits/homes/v2008>. Abgerufen am 06.04.2013 (16:38).
- [WKO, 2013, online] WKO (Wirtschaftskammer Österreich), 2013. *Energieausweis-Vorlage-Gesetz NEU*.
http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=674864&dstid=1166&titel=Energieausweis-Vorlage-Gesetz%2CNEU. Abgerufen am 15.06.2013 (14:05).

11.4 Persönliche und schriftliche Mitteilungen

- [Fellner, 2013, persönliche Mitteilung] Fellner, M., 2013. *Persönliche Mitteilung betreffend BREEAM Code for Sustainable Buildings*. BREEAM International Assessor. IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Auskunft vom 23.07.2013.
- [Mötzl, 2013, persönliche Mitteilung] Mötzl, H., 2013. *Persönliche Mitteilung betreffend EcoSoft Hintergrundinformationen und Übergabe einer Tabelle zur Abschätzung der Transportwege nach Baumaterialgruppen*. IBO-Vorstandsmitglied. IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Auskunft vom 29.08.2013.
- [Mötzl, 2013, schriftliche Mitteilung] Mötzl, H., 2013. *Schriftliche Mitteilung betreffend der Bilanzierung von Recycling- und Verwertungspotentiale in Ökobilanzen*. IBO-Vorstandsmitglied. IBO-Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH. Auskunft vom 06.11.2013.

12 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aktionsfelder ökologisch-nachhaltigen Bauens Quelle: Eigene Darstellung.....	5
Abbildung 2: Anteil der Sektoren an den Treibhausgas-Emissionen 2010 und Änderung der Emissionen zwischen 1990 und 2010 Quelle: Umweltbundesamt, 2012, S.23	6
Abbildung 3: Flächeninanspruchnahme in Österreich getrennt nach Bau- und Verkehrsflächen Quelle: Statistik Austria, s.a.b.....	8
Abbildung 4: Entwicklung der Einpersonenhaushalte 2011 bis 2060 nach Bundesländern - Haushaltsprognose 2012 Quelle: Statistik Austria, 2012, online	8
Abbildung 5: Übersicht über Maßnahmen der Solarstrategien Quelle: Treberspurg, 1994 ,S.62	11
Abbildung 6: Potential zur Nachhaltigkeitsoptimierung in Abhängigkeit der Projekt- / Zertifizierungsphase Quelle: Ebert et al., 2010, S.80.....	14
Abbildung 7: Element-Ebenen in Bewertungssystemen Quelle: Eigene Darstellung	16
Abbildung 8: Phasen einer Ökobilanz Quelle: ÖNORM EN ISO 14040, 2006, S.13	33
Abbildung 9: Energieformen und ihr Zusammenhang. Quelle: Mötzl, 2010, S.6	36
Abbildung 10: Benchmarks für Ökobilanzen von Wohnhausanlagen bei DGNB. Quelle: Wittstock et al., 2012, S.348.....	41
Abbildung 11: Ablaufdiagramm des Bewertungsprozesses der umweltbezogenen Qualität Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.15.....	50
Abbildung 12: Modulare Gliederung der Informationen zur Gebäudebewertung für die verschiedenen Lebenszyklusstadien des Gebäudes nach ÖNORM 15978 Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.23	55
Abbildung 13: Schwankung der Indikatorwerte aus Errichtung und Erneuerung um den Mittelwert; BGF bezogen; inklusive Hervorhebung der Energieeffizienzklasse Quelle: Eigene Darstellung.....	61
Abbildung 14: Schwankung der konstruktionsbedingten Indikatorwerte um den Mittelwert; BGF bezogen; ; inklusive Hervorhebung der unterschiedlichen BGF/kond.BGF-Verhältnisse Quelle: Eigene Darstellung.....	61
Abbildung 15: Schwankung der Indikatorwerte aus Errichtung und Erneuerung um den Mittelwert; BGF bezogen; inklusive Markierung der Bauweise Quelle: Eigene Darstellung.....	62
Abbildung 16: Schwankung der konstruktionsbedingten Indikatorwerte um den Mittelwert; BGF bezogen Quelle: Eigene Darstellung	62
Abbildung 17: GWP, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 18: AP, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 19: PE ne, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 20: POCP, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung.....	63
Abbildung 21: EP, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 22: PE e, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	63
Abbildung 23: ODP, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	64

Abbildung 24: PE, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung	64
Abbildung 25: Analyse der GWP-Werte in der Entsorgungsphase – ein Vergleich der Projekte Nr.2 (Holzmassivbauweise) und Nr.6 (Massivbauweise-STB) Quelle: Eigene Darstellung	65
Abbildung 26: Korrelation der spezifischen Indikatorwerte der Dachaufbauten mit den jeweiligen Dachflächenanteilen in Bezug auf die gesamte Konstruktionsfläche (innerhalb der STB-Bauten) Quelle: Eigene Darstellung	66
Abbildung 27: AP, PE ne und Masse in Prozent der Phasen Errichtung und Erneuerung; Projekt Nr.2 Quelle: Eigene Darstellung	67
Abbildung 28: AP, PE ne und Masse in Prozent der Phasen Errichtung und Erneuerung; Projekt Nr.6 Quelle: Eigene Darstellung	67
Abbildung 29: Schwankung der nutzungsbedingten Indikatorwerte pro m ² BGF um den Mittelwert in Prozent. EEB in kWh/m ² kond.BGF Quelle: Eigene Darstellung	70
Abbildung 30: Schwankung der nutzungsbedingten Indikatorwerte pro m ² kond.BGF um den Mittelwert in Prozent. EEB in kWh/m ² kond.BGF Quelle: Eigene Darstellung	70
Abbildung 31: GWP, Nutzungsphase	72
Abbildung 32: PE e, Nutzungsphase	72
Abbildung 33: Versauerung, Nutzungsphase	72
Abbildung 34: POCP, Nutzungsphase	72
Abbildung 35: PE ne, Nutzungsphase	72
Abbildung 36: ODP, Nutzungsphase	72
Abbildung 37: EP, Nutzungsphase	72
Abbildung 38: PE, Nutzungsphase	73
Abbildung 39: POCP, gesamtes LCA	75
Abbildung 40: PE, gesamtes LCA.....	75
Abbildung 41: GWP, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 42: AP, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 43: PE e, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 44: PE ne, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 45: EP, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 46: ODP, gesamtes LCA.....	76
Abbildung 47: Aussagekraft der Ökoindikatoren nach Phasen Quelle: Eigene Darstellung	78
Abbildung 48: Vergleich der Indikatorwerte in der Phasen Errichtung und Erneuerung mit/ohne Fußbodenbeläge sowie mit/ohne Dispersionfarbe. Der POCP-Wert für lösemittelhaltigen Klebstoff enthält keine VOC-Emissionen vor Ort in die Innenraumlufte. Quelle: Eigene Darstellung	83
Abbildung 49: Vergleich der Indikatorwerte in der Phasen Errichtung und Erneuerung mit/ohne Fußbodenbeläge sowie mit/ohne Dispersionfarbe. Der POCP-Wert für	

lösemittelhaltigen Klebstoff enthält die VOC-Emissionen vor Ort in die Innenraumluft. Quelle: Eigene Darstellung.....	83
Abbildung 50: Einfluss von Fußbodenbelägen inkl. Verlegewerkstoffen und Wandanstrichen (Innendispersion) auf die Indikatorwerte der Phase Errichtung + Erneuerung (ohne Transport oder Entsorgung). Inklusive lokaler VOC-Emissionen lösemittelhaltiger Klebstoffe. Quelle: Eigene Darstellung	84
Abbildung 51: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim GWP Quelle: Eigene Darstellung.....	86
Abbildung 52: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim AP Quelle: Eigene Darstellung	87
Abbildung 53: Vergleich der Bilanzgrenzen inkl. Änderung der Bezugsgrößen beim PE ne Quelle: Eigene Darstellung.....	87
Abbildung 54: Ergebnisse $OI3_{BG0,kond.BGF}$ und $OI3_{BG3,BZF}$ Quelle: Eigene Darstellung.....	88
Abbildung 55: Änderung der Indikatorwerte in Prozent nach Verminderung der Schichtdicke der Polymerbitumen-Dichtungsbahnen um 2,8 mm in Dachaufbauten und erdberührten Außenwänden des Projekts Nr.6 für die Phasen Errichtung, Austausch und die Konstruktionsphase („Gesamt“) Quelle: Eigene Darstellung.	90
Abbildung 56: Korrelation von I_c und GWP Quelle: Eigene Darstellung.....	100
Abbildung 57: Korrelation von I_c und AP Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 58: Korrelation von I_c und PE ne Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 59: Korrelation von I_c und PE e Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 60: Korrelation von I_c und PE Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 61: Korrelation von I_c und POCP Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 62: Korrelation von I_c und EP Quelle: Eigene Darstellung	100
Abbildung 63: Korrelation von I_c und ODP Quelle: Eigene Darstellung	100

13 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifikation von Planungs- und Bewertungstools Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Wallbaum et al., 2011, S.147 ff.	17
Tabelle 2: Kriterienkatalog BREEAM „Code for Sustainable Homes“ mit Punktezuteilung und Gewichtung Quelle: Eigene Darstellung nach BREEAM, 2010, S.13	20
Tabelle 3: Kriterienkatalog LEED Homes mit Punktezuteilung und Gewichtung Quelle: Eigene Darstellung und eigene Übersetzung nach USGBC, 2013a, S.11	22
Tabelle 4: DGNB-System, Kategorienübersicht, Wohngebäude Neubau, Version 2012 Quelle: Eigene Darstellung nach DGNB, 2013a, online.....	23
Tabelle 5: Kategorien in TQB, Wohngebäude Quelle: Eigene Darstellung nach ÖGNB, 2013b, online.....	24
Tabelle 6: Übersicht Zertifizierungssysteme im Vergleich mit Fokus auf LCA Quelle: Eigene Darstellung nach Ebert et al., 2010, S.92 ff.	25
Tabelle 7: Übersicht Normenlandschaft - nationale Umsetzung europäischer Normen Quelle: Eigene Darstellung überarbeitet nach ÖNORM 15978, 2012, S.6	26
Tabelle 8: Indikatoren, die Umweltauswirkungen beschreiben Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.47	29
Tabelle 9: Indikatoren, die die Verwendung von Ressourcen beschreiben Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.47.....	29
Tabelle 10: Indikatoren, die zusätzliche Umweltinformationen beschreiben – Abfallkategorien Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.48	30
Tabelle 11: Indikatoren, die zusätzliche Umweltinformationen beschreiben – Abgabeströme Quelle: ÖNORM 15978, 2012, S.48	30
Tabelle 12: SWOT-Analyse der Ökobilanzierung als Tool zur ökologischen Gebäudebewertung Quelle: Eigene Darstellung	42
Tabelle 13: Klassengrenzen des jährlichen Heizwärmebedarfs pro m ² konditionierter Brutto-Grundfläche (BGF) bezogen auf das Standortklima (SK) Quelle: OIB, 2011a, S.10	51
Tabelle 14: Projektliste Quelle: Eigene Darstellung.....	52
Tabelle 15: Bilanzgrenzen laut OI3-Leitfaden inkl. Markierung der gewählten Bilanzgrenze für die praktische Analyse Quelle: Abgeändert nach IBO, 2011, S.17	53
Tabelle 16: Einteilung der Bauteile Quelle: Eigene Darstellung	54
Tabelle 17: Einteilung der Lebenszyklusphasen im Projekt Quelle: Eigene Darstellung	55
Tabelle 18: Nenninhalt von Warmwasserspeicher Quelle: nach Pöhn et al., 2007, S.46	56
Tabelle 19: Gegenüberstellung der Konversionsfaktoren für Energieträger Quelle: Daten aus EcoSoft sowie OIB-Richtlinie 6 (OIB, 2011a, S.6)	57
Tabelle 20: Zusammenhang zwischen Ökobilanzindikatoren und Energieverbrauchsparametern Quelle: Eigene Darstellung	71
Tabelle 21: Korrelationskoeffizient, Errichtungsphase Quelle: Eigene Darstellung.....	80
Tabelle 22: Korrelationskoeffizient, Konstruktionsphase Quelle: Eigene Darstellung.....	80

Tabelle 23: Korrelationskoeffizient, Betriebsphase Quelle: Eigene Darstellung	80
Tabelle 24: Korrelationskoeffizient, Gesamtökobilanz Quelle: Eigene Darstellung	80
Tabelle 25: Übersichtstabelle zur Aussagekraft und Korrelation der einzelnen Indikatoren sowie Schlussfolgerungen daraus Quelle: Eigene Darstellung	81
Tabelle 26: Wertänderung mit/ohne Fußbodenbelag inkl. Verlegewerkstoff nach Indikatoren in den Phasen Errichtung und Erneuerung. Quelle: Eigene Darstellung	85
Tabelle 27: maximale und minimale Beiträge der Indikatoren GWP, AP und PE ne zum Gesamtergebnis des OI3 aller Beispielprojekte Quelle: Eigene Darstellung	88
Tabelle 28: BREEAM „Code for Sustainable Homes“ Kategorien, Kriterien und Indikatoren Quelle: Eigene Darstellung nach BREEAM, 2010	96
Tabelle 29: LEED for Homes Rating System Kategorien, Kriterien und Indikatoren Quelle: Eigene Darstellung nach USGBC, 2013c, online und USGBC, 2013a	97
Tabelle 30: DGNB – System Neubau Wohngebäude (mehr als 6 Wohneinheiten), Version 2011 Quelle: DGNB, 2013a, online	98
Tabelle 31: TQB Wohngebäude Neubau, Version 2010 W2.2, vereinfachte Darstellung Quelle: eigene Darstellung nach ÖGNB, 2012	99

14 Abkürzungsverzeichnis

A/V:	Oberfläche-zu-Volumen(-Verhältnis)
AP:	Acidification Potential, Versauerungspotential
Äqu.:	Äquivalente
BeIEB:	Beleuchtungsenergiebedarf
BGF:	Bruttogrundfläche
BMVBS:	deutsches Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BREEAM:	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
bspw.:	beispielsweise
BZF:	Bezugsfläche
bzw.:	beziehungsweise
C ₂ H ₂ :	Ethin oder Acetylen
ca.:	circa
CEN:	Europäisches Komitee für Normung
CO ₂ :	Kohlendioxid
DGNB:	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN:	Deutsches Institut für Normung
ebd.:	ebenda
EEB:	Endenergiebedarf
EEK:	Energieeffizienzklasse
EOL:	End-of-life
EP:	Eutrophication Potential, Eutrophierungspotential
EPBD:	European Performance of Buildings Directive
EPD:	Environmental Product Declaration
et al.:	et alia
etc.:	et cetera
EU:	Europäische Union
FCKW ₁₁ :	Trichlorfluormethan
GWP:	Global Warming Potential
HWB:	Heizwärmebedarf
IBO:	Österreichisches Institut für Baubiologie und Bauökologie
ISO:	Internationale Organisation für Normung
kg:	Kilogramm

kond.BGF:	konditionierte Bruttogrundfläche
kWh:	Kilowattstunde
l_c :	charakteristische Länge
LCA:	Life-Cycle-Assessment
LCI:	Life Cycle Inventory
LCIA:	Life Cycle Impact Assessment
LEED:	Leadership in Energy & Environmental Design
m.E.:	meines Erachtens
m ² :	Quadratmeter
m ³ :	Kubikmeter
max.:	maximal
min.:	minimal
MJ:	Megajoule
MW:	Mittelwert
NGF:	Nettogrundfläche
Nr.:	Nummer
o.g.:	oben genannt
ODP:	Ozone Depletion Potential, Ozonschichtabbaupotential
ÖGNI:	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
OI3:	Ökoindex 3
OI3 _{BG0} :	OI3, Bilanzgrenze 0
OI3 _{BG3} :	OI3, Bilanzgrenze3
OIB:	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖP:	Ökopotential
PE e:	Primärenergie(-inhalt) aus erneuerbaren Ressourcen
PE ne:	Primärenergie(-inhalt) aus nicht erneuerbaren Ressourcen
PE nr:	non-renewable Primary Energy (Content)
PE:	Primärenergie(-inhalt) gesamt, total Primary Energy (Content)
PO ₄ :	Phosphat
POCP:	Photochemical Ozone Creation Potential, Ozonbildungspotential
pr:	Prüfung
s.a.:	sine ano
s.l.:	sine loco
s.p.:	sine pagina

SO ₂ :	Schwefeldioxid
TC:	Technical Committee
vgl.:	vergleiche
VOC:	Volatile Organic Compounds
WWW(B):	Warmwasserwärme(-bedarf)
z.B.:	zum Beispiel