

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Life Sciences

Ökobilanzierung von Bürogebäuden -
Analyse von Einflussfaktoren auf negative Umweltauswirkungen

Masterarbeit

Ausgeführt von Mag. (FH) Gregor Sellner
9940135

Studienrichtung: Umwelt- und Bioressourcenmanagement
Studienkennzahl: H 066 427

zur Erlangung des akademischen Grades
Dipl. Ingenieur

Begutachter:
Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg

Wien, im Juni 2012

Eidesstattliche 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 Juni 2012

Mag. (FH) Gregor Sellner

Kurzfassung

Die Nachhaltigkeit von Gebäuden kann auf den drei Ebenen Ökologie, Ökonomie und Soziokultur bestimmt werden. Um potentielle Umweltwirkungen von Immobilien zu bestimmen, kommt der Methode der Ökobilanzierung (Life Cycle Assessment - LCA) immer größere Bedeutung zu. LCAs werden deswegen bereits in Immobilienbewertungssystemen auf internationaler Ebene angewandt (z.B. DGNB, LEED). Basierend auf den ISO-Normen 14040 und 14044 werden dabei Umweltauswirkungen von Gebäuden quantitativ messbar gemacht.

Durch die Erstellung von Ökobilanzen von neun Nicht-Wohngebäuden (Bürogebäuden) und einem Wohngebäude wird in dieser Arbeit aufgezeigt, dass der Energieverbrauch während der Nutzungsphase mit durchschnittlich 55-78% für den Großteil der Umweltwirkung von Immobilien verantwortlich ist. Durchschnittlich werden pro Jahr und m² Netto-Grundfläche 32 kg CO₂e emittiert und weitere Umweltbelastungen (Versauerung, Eutrophierung, Ozonabbau, Sommersmog) ausgelöst. Mit steigender Netto-Grundfläche und sinkendem Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis nehmen die relativen Umweltbelastungen ab, d.h. Skaleneffekte sind nachweislich vorhanden.

Ökobilanzen sollen neben der Darstellung der Umweltauswirkungen auch Möglichkeiten zur Optimierung dieser über den gesamten Lebenszyklus hinweg aufzeigen. Um diese Reduktionspotentiale aufzeigen zu können, ist es nicht nur weitreichendes Datenmaterial, sondern auch einschlägiges Expertenwissen von Nöten. Deswegen wurde in dieser Arbeit von der Entwicklung von Szenarien die Baukonstruktion betreffend abgesehen. Stattdessen wurden die dominante Nutzungsphase und deren Energieverbräuche genauer betrachtet. Die Ergebnisse sollten mithilfe von Fachexpertinnen und -experten diskutiert werden.

Die Ableitung von weitreichenden Umbaumaßnahmen für Bestandsgebäude basierend auf Ökobilanzergebnissen gestaltet sich als schwierig, da Änderungen an vorhandener Bausubstanzen und deren technische Anlagen in der Regel mit hohen monetären Aufwendungen verbunden sind. Somit stoßen solche Maßnahmen bei Eigentümern und Betreibern oft auf Gegenwehr. Deswegen sollte bereits während der Planungsphase auf LCAs zurückgegriffen werden. Der Fokus sollte auf die Energieverbräuche während der Nutzungsphase gerichtet werden, wobei Augenmerk auf hohe Energieeffizienz und den möglichen Einsatz von erneuerbaren Energieträgern gelegt werden sollte. Dies kann mit Hilfe integrierter Planungsprozesse wie z.B. dem Integrated Energy Design ermöglicht werden. Neben der Optimierung eines Gebäudes im Energie-technischen Bereich sollte die Baukonstruktion und die Materialien gewählt werden, aus denen die geringsten Umweltauswirkungen resultieren. Hierfür stellt die Methode der Ökobilanzierung quantitative Antworten bereit.

Abstract

In order to meet the idea of sustainable development, buildings have to be assessed against ecologic, economic and socio-cultural criteria. Based on ISO Standards 14040 and 14044, life cycle assessments (LCA) enable the quantification of potential ecological effects. Hence the method is gaining in importance when ascertaining the environmental impacts of buildings and is therefore taken into account in international assessment methods for sustainable buildings globally (e.g. DGNB, LEED).

Within this master thesis nine non-residential buildings and one residential building have been assessed utilising the LCA method. The results of the life cycle impact assessment (LCIA) demonstrate that the operational phase causes 55-78% of negative environmental impacts measured by the selected environmental indicators. Carbon dioxide equivalents (describing the Global Warming Potential) average at 32 kg per (net floor space) square meter with other environmental impacts (acidification, eutrophication, ozone depletion and photochemical ozone creation) also being triggered. Analyses of economies of scale demonstrate that an increase in net floor space and a decrease in the surface-area-to-volume ratio result in declining relative environmental effects.

In addition to assessing life cycle wide environmental impacts, LCAs generally can be applied to identify opportunities to improve the environmental performance of products and services. (ISO 14044 2006) Due to the complexity of buildings in terms of building types, materials etc. no scenarios for the optimization of building construction or materials have been developed within this study. Instead, the energy consumption of the operation phase has been analysed more closely.

In general, deducing measures for reducing the environmental impacts of existing buildings based on results of LCAs is a difficult task to undertake since changes in structure and technical facilities are accompanied with costs and therefore cause resistance at owners and operators. Therefore, LCAs should rather be conducted at the planning stage and findings should influence decisions on physical structure and technical facilities.

Given the importance of the operation phase, the reduction of energy consumption needs to be prioritized via high standards in energy efficiency and the application of renewable energies (when feasible). Integrated planning processes such as the Integrated Energy Design support this idea. Next to optimizing the energy demand, the results of LCAs can support the decision-making for the selection of the building construction as well as materials. In this regard, LCAs contain significant potential given their comprehensive set of indicators and quantified results on environmental impacts.

Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle all jenen danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. An erster Stelle möchte ich dazu meinen Betreuer Univ.Prof. Arch. Dipl.Ing. Dr.techn. Martin Treberspurg und seinem Assistenten Dipl.Ing. Christoph Neururer vom IKI (Institut für konstruktiven Ingenieurbau) danken, die mich bei der Abfassung der Diplomarbeit mit Erfahrung und Rat in allen Belangen tatkräftig unterstützt haben.

Aufrichtigen Dank schulde ich überdies Ing. Markus Auinger und MMag. Philipp Kaufmann von ÖGNI (Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft), die mir zu einem profunden, praxisnahen Hintergrund zu der ausgearbeiteten Thematik verholfen haben sowie FH-Prof.Dr. Otto Bammer vom Institut für Immobilienwirtschaft der FH Wien-Studiengänge der WKW. Auch die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des SERI (Sustainable Europe Research Institute), allen voran Dr. Fritz Hinterberger, haben mich im Verlauf meines berufs begleitenden Studiums immer tatkräftig unterstützt.

Die vorliegende Arbeit bildet den Schlusspunkt einer zweijährigen Master-Ausbildung. Zahlreiche Personen haben mich auf diesem Weg begleitet und mir hierfür die notwendige Unterstützung zukommen lassen. Mein aufrichtiger Dank gilt vor allem meinen Eltern, Eva und Herbert Sellner, meiner Großtante Helga Knoll und mein Onkel Manfred Schindl, die mich bei meiner Ausbildung stets unterstützt haben und mir somit den nötigen Rückhalt gegeben haben. Meiner Freundin Sara Berkmann danke ich für ihr Verständnis und die moralische Unterstützung in schwierigeren Zeiten.

In tiefer Dankbarkeit widme ich ihnen allen diese Diplomarbeit. Ich hoffe damit einen bescheidenen Beitrag für den nachhaltigen Umgang mit dem Planeten Erde liefern zu können.

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	6
1 EINLEITUNG	8
1.1 PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG.....	8
1.2 ERSTANSATZ DER ARBEITSTHESEN	11
1.3 VORSTELLUNG DER ORGANISATIONEN.....	11
1.3.1 <i>Institut für Kostruktiven Ingenieurbau</i>	11
1.3.2 <i>Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft</i>	12
2 METHODE	13
3 THEORETISCHE EINFÜHRUNG UND GRUNDLAGEN	14
3.1 NACHHALTIGKEIT	14
3.2 NACHHALTIGKEIT IM BAUWESEN.....	16
3.3 NORMUNGSAKTIVITÄTEN.....	21
3.4 BEWERTUNGSSYSTEME FÜR NACHHALTIGE IMMOBILIEN.....	23
3.4.1 <i>Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)</i>	24
3.4.2 <i>LEED</i>	25
3.4.3 <i>BREEAM</i>	27
3.4.4 <i>Vergleich der Zertifizierungssysteme</i>	28
3.5 ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN.....	32
3.5.1 <i>Niedrigenergiehäuser</i>	33
3.5.2 <i>Passivhäuser</i>	34
3.5.3 <i>Null-Heizenergie-Häuser bzw. Nullenergiehäuser</i>	35
4 ÖKOBILANZIERUNG (LCA)	37
4.1 INTERNATIONALE STANDARDS (ISO-NORMEN).....	38
4.2 DATENQUELLEN.....	42
4.3 DEFINITION VON ZIEL UND UNTERSUCHUNGSUMFANG	42
4.4 SACHBILANZ (LIFE CYCLE INVENTORY LCI).....	44
4.5 WIRKUNGSABSCHÄTZUNG (LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT LCIA).....	46
4.6 WEITERE HANDLUNGSOPTIONEN	47
4.7 INTERPRETATION (AUSWERTUNG).....	48
5 ÖKOBILANZIERUNG VON GEBÄUDEN.....	49
5.1 FUNKTIONELLE EINHEIT	50
5.2 UMWELT-PRODUKTDEKLARATIONEN (EPD).....	52

5.3	LEBENSZYKLUSPHASEN VON GEBÄUDEN.....	53
5.3.1	<i>Bauwerkserstellung</i>	55
5.3.2	<i>Nutzung (inkl. Erneuerung)</i>	56
5.3.3	<i>Abbruch und Entsorgung (End-of-Life)</i>	58
5.4	VALIDIERUNG DER ÖKOBILANZIERUNG	58
5.5	BAUSTOFFDATENBANK ÖKOBAU.DAT 2009	59
6	ÖKOBILANZIERUNG DER UNTERSUCHTEN GEBÄUDE.....	61
6.1	DEFINITION VON ZIEL UND UNTERSUCHUNGSUMFANG	61
6.2	SPEZIFIKA DER LEBENSZYKLUSPHASEN.....	62
6.2.1	<i>Konstruktionsphase</i>	62
6.2.2	<i>Nutzungsphase</i>	63
6.2.3	<i>Erneuerung</i>	64
6.2.4	<i>Abbruch / End of Life</i>	64
6.3	SACHBILANZ (LIFE CYCLE INVENTORY ANALYSIS (LCI)).....	64
6.4	WIRKUNGSABSCHÄTZUNG (LIFE CYCLE IMPACT ASSESSMENT (LCIA)) UND INTERPRETATION DER RESULTATE.....	64
6.4.1	<i>Analyse der Lebenszyklusphasen</i>	68
6.4.2	<i>Einfluss der Energieeffizienzklasse</i>	70
6.4.3	<i>Einfluss von Skaleneffekten</i>	74
7	ENTWICKLUNG VON BENCHMARKS	82
7.1	MATERIALEINSATZ	82
7.2	ENERGIEEINSATZ.....	85
8	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	86
8.1	REFLEXION DER METHODE.....	86
8.2	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE.....	88
	LITERATURVERWEISE	91
	TABELLENVERZEICHNIS	97
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	98
	ANHANG	102
	ANHANG 1: TREIBHAUSGASPOTENTIALE.....	102
	ANHANG 2: BEISPIEL EINES ÖKOBILANZDATENSATZES EINES BETONFERTIGTEILS	104
	ANHANG 3: NUTZUNGSDAUERN NACH BEWERTUNGSSYSTEM NACHHALTIGES BAUEN (BNB).....	107
	ANHANG 4: SPEZIFISCHE ERGEBNISSE.....	110

1 Einleitung

Der Anspruch an den Immobiliensektor ist die Bereitstellung eines breiten Spektrums von Auswahlmöglichkeiten für immer unterschiedlichere Ziel- und Altersgruppen. Gebäude bilden Lebensraum und Arbeitsumgebung der Menschen, beeinflussen aber auch die Ökologie des Planeten Erde, dessen Ressourcen endlich und knapp sind. Weltweit setzt der Bausektor erhebliche Material- und Energiemengen sowie Flächen ein. Der Abbau und Verbrauch solcher Ressourcen resultiert in teils gravierenden Umweltauswirkungen. Gebäude müssen deswegen aus ökologischer Sicht nachhaltiger gestaltet werden, damit Ressourcenverbrauch und Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg reduziert und eine den Menschen entsprechende Lebensqualität geboten werden kann.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Nachhaltiges, energieeffizientes und ökologisches Bauen nimmt für Betreiberinnen und Betreiber wie Mieterinnen und Mieter einen zunehmend höheren Stellenwert ein. Unter dem Gesichtspunkt eines Gebäudes als Anlage- und Renditeobjekt gehen Betreiberinnen und Betreiber immer häufiger dazu über nicht bloß die anfallenden Zahlungsströme zu analysieren, sondern auch auf geringere Lebenszykluskosten bei besserer Wertstabilität und -entwicklung (Eichholtz et al. 2009) sowie eines besseren Images (Sedlbauer 2009, S.30) zu achten, welche stark damit zusammenhängen, in wie weit ein Gebäude heutigen und zukünftigen Nutzungsansprüchen entspricht. (König et al. 2009, S.7) Dies geht auch aus einer im Jahr 2009 durchgeführten Studie der TU Graz (Meckmann 2010, S.25) hervor, bei der aus 12.900 befragten Personen aus Bau- und Immobilienwirtschaft 68,1% Nachhaltigkeit von Immobilien einen hohen und 13,9% einen sehr hohen Stellenwert einräumten (im Vergleich zu 18% keinen bis geringen Stellenwert).

Bei Nutzerinnen und Nutzern nehmen Nachhaltigkeitsaspekte im Wohnbereich einen hohen Stellenwert ein, da Menschen in Mitteleuropa im Durchschnitt ca. 90% ihrer Lebenszeit in Gebäuden verbringen. Ressourcenschonende und zukunftsgerichtete Bauweisen werden auch deswegen immer stärker nachgefragt, da z.B. die Energiepreise für Strom und Wärme kontinuierlich steigen. (DiePresse.com 2010, Austrian Energy Agency 2011) Bei Ressourcenpreisen verhält es sich ähnlich. (Vorholz; Blume 2004, Stahlbroker 2011, Beschaffungswelt.de 2011)

Der Gebäudesektor zählt mit rund 40% am Gesamtenergieverbrauch der Europäischen Union (Europäische Kommission 2005, S.43; Lützkendorf 2009, S.66) als der energieintensivste Sektor überhaupt (Abbildung 1). Dadurch ist das Bauwesen z.B. für die Europäische Union in Hinblick auf die Erreichung der Klimawandel- und

Energie-Europa-2020-Ziele (Europäische Kommission 2011) von großer Bedeutung, was z.B. die Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (RL 2002/91/EG) inkl. der Entwicklung des verpflichtenden Energieausweises für Gebäude oder das 2004 gestartete GreenBuilding Programm der Europäischen Kommission (o.J.) verdeutlichen.

	Buildings (residential and tertiary)		Industry		Transport		All final demand sectors	
	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand	Mtoe	% of final demand
Solid fuels	12.2	1.1	38.7	3.6	0.0	0.0	50.9	4.7
Oil	96.8	8.9	46.9	4.3	331.5	30.6	475.2	43.9
Gas	155.6	14.4	105.4	9.7	0.4	0.0	261.5	24.2
Electricity (incl. 14 % from RES)	121.3	11.2	91.2	8.4	6.0	0.6	218.5	20.2
Derived heat	22.8	2.1	7.5	0.7	0.0	0.0	30.3	2.8
Renewables	29.0	2.7	16.2	1.5	1.0	0.1	46.2	4.3
Total	437.8	40.4	306.0	28.3	338.9	31.3	1082.6	100.0

Abbildung 1: Endenergieverbrauch in den EU27 nach Sektoren

Quelle: Europäische Kommission 2005

Alle Mitgliedsstaaten der EU wurden dazu angehalten, dieser Tatsache Rechnung zu tragen. In Österreich wurde im Jahr 2002 eine Klimastrategie entwickelt, welche 2007 (nach Evaluierung 2005) überarbeitet wurde. Diese sieht für Raumwärme und Kleinverbrauch folgende Maßnahmen vor (Lebensministerium 2008):

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

Die OIB Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik 2011) wurde im Zuge der Neuausgabe aller OIB Richtlinien im Oktober 2011 veröffentlicht, wobei der Fokus nun auf der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden liegt. Auch die verpflichtenden Angaben im Energieausweis wurden erweitert. (WKO 2011)

Da neben dem Energieverbrauch auch die globale Ressourcenknappheit eine große Herausforderung für unsere Gesellschaft darstellt (Luther et al. 2011), spielt die Quantifizierung von Umweltverbräuchen im Bauwesen eine Rolle, da in diesem Sektor erhebliche Mengen an biotischen und abiotischen (erneuerbaren und nicht-erneuerbaren) Ressourcen eingesetzt werden. Wissenschaftliche Quellen sprechen von 40% (Dahlhaus; Meisel 2009, S.34), 50% (Lützkendorf 2009, S.66) bis 70% (Graubner; Hüske 2003, S.1) der gesamten Stoffströme der EU-27 bzw. ihrer Mitgliedsstaaten. Hierbei sind die Ressourcenentnahme (und der Energieaufwand) für die Produktion von Baumaterialien, die Menge der benötigten Baumaterialien für die Errichtung von Bauwerken, die Beeinträchtigung der Umwelt durch den Flächenverbrauch für Bauvorhaben (steigt EU-weit jährlich um 3% (Europäische Kommission 2012)) sowie der Material- und Energieeinsatz bei Erneuerungsprozessen von Bedeutung. Hinzu kommt, dass die aus der Natur extrahierten Ressourcen nach der Nutzungsphase aufgrund von Vermischungen/ Verunreinigungen nur schwer in das System rückgeführt werden können und deswegen als Abfälle entsorgt werden müssen. All diese Prozesse resultieren in gravierenden Auswirkungen auf die Ökologie des Planeten Erde.

Um die negativen Umweltauswirkungen zu reduzieren, bedarf es einer Lebenszyklusbetrachtung von Gebäuden, bestenfalls schon ab der Planungsphase. Solche Life Cycle Assessments (LCA, auch Ökobilanzierung genannt) benötigen einen Paradigmenwechsel von der schlichten Betrachtung der Auswirkungen der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen hin zu einer holistischen Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus hinweg. (Sedlbauer 2009, S.28)

Ziel dieser Arbeit ist es im Zuge einer umweltorientierten Gebäudebewertung die Ökobilanzen von neun Bürogebäuden und einem Wohngebäude zu analysieren. Die Analyse des Primärenergieinputs und die Umweltauswirkungen der Gebäude werden dabei in die Lebenszyklusphasen Herstellung (Produkte und Gebäude), Nutzung, Instandhaltung und End-of-Life unterteilt. Durch das in Beziehung setzen der Ergebnisse mit Kennzahlen des Bauwesens (Heizwärmebedarf, Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis, Energieeffizienzklasse etc.) sollen daraus Erkenntnisse für das Bauwesen gewonnen werden.

1.2 Erstansatz der Arbeitsthesen

Die Arbeitsthesen bilden die Grundlage für die Analyse in Kapitel 6 und 7. Darin sollen verschiedene theoretische Zusammenhänge anhand der durchgeführten Ökobilanzen mit Zahlenmaterial hinterlegt bzw. kritisch hinterfragt werden.

Arbeitsthesen zu der Analyse der Ökobilanzen von Gebäuden

- Welche **Phase des Gebäudelebenszyklus** ist gemäß LCA dominant?
- Bei welchen **Indikatoren** zeigen sich welche Lebenszyklusphasen dominant?
- Wie verhalten sich die Umweltwirkungen von Nicht-Wohngebäuden in Relation zu ihren **Energieeffizienzklassen**?
- Fällt mit steigender **Energieeffizienzklassen** für die Bausubstanz ein höherer Ressourcen- bzw. Energieverbrauch an, deren **Umweltwirkungen** aber durch den ressourcenschonenderen Betrieb in der Nutzungsphase insgesamt unter dem Verbrauch von „konventionellen“ Gebäuden liegt?
- Sinkt mit der **Größe** eines Gebäudes (A/V-Verhältnis, NGF) die Belastung der Umwelt, abgebildet durch die unterschiedlichen Indikatoren einer Ökobilanz, woraus sich Skaleneffekte im Bauwesen ableiten lassen?
- Ist es möglich **Benchmarks** für den Materialeinsatz zu generieren?

1.3 Vorstellung der Organisationen

Diese Arbeit wurde in Kooperation mit zwei Organisationen durchgeführt. Von universitärer, wissenschaftlicher Seite ist dies das Institut für Konstruktiven Ingenieurbau (IKI) der Universität für Bodenkultur Wien. Praktischer Input sowie die Daten für die zu untersuchenden Gebäude kamen von der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilien (ÖGNI). Diese beiden Partner werden in diesem Abschnitt kurz vorgestellt.

1.3.1 Institut für Konstruktiven Ingenieurbau

Die Arbeitsgruppe „Ressourcenorientiertes Bauen“ der Universität für Bodenkultur Wien wurde 2004 gegründet und wird seither von Univ.Prof. Arch. DI Dr. Martin Treberspurg geleitet. Die Arbeitsgruppe ist in folgenden relevanten Forschungsgebieten tätig:

Ganzheitliche Bewertung und Zertifizierung von Bauteilen, Bauwerken und Stadtquartieren: Life Cycle Assessment von Baustoffen. Qualitätszertifikate für Gebäude (Nachhaltigkeitslabel, Energieausweis gemäß EPBD). Ganzheitliche Evaluierung von Stadtteilen (Stadterweiterung und -erneuerung)

Gebäudeenergiebedarf: Reduktion des Heizenergiebedarfs (Thermische Sanierung insb. bei denkmalgeschützten Gebäuden) und Kühlbedarfs (Sommertauglichkeit) von Gebäuden. Überprüfung der Anwendung von innovativen Energiespeichertechnologien (PCM - Phase changing materials, TWD - Transparente Wärmedämmung).

Passivhaustechnologie: Passivhauskonzept für Sonderbauten (Schule, etc.). Entwicklung von neuartigen Passivhaus-Komponenten und -Details. bauphysikalische Analyse u. messtechnische Überprüfung in der Praxis.

1.3.2 Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft

Die Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI) ist ein, nicht auf Gewinn ausgerichteter, Verein mit Sitz in Wien und der Geschäftsstelle in Linz. Die Gesellschaft hat es sich zur Aufgabe gemacht, Wege und Lösungen für nachhaltiges Planen, Bauen und Nutzen von Bauwerken in Österreich zu entwickeln und zu fördern. Dadurch soll ein Beitrag zum Klimaschutz und zur Erreichung von Emissionszielen geleistet werden.

Im Zentrum ihrer Arbeit steht die Zertifizierung von nachhaltigen Gebäuden mit einem Gütesiegel in den Qualitätsstufen Gold, Silber und Bronze sowie die Etablierung von CSR Standards. Eine Zertifizierung von Unternehmen wird angestrebt.

2 Methode

Diese Arbeit setzt sich aus zwei Teilen zusammen, einem theoretischen und einem praktischen. Im theoretischen Teil (Kapitel 3-5) werden mittels Literaturrecherche die grundlegenden Konzepte dargestellt. Diese umfassen Definitionen und Ansätze zum Thema Nachhaltigkeit bzw. Nachhaltigkeit von Gebäuden (Kapitel 3) sowie zum Thema Ökobilanzierung (Kapitel 4) bzw. Ökobilanzierung von Gebäuden (Kapitel 5). Neben Sekundärliteratur wird vor allem auf die gängigen Normen und Standards eingegangen, die auf österreichischer, europäischer und internationaler Ebene bestehen.

Im praktischen Teil dieser Arbeit werden die Ökobilanzen von 9 Nicht-Wohn- sowie einem Wohngebäuden erstellt (Kapitel 6). Basis dafür sind Primärdaten, die dem Autor von der Österreichischen Gesellschaft für Nachhaltige Immobilien (ÖGNI) zur Verfügung gestellt wurden. Für die Wirkungsabschätzungen im Zuge der Ökobilanzen wurde auf „ökobau.dat“, der Baustoffdatenbank des deutschen Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS, o.J.) zurückgegriffen.

Die Resultate der Ökobilanzen und die Interpretation dieser sowie die entwickelten Benchmarks sind in Kapitel 7 beschrieben. Zum Abschluss erfolgt eine Reflexion über die aus der Arbeit hervorgehenden Erkenntnisse.

3 Theoretische Einführung und Grundlagen

Ökobilanzierung ist eng mit der Thematik der Nachhaltigkeit verknüpft. Um abzustecken, was von Autorensseite darunter zu verstehen ist, wird dieser Begriff in weiterer Folge definiert. Diese Definition wird weiters auf das Bauwesen reflektiert. Neben einer Vorstellung der aktuellsten am Markt verfügbaren Zertifizierungssysteme werden in diesem Kapitel außerdem noch wichtige Begrifflichkeiten definiert und abgegrenzt.

3.1 Nachhaltigkeit

Bereits 1972 stellten Meadows et al. in ihrem Bericht zur Lage der Menschheit an den Club of Rome fest:

„Wenn die gegenwärtige Zunahme der Weltbevölkerung, der Industrialisierung, der Umweltverschmutzung, der Nahrungsmittelproduktion und der Ausbeutung von natürlichen Rohstoffen unverändert anhält, werden die absoluten Wachstumsgrenzen auf der Erde im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht.“

(Meadows et al. 1972, S. 17)

Dieser Bericht genießt in seinen Grundzügen noch heute weitgehend Aktualität. Er war und ist noch immer Grundlage für die wissenschaftliche wie gesellschaftliche Auseinandersetzung der menschlichen Gesellschaft mit den Grenzen des Planeten Erde. Die Vorstellung, auf diesem Planeten eine Durchflusswirtschaft mit beliebiger Rohstoff- und Energieentnahme unendlich lange fortführen und die Schadstoffabsorptionsmechanismen des Planeten außer Acht lassen zu können, sehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als unrealistisches Konzept für ein solch begrenztes System an. (Graubner; Hüske 2003, S.3)

Auf den Bericht aufbauend fand auch der Begriff der Nachhaltigkeit, bereits im 12. Jahrhundert durch die Forstwirtschaft geprägt (Treberspurg 2006, S.55), seine Renaissance. Nachhaltigkeit wird in dieser Arbeit im Sinne des Brundtland Reports verstanden:

„Nachhaltige Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“

(Vereinte Nationen 1987)

Diese Definition beschreibt die dauerhafte Funktionstüchtigkeit und Leistungsfähigkeit von Systemen. In anderen Worten bedeutet dies, dass das System bzw. dessen Dienstleistungs- und Stoffströme mit den Zinsen des zur Verfügung stehenden Na-

turkapitals ein Auslangen findet, ohne dieses Naturkapital zu verringern. (Treberspurg 2006, S.45) Der Fokus liegt nicht bloß auf quantitativer, auf Wachstum ausgerichteter Entwicklung, sondern auch auf qualitativem Fortschritt in puncto Lebensqualität. Nachhaltigkeit bzw. nachhaltige Entwicklung wird auf unterschiedliche Weisen beschrieben. (Ebert et al. 2010, S.21) Die gängigste ist die gleichberechtigte Unterteilung in die Kategorien Ökologie, Ökonomie und Soziales/Gesellschaft (in Abbildung 2 in soziale und kulturelle Kriterien unterteilt). Abbildung 2 zeigt die unterschiedlichen Dimensionen samt einer Auswahl ausschlaggebender Kriterien dieser.

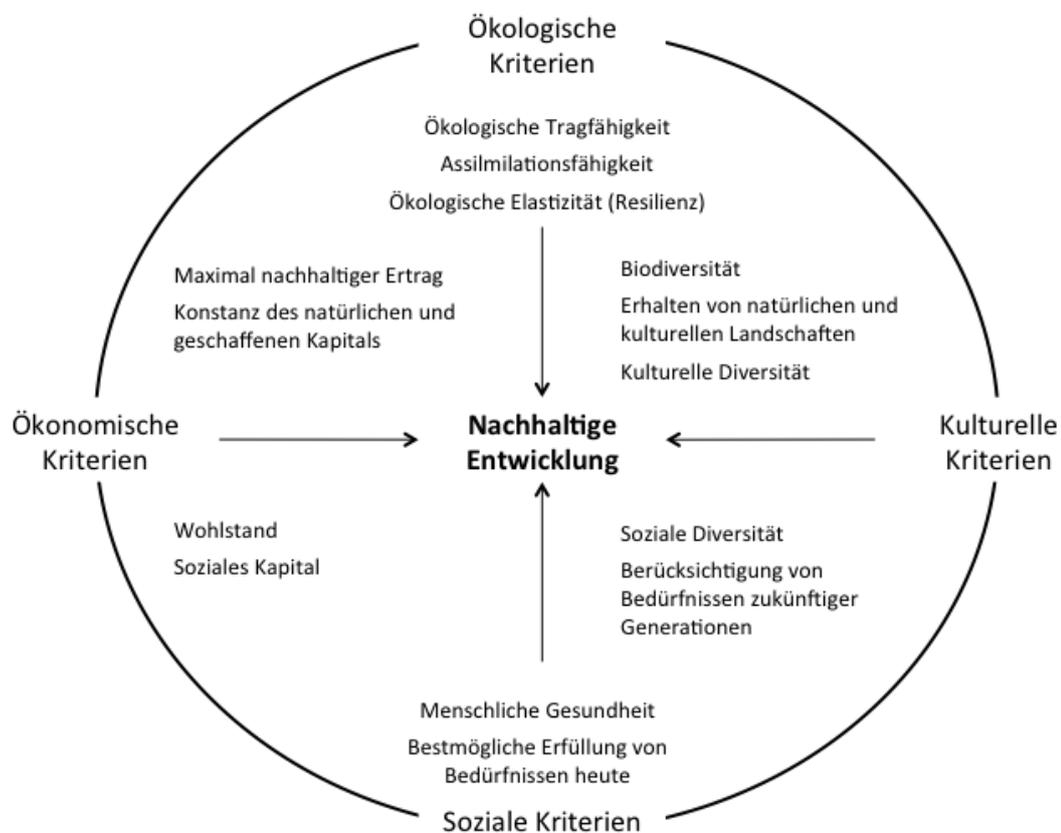


Abbildung 2: Dimensionen nachhaltiger Entwicklung

Quelle: König et al. 2009

Bei Nachhaltigkeit wird zwischen schwacher und starker Ausprägung unterschieden. Während bei schwacher Nachhaltigkeit die ökologischen, ökonomischen und sozialen Ressourcen gegeneinander substituierbar sind, sind bei starker Nachhaltigkeit alle Ressourcen intakt zu halten, gleich zu behandeln und nicht gegeneinander austauschbar. (OECD o.J.) Damit in Verbindung zu bringen sind Effizienz- (Reduktion des Ressourceninputs bei steigender Produktivität), Suffizienz- (Genügsamkeit und der Verzicht auf Energie- und Ressourcenintensive Güter) und Konsistenzstrategien (Übereinstimmung der natürlichen Kreisläufe mit den erzeugten). (Ebert et al. 2010, S.22)

Auf ökologischer Ebene ist dafür v.a. eine Trendwende vom derzeit dominierenden nachsorgenden Umweltschutz (mittels s.g. End-of-pipe-Technologien) im Sinne von (nachgelagerten) Reparaturmaßnahmen hin zu präventiven Vermeidungsstrategien notwendig, um auch zukünftigen Generationen eine sichere Lebensgrundlage zu bieten. (Graubner; Hüske 2003, S.3) Dabei ist es schon während der Planung von Produkten notwendig, die Umwelteinwirkungen über den Lebenszyklus hinweg zu betrachten und diese Einwirkungen mittels Material- und Prozessauswahl zu minimieren. (Ebd., S.3)

3.2 Nachhaltigkeit im Bauwesen

Der Einfluss des Bauwesens auf die Menschen ist weitreichend. Gebäude bilden Lebensraum, Arbeitsumgebung und Lebensgrundlage im Sinne einer langfristigen Investition. Des Weiteren sind Gebäude und Infrastrukturbauten der langlebigste Output von Zivilgesellschaften. Das Bauwesen verbraucht weltweit ca. 50% der entnommenen Rohstoffe und erzeugt fast 60% der anfallenden Abfallmengen. (Hegger 2009, S.15) Bei Bautätigkeiten entstehen daher erhebliche Mengen an Stoffströmen, Bodenversiegelungen sowie Umweltbelastungen auf Grund von Emissionen (v.a. in der Nutzungsphase). (König et al 2009, S.9)

Geschichtlich betrachtet brachten die Ölkrisen der 1970er Jahre s.g. Low-Tech-Architektur (traditionelle Baustoffe wie Lehm, Strom etc.) und eine Renaissance der Solararchitektur (Treberspurg 1999, S.28) hervor, die in den 1980er Jahren von der Energie- und Ressourcenintensiven High-Tech-Architektur im Stile spektakulärer Glas- und Stahlbauten weitgehend verdrängt wurde. Mitte der 1990er Jahre fand wiederum verstärkt eine Abkehr von diesen Prinzipien hin zu einer ökologischeren Gestaltung (Wärmedämmung, Energieeffizienz, Niedrig- bis Plusenergiehäuser etc.) von Gebäuden statt. (Ebert et al. 2010, S.23)

Mehrere Trends wirken auf die Bedeutung des Bauwesens auf die Nachhaltigkeit unserer Gesellschaft. Wie Tabelle 1 zeigt, finden diese Trends des globalen Wandels auf mehreren Ebenen statt. Daraus wird ersichtlich, dass nachhaltiges Bauen weiter reicht als die Themenfelder Energieeffizienz und Ökologie. (Ebert et al. 2010, S.8) Dieser Tatsache wird in den in Kapitel 3.4 vorgestellten Zertifizierungssystemen Rechnung getragen. Da der Fokus dieser Arbeit auf der Ökobilanzierung liegt, werden jedoch Energie- und Ressourcenverbrauch vorrangig betrachtet.

Aspekte	Einzelphänomene
gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • demografische Veränderungen • Bevölkerungswachstum • Alterung • Verstädterung • räumliche Segregation in Städten • soziale Umstrukturierungsprozesse von Stadtteilen und Regionen (Gentrifizierung) • Migration
ökologischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • globale Umweltveränderungen • Erwärmung • Entwaldung • Verlust der Biodiversität • Versauerung der Meere
politischer Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • Kyoto-Protokoll • Gesetze zu Energieeinsparung und Nachhaltigkeit, Ressourceneinsparung und erneuerbaren Energien • Zertifikatehandel
wirtschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> • Veränderungen des Arbeitsmarktes der Bauindustrie • neue Umwelttechnologien im Bausektor • Förderprogramme für ökologische und energieeffiziente Gebäude und Stadtumbau • Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Immobilien (Bau- und Betriebskosten)

Tabelle 1: Aspekte des globalen Wandels

Quelle: Ebert et al. 2010

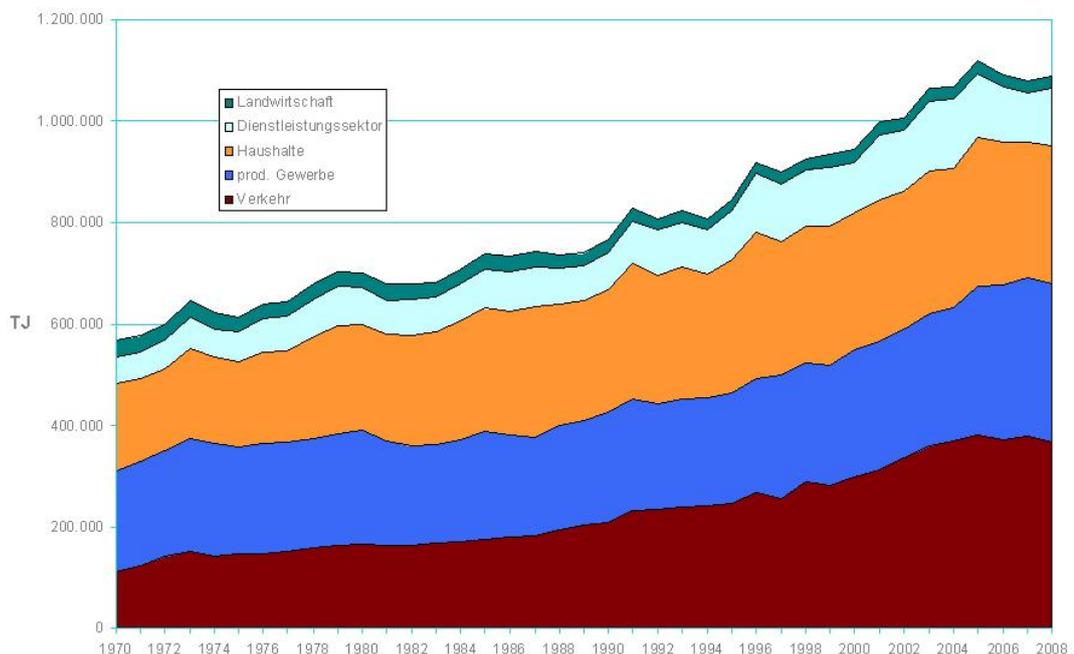


Abbildung 3: Nutzenergieverbrauch gegliedert nach Sektoren in TJ von 1970 bis 2009

Quelle: e-control 2009

In Abbildung 3 ist ersichtlich, dass der Energieverbrauch in Österreich über die letzten 40 Jahre kontinuierlich zugenommen hat. Alleine 30% der verbrauchten Energie ist der Bereitstellung von Raumwärme (enthalten in den Kategorien Dienstleistungssektor, Haushalte und produzierendes Gewerbe) zuzurechnen. Andere Faktoren für den – trotz der Entwicklung neuerer, energiesparender Technologien – stei-

genden Energieverbrauch sind Warmwasseraufbereitung, Beleuchtung sowie die zunehmende Anzahl an elektrischen Geräten pro Kopf bzw. Haushalt. (e-control 2009) Kombiniert mit der Tatsache, dass immer weniger Menschen auf immer mehr Raum wohnen (z.B. Trend zu Einfamilienhäusern) und arbeiten und damit der Gebäudebestand stetig zunimmt (Ebert et al. 2010, S. 8ff) kommt man zu dem Ergebnis, das Gebäude und Immobilien bei der Nachhaltigkeit einer Gesellschaft (z.B. dem Erreichen der Kyoto Klimaziele) eine bedeutende Rolle spielen. Die Verknappung ökonomisch sinnvoll abbaubarer mineralischer Rohstoffe in der Nähe von Ballungsräumen ist ebenfalls ein zu beachtendes Thema. (Graubner; Hüske 2003, S.6)

Während die Optimierung im Bereich der Bauwerkserstellungsprozesse sowie Reduktionen im Bereich von Energieeinsatz und -verbrauch während der Nutzungsphase mittlerweile bei der Planung von Neubauten berücksichtigt werden (siehe Kapitel 3.5 Energieeffizienzklassen), finden (ökologische) Überlegungen zu Erneuerungs- und Instandhaltungsprozessen im Verlauf der Nutzungsphase und bezüglich des Lebensendes eines Gebäudes noch wenig Beachtung. (Graubner; Hüske 2003, S.5)

Für eine holistische Betrachtung der Umweltauswirkungen von Gebäuden sind jedoch all diese Faktoren von großer Bedeutung, da der gesamte Lebenszyklus eines Gebäudes (vom Entwurf über die Errichtung und Nutzung bis zum Abbruch) im Vorhinein in planerische Tätigkeiten miteinbezogen werden sollte. Da sich die Qualität der Ausführungen während der Gebäudeerrichtung auf die Umweltverbräuche im Verlauf der Nutzungsphase auswirkt und auf Grund der in Gebäuden vorhandenen Materialmassen (Geissler 2007, S.17) ist bei nachhaltigen Gebäuden die Materialauswahl genauso zu beachten wie die Entscheidung für eine nachhaltige Bauweise mit Recycling-fähigen Baustoffen und -teilen, ein passendes, ressourcenschonendes energetisches Konzept oder ein Rückbaukonzept für das Ende des Lebenszyklus. (Graubner; Hüske 2003, S.5)

Auch für Gebäude gilt die Kernaussage der Nachhaltigkeit: Gebäude bzw. dessen Bauteile und -stoffe sollen die Bedürfnisse der gegenwärtigen Nutzerinnen und Nutzer erfüllen, ohne die der künftigen Generationen zu gefährden. (Treberspurg 2006, S.50)

Nachhaltigkeit			Nachhaltiges Bauen			
Ökologie	Ökonomie	Sozio-kulturelles	Ökologie	Ökonomie	Sozio-kulturelles	
Natürliche Ressourcen Natürliche Umwelt	Kapital/ Werte/ Ökonomische Leistungsfähigkeit	Menschliche Gesundheit Soziale und kulturelle Werte	Natürliche Ressourcen Globale und lokale Umwelt	Kapital/ Werte	Gesundheit Nutzerzufriedenheit Funktionalität kultureller Wert	SCHUTZ-GÜTER
<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der natürlichen Ressourcen / sparsamer und schonender Umgang mit natürlichen Ressourcen • Effizienzsteigerung • Schadstoffbelastungen / Umwelteinwirkungen reduzieren • Schutz der Erdatmosphäre, des Bodens, des Grundwassers und der Gewässer • Förderung einer umweltverträglichen Produktion 	<ul style="list-style-type: none"> • Lebenszykluskosten senken • Verringerung des Subventionenaufwandes • Schulden verringern • Förderung einer verantwortungsbewussten Unternehmerschaft • Schaffung nachhaltiger Konsumgewohnheiten • Schaffung dynamischer und kooperativer internationaler wirtschaftlicher Rahmenbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz und Förderung der menschlichen Gesundheit • Sozialen Zusammenhalt und Solidarität stärken • Kulturelle Werte erhalten • Chancengleichheit • Sicherung von Erwerbsfähigkeit und Arbeitsplätzen • Armutsbekämpfung • Bildung / Ausbildung • Gleichberechtigung • Integration • Sicherheit / lebenswertes Umfeld 	<ul style="list-style-type: none"> • Schutz der natürlichen Ressourcen • Schutz des Ökosystems 	<ul style="list-style-type: none"> • Minimierung der Lebenszykluskosten • Verbesserung der Wirtschaftlichkeit • Erhalt von Kapital / Wert 	<ul style="list-style-type: none"> • Bewahrung von Gesundheit, Sicherheit und Behaglichkeit • Gewährleistung von Funktionalität • Sicherung der gestalterischen und städtebaulichen Qualität 	SCHUTZ-ZIELE

Abbildung 4: Schutzgüter und –ziele der allgemeinen Nachhaltigkeit und auf das Bauwesen bezogen

Quelle: BMVBS 2011

Beschrieben werden kann der Begriff des Nachhaltigen Bauens wie folgt:

„Nachhaltiges Bauen ist ein ganzheitlich-dynamisches Konzept des Planens, Bauens und Betreibens, das sich den veränderten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen durch intelligente Gebäude anpasst. Erreicht wird ein „Nachhaltiges Bauen“ durch Umweltfreundlichkeit, Ressourceneinsparung, Behaglichkeit und Gesundheit für die Nutzer und durch ein optimales Einfügen der geplanten, gebauten und betriebenen Gebäude, in das soziokulturelle Umfeld.“

Meckmann (2010, S.7)

In anderen Worten wird Nachhaltigkeit im Bauwesen unter lebenszyklusweiter Betrachtung mittels abfallsarmer Herstellung, lang andauernden Nutzungsmöglichkeiten und einfacher Nutzungsanpassung (Dahlhaus; Meisel 2009), schonendem Ressourceneinsatz (Treberspurg 2006, S.51) dem Schließen von Stoffkreisläufen (Sedlbauer 2009, S.29) sowie dem Einsatz von umweltschonenden Technologien und Materialien bei gleichzeitiger Integration von ökonomischen (so etwa die Betrachtung der Lebenszykluskosten) und sozialen Zielen (z.B. Wohnverträglichkeit, Infrastruktur etc.) (Graubner; Hüske 2003, S.1) erreicht, damit „unter größtmögli-

cher Schonung von Ressourcen eine maximale Architekturqualität“ (Ebert et al. 2010, S.8) sichergestellt werden kann.

Um die Auswirkungen verschiedener Entwurfskonzepte im Sinne der drei Achsen der Nachhaltigkeit samt deren unterschiedlicher Aspekte abbilden zu können sind Verfahren der Informationsverarbeitung und Bewertungsmethoden von großer Bedeutung. Diese Methoden greifen jeweils auf unterschiedliche Indikatoren zurück, die entweder qualitativer oder quantitativer Natur sind. (Grauber; Hüske 2003, S.55)

Methoden und Hilfsmittel	Analysegegenstand		Ökologische Aspekte											Ökonomische Aspekte			Lebensphasen	Ganzheitliche Bewertung der Nachhaltigkeit möglich?	Basierende Methode				
			Globale Auswirkungen			Regionale Auswirkungen				Lokale Auswirkungen				Direkte und indirekte Kosten		Externe Kosten							
Analysegegenstand: Material: M Rauteil/Produkt: B Bauwerk/Projekt: P	Analyseziel: Information (I) oder Bewertung (B)		Nicht erneuerbare Ressourcen oder Energieträger	Treibhauseffekt (ÖB)	Ozonabbau der Stratosphäre (ÖB)	Anfallende Abfälle/Deponiebedarf	Flächennutzungsänderung	Versauerung (ÖB)	Innenraumbelastung/Gesundheit	Eutrophierung/phototoxische Ozonbildung (ÖB)	Lärm	Saub	Erschütterungen	Belastung am Arbeitsplatz	Investitionskosten (einmalig)	Betriebskosten (Energie, Reinigung)	Instandhaltungskosten (laufend)	Erneuerungs-/Wartungskosten (periodisch)	Entsorgungskosten/Abbrechskosten	Schadenskosten, Vernetzungskosten, Ausweichkosten, Piktive Zahlungsbereitschaft	Alle Lebensphasen erfasst: Erstellung, Nutzung, Entsorgung		
	Grenzwerte	M, P	I	-	-	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	-	-	-	-	-	-	Nein	Nein
Informationssysteme	Datenbanken, Deklarationsraster	M	I	Unterschiedliche Datenbanken oder Elementkataloge können für die verschiedenen Indikatoren zur Anwendung kommen. Die Erfassung ökologischer Aspekte erfolgt im Allgemeinen quantitativ, die Erfassung ökonomischer Aspekte eher qualitativ.																	Ja/Nein	Nein	z. B. Ökobilanz
	Elementkataloge	B	I																		Ja/Nein	Nein	z. B. Ökobilanz
Orientierungshilfen	Checklisten/Leitfaden/Fallstudien	P	I	Es werden unterschiedliche, oft umfassend aufgeführte Kriterien aufgelistet und qualitativ beschrieben. Es handelt sich um kein Bewertungsinstrument, sondern um eine Planungshilfe.																	Ja	Nein	keine
	Umweltzeichen	B	B	Qualitative Einordnung verschiedener Produkte auf Grundlage quantitativ erfassbarer Kriterien, die nachprüfbar und transparent dargestellt werden müssen.																	Nein	Nein	verschiedene
Methoden	Energiekennzahlen	B, P	B	X ^{KEA}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ja	Nein	KEA
	Ökobilanzen	M, B, P	B	(X)	X	X	(X)	X	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ja	Nein	Ökobilanz
	Ganzheitliche Bilanzierung	M, B, P	B	X	X	X	X	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ja	Nein	Ökobilanz
	Life Cycle Costing	M, B, P	B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	X	X	-	X	(X) ¹¹	Ja	Nein	LCC
	MIPS	B, P	B	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Ja	Nein	MIPS
	PLA	P	B	(X)	X	X	(X)	X	X	(X)	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	Qualitative Erfassung	Ja	Nein

Tabelle 2: Instrumente für die Nachhaltigkeitsanalyse

Quelle: Grauber und Hüske 2003

Tabelle 2 zeigt diverse Instrumente, die zur Bewertung der Nachhaltigkeit bzw. deren unterschiedlichen Aspekten existieren. Daraus kann man ableiten, dass Methoden, die alle drei Achsen der Nachhaltigkeit komplett abbilden und bewerten, zum heutigen Zeitpunkt und Stand des Wissens noch nicht existieren. (Grauber; Hüske 2003, S.56) Auch die ISO-Norm 15392 (Nachhaltigkeit im Bausektor), die die Basis für Bewertungsmethoden nachhaltigen Bauens bildet, gibt bis dato nur Richtlinien für ökologische Indikatoren, jedoch weder für ökonomische noch für soziale Indikatoren vor. (Ebert et al. 2010, S.86) Die in dieser Arbeit gewählte Methode der Ökobilanzierung bildet ökologische Aspekte quantitativ ab, geht aber nicht auf ökonomische und soziale Aspekte ein.

3.3 Normungsaktivitäten

Um unterschiedliche Zertifizierungsmethoden in ihren Ansätzen vergleichbar zu machen, finden auf internationaler (ISO TC59/SC17: Sustainability in building construction) wie auf europäischer (CEN/TC 350: Sustainability of construction works) Ebene Normungsaktivitäten statt. CEN/TC 350 baut dabei auf den Arbeiten der ISO-Arbeitsgruppe auf. Hauptaktivitäten der Normungsausschüsse stellen die einheitliche Beschreibung der Datenbasis und der Berechnungs- und Bewertungsabläufe dar, um für verschiedene Bewertungssysteme einheitliche Rahmenbedingungen festzulegen.

Bei den Normierungsaktivitäten wird darauf abgezielt, dass quantifizierbare Indikatoren, eine Lebenszyklusbetrachtung und ein performance-orientierter Ansatz in den verschiedenen Systemen angewandt werden. (Ebert et al. 2010, S.86) Im Gegensatz dazu werden keine Bewertungsmaßstäbe oder Benchmarks vorgegeben, da diese über nationale Normen und Bewertungssysteme bestimmt werden sollen. Jüngere Systeme wie das der DGNB beinhalten die Ansätze der Normierung bereits, bei LEED und BREEAM werden die bestehenden Systeme an die Normierung angepasst. Die unterschiedlichen Normen und deren Aufteilung auf die drei Ebenen Grundlagen, Gebäude- und Produktebene sind in Abbildung 5 ersichtlich.

	methodische Grundlagen (Methodical basis)		Gebäude (Buildings)	Bauprodukte (Building products)
Umweltaspekte (Environmental aspects)	ISO 15392 Nachhaltigkeit im Bausektor – Allgemeine Grundlagen ISO/NP TS 12720 Nachhaltigkeit im Bausektor – Leitlinien für die Anwendung von allgemeinen Grundlagen auf die Nachhaltigkeit ISO/TS 21929 Nachhaltigkeit im Bausektor – Nachhaltigkeitsindikatoren – Teil 1: Grundlagen für die Entwicklung von Indikatoren für Gebäude ISO/NP 21929-2 Nachhaltigkeit im Bausektor – Nachhaltigkeitsindikatoren – Teil 2: Grundlagen für die Entwicklung von Indikatoren für Bauingenieurarbeiten ISO/ DTR 21932 Nachhaltigkeit im Bausektor – Terminologien		ISO 21931-1 Nachhaltigkeit im Bausektor – Grundlagen für Methoden zur Bewertung der Umweltqualität von Gebäuden – Teil 1: Gebäude	ISO 21930 Nachhaltigkeit im Bausektor – Umweltproduktdeklarationen von Bauprodukten
soziale Aspekte (Social aspects)				
ökonomische Aspekte (Economic aspects)				
a				
konzeptionelle Ebene (Concept Level)	Grundlagen (Framework Level)		Gebäudeebene (Building level)	Bauprodukteebene (Product level)
Umweltqualität (Environmental performance)	prEN 15643-1 Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden – Allgemeine Grundlagen (Sustainability assessment of buildings – General framework)	prEN 15643-2 Grundlagen für die ökologische Qualität (Framework for environmental performance)	prEN 15978 Bewertung der Umweltqualität (Assessment of environmental performance)	prEN 15804 Umweltproduktdeklarationen (Environmental product declarations) prEN 15942 Formate für die Kommunikation (Communication format B-B) CEN/TR 15941 Generische Daten (Generic data)
soziale Qualität (Social performance)		prEN 15643-3 Grundlagen für die soziale Qualität (Framework for social performance)	WI 015 Bewertung der sozialen Qualität (Assessment of social performance)	
ökonomische Qualität (Economic performance)		prEN 15643-4 Grundlagen für die ökonomische Qualität (Framework for economic performance)	WI 017 Bewertung der ökonomischen Qualität (Assessment of economic performance)	
technische Qualität (Technical performance)		technische Eigenschaften (Technical characteristics)		
funktionale Qualität (Functional performance)		Funktionalität (Functionality)		

Abbildung 5: Struktur der Normen ISO/TC 59/SC 17 und CEN/TC 350

Quelle: Ebert et al. 2010

Dabei gilt festzuhalten, dass sowohl bei ISO als auch bei CEN die sozialen und ökonomischen Indikatoren bzw. deren Normen noch in der Entwicklung sind. Dies erklärt auch die teils große Abweichung der Indikatoren dieser beiden Ebenen bei den folgenden verschiedenen Zertifizierungssystemen. In der Vornorm prEN 15978 werden hingegen die auf Ökobilanzen und EPDs aufbauenden Kriterien für eine Bewertung der Umweltqualität wie folgt definiert (Ebert et al. 2010, S.86):

- Umwelteinflüsse (Environmental impacts)
- Ressourceneinsatz (Resource input)
- Abfallkategorien (Waste categories)
- Ertragsflüsse, die das System verlassen (Output flows leaving system)

3.4 Bewertungssysteme für nachhaltige Immobilien

Die Geschichte von Bewertungs- und Zertifizierungssystemen im Immobilienbereich reicht bereits in die frühen 1990er Jahre zurück. Um ihre Anwendung zu garantieren müssen sie mehrere Kriterien erfüllen: sie sollen die Interessen verschiedener Akteure (Politik, Öffentlichkeit, Investoren etc.) abbilden, qualitätssichernd, nicht zu komplex bzw. teuer sein um einen Mehrwert darzustellen, vergleichbare Maßstäbe und Grenzwerte repräsentieren, die Planung positiv (im Sinne der Ressourcenschonung und –effizienz) beeinflussen, für Neubau wie Bestand anwendbar sein sowie transparent und übersichtlich sein. (Ebert et al. 2010, S.6-7) Nicht jedes der hier vorgestellten Systeme erfüllt all diese Kriterien, die meisten jedoch einen Großteil davon. Abgesehen davon werden sie von den verschiedenen Anbietern laufend verbessert und adaptiert.

Solche Systeme sind gemäß König et al. (2009, S.9) notwendig, da sie als Politikinstrumente wesentlich zu der Umsetzung von gesellschaftlichen Zielen der Nachhaltigkeit beitragen. Die Gesellschaft ist zwar zum Teil auf Nachhaltigkeitsaspekte sensibilisiert, benötigt aber solche von Expertinnen und Experten entwickelte objektive Orientierungshilfen, um sich der Auswirkungen ihrer Handlungen bewusst zu werden. Die in dieser Arbeit vorgestellten Zertifizierungssysteme bestehen prinzipiell aus einem Mix von Bewertungs- und Bilanzierungsverfahren (bzw. einer Kombination beider). (König et al. 2009, S.9) Aufgrund seiner holistischen Betrachtungsweise der Nachhaltigkeit wird das von der Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilien (ÖGNI) für den österreichischen Markt adaptierte System der DGNB näher beschrieben, die anderen Systeme werden schematisch dargestellt und in weiterer Folge verglichen. Für eine ausführlichere Beschreibung internationaler Zertifizierungssysteme liegen bereits eine Reihe von Publikationen vor, so etwa Ebert et al. (2010), Fichtinger (2009), Meckmann (2010).

Eine internationale Vereinheitlichung ist bis dato auf Grund der verschiedenen Anbieter (und deren Interesse ihr Gütesiegel weitreichend zu verbreiten) sowie anderer Faktoren (regionale Gegebenheiten etc.) noch nicht geglückt. Obwohl dies langfristig notwendig ist, ist zum Status quo die Vielzahl der Systeme (und damit unterschiedlicher Kriterien, Gewichtungen etc.) und die daraus resultierenden Impulse für die Entwicklung eines einheitlichen Standards förderlich. (Ebert et al. 2010, S.7) Auf internationaler wie europäischer Ebene finden Aktivitäten zur Definition einheitlicher Rahmenbedingungen statt.

3.4.1 Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)

Die DGNB wurde im Jahr 2007 gegründet und entwickelte in Kooperation mit dem Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS 2011 als Basis) ein Zertifizierungssystem für nachhaltige Gebäude. Wurde zunächst der Nutzungstyp „Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude“ zertifiziert, ist es nunmehr möglich, auch andere Gebäudetypen wie Handels-, Industrie- und Wohnbauten sowie Hotels etc. mit diesem Label auszustatten. Weiters ist es möglich, auf klimatische, bauliche und gesetzliche Spezifika verschiedener Länder einzugehen, was der Zertifizierung eine internationale Anwendbarkeit ermöglicht. (DGNB 2011)

Das Gütesiegel umfasst sechs Themenfelder, die sich wiederum aus rund 60 Kriterien zusammensetzen:

- Ökologische Qualität (12 Kriterien) – Gewichtsanteil 22,5 %
- Ökonomische Qualität (2 Kriterien) – Gewichtsanteil 22,5 %
- Soziokulturelle und funktionale Qualität (15 Kriterien) – Gewichtsanteil 22,5 %
- Technische Qualität (5 Kriterien) – Gewichtsanteil 22,5 %
- Prozessqualität (9 Kriterien) – Gewichtsanteil 10 %
- Standortqualität (6 Kriterien)

Die hier angegebenen Gewichtsanteile entsprechen dem Nutzungstyp „Neubau Büro- und Verwaltungsgebäude“. Die Standortqualität geht nicht in die Gesamtbeurteilung des Gebäudes ein, sondern wird separat betrachtet. Die Themenfelder können je nach Nutzungsart und daraus abgeleiteter Bedeutung unterschiedlich gewichtet werden. Das DGNB Gütesiegel schafft es somit als einziges Zertifizierungssystem, sämtliche Ebenen der Nachhaltigkeit abzubilden. Darüber hinaus werden auch die technische Qualität und die Prozessqualität über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes bewertet. (Sedlbauer 2009, S.30)

Ein Kriterium kann maximal 10 Punkte erreichen, die über Kriterium-spezifische Zielwerte und die Definition der Messmethoden vergeben werden. Alle Kriterien

werden, je nach Nutzungstyp, mittels Bedeutungsfaktor (0-3) unterschiedlich gewichtet. Nach Multiplikation der Punkte mit den jeweiligen Faktoren erhält man das Resultat der Kriterien.

Tabelle 3 zeigt die für das jeweilige Zertifikat zu erreichenden Werte. Um die Qualität sicherzustellen, gelten für verschiedene Medaillen Mindesterfüllungsgrade pro Themenfeld.

Gesamterfüllungsgrad	Medaillen	Mindesterfüllungsgrad in jedem Themenfeld	Note
Ab 50%	Bronze	35%	3,0
Ab 65%	Silber	50%	2,0
Ab 80%	Gold	65%	1,5

Tabelle 3: Bewertung nach DGNB

Quelle: Eigene Darstellung nach DGNB 2011

Laut DGNB (2011) entstehen aus dem Zertifikat mehrere Vorteile:

- Zielorientierte, holistische Betrachtung
- Internationale Ausrichtung
- Optimierungstool für Planung
- Risikominimierung
- Attraktivitätssteigerung am Markt
- Vielfalt basierend auf einheitlicher Systematik

Lützkendorf (2009, S.72) nimmt das Zertifikat darüber hinaus als „Checkliste für die Steuerung der Prozess- und Objektequalität“, als „Instrument für die performanceorientierte Zielfindungsdiskussion zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer“ sowie für „die Darstellung detaillierter Objekt- und Standortmerkmale“ wahr.

Das System der DGNB wurde durch die im September 2009 gegründete Österreichische Gesellschaft für nachhaltige Immobilien (ÖGNI) für den österreichischen Markt adaptiert und in Kooperation mit der DGNB wird von beiden Organisationen die Etablierung des Zertifikats auf internationaler Ebene angestrebt. (Manner 2009)

Ökobilanzen werden beim DGNB-System über den Lebenszyklus des Gebäudes erstellt. Grundlage dafür sind die EPDs aus der Ökobau.dat.

3.4.2 LEED

LEED (Leadership in Energy & Environmental Design) ist ein vom USGBC (U.S. Green Building Council) im Jahr 1993 veröffentlichter Gebäudezertifizierungsstandard. Dieser liefert Gebäudebetreibern und Eigentümern ein Rahmenwerk für die Identi-

fikation und die Implementierung praktischer und messbarer Maßnahmen für Design, Errichtung, Nutzung und Instandhaltung nachhaltiger Gebäude. (USGBC 2011) Das USGBC umfasst derzeit rund 15.000 Unternehmen und Stakeholder, die den Standard bzw. dessen neun unterschiedliche Bewertungssysteme (Abbildung 6) weiterentwickeln. Das LEED spezifische System für Portfoliozertifizierung (LEED-Volume) ist in dieser Abbildung nicht enthalten, da es sich aus einer Mischung der angeführten Nutzungstypen zusammensetzt.

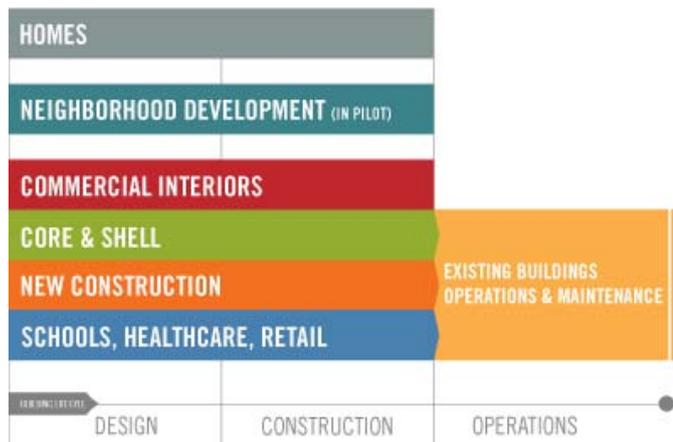


Abbildung 6: LEED Zertifizierungssysteme

Quelle: USGBC 2011a

LEED wurde für den amerikanischen Markt entwickelt und seither für den internationalen Gebrauch adaptiert. (Ebert et al. 2010, S.47) Am Beispiel „New Construction“ werden die Themenfelder und die dazugehörigen Punkte angeführt (Tabelle 4). Diese Punkte sind auf mehrere Kriterien aufgeteilt. Um eine Zertifizierung zu erhalten, müssen gewisse Minimalkriterien erfüllt werden. (Fichtinger 2009, S.42) Die Zertifikate werden in den Kategorien Certified (40-49 Pkte.), Silver (50-59 Pkte.), Gold (60-79 Pkte) und Platinum (80+ Pkte.) vergeben.

Themenfeld	Kriterienanzahl	Max. Punkte
Nachhaltiges Grundstück (Sustainable Sites)	15	26
Wassernutzung (Water Efficiency)	5	10
Energie und Atmosphäre (Energy and Atmosphere)	9	35
Materialien und Ressourcen (Materials and Resources)	15	14
Innenraumqualität (Indoor Environment Quality)	17	15
Innovation in Design (Innovation in Design)	2	Zusätzlich 6
Regional spezifische Standards (Regional Priority)	1	Zusätzlich 4

Tabelle 4: LEED Themenfelder

Quelle: Eigene Darstellung nach USBGC 2011b

Gemäß Ebert (2010, S.47) plant das USGBC in kommenden Varianten die Lebenszyklusbetrachtung und die Integration von Ökobilanzierung zu forcieren. Dies wird gegenwärtig als Pilotkriterium (Life Cycle Assessment of Building Materials) getestet.

3.4.3 BREEAM

BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) wurde Anfang der 1990er Jahre gestartet und ist somit das älteste Gebäudezertifizierungssystem. Es hat schon mehrere Updates hinter sich und der Standard für „New Buildings“ wurde 2011 aktualisiert. Mit über 200.000 zertifizierten Gebäuden ist BREEAM Weltmarktführer (dies allerdings auch deswegen, weil die britische Regierung gesetzliche Regelungen auf Basis von BREEAM erstellt hat). (Ebert et al. 2010, S.25)

Ursprünglich auf den britischen Markt ausgerichtet existieren mittlerweile mehrere adaptierte Versionen sowie je eine allgemeine Version von BREEAM International und BREEAM Europe. Die unterschiedlichen Landesversionen sind jeweils noch in Zertifikate verschiedener Nutzungstypen untergliedert (z.B. BREEAM U.K.: Offices, Retail, Education, Industrial, Healthcare, Prison, Data Centres, Courts, EcoHomes, Multi-residential, Other Buildings). (BRE Global 2010) Weiters können mehrere Projekttypen zertifiziert werden, wie etwa: Neue Gebäude, Instandsetzungsmaßnahmen bestehender Gebäude, bauliche Erweiterungen bestehender Gebäude, Gebäudeausstattung, Dach und Fach (core and shell). (Fichtinger 2009, S.29-30)

BREEAM New Buildings umfasst 10 Themenfelder (Tabelle 5), die unterschiedlich gewichtet sind und neben ökologischen Aspekten auch soziale und ökonomische Aspekte enthalten. Für Innovationen werden zusätzliche Punkte verliehen. Pro Themenfeld ist ein bestimmter Minimalwert zu erreichen, um ein Zertifikat erhalten zu können.

Environmental section	Weighting
Management	12%
Health & Wellbeing	15%
Energy	19%
Transport	8%
Water	6%
Materials	12.5%
Waste	7.5%
Land Use & Ecology	10%
Pollution	10%
Total	100%
Innovation (additional)	10%

Tabelle 5: BREEAM Themenfelder und Gewichtung

Quelle: BRE Global 2011

Unter „Materials“ (siehe Tabelle 5) werden die beiden Kriterien Mat1 – Baumaterialien und Mat2 - Oberflächenbefestigungen und Einfriedungen geführt, für welche neben dem von BRE Global angebotenen BRE Green Guide auch alternative Quellen zur Ökobilanzierung von Baustoffen und -produkten verwendet werden dürfen. Dabei müssen mindestens drei Wirkungskategorien (vgl. Kapitel 4.6 Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment LCIA)) angegeben werden, die Berechnung muss Lebenszyklus-weit erfolgen und ISO 14040/14044 (vgl. Kapitel 4) konform sein. (Ebert et al. 2010, S.36)

3.4.4 Vergleich der Zertifizierungssysteme

Ein Vergleich der Systeme fällt aus bereits erwähnten Gründen schwer. Das System der DGNB genießt den Vorteil, auf bestehendes Wissen aufbauen zu können sowie internationale Normungsaktivitäten, die erst im Laufe der letzten Jahre begonnen haben, bereits zu inkludieren. LEED und vor allem BREEAM können auf Grund des vorhandenen Erfahrungsschatzes punkten. Das von der DGNB entwickelte System ist jedoch als das im Sinne der Nachhaltigkeit Allumfassendste anzusehen, da es im Gegensatz zu den anderen beiden vermehrt wirtschaftliche, soziale, technische und prozessspezifische Aspekte beinhaltet. (Ebert et al. 2010, S.87)

	LEED	BREEAM	DGNB
1. Ebene: Ziele	nationale Schutzziele	nationale Schutzziele	nationale Schutzziele
2. Ebene: Qualitäten, Kategorien, Aspekte	-	-	6 Qualitäten: <ul style="list-style-type: none"> • ökologische Qualität • ökonomische Qualität • soziokulturelle und funktionale Qualität • technische Qualität • Prozessqualität • Standortqualität
	6 Kategorien: <ul style="list-style-type: none"> • nachhaltige Baugelände • effiziente Wassernutzung • Energie und Atmosphäre • Materialien und Ressourcen • Komfort und Innenraumklima • Innovation und Planungsprozess 	10 Kategorien: <ul style="list-style-type: none"> • Management • Gesundheit und Behaglichkeit • Energie • Transport • Wasser • Materialien • Abfall • Flächenverbrauch und Grundstücksökologie • Emissionen • Innovationen 	11 Kategorien: <ul style="list-style-type: none"> • Wirkungen auf die globale und lokale Umwelt • Ressourceninanspruchnahme und Abfallaufkommen • Lebenszykluskosten • Wertstabilität • Gesundheit, Behaglichkeit und Nutzerzufriedenheit • Funktionalität • gestalterische Qualität • Qualität der technischen Ausführung • Qualität der Planung • Qualität der Bauausführung • Qualität des Standorts
3. Ebene: Kriterien	43 Kriterien	76 Kriterien	49 Kriterien
4. Ebene: Indikatoren	qualitativ und quantitativ	qualitativ und quantitativ	qualitativ und quantitativ
5. Ebene: Gewichtung	mit Punkten	in %	mit Bedeutungsfaktoren und in %
6. Ebene: Ergebnis	Zertifiziert, Silber, Gold, Platin	Bestanden, Gut, Sehr gut, Exzellent und Herausragend	Bronze, Silber, Gold

Abbildung 7: Vergleich der Gliederung der drei Systeme LEED, BREEAM, DGNB

Quelle: Ebert et al 2010

Die Zertifizierungssysteme sind prinzipiell ähnlich aufgebaut (vgl. Abbildung 7). Das System der DGNB hat als ganzheitliches (Sustainable Building Approach) System eine zusätzliche Ebene (der Qualitäten) eingezogen. Den beiden anderen Systemen, die ihr Hauptaugenmerk v.a. auf Komponenten der Ökologie und der Energieeffizienz richten, fehlt diese Ebene, die die unterschiedlichen Kategorien in Aspekte zusammenfasst. Die in Kap. 3.3 beschriebenen Kriterien für eine Bewertung der Umweltqualität sind in allen Systemen in Kategorien (Ebene 2) und den dazugehörigen Kriterien (Ebene 3) in unterschiedlicher Ausprägung enthalten, sowie auch die Indikatoren (und deren Methoden) und deren Gewichtungen stark voneinander abweichen.

Obwohl inhaltlich teilweise schwer vergleichbar, versuchen Ebert et al. (2010, S.94) eine Zuteilung der Kriterien auf zehn wesentliche Aspekte (Tabelle 6) und deren Gewichtung in den jeweiligen Zertifizierungssystemen (Tabelle 7).

		DGNB	BREEAM	LEED
ökologische Aspekte	Umweltbelastungen/Verschmutzung	■	■	■
	Materialien/Ressourcen	■	■	■
	Abfall	■	■	■
	Wasser	■	■	■
ökonomische Aspekte	Lebenszykluskosten	■	■	
	Wertstabilität	■		
soziokulturelle Aspekte	Sicherheit	■	■	
	Barrierefreiheit	■		
	regionale und soziale Aspekte			■
Energie	CO ₂ -Emissionen	■	■	■
	Energieeffizienz	■	■	■
	erneuerbare Energie	■	■	■
	energieeffiziente Gebäudehülle	■	■	■
	technische Gebäudeausstattung	■	■	■
	Energiemonitoring	■	■	■
	Zwischenzähler und -messungen elektrische Gebäudeausstattung		■	
Behaglichkeit und Gesundheit	thermischer Komfort	■	■	■
	Innenraumlufqualität	■	■	■
	akustischer Komfort	■	■	
	visueller Komfort	■	■	■
	Einflussnahme des Nutzers	■	■	■
funktionale Aspekte	Flächeneffizienz	■		
	Umnutzungsfähigkeit	■		
technische Aspekte	Brandschutz	■		
	Haltbarkeit	■	■	
	Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit	■		
	Wetter- und Umweltresistenz	■		
Design/Innovation	Architektur	■		
	Kunst am Bau	■		
	Innovation		■	■
Prozess/Management	Planungsprozess	■	■	
	Baustellenabläufe	■	■	■
	Inbetriebnahme	■	■	■
	Betrieb	■	■	
Standort	Mikro-Standort	■	■	■
	Verkehrsanbindung	■	■	■
	Fahrradkomfort	■	■	■
	Nachbarschaft	■	■	■
	Bauordnung	■		
	Erweiterungsmöglichkeiten	■		
	Flächenverbrauch	■	■	■
	Natur- und Landschaftsschutz		■	■
Biodiversität		■		

Tabelle 6: Vergleich der Zertifizierungssysteme basierend auf Aspekten und Kriterien

Quelle: Ebert et al. 2010

	BREEAM Offices 2008 (%)	LEED-NC 2009 (%)	DGNB NBV 2008 (%)
1. Ökologie	33,6	31,1	16,3
2. Ökonomie	0	0	23,6
3. soziale Aspekte	2,5	4,6	2,5
4. Energie	23,5	32,2	14,4
5. Behaglichkeit und Gesundheit	19,4	16	16,5
6. funktionale Aspekte	0	0	2,5
7. technische Aspekte	1,3	0	9,5
8. Design	1,2	6,9	4,2
9. Prozess/Management	18,5	9,2	10,5
10. Standort	nicht berücksichtigt ¹	nicht berücksichtigt ¹	nicht berücksichtigt ¹

¹ Der Standort ist nicht in den Vergleich mit eingeflossen, da dieser bei DGNB nicht gewichtet wird.

Tabelle 7: Vergleich der Zertifizierungssysteme basierend auf Aspekten und deren Gewichtung

Quelle: Ebert et al. 2010

In welcher Form die Systeme Ökobilanzierung integrieren zeigt Tabelle 8. LEED enthält zwar ebenfalls Vorgaben zu Umweltschutzkriterien von Baumaterialien, dabei wird aber lediglich die Materialwahl und nicht der gesamte Lebenszyklus des Gebäudes betrachtet. Diese Lebenszyklusbetrachtung wird derzeit als Testkriterium erprobt. Bei BREEAM wird ebenfalls bloß die Herstellung der Materialien analysiert womit das DGNB wiederum die holistischste Betrachtung liefert.

Kriterium	LEED	BREEAM	DGNB
Basierend auf	Nur als Testkriterium	ISO 14040:2006, ISO 14044:2006, ISO 21930:2007	ISO 14040:2006, ISO 14044:2006
Berücksichtigte Lebenszyklusphasen	Herstellung, Transport, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau, Entsorgung	Herstellung	Herstellung, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau, Entsorgung
Indikatoren	GWP, ODP, AP, EP, PE, Einflusspotential auf Atemwege	Berechnung von mind. drei Indikatoren	GWP, ODP, POCP, AP, EP, PE _{ne} , PE _e

Tabelle 8: Ökobilanzierung im Rahmen der drei Systeme LEED, BREEAM, DGNB

Quelle: Eigene Bearbeitung nach Ebert et al. 2010

Um die Ungleichheiten der verschiedenen Systeme zu reduzieren bzw. sie für die breite Öffentlichkeit und die Benutzerinnen und Benutzer verständlicher zu gestalten ist gemäß Ebert et al. (2010, S. 87) ein internationales System mit allgemein

gültigen Core Indicators dringend erforderlich. Daran arbeiten Internationale Initiativen wie iSBE (International Initiative for Sustainable Built Construction) oder die SB Alliance (Sustainable Building Alliance) z.B. in den EU Projekten OpenHouse und SuPerBuildings.

3.5 Energieeffizienzklassen

Die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes bezeichnet gemäß Richtlinie 2002/91/EG „die Energiemenge, die tatsächlich verbraucht oder veranschlagt wird, um den unterschiedlichen Erfordernissen im Rahmen der Standardnutzung des Gebäudes (u.a. etwa Heizung, Warmwasserbereitung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung) gerecht zu werden.“ (RL 2002/91/EG Art.2) Sie wird mittels **Gesamtenergiekennzahl** angegeben. Der Bewertungsmaßstab hierfür ist der Primärenergieverbrauch (nicht erneuerbarer Energieträger) während der Nutzungsphase eines Gebäudes. (Lützkendorf 2009, S.63)

Die Umsetzung der Richtlinie wurde in Österreich 2006 in nationales Recht mittels Energieausweisvorlagegesetz (EAV) in der OIB-Richtlinie 6 auf Bundesländerebene implementiert, was u.a. in der Entwicklung unterschiedlicher Bundesland-spezifischer Berechnungsmethoden resultierte. (Treberspurg 2006, S.42) Die Klassengrenzen für konditionierte Wohn- und Nicht-Wohngebäude für die Einstufung des Energieausweises sind in Tabelle 9 ersichtlich. In Österreich ist somit der Heizwärmebedarf während der Nutzungsphase der ausschlaggebende Faktor.

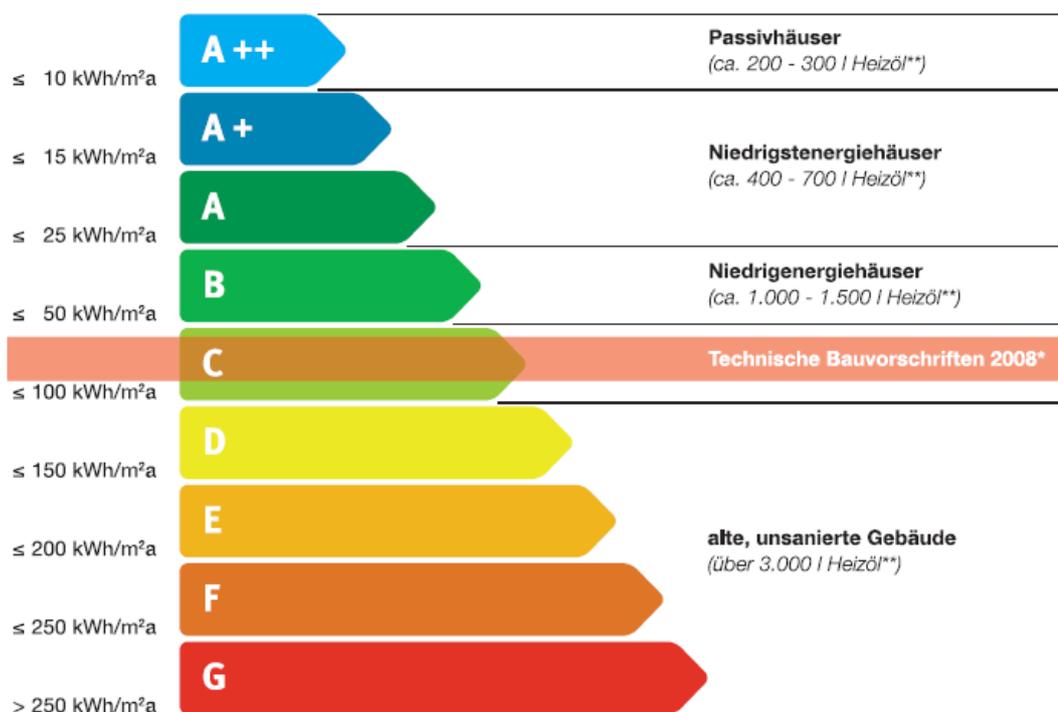
Energieeffizienzklasse	Heizwärmebedarf	Primärenergiebedarf	Kohlendioxidemissionen
Klasse A++	$HWB_{BGF,SK} \leq 10$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 60$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 8$ kg/m ² a
Klasse A+	$HWB_{BGF,SK} \leq 15$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 70$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 10$ kg/m ² a
Klasse A	$HWB_{BGF,SK} \leq 25$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 80$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 15$ kg/m ² a
Klasse B	$HWB_{BGF,SK} \leq 50$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 160$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 30$ kg/m ² a
Klasse C	$HWB_{BGF,SK} \leq 100$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 220$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 40$ kg/m ² a
Klasse D	$HWB_{BGF,SK} \leq 150$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 280$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 50$ kg/m ² a
Klasse E	$HWB_{BGF,SK} \leq 200$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 340$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 60$ kg/m ² a
Klasse F	$HWB_{BGF,SK} \leq 250$ kWh/m ² a	$PEB_{BGF,SK} \leq 400$ kWh/m ² a	$CO_2_{BGF,SK} \leq 70$ kg/m ² a

Klasse G	HWB _{BGF,SK} > 250 kWh/m ² a	PEB _{BGF,SK} > 400 kWh/m ² a	CO ₂ BGF,SK > 70 kg/m ² a
Sämtliche Klassengrenzen beziehen sich auf Brutto-Grundfläche (BGF) und Standortklima (SK)			

Tabelle 9: Klassengrenzen unterschiedlicher Energieeffizienzklassen von Wohn und Nicht-Wohngebäuden nach OIB-Richtlinie 6

Quelle: Eigene Darstellung nach Österreichisches Institut für Bautechnik 2011

Abbildung 8 zeigt die Verknüpfung des Energiebedarfs mit den jeweiligen Baustandards. Die Entwicklung solcher Standards wurde im Zuge von Wärmeschutzverordnungen seit den 1970er Jahren vorangetrieben. Dadurch konnte der Heizenergiebedarf von Gebäuden drastisch gesenkt werden.



* Technische Bauvorschriften 2008

Abbildung 8: Vergleich von Energiekennwerten unterschiedlicher Bauweisen

Quelle: Energie Tirol (o.J.)

3.5.1 Niedrigenergiehäuser

Niedrigenergiehäuser (NEH) haben einen Jahres-Heizwärmebedarf von 30-70 kWh/m²a (je nach Gebäudeform). Dieser HWB wird durch die Reduktion der Transmissionswärmeverluste erreicht. Maßnahmen hierfür sind eine gute Wärmedämmung, eine kompakte Gebäudeform, die Nutzung solarer Energiegewinnung und eine gute Luftdichtigkeit. (Graubner; Hüske 2003, S.38)

3.5.2 Niedrigstenergiehäuser

Niedrigstenergiehäuser beschreiben eine thermische Gebäudequalität, die über der von Niedrigenergiehäusern liegt, jedoch den Passivhausstandard noch nicht erreicht. Somit liegt der Jahres-Heizwärmebedarf zwischen 16-30 kWh/m²a. Baulich ist dafür zum einen gute Wärmendämmung, zum anderen aber auch mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung von Nöten. (energiesparhaus.at)

3.5.3 Passivhäuser

Passivhäuser sind Weiterentwicklungen von Niedrigenergiehäusern, die einen HWB von 15 kWh/m²a und einem Primärenergiebedarf für sämtliche Haushaltsanwendungen (Heizung, Warmwasseraufbereitung, Haushaltsstrom) von weniger als 120 kWh/m²a benötigen. Passivhäuser weisen hohen Wohnkomfort auf (Behaglichkeit, Gebäudequalität, Raumluftqualität, etc.). (Treberspurg 2006, S.125-126) Der niedrige HWB wird mittels günstigem Oberflächen-Volumen Verhältnis (A/V-Verhältnis), Gebäudeorientierung (inkl. großer Fensterflächen) nach Süden, einer guten Gebäudedämmung in sämtlichen Bauteilen (Außenwand, Fenster, Dach etc.) inkl. Wärmebrückenfreiheit, dem Verzicht auf eine konventionelle Heizungsanlage und dem Einsatz einer kontrollierten Be- und Entlüftung inkl. Wärmerückgewinnung sowie energieeffizienten Haushaltsgeräten sichergestellt. (Lebensart 2010, S.7)

Die anfallenden Mehrkosten bei der Errichtung von Passivhäusern können mit Hilfe der Wohnbauförderung bereits in dieser Phase ausgeglichen werden. (passivhaus-trend o.J., S.17) Betrachtet man nur die Abstufung der Förderdarlehen nach Energieeffizienzkriterien (Abbildung 9) ohne die Basisförderungen wird der tatsächliche Lenkungseffekt bis hin zur Passivhausförderstufe mit 10 kWh/m²a deutlich.

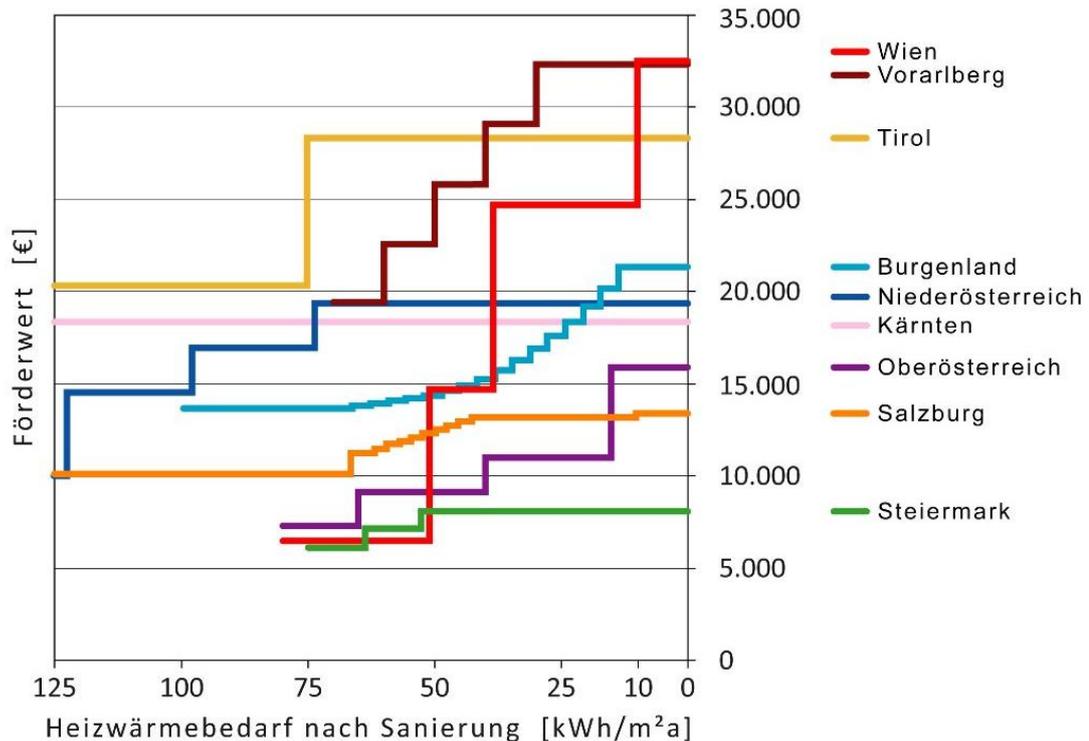


Abbildung 9: Förderdarlehen Abstufung nach Energieeffizienzkriterien ohne Basisförderung für Eigenheime in Österreich

Quelle: IG Passivhaus 2009

Sollte die Wohnbauförderung auf Grund unterschiedlicher Regelungen in den verschiedenen österreichischen Bundesländern niedriger ausfallen, amortisieren sich die Mehrkosten der Konstruktion durch die hohe Ausführungsqualität und den geringeren Energiebedarf im Verlauf der Nutzungsphase. (Eichholtz et al. 2009)

3.5.4 Null-Heizenergie-Häuser bzw. Nullenergiehäuser

Diese Gebäudetypen entsprechen stark dem Baustandard des Passivhauses, jedoch fallen keinerlei Brennstoff- bzw. Energiekosten an. Die Wärmegewinnung erfolgt über Solar- und Geothermie, der elektrische Strom wird ggf. über Photovoltaikanlagen gewonnen. Da die Investitionskosten der Anlagentechnik mitunter noch sehr hoch ist, ist die Wirtschaftlichkeit zum jetzigen Zeitpunkt bei gegebenen Energiepreisen nur selten gegeben.

Die in Abbildung 8 angeführten Heizwärmebedarfszahlen entsprechen denen von Ein- bzw. Mehrfamilien-Wohnhäusern. Da für Bürogebäude in der Regel sowohl höhere elektrische Energieverbräuche (Klimaanlagen, höherer pro-Kopf Energieverbrauch) anzunehmen sind, kommt es hier zu anderen Primärenergiekennwerten. Diese sind in Abbildung 10 dargestellt.

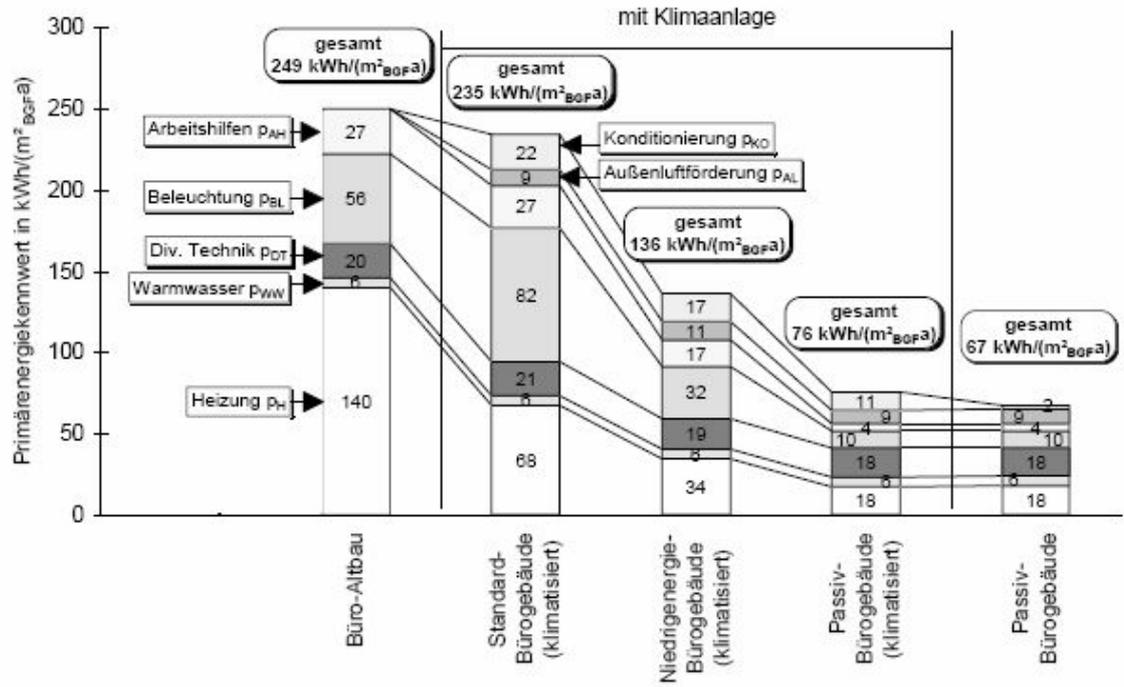


Abbildung 10: Primärenergiekennwerte von Bürogebäuden bei unterschiedlichen Bauweisen

Quelle: IWU Darmstadt 2007

4 Ökobilanzierung (LCA)

Bei der ökologischen Produktbewertung beruht die Erfassung von direkten und indirekten Ressourcen- und Energieverbräuchen und Treibhausgasemissionen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg auf dem Konzept der Lebenszyklusanalyse (siehe Abbildung 11). Eine LCA (Life Cycle Assessment) quantifiziert wichtige Umweltaspekte und Umweltwirkungen eines Gutes (sowohl Produkt als auch Dienstleistung) (ISO 14040 2006) mittels systematischer Erfassung und Evaluierung von Input- und Outputströmen. (Europäische Kommission 2010), womit es sich um eine ganzheitliche Methode im Sinne einer mehrkriteriellen Bewertungsmethode handelt. (Grauber; Hüske 2003, S.64)

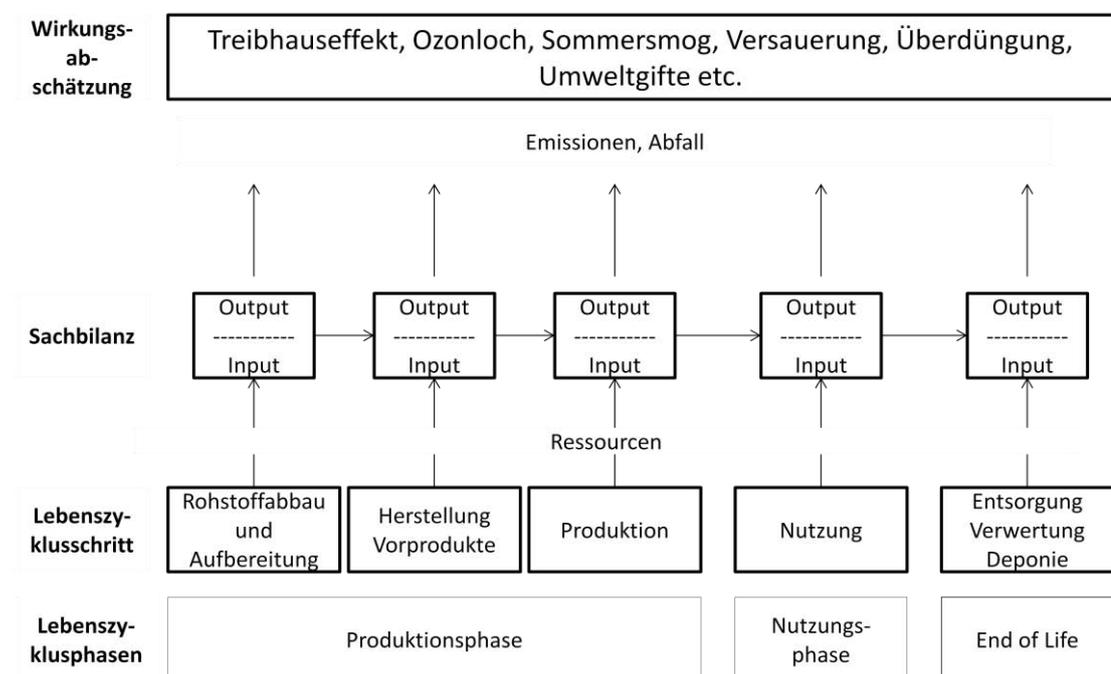


Abbildung 11: Aufbau einer Ökobilanz

Quelle: König et al. 2009

Die methodischen Rahmenkriterien der LCA sind in den ISO-Normen EN ISO 14040 und 14044 geregelt. Mittels Ökobilanz können die Auswirkungen des Ressourceninputs erhoben, Maßnahmen abgeleitet und die Wirkung dieser Maßnahmen mittels Benchmarking ermittelt werden. Deshalb ist der Begriff der Bilanz in diesem Falle nicht in klassischem Sinne des Rechnungswesens zu verstehen (als Gegenüberstellung von Aktiva und Passiva) (Luthe 2008, S.18), sondern als

„Vergleich zwischen Menge und Art der stofflichen Einsatzfaktoren (Input) und ihren Umweltwirkungen (Output).“ Somit dienen Ökobilanzen zur *„Offenlegung von Schwachstellen im Produktionsprozess, zur Verbesserung der Umwelteigenschaften von Produkten (...), der Förderung umweltfreundlicher Produkte und Verfahren, dem*

Vergleich alternativer Verhaltensweisen und der Begründung von Handlungsempfehlungen.“

(Umweltbundesamt 2011)

Streamline-Analysen sind vereinfachte Methoden zur Bewertung von Umweltauswirkungen und werden für spezifische Indikatoren wie etwa die Materialintensität pro Serviceeinheit (MIPS) oder den Kumulierten Energieaufwand (KEA) verwendet, die nicht den Umfang einer Ökobilanz inne haben, dafür aber leichter greifbar sind und das spezielle Themenfeld (Materialverbrauch, Energieaufwand) deutlicher widerspiegeln. (Geissler 2007, S.17)

Neben den ISO-Normen zur Ökobilanzierung gibt es auch spezifische auf den CO₂-Fußabdruck (Carbon Footprint) von Produkten fokussierte Methodenstandards, wie z.B. das GHG Protocol „Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard“ (WBSCD; WRI 2009), die ISO 14067 „Carbon footprint of products“ (ISO 14067 2012) oder PAS 2050 (BSI 2008). Im Bereich von Bauen und Wohnen sieht v.a. die Bauproduktenordnung (VO 2911/305/EU) und Environmental Product Declarations (EPDs) eine Ökobilanzierung vor.

Die beschriebenen Nachhaltigkeitsindikatoren werden, neben anderen, in der Praxis als Steuerungs-, Informations-, und Kommunikationsinstrumente eingesetzt. (Burger 2010, S.36) Durch die Aufsplittung in Lebenszyklusphasen zeigen Ökobilanzen auf, ob Veränderungen in einem Prozessschritt (etwa Veränderungen bei der Materialwahl) das Gesamtergebnis positiv beeinflussen (ergo die Umweltauswirkungen verringern) oder ob diese Veränderungen lediglich in einen anderen Prozessschritt verlagert werden. (Geissler 2007, S.19)

Ein negativer Aspekt von vollständigen Lebenszyklusanalysen ist der große Aufwand und die Anforderungen an das genaue Datenmaterial. LCAs weisen Umweltauswirkungen in quantifizierter Form aus, gehen aber nicht auf die anderen beiden Säulen der Nachhaltigkeit, auf ökonomische wie soziale Aspekte ein. (ISO 14040 2006) Um diese abzudecken, benötigt es weitreichenderer Bewertungsmethoden wie die multikriteriellen Entscheidungsanalysen (MODM, MADM) und deren untergeordnete Methoden. (Geissler 2007, S.26)

4.1 Internationale Standards (ISO-Normen)

Seit ihrer Gründung im Jahre 1947 hat die ISO, die weltweite Föderation nationaler Standardisierungsbehörden, bis heute über 18.500 internationale Standards entwickelt und veröffentlicht. (ISO 2011) Um unterschiedliche Ansätze der Ökobilanzierung zu vereinheitlichen und damit die Ergebnisse vergleichbar zu machen, wurde

1992 das Technical Committee ISO/TC 207 gegründet. (Luthe 2008, S.22) In den ISO Normen 14040 (principles and framework for life cycle assessment (LCA)) und 14044 (requirements and framework for life cycle assessment) wurden vom Technical Committee ISO/TC 207 die Grundlagen der Ökobilanzierung auf Produkt- und Produktionssystemebene festgelegt: Dies wurde als notwendig angesehen, da man die Umweltauswirkungen von Produkten messbar machen wollte. Gemäß ISO 14040 (2006) dienen LCAs dazu:

- Gelegenheiten zur Verbesserung (Verringerung) der Umweltauswirkungen von Produkten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg aufzuzeigen
- Information für Entscheidungsträger bereitzustellen
- die Auswahl relevanter Indikatoren und Techniken zur Messbarkeit zu unterstützen
- die Vermarktung einheitlicher Ergebnisse und Deklarationen voranzutreiben

Im Zuge eines Revisionsprozesses im Jahr 2006 wurde die ISO-Norm 14040 vereinfacht und die ISO-Normen 14041, 14042 und 14043 zur ISO-Norm 14044 zusammengefasst, um eine bessere Verständlichkeit sicherzustellen, wobei die Inhalte unverändert blieben (König et al. 2006, S.39) Mit Hilfe der so vereinfachten ISO-Normen wurde die Akzeptanz bei den entsprechenden Stakeholdern erhöht und des Weiteren die Transparenz der Methode weiter verbessert. (Burger 2010, S.25)

Um die Vergleichbarkeit verschiedener Analysen sicherzustellen, lauten die grundsätzlichen methodischen Kriterien einer LCA: iteratives Vorgehen, Vollständigkeit, Konsistenz und Transparenz der getroffenen Annahmen, Datenquellen und Rahmenbedingungen. (ISO 14040 2006) Die in den ISO-Normen 14040 und 14044 beschriebenen Minimumkriterien müssen erfüllt werden, damit die Analyse der ISO-Norm entspricht.

Wie bereits erwähnt analysiert die durch ISO standardisierte Ökobilanz sämtliche wichtige Umweltaspekte und daraus resultierende Umweltwirkungen des Untersuchungsgegenstandes in quantitativer Form. (ISO 14044 2006) Dabei werden sämtliche Inputs an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen, Vorprodukten und Energie erfasst sowie daraus resultierende Emissionen und Abfälle analysiert. (Europäische Kommission 2010)

Diese Inputs werden entlang ihres Lebenszyklus von der Wiege bis zur Bahre untersucht, d.h. alle Prozesse von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung werden betrachtet. Die allgemein gültigen Phasen eines Lebenszyklus sind in Abbildung 12 ersichtlich.

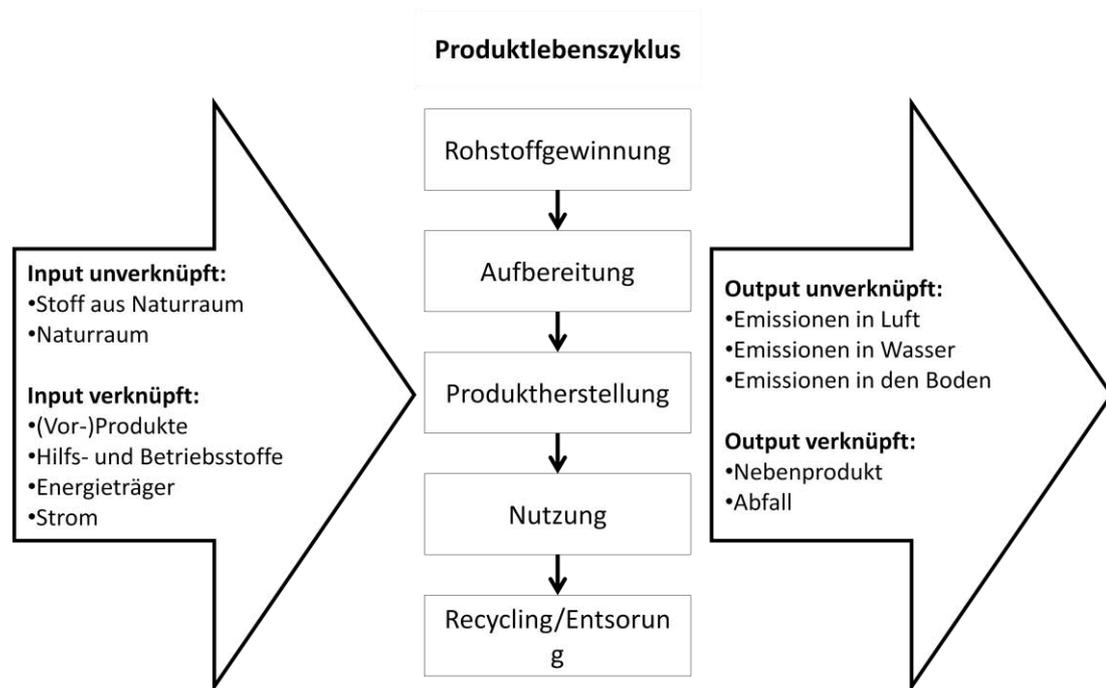


Abbildung 12: Inputs und Outputs eines Produktlebenszyklus

Quelle: König et al. 2009

Weitere Hauptmerkmale einer LCA nach ISO-Norm 14040 (2006) lauten:

- Die relative Natur einer LCA aufgrund ihres Bezugs auf eine gewählte funktionelle Einheit
- Detailgenauigkeit und Zeitrahmen sind abhängig von Ziel und Untersuchungsumfang und können somit bei verschiedenen LCAs variieren
- Ökobilanzen beschreiben potentielle Umweltauswirkungen. Aus mehreren Gründen (funktionelle Einheit, existierende Unsicherheiten bei der Modellierung und der Quantifizierung von Umweltauswirkungen, oder Umweltauswirkungen, die sich erst in der Zukunft bemerkbar machen) handelt es sich nicht um Absolutwerte
- In der LCIA Phase werden die Ergebnisse der LCI Phase mit Indikatoren der Kategorien für Umweltauswirkungen (so genannte Wirkungspotentiale, z.B. GWP - Global Warming Potential) in Verbindung gebracht und die Ergebnisse berechnet, was in den quantifizierten Ergebnissen der Ökobilanz resultiert. Eine Zusammenfassung dieser unterschiedlichen Kategorien zu einem Gesamtindikator ist aus derzeitigem Stand der Technik nicht möglich (bzw. nur mit großen Unsicherheiten bei der Gewichtung der Kategorien)

Der in den ISO-Normen 14040 und 14044 definierte Prozess der Ökobilanzierung besteht aus vier Phasen, welche iterativ durchlaufen werden können. Jedenfalls muss eine nach ISO-Norm komplette LCA folgende Prozessschritte zumindest einmal durchlaufen, wobei der iterative Charakter darin besteht, dass die Folgephase auf die Ergebnisse der vorhergehenden Phasen aufbaut:

1. Definition von Ziel und Untersuchungsumfang (ISO 14040 - Goal and Scope)
2. Sachbilanz (ISO 14044, ursprünglich ISO 14041 - Life Cycle Inventory Analysis (LCI))
3. Wirkungsabschätzung/ Bewertung der Umweltauswirkungen (ISO 14044, ursprünglich ISO 14042 – Life Cycle Impact Assessment (LCIA))
4. Auswertung/ Interpretation der Resultate (ISO 14044, ursprünglich ISO 14043 Life Cycle Interpretation)

Abbildung 13 zeigt den Ablauf und die Zusammenhänge der verschiedenen Phasen sowie die Nutzungsmöglichkeiten der Ergebnisse. In der ISO-Norm 14044 (2006) ist geregelt, wie das Berichtswesen zu einer Norm-konformen Analyse auszusehen hat. Die wichtigsten Inhalte davon werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

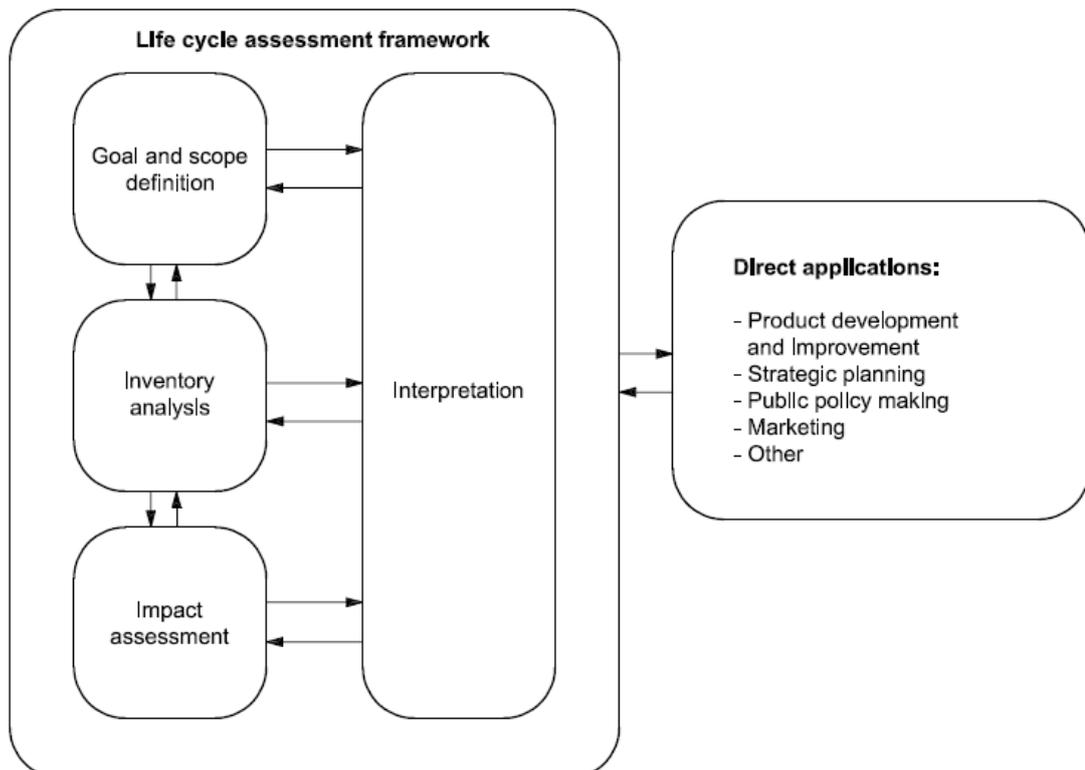


Abbildung 13: Phasen einer Ökobilanz

Quelle: ISO 14040, 2006

Eine vereinfachte Version der LCA ist eine LCI Analyse, bei der die dritte Phase der LCA (Wirkungsabschätzung oder LCIA) ausgespart wird. Um Unklarheiten auszuräumen wird in der ISO-Norm 14040 (2006) darauf hingewiesen, dass eine solche LCI Analyse nicht mit der LCI Phase einer vollständigen LCA verwechselt werden darf.

4.2 Datenquellen

Als Primärdaten werden Daten angesehen, die im Zuge einer Analyse konkret für diesen Zweck aktuell erhoben werden. Sekundärdaten sind allgemeine Daten, welche in Datenbanken, Literatur oder anderen Quellen bereits vorliegen (VMÖ 2007, S.319), die zur Substitution nicht erfassbarer Daten verwendet werden. (Luthe 2008, S.26) Allgemein handelt es sich bei Ökobilanzen um Daten wie Ressourcen, Services (etwas Transporte, Energieeinsatz) sowie eingesetzte Hilfs- und Betriebsstoffe. (ISO 14044 2006) Um die Qualität der Daten sicherzustellen sind mehrere Aspekte zu berücksichtigen: Aktualität, Genauigkeit, Konsistenz, Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit. Weiters sind Angaben darüber zu machen, woher die Daten stammen, wie es um die Zuverlässigkeit dieser steht und welche Daten aufgrund von fehlender Verfügbarkeit nicht miteinbezogen werden können bzw. ob und wie diese Daten anderweitig hergeleitet werden können. (ISO 14044 2006)

4.3 Definition von Ziel und Untersuchungsumfang

Erster Schritt einer Ökobilanz ist die Definition von Ziel und Untersuchungsumfang. Durch das iterative Naturell einer LCA ist es möglich, dass sich diese im Verlauf des Prozesses verändern. Im Allgemeinen soll bei der Zieldefinition und -beschreibung der Inhalt und der Grund der Analyse erläutert werden, wer die Adressaten der Ergebnisse sind und wie mit den Ergebnissen umgegangen wird (publiziert, intern kommuniziert etc). (Öko-Institut e.V. 2001, S.19) Weiters ist Information rund um den Untersuchungsgegenstand (Produkt(e), Produktionssystem(e), Systemgrenzen, Allokationsregeln, Datenanforderungen, Einschränkungen etc.) sowie zeitliche und räumliche Rahmenbedingungen (Treberspurg 2006, S.198) anzuführen.

Wie eine schematische Darstellung eines Produktionssystems aussehen kann, zeigt Abbildung 14. Hieraus kann man erkennen, dass sämtliche interne Prozesse erfasst und quantifiziert werden, um die Umweltverbräuche im Zuge der LCIA ermitteln zu können.

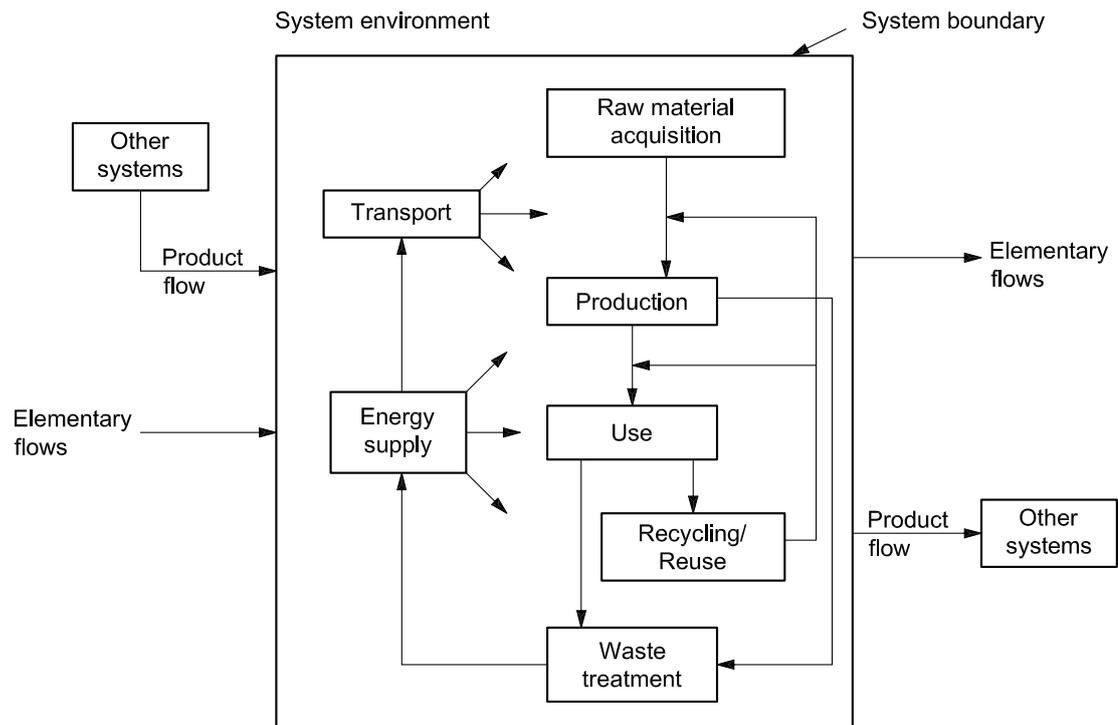


Abbildung 14: Schematische Abbildung eines Produktionssystems

Quelle: ISO 14040 2006

Mittels **Systemgrenzen** wird bestimmt, welche Prozesse bei der LCA analysiert werden. Dazu muss der gesamte Lebensweg eines Gutes im Vorfeld analysiert werden, um sinnhafte räumliche und zeitliche Abgrenzungen treffen zu können. (Luthe 2008, S.24) Die Erzeugung von Produkten benötigt zumeist unterschiedlicher Inputs wie Ressourcen, Energie, Vorprodukte usw. Da auch diese Produkte mit anderen Inputs hergestellt werden müssen und somit jeweils einen ökologischen Rucksack inne haben, lässt sich die Prozesskette sehr weit ausdehnen.

Für die Praktikabilität und Anwendbarkeit einer LCA werden deshalb die relevanten Teile eines Systems fokussiert, die restlichen werden mittels Setzung von Systemgrenzen abgeschnitten. (König et al. 2009, S.40) Des Weiteren ist es zumeist nur schwer möglich, Stoffflüsse der Vorstufen quantitativ zu erfassen bzw. Informationen dazu zu erlangen, v.a. wenn diese Vorstufen außerhalb des Einflussbereichs angesiedelt sind. Je weiter eine Vorstufe vom tatsächlichen Betrachtungsobjekt entfernt ist, desto weniger Einfluss nimmt sie allerdings auf das Ergebnis. (Ebd, S.41) Diese Systemgrenzen und die Detaillierung der untersuchten Prozesse sind mit den Untersuchungszielen abzustimmen.

Beispielsweise gilt für Baustoffe gemäß IBU-Umweltdeklarationen (Institut Bauen und Umwelt e.V. 2006, S.5):

- *„Alle Stoffflüsse, die in das Produktsystem fließen (inputs) und größer als 1% der gesamten Masse Stoffflüsse sind oder mehr als 1% des Primärenergieverbrauch betragen, werden berücksichtigt. Dabei sind begründete Abschätzungen zulässig.*
- *Alle Stoffflüsse, die das System verlassen (Emissionen) und deren Umweltauswirkungen größer als 1% der gesamten Auswirkungen einer in der Bilanz berücksichtigten Wirkungskategorie sind, werden erfasst.*
- *Die Summe der vernachlässigten Stoffströme darf 5% der Gesamtmenge nicht übersteigen.*
- *Abweichungen von dieser Regel müssen begründet werden.*
- *Die Infrastruktur für die Herstellungsprozesse (Maschinen, Gebäude, etc.) wird nicht berücksichtigt. Die Infrastruktur für die Vorketten, insbesondere für Transporte und die Energieerzeugung werden berücksichtigt.“*

Die Systemabgrenzung und die Kriterien (Signifikanz nach Masse, Energie, Umweltauswirkungen) sind folglich samt Begründung im Rahmen der LCA darzulegen. (ISO 14044 2006) Nur mit Hilfe einer eindeutigen Zieldefinition und eines deutlichen und nachvollziehbaren Untersuchungsrahmens können wissenschaftlich fundierte Ergebnisse entwickelt werden. (Luthe 2008, S.25)

Als messbare Bezugsgröße wird für jede Ökobilanz ein Nutzen in Form einer Nutzeinheit (Treberspurg 2006, S.199) gewählt. Dieser quantifizierte Nutzen wird bei einer Betrachtung über den Lebenszyklus hinweg als **funktionelle Einheit** bezeichnet. Diese dient der Vergleichbarkeit verschiedener Produkte/Dienstleistungen (z.B. verschiedene Getränkeverpackungen), die den gleichen Nutzen bei der Verwendung stiften sollen. Auf die funktionelle Einheit beziehen sich alle In- und Outputs. (Luthe 2008, S.25)

4.4 Sachbilanz (Life Cycle Inventory LCI)

In der Sachbilanz werden, Ziel und Untersuchungsrahmen entsprechend, Auflistungen der Material- und Energieflüsse erstellt. Dafür müssen die untersuchten Systeme beschrieben werden (optional: Prozessdarstellung mittels z.B. Fließdiagramm (Treberspurg 2006, S.199)) und die Elemente mit erhobenen bzw. berechneten, quantifizierten Daten (In- und Outputgrößen) verknüpft werden. Die Elemente werden nach Kategorien gruppiert, die entweder prozessual oder thematisch (wie Energie-, Material-Inputs, Emissionen etc.) aufgegliedert werden. Annahmen für Berechnungen von Daten (z.B. produzierte Stück pro Input) sind detailliert anzugeben.

Am Ende der Datensammlung sind die Aufstellungen zu validieren. Sämtliche Ergebnisse können daraufhin mit der zuvor bestimmten funktionellen Einheit in Bezug gesetzt werden, sodass die einzelnen Module miteinander verbunden und somit das gesamte System berechnet werden kann. (Öko-Institut e.V. 2001, S.21) Je umfassender und detaillierter die Daten der Sachbilanz erhoben werden (unter Wahrung der Operationalität), desto größer ist auch die Aussagekraft der Ergebnisse der LCA. (Luthe 2008, S.26)

Erzeugen Prozesse mehrere Nutzen, so müssen diese anteilmäßig auf die verschiedenen Produkte aufgeteilt werden. Die Summe der so mittels **Allokation** verteilten In- und Outputs muss dabei mit den gesamten In- und Outputs vor der Allokation übereinstimmen. (ISO 14044, 2006) Sinn der Allokation ist die der Realität entsprechenden Verteilung der Belastungen und Verbräuche der In- und Outputs auf mehrere Haupt- und Nebenprodukte (Kuppelprodukte). (König et al. 2009, S.41) Als Basis für die Allokation können physische Größeneinheiten (z.B. Masse- oder Volumenanteile; werden am häufigsten angewandt) oder der ökonomischer Wert (Anteil am Umsatz oder der Wertschöpfung etc.) herangezogen werden. (ISO 14044, 2006)

Um die In- und Outputs einer Sachbilanz darzustellen, werden für die Wirkungsabschätzung Indikatoren gebildet. Diese sind mittels ISO-Norm 14044 (2006) standardisiert, können aber bei Bedarf um gängige Indikatoren ergänzt werden. Die zentralen Indikatoren der Sachbilanz, die keine direkten Umweltwirkungen erzeugen, lauten (König et al. 2009, S.42-44):

- **Primärenergieverbrauch nicht erneuerbar** (in MJ): dieser aggregierte Indikator setzt sich aus den Primärenergieträgern Erdöl, Erdgas, Braun- und Steinkohle sowie Uran zusammen. Berechnet wird er als Summe der Produkte aus Masse und Heizwert (H_u) der genannten Energieträger.
- **Primärenergieverbrauch erneuerbar** (in MJ): hier werden Wasser- und Windkraft, Geothermie, Solarenergie und Biomasse angeführt. Berechnet wird der Indikator wie jener für nicht erneuerbare Energieträger. Ist der Anteil an erneuerbarer Primärenergie am Gesamtenergieinput groß, so ist es ratsam die Tragfähigkeit der nachhaltigen Versorgung zu überprüfen.
- Wassernutzung (in kg): wird als Summenwert von eingesetztem Oberflächen- und Grundwasser angegeben. Bei Wasser ist die Verfügbarkeit von „brauchbarem“ Wasser ausschlaggebend für die Bewertung.
- Naturrauminanspruchnahme (in m^2a): Für diesen Indikator werden verschiedene Ansätze zur Bewertung erst vereinheitlicht. Der Trend geht zur Berücksichtigung sowohl von Landnutzung (land use) als auch Flächenumwandlung (land use change).

- Abfälle (in kg): Dieser Indikator wird, sofern ausgewiesen, in die Kategorien Abraum und Haldegüter, Hausmüll (und hausmüllähnlicher Gewerbemüll) und Sonderabfälle unterteilt. Die Abfälle sind in die Systemgrenzen der Ökobilanz zu integrieren.

Nichtmaterielle und nichtenergetische Größen (z.B. Flächenverbrauch, Lärm, ästhetische Beeinträchtigungen), die nicht quantitativ abbildbar sind, können qualitativ dargestellt ergänzt werden. (Luthe 2008, S.26)

4.5 Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment LCIA)

Die quantitativen Ergebnisse der Sachbilanz werden im Zuge des LCIA mit unterschiedlichen Ökopotentiale (auch Wirkungsindikatoren genannt) verknüpft. Diese Ökopotentiale entsprechen Charakterisierungsfaktoren, die die potentiellen Auswirkungen der Emission oder des Ressourcenverbrauchs bezogen auf eine Referenzsubstanz wiedergeben. Die Mengen (aus der Sachbilanz) werden mit den verschiedenen Wirkungsindikatoren multipliziert und zum Wirkungspotential aufsummiert. (ISO 14044 2006) Wie König et al. (2009, S. 45-47) beschreiben, lauten die wichtigsten Wirkungskategorien:

- **Treibhausgaspotential** (Global Warming Potential, GWP): gibt die Menge der anthropogen emittierten Treibhausgase in CO₂e (Äquivalenten) an. Das GWP muss immer in Relation zu der Verweildauer der Gase in der Atmosphäre angegeben werden, wobei 100 Jahre der übliche angewandte Zeitraum ist. Eine tabellarische Übersicht der Treibhausgase befindet sich im Anhang (vgl. Anhang 1).
- **Ozonabbaupotential** (Ozone Depletion Potential, ODP): wird in R11-Äquivalenten (FCKW-11) angegeben und misst anthropogene Halogenkohlenwasserstoffemissionen, welche die vor UV-Strahlung schützende Ozonschicht der Stratosphäre zersetzen.
- **Versauerungspotential** (Acidification Potential, AP): das in Schwefeldioxid-Äquivalenten (SO₂e) angegebene Versauerungspotential beschreibt die Emission von Luftschadstoffen (hauptsächlich Schwefel- und Stickoxide), welche zu einer Verringerung des pH-Wertes beitragen. Dies resultiert z.B. in Waldsterben, Nährstoffauswaschungen und Korrosion.
- **Eutrophierungspotential** (Eutrophication Potential, EP): wird in Phosphat-Äquivalenten (PO₄-Äq.) angegeben und beschreibt die Anreicherung von Nährstoffen an einem bestimmten Standort aus Luftschadstoffen, Düngung und Abwässern. Dieser Nährstoffeintrag führt zu Nitrat- und Algenbildung,

zu vermehrten Krankheitsbefall von Pflanzen und dem Kippen von Gewässern.

- **Sommersmogpotential** (Photochemical Ozone Creation Potential, POCP): beim Sommersmog (angegeben in Ethen-Äquivalenten (C₂H₄-Äq.)) handelt es sich um bodennahes Ozon, das in höheren Konzentrationen humantoxisch wirken kann. Es entsteht mittels Sonnenstrahlung aus Stickoxid und Kohlenwasserstoffemissionen.
- Verbrauch abiotischer Ressourcen: stellt einen bis dato noch nicht vereinheitlichten Indikator dar. In der Wissenschaft wird diskutiert, ob man fossile Energieträger inkludieren (und damit eigentlich einer Doppelzählung obliegt, siehe Sachbilanz) oder ausgrenzen soll.
- Human- und Ökotoxizitätspotentiale: ist eine Wirkungskategorie, die in Zukunft wichtig sein wird, für deren Berechnung es aber noch keine vereinheitlichten Modelle gibt.

Ein exemplarischer Datensatz einer Ökobilanz ist im Anhang (vgl. Anhang 2) zu finden.

König et al. (2009, S.41) weisen darauf hin, dass die Ergebnisse der Sachbilanz und Wirkungsabschätzung keine lokalen Auswirkungen beschreiben können, weswegen man bei der Ökobilanzierung von potentiellen Wirkungen auf die Umwelt (z.B. Treibhauspotential) spricht.

4.6 Weitere Handlungsoptionen

Die **Normierung** dient dazu, die Ergebnisse der Wirkungsindikatoren der verschiedenen Kategorien mit Referenzinformation (z.B. den Gesamtpotentialen der Branche oder eines Landes) in Relation zu setzen. (ISO 14044 2006) Dabei werden die Ergebnisse durch diesen Referenzwert geteilt. (Öko-Institut e.V. 2001, S.23) Dies wird aus dem Grund gemacht, um deutlich zu machen, welche Indikatoren am stärksten zu einem Gesamtproblem beitragen (König et al 2009, S.27), spricht die Signifikanz der verschiedenen Wirkungsindikatoren gemessen an der Gesamtbelastung (ISO 14044 2006), oder um die Ergebnisse für eine Gewichtung aufzubereiten.

Manche Proponenten der Ökobilanz fordern auch eine Vereinfachung der verschiedenen Indikatoren in Richtung Aggregation zu einem einzelnen Indikator. Dies geschieht mittels **Gewichtung** der verschiedenen Wirkungskategorien. Diese Gewichtungen sind allerdings höchst umstritten, da sie subjektive Werthaltungen (und somit weder als richtig noch falsch zu erachten sind) enthalten. (König et al. 2009, S.48) Dieses Vorgehen ist in Wissenschaftskreisen jedoch stark umstritten. So ist laut Geissler (2007, S.24) die Gewichtung von Ökopotentialen schwierig, da die Priorisierungen zwischen verschiedenen Ansätzen trotz gleicher Ausgangsdaten sehr

stark abweichen und damit die Aussagekraft nur als gering angesehen werden kann. Laut ISO-Norm 14040/14044 (2006) ist die Gewichtung bloß ein optionaler Teil einer Ökobilanz, da die Einzelergebnisse diskutiert werden sollen.

4.7 Interpretation (Auswertung)

Nach Abschluss der Berechnungen werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung gemäß den Zielen der Analyse zusammengefasst. (Öko-Institut e.V. 2001, S.24) Darauf folgen verschiedene Analysen wie Dominanz-, Unsicherheits- oder Sensitivitätsanalysen, die aufzeigen sollen, welcher Lebenszyklusabschnitt und welche Prozesse die größten Auswirkungen inne haben (Identifizierung der signifikanten Parameter), wie sich Annahmen und Unsicherheiten in puncto Daten auf die Ergebnisse auswirken und wie ggf. Adaptionen der Daten im Verlauf der Untersuchung die Ergebnisse verändern. (ISO 14044 2006) Dadurch kann es, dem iterativen Charakter einer Ökobilanz entsprechend, zu einer Überarbeitung der Berechnungen kommen.

Nach den letzten Checks der Vollständigkeit der Daten können Schlussfolgerungen, Begrenzungen der Analyse und Empfehlungen abgeleitet und Szenarien (z.B. mit Ersatzstoffen) erstellt werden. (Treberspurg 2006, S.202) Da diese Empfehlungen nicht standardisiert sind, stehen sie eher in Korrelation zu den jeweiligen Grundwerten der Gesellschaft als dem aktuellen Stand der Wissenschaft und sind somit subjektiv geprägt vom

„Interesse, vom Wissen und den Ziel- und Wertevorstellungen der Erstellerin bzw. des Erstellers, sowie vom zur Verfügung stehenden Zeitrahmen.“

(Luthe 2008, S.30)

Diese vier Prozessschritte sind nach Kapitel 5 der ISO-Norm 14044 (2006) mittels Bericht zusammenzufassen und zu publizieren. Ein hohes Niveau der Transparenz ist dabei einzuhalten, die Qualität der Datenerhebung und des Datenmanagements sind kritisch zu reflektieren.

5 Ökobilanzierung von Gebäuden

Ziel der Ökobilanzierung von Baukonstruktionen ist ein Vergleich von verschiedenen Entwurfsvarianten mit Hilfe von quantitativen Daten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Die dabei angestrebte Visualisierung der optimalen Lösung ist auf Grund von Wechselwirkungen nur schwer realisierbar. Jedoch können mittels der Struktur der Analyse die maßgeblichen Einflussfaktoren (Lebenszyklusphasen, Materialien etc.) identifiziert und mögliche Optimierungspotentiale aufgezeigt werden. (Graubner; Hüske 2003, S.77)

Im folgenden Abschnitt werden spezielle Anforderungen an die Berechnung von Ökobilanzen im Gebäudebereich dargestellt. Ausschlaggebend ist zuallererst der Zeitpunkt, an dem die Ökobilanz erstellt wird (König et al. 2009, S. 49):

- **Konzeptphase/Vorplanung:** wird die LCA in dieser Phase erstellt, kann sie sehr gut für die Entwicklung von Szenarien (z.B. Energieversorgungskonzepte) verwendet werden. Der Vorteil daran ist, dass man z.B. mittels Dominanzanalyse die wichtigsten Stellhebel identifizieren und Alternativen einplanen kann. Der Nachteil besteht darin, dass in dieser Phase die verfügbare Information noch gering ist d.h. viele Entscheidungen z.B. welche Konstruktionen oder Baumaterialien eingesetzt werden noch unklar sind, weswegen mit standardisierten Durchschnittswerten gearbeitet werden muss. Jedoch sind größere Veränderungen in Planung und Ausführung noch möglich.
- **Ausführungsplanung/Detailplanung:** In dieser Phase sind diese tiefgehenden Veränderungen nicht mehr möglich. Es können bestenfalls Adaptionen einzelner Komponenten, die großen Einfluss auf die Nutzungsphase haben, auf Basis der LCA-Resultate vorgenommen werden. Es werden also Varianten, die denselben Nutzen stiften und gleichwertige Produkte verschiedener Hersteller geprüft.
- **Nach Baufertigstellung:** Ökobilanzen in dieser Phase erheben die tatsächlichen Umweltauswirkungen des Gebäudes und liefern damit die Grundlage für die Dokumentation und das Monitoring (auch für die Gebäudezertifizierung). Hierbei kann die Berechnung des Gebäudes produktspezifisch erfolgen (sofern für die Produkte Umweltproduktdeklarationen vorhanden sind), da die eingesetzten Materialien bereits bekannt sind. Für die Gebäudezertifizierung nach DGNB werden die Phasen des Gebäudes gegliedert und nach DIN-Kostengruppen eingeteilt.

Die Komplexität von Gebäuden (Auswirkungen abhängig von einer Vielzahl an Materialien, Standort, Nutzung etc.) machen die Ökobilanzierung besonders schwer. So kann eine in ihrem Nutzen für die Benutzerin und den Benutzer gleichwertig erscheinende Alternative Auswirkungen auf die Gebäudeperformance haben, die an-

hand von ökologischen Zahlen nicht eruierbar ist. (Geissler 2007, S.22) Auch der Verbund mit anderen Baumaterialien spielt dabei eine Rolle, da sich dadurch die Eigenschaften verändern. (Treberspurg 2006, S.212) Weiters ist mit gewissen Unsicherheiten, die über den Verlauf des Lebenszyklus auf Grund der langen Lebensdauer eines Gebäudes entstehen, umzugehen.

Materialströme und Verbrauchsprozesse der verschiedenen Lebenszyklusphasen bilden die Grundlage für Life Cycle Assessments von Gebäuden. Die berechneten Ergebnisse der Prozesse (Konstruktion etc.) basieren auf den erhobenen Materialmengen. Ist dies bei Neumaterialien (v.a. in der Errichtungsphase) heutzutage leicht zu ermitteln, verhält es sich mit Instandhaltungsprozessen anders. Die Lebenszeiten der Materialien sind zwar mittels Nutzungsdauern definiert, es kann aber durchaus vorkommen, dass Materialien schon vor Ablauf dieser ausgetauscht werden müssen. Vor allem aber Verbundsituationen können die Lebensdauern von Materialien bedeutend verändern, sollten diese von angrenzenden (und auszutauschenden) Materialschichten nicht trennbar sein. (Graubner; Hüske 2003, S.88)

Prinzipiell genießen Lebenszyklusbetrachtungen im Gebäudebereich einen hypothetischen Charakter, da sie - v.a. während der Nutzungs-, Instandsetzungs- und End-of-Life-Phase - eine mögliche Entwicklung basierend auf Trendfortschreibungen wiedergeben. Ob die angesetzten Erneuerungszyklen auch der Realität der Nutzungsdauern entsprechen werden, kann vorab nicht bestimmt werden. So sind wesentliche Einflussgrößen (z.B. Schäden, Umbauten, gesetzliche Verordnungen etc.) während dieser Phasen im Vorfeld nicht vorherzusehen. (Graubner; Hüske 2003, S.2) Auch Technologieentwicklungen sind über den Betrachtungszeitraum eines Gebäudes (zwischen 50 und 100 Jahre) nur schwer zu prognostizieren. Man kann solchen Unwägbarkeiten mittels Trendfortschreibungen, Szenarien und Optionen begegnen. (König et al. 2009, S.16)

5.1 Funktionelle Einheit

Die funktionelle Einheit spielt bei der ökologischen Gebäudebewertung eine wichtige Rolle, da sie die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ermöglicht. Sie dient als „*Maß des Nutzens oder eines Nutzensystems*“ (Graubner; Hüske 2003, S.78). Tabelle 10 zeigt die für das Bauwesen denkbaren funktionellen Einheiten. Ein zentrales Element der funktionalen Einheit ist die Bestimmung der Nutzungsdauer, die einen erheblichen Einfluss auf das Gesamtergebnis hat

Funktionelle Einheit	Ziel der Analyse	Beispiele	Berücksichtigte Lebenszyklusphasen
Ebene 1: Einheitsmasse Material, Baustoff	Schwachpunktanalyse und Optimierung der Materialproduktion, Produktvergleiche, Datengrundlage für Ebene 2 und 3	kg Baustoff, z.B. 1 kg Zement, 1 m ³ Porenbeton	<ul style="list-style-type: none"> - Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion - Materialverwertung und Entsorgung
Ebene 2: Einheitsfläche Bauteil	Optimierung eines Bauteils (eingesetzte Materialien, Verbindungen, Instandsetzungszyklen, Entsorgung), Auswahlhilfe für Entscheidungsträger	m ² Bauelement, z.B. Deckenaufbau, Außenwand oder Fenster	<ul style="list-style-type: none"> - Rohstoffgewinnung und Baustoffproduktion - Instandhaltung des betrachteten Bauteils - Bauteilverwertung - Materialverwertung und Entsorgung
Ebene 3: Gebäude	Gesamtoptimierung des Gebäudes mittels Optimierung eingesetzter Bauteile, Reduktion der Betriebsenergie	Gebäude mit 120 m ² Wohnfläche, 1 Einfamilienhaus, m ² Brutto- bzw. Netto-Grundfläche	<ul style="list-style-type: none"> - Neubau - Nutzung - Erneuerung - Entsorgung

Tabelle 10: Funktionelle Einheiten von Baukonstruktionen

Quelle: Eigene Bearbeitung nach Graubner und Hüske 2003 sowie Ökoinstitut e.V. 2001

Baustoffvergleiche sind für eine gesamtheitliche Analyse nur bedingt zweckdienlich, da Baumaterialien in der Regel im Verbund Verwendung finden. Daher sollten sie nur für die Analyse von Herstellungsprozessen verwendet werden. Die Materialproduktion liefert jedoch die Ausgangsdaten der Baustoffprofile (EPDs), welche wiederum als kleinste Einheit die Basis für Bauteil- und Gebäudeanalysen bildet. Die Charakterisierung der funktionellen Einheit über Leistungsmerkmale von Baustoffen (wie den Wärmedurchgangskoeffizienten oder das Schallschutzmaß) ist anzuwenden, um die Vergleichbarkeit von Gebäudeteilen bzw. Werkstoffverbänden darzustellen. Diese weichen nämlich stark in ihren Lebensdauern, dem Erhaltungsaufwand, der Rückbaufähigkeit und der Verwertbarkeit ab. (Treberspurg 2006, S.211) Sollten die Rahmenbedingungen (z.B. Wasser- oder Heizenergieverbrauch) der Untersuchungsobjekte vergleichbar sein, können die Bauteile zu einem Gebäude aggregiert werden. (Graubner; Hüske 2003, S.79)

Laut König et al. (2009, S.48) lauten die wichtigsten Parameter, die ein Gebäude ausreichend beschreiben und somit zwischen verschiedenen Analysen vergleichbar machen folgende:

- Standort und Einbindung in die Umgebung
- Gebäudetyp
- Kubatur und Flächen (umbauter Raum, Anzahl der Geschosse, Brutto-Grundfläche BGF, Netto-Grundfläche NGF, Nutzfläche NF)
- Bauweise
- Nutzungsart und –intensität
- Angenommene Nutzungsdauer

5.2 Umwelt-Produktdeklarationen (EPD)

Basis für die Ökobilanzierung von Gebäuden bilden Umwelt- Produktdeklarationen (EPD – Environmental Product Declarations), welche, mittels Lebenszyklusansatz „von der Wiege bis zur Bahre“ Daten über die Umweltleistung von Baustoffen und –produkten in Verbindung mit deren funktionaler Leistungsfähigkeit darstellen. Somit ermöglichen EPDs eine holistische Betrachtung sämtlicher Umweltwirkungen, die bei der Produktherstellung entstehen. (Peters 2011, S.14)

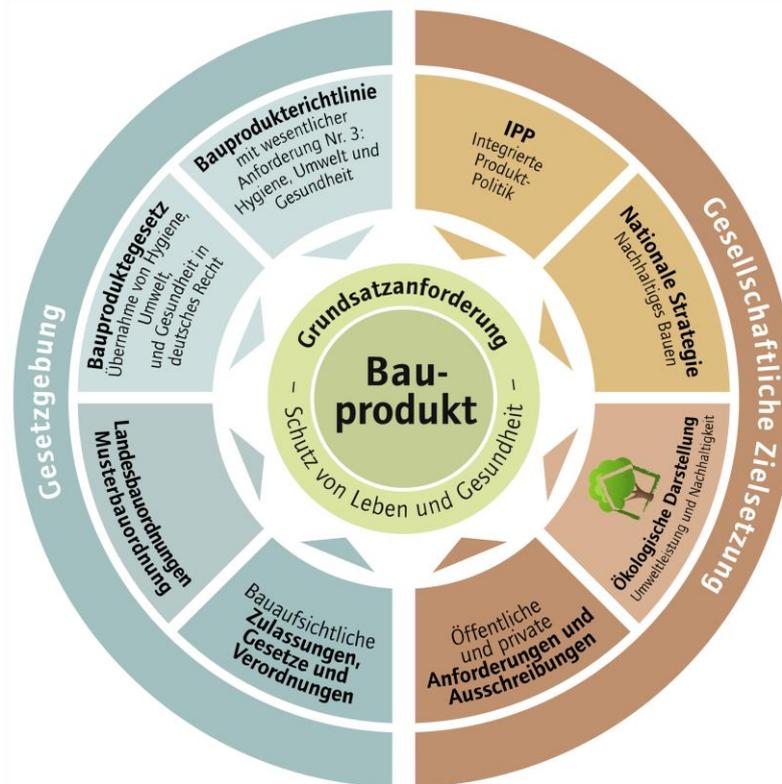


Abbildung 15: Einflussfaktoren auf Bauprodukte

Quelle: Peters 2011

Die Herstellungsprozesse der Baustoffe und –produkte umfasst die komplette Prozesskette vom Rohstoffabbau bis zur Materialbereitstellung inklusive aller Fertigungsprozesse und Transporte sowie die dafür benötigten Entsorgungs- und Energiebereitstellungsprozesse sowie Material- und Energieaufwand der Infrastruktur beim Hersteller. (Graubner; Hüske 2003, S.79) Dabei entstehen diverse Umweltbelastungen als Emissionen (aus Stoffumwandlung, Transporten, aber auch als Lärm und Staub), verbrauchte Flächen (mit teils gravierenden Auswirkungen auf Flora und Fauna) und Abfall. (Graubner; Hüske 2003, S.80)

5.3 Lebenszyklusphasen von Gebäuden

Die Lebenszyklusphasen bei Immobilien unterscheiden sich aufgrund der Langlebigkeit von Gebäuden, der konstanten Veränderungen an der Substanz (Umbau, Erweiterung etc.) und auf Grund der Vielzahl an beteiligten Akteuren von denen bei Konsumgütern. Die Phasen lauten: Neubau-/Herstellungs-, Nutzungs-, Erneuerungs-, sowie Rückbau- und Entsorgungsphase. (König et al. 2009, S.6)

Information zur Beschreibung des Gebäudes																		
Information für den Lebensweg des Gebäudes													Ergänzende Information nach dem Lebensweg des Gebäudes					
STADIUM	A PRODUKT			BAUPROZESS		B NUTZUNG							C ENDE DES LEBENSWEGS				D	
Szenario	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	GÜTSCHRIFTEN UND LASTEN	
Szenario Beschreibung	Rohstoff Bereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau / Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Deponierung	Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs- und Recycling-Potential	
EPD																		
Von der Wiege bis zum Werkstor – deklarierte Einheit	■	■	■	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	kein RSL
Wiege bis Werkstor mit Optionen – deklarierte/funktionelle Einheit	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	RSL 2)
Von der Wiege bis zur Bahre – funktionelle Einheit	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	RSL 2)

■ Einbeziehung Pflicht 1) Einbeziehung für ein deklariertes Szenario
 □ Einbeziehung optional 2) Wenn alle Szenarien gegeben sind

Abbildung 16: Phasen des Lebenszyklus eines Gebäudes

Quelle: Peters 2011

Abbildung 16 zeigt diese Lebenszyklusphasen in Kombination mit Umweltdeklarationen für Produkte (EPD). Jeder dieser Phasen sind unterschiedliche Prozesse zuzuordnen, die in Tabelle 11 beschrieben sind. Energiebereitstellungs-, Ressourcenabbau-, sowie Herstellungsprozesse bilden Grundprozesse, die als Vorstufen für alle anderen Prozesse zu verstehen sind. (Graubner; Hüske 2003, S.83)

Prozess	Beschreibung
Energiebereitstellungsprozesse	Alle energetischen Vorstufen von der Entnahme aus der Natur bis zur Umwandlung in Herstellungs-, Erneuerungs-, Nutzungs-, und Entsorgungsprozesse (Transportaufwendung inbegriffen)
Ressourcenabbauprozesse	Alle von der Entnahme aus der Natur bis zur Umwandlung in Materialien zusammengefassten Prozesse (Transportprozesse inbegriffen)
(Material)- Herstellungsprozesse	Alle Prozesse, die zur Herstellung von Materialien und Bauteilen außerhalb der Baustelle dienen. Energieumwandlung und Transportprozesse (bis zum Materialgroßhandel) inbegriffen
Bauprozesse	Alle auf der Baustelle und während der Lebensdauer anfallenden Bauprozesse. Bauprozesse umfassen sowohl Neubau- als auch Abbruchprozesse
Nutzungsprozesse	Alle bei der Nutzung auftretenden Prozesse wie Heizung, Lüftung, Beleuchtung, Reinigung
Entsorgungsprozesse	Alle ab Baustelle bis zur Rückgabe in die Natur entstehenden Entsorgungsprozesse (Transportprozesse inbegriffen). Es wird die Sortenreinheit der anfallenden Baurestemassen berücksichtigt unter der Voraussetzung, dass ein selektiver Rückbau (bzw. Demontage) erfolgen kann.

Tabelle 11: Beschreibung von Bauprozessen

Quelle: Graubner und Hüske 2003

Welche Prozesse sich wie auf die unterschiedlichen Lebenszyklusphasen verteilen, ist in Tabelle 12 zu sehen.

Prozesse, die berücksichtigt werden		Lebenszyklusphasen				
		Herstellung	Erneuerung (Baustoffe, Elemente)	Betrieb	Umbau	Entsorgung
Baustoffherstellung		X	X		X	
Transport	Baustoffe	X	X		X	
	Abfälle		X		X	
	Bauschutt		X		X	X
Bauprozess		X	X		X	
Betriebsprozesse				X		
Abbruchprozesse			X		X	X
Entsorgungsprozess	Abfälle	X	X		X	
	Bauschutt		X		X	X

Tabelle 12: Prozesse verschiedener Lebenszyklusphasen

Quelle: Graubner und Hüske 2003

5.3.1 Bauwerkserstellung

Dieser Phase sind neben den drei Grundprozessen (Energiebereitstellungs-, Ressourcenabbau-, Herstellungsprozesse) (vgl. Tabelle 11) noch Bauprozesse zuzurechnen. Somit werden sämtliche Materialmengen an Roh-, Hilfs-, und Betriebsstoffen, die für die Errichtung eines Gebäudes notwendig sind sowie die zur Errichtung benötigten Energieinputs (für Transporte, den Betrieb von Baufahrzeugen etc.) berücksichtigt. (Graubner; Hüske 2003, S.8) Nebenwirkungen wie Bodenverdichtung, Grundwasserabsenkung oder die Belästigung durch Lärm, Staub und Erschütterungen fallen ebenso an, sind aber im Sinne einer LCA nur schwer quantifizierbar.

Die bei der Errichtung eines Gebäudes anfallenden Massen müssen für folgende Bauteile ermittelt werden (König et al. 2009, S.51):

- Fundamente
- Außen- und Kellerwände inkl. Beschichtung
- Fenster und technische Fassaden
- Dach
- Geschossdecken inkl. Fußbodenaufbau und –beläge sowie Beschichtungen
- Bodenplatte inkl. Fußbodenaufbau und –beläge sowie Geschossdecken über Luft
- Türen
- Wärmeerzeugungsanlagen
- Technische Anlagen
- Bauprozess

Dabei sind die verwendeten Massen anzugeben und die Schichten der Bauteile zu spezifizieren. Der daraus resultierende Bauteilkatalog muss auch verwendete Umrechnungsgrößen (wie Rohdichte, Bedarf je m²) enthalten. Mittels Verknüpfung zu den entsprechenden Datensätzen (z.B. aus der Ökobau.dat) wird die Wirkungsabschätzung der eingesetzten Materialien errechnet. Zur Kontrolle sollten die verwendeten Flächen den Flächen der EnEV Berechnung bzw. den Flächen nach DIN 277 bzw. in Österreich nach Ö-Norm B-1800-01 gegenübergestellt werden. Auch die beträchtliche Menge an Bauschutt (rd. 5-10% der eingesetzten Gesamtmassen), die während der Bauphase anfällt (z.B. Schalungen, Verpackungen, Baureste) sollen inkludiert werden.

Durch die Auswahl der Bauweise und der Baugeräte sowie der Baumaterialien werden in der Planungsphase wichtige Entscheidungen über die Umweltauswirkungen eines Gebäudes getroffen. Im Bereich der potentiellen Umweltbelastungen der Baustoffe hat die Forschung bereits große Fortschritte gemacht. Für die Bauphase

lassen sich die Umweltbelastungen schwerer prognostizieren und sind kaum zu verallgemeinern, da diese von den örtlichen Gegebenheiten abhängen und von einer Vielzahl an Gewerken beeinflusst werden. (Graubner; Hüske 2003, S.81)

5.3.2 Nutzung (inkl. Erneuerung)

Die Nutzungsphase ist die längste Lebenszyklusphase eines Gebäudes und beeinflusst die Nachhaltigkeit eines Gebäudes wesentlich. Nutzungsprozesse umfassen zum einen Prozesse bezüglich des Innenraumklimas (Temperatur, Luftqualität) sowie der Grundbedürfnisse (Beleuchtung, Warmwasser). Dabei handelt es sich größtenteils um Energiebereitstellungsprozesse. (Graubner; Hüske 2003, S.81)

Zum anderen werden Instandhaltungsmaßnahmen an Bauteilen oder der technischen Ausrüstung im Zuge von Bauprozessen durchgeführt. Für diese Instandhaltungsmaßnahmen werden mittels Nutzungsdauern der jeweiligen Gebäudeelemente Austauschraten berechnet, sofern die Nutzungsdauern kürzer sind als der in der Analyse angenommene Betrachtungszeitraum. Diese Elemente sind samt entsprechenden End-of-Life Prozesse der Instandhaltungsphase zuzurechnen. (König et al. 2009, S.51) Für Deutschland sind die Nutzungsdauern dem Leitfaden „BNB Nutzungsdauern von Bauteilen“ (BMVBS o.J.) bzw. der Richtlinie VDI 2067 „Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen“ zu entnehmen, welche auch in dieser Anwendung fanden, da sie mit der Ökobau.dat (BMVBS 2011) verknüpft sind.

Generell ist davon auszugehen, dass wieder dieselben Produkte eingesetzt werden. (König et al. 2009, S.52) Da es jedoch vorkommt, dass Elemente eines Gebäudes im Rahmen von Erneuerungsarbeiten schon vor dem Ablauf der prognostizierten Nutzungsdauer ausgetauscht werden (siehe Kapitel 5) und dies nicht immer aus technischer Notwendigkeit, sondern aus Überlegungen der Wirtschaftlichkeit oder der Ästhetik passiert (Graubner; Hüske 2003, S.8), bilden diese Nutzungsdauern lediglich einen Mittelwert ab. Aufgrund der Standzeiten von Gebäuden können die Materialströme der Instandhaltungsprozesse denen der Bauphase ähneln. (Graubner; Hüske 2003, S.90)

Bei heutzutage in Europa genormten Baustandards (Energiekennzahl 115 kWh/(m²a)) fallen bis zu 90% der verbrauchten Energie während der Nutzungsphase des Gebäudes an. Bei Passivhäusern (15 kWh/(m²a)) sind es lediglich 50%. Betrachtet man die Gesamtenergiebilanz über den Lebenszyklus (Errichtung, Betrieb, Entsorgung) hinweg, so beträgt der Gesamtenergiebedarf von Gebäuden gegenwärtiger Bauordnung rund die fünffache Menge des Passivhaus-Standards. (Treberspurg 2006, S. 10 und S.143)

Für die Berechnung muss der Endenergiebedarf (z.B. ermittelt über Energieausweis-Berechnung) mit dem Betrachtungszeitraum und dem dem Energiemix entsprechenden Datensatz für elektrischen Strom und Wärme multipliziert werden. Dieser Datensatz ist vom Strommix des Anbieters abhängig und kann deswegen stark variieren. Gemäß PE International (2012) bestand der durchschnittliche, an die Konsumentinnen und Konsumenten gelieferte Strom 2008 zu 70,2 % aus erneuerbaren Energieträgern, zu 28,7 % aus fossilen Energieträgern sowie zu 1,1 % aus sonstigen Energieträgern.

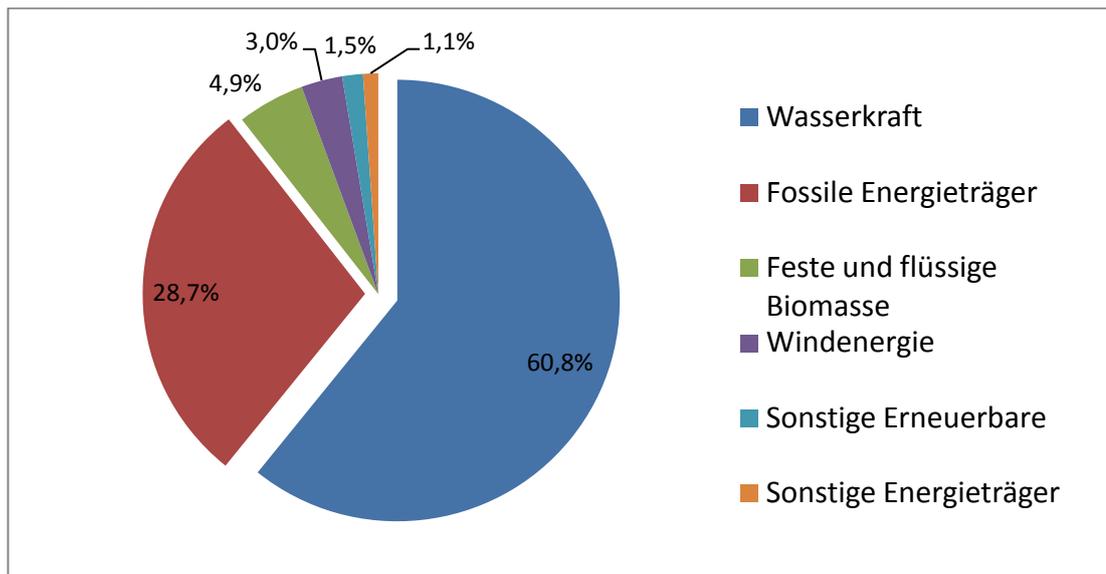


Abbildung 17: Österreichischer Strommix 2008

Quelle: PE International 2012

Neben fertigen Datensätzen kann der Strommix auch entsprechend angepasst werden (z.B. Ökostrom aus verschiedenen regenerativen Energieträgern, Wasserkraft etc.). Dabei müssen neben der prozentualen Verteilung auf die Energieträger auch Angaben zum Strom-Wärme Verhältnis und zur Brennstoffausnutzung gegeben sein. (König et al. 2009, S.55) Für die Bilanzierung von Gebäuden sind neben dem Status quo auch zukünftige (prognostizierte) Veränderungen des Energiemix und dementsprechenden veränderten Umweltverbräuchen miteinzubeziehen. (König et al. 2009, S.54) Es ist der gesamte Stromverbrauch anzugeben, d.h. auch der Verbrauch, der für Klimatisierung, Lüftung, Beleuchtung und Förderanlagen wie Aufzüge verbraucht wird.

Bei der Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasser müssen die der Realität entsprechenden Datensätze ausgewählt werden. Die Möglichkeiten variieren von separaten Lösungen bis hin zu kombinierten Systemen. Technische Lösungen sind hierfür z.B. Fernwärme, thermische Solaranlagen, Wärmepumpen, Öl- und Gasheizanlagen sowie Pellets- und Hackschnitzelheizungen mit jeweils unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. (König et al. 2009, S.54-57)

5.3.3 Abbruch und Entsorgung (End-of-Life)

Die End-of-Life Phase sieht den Abbruch bzw. den Rückbau eines Gebäudes inklusive der Entsorgung sämtlicher anfallender Baustoffe vor. Der Rückbau dient nach Graubner und Hüske (2003, S.20) *„der Auftrennung eines kompletten Gebäudes in kleinere, unterschiedlich große Einheiten.“* Die Umweltbelastungen der Abbruchprozesse sind ähnlich jenen der Bauprozesse, sind jedoch noch schwerer zu quantifizieren. (Graubner; Hüske 2003, S.82) Bei der Entsorgung werden Baureste mit positivem Marktwert mittels unterschiedlicher Prozesse zum Auftrennen von Baumaterialschichten bzw. Bauteilen entweder aufbereitet (Verwertung) bzw. aufgearbeitet (Wieder- und Weiterverarbeitung). (Graubner; Hüske 2003, S.20) Die Phase ist als beendet anzusehen wenn alle Materialien wiederverwertet, verwertet oder entsorgt sind. (Treberspurg 2006, S.211)

Für die Entsorgung bzw. Recycling sind, dem jeweiligen Baustoff entsprechend, verschiedene Szenarien möglich. Für eine Ökobilanz sind vollständige Massenbilanzen (die mit den Massen der Herstellungsphase abzugleichen sind) zu erstellen, aus denen ersichtlich wird, welche Entsorgungsmaßnahmen für welche Stoffe getroffen wurden. Die Möglichkeiten reichen hierbei von Recycling über thermische Verwertung bis hin zur Lagerung auf Deponien.

Daraus kann das Recyclingpotential errechnet werden, das bei der Ökobilanzierung als Gutschrift (siehe Stadium D Abbildung 16, S.53) abgezogen werden kann. Bei Baustoffen stellen Verbundsituationen, die einzelne Rohstoffe unverwertbar machen, eine große Herausforderung für das ökologische Bauen dar. So ist auf die Auswahl der richtigen Faktoren zur Berechnung der Wirkungsbilanz größte Sorgfalt zu legen.

5.4 Validierung der Ökobilanzierung

Bei der Validierung ist gemäß König et al. (2009, S.51) auf die *„Vollständigkeit der Datenerfassung auf Gebäudeebene, richtige Durchführung der Berechnung als Verknüpfung von Hintergrunddaten der Ökobilanz mit den Gebäudedaten und die Verwendung von Hintergrunddaten der Ökobilanz mit hoher Qualität und Repräsentativität“* Augenmerk zu legen. Die Validierung der Vollständigkeit der Daten kann einerseits mittels vorhandener ökonomischer Daten (Rechnungen etc.) ermittelt, andererseits mittels Grunddaten, Hypothesen und Annahmen berechnet werden, wobei letztere nicht validiert werden können, sondern lediglich die Plausibilität überprüft werden kann. (König et al. 2009, S.49)

Geissler (2007, S.7) geht davon aus, dass Ökobilanzierung im Bauwesen in erster Linie auf Neubauten anwendbar ist, da eine solche umweltorientierte Bewertung weitreichendes und detailliertes Datenmaterial benötigt, welches für Bestandsbauten nur in geringfügiger Qualität vorhanden ist.

5.5 Baustoffdatenbank Ökobau.dat 2009

Die vom deutschen Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung erarbeitete Baustoffdatenbank **Ökobau.dat** (BNVBS o.J.) liefert Wirkungsindikatoren für die Wirkungsabschätzung im Rahmen der Ökobilanzierung dieser Arbeit. In Zusammenarbeit mit mehreren Akteuren verschiedener Tätigkeitsbereiche (Wissenschaft, Politik, Bauwirtschaft) wurden ca. 650 Baumaterialien bzw. Bau- und Transportprozesse in Bezug auf ihre Umweltauswirkungen analysiert. Die Ökobau.dat stellt in Deutschland zusammen mit den EPDs des Instituts Bauen und Umwelt (IBU), nach dessen System die Ökobau.dat Daten erstellt wurden, den Standard für Ökobilanzvergleiche im Bereich des Bauwesens dar. (Hauke 2011, S.19) Gemäß dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMVBS (o.J.) werden die untersuchten Produkte bzw. Prozesse in folgende **Kategorien** unterteilt:

- Mineralische Baustoffe
- Dämmstoffe
- Holzprodukte
- Metalle
- Anstriche und Dichtmassen
- Bauprodukte aus Kunststoffen
- Komponenten von Fenstern, Türen und Vorhangfassaden
- Gebäudetechnik
- Sonstiges

Die Ökobilanzierung der Produkte und Prozesse erfolgte gemäß ISO-Norm 14040 und 14044 (siehe Kapitel 4). Die methodischen Grundlagen zu den Analysen sind auf dem Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMVBS (o.J.) abrufbar. Die Datensätze enthalten sowohl über mehrere Hersteller gemittelte Daten von Bauprodukten und –prozessen wie auch unternehmensspezifische Datensätze. Neben den im Rahmen des Forschungsprojekts ermittelten Datensätzen wurde auch auf bereits bestehende Datensätze der LCA-Datenbank GaBi (welches wiederum auf andere LCA Datenbanken zugreift, z.B. ecoinvent) (GaBi o.J.) zugegriffen. (König et al. 2009, S.57)

Die in den Datensätzen enthaltenen **Inputgrößen** lauten (PE International o.J.):

- Primärenergie aus nicht regenerierbaren Ressourcen (in MJ)
- Primärenergie aus regenerierbaren Ressourcen (in MJ)

- Sekundärbrennstoffe (in MJ)
- Wassernutzung (in m³)

Für die **Outputgrößen** wurden folgende Kategorien bestimmt:

- Abraum und Erdaufbereitungsrückstände (in kg)
- Hausmüll und Gewerbeabfall (in kg)
- Sonderabfälle (in kg)

Die **Wirkungskategorien** lauten:

- Abiotischer-Ressourcen-Verbrauch (ADP) [kg Sb-Äq.]
- Treibhauspotenzial, GWP (Global Warming Potential) [kg CO₂-Äq.]
- Ozonabbaupotenzial in der Stratosphäre, ODP (Ozone Depletion Potential) [kg R11-Äq.]
- Versauerungspotenzial, AP (Acidification Potential) [kg SO₂-Äq.]
- Eutrophierungspotenzial, EP (Eutricification Potential) [kg PO₄-Äq.]
- Bodennahe Ozonbildung, POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C₂H₄-Äq.]

Die Datensätze beziehen sich immer auf eine entsprechende funktionale Einheit und können linear skaliert werden. Die Qualitätssicherung erfolgt mittels Review. Da nicht alle Datensätze einer solchen Überprüfung unterzogen wurden, unterscheidet die Datenbank in drei Qualitätsstufen:

- Vollständiges Review durch unabhängige Dritte
- Internes Review
- Ohne Review

Datensätze, bei denen kein vollständiges externes Review durchgeführt wurde, wurden mit einem Sicherheitszuschlag von 10% versehen. (König et al. 2011, S.57)

6 Ökobilanzierung der untersuchten Gebäude

Dieses Kapitel beinhaltet die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Ökobilanzierung. Es wird aufgezeigt, wie sich Energie- und Stoffströme (und die daraus resultierenden Auswirkungen) unterschiedlich auf die Lebensphasen von Gebäuden verteilen. In weiterer Folge wird versucht, Zusammenhänge zwischen Kennziffern (z.B. A/V-Verhältnis, NGF, HWB) abzuleiten.

6.1 Definition von Ziel und Untersuchungsumfang

Das Ziel dieser Ökobilanzierung ist die Validierung der in Kapitel 1.2 entwickelten Arbeitsthese mittels quantitativer Daten. Diese Daten generieren sich aus Ökobilanzen von neun Bürogebäuden (Nicht-Wohngebäuden) sowie einem Wohngebäude in Österreich, welche zwischen 1999 und 2014 in Betrieb genommen wurden bzw. werden. Die Sachbilanzen wurden von der ÖGNI an den Autor übermittelt. Aufgrund von Datenschutzbestimmungen können die untersuchten Objekte nicht detaillierter dargestellt werden. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden alle Wirkungsabschätzungen (LCIAs) neu erstellt und unterteilen sich in die der ISO Norm entsprechenden Lebenszyklusphasen Konstruktion, Erneuerung, Nutzung, sowie Abbruch und Entsorgung. Eine Validierung der Mengenaufstellungen konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, jedoch wurde ein qualitativer Unterschied zwischen den verschiedenen Sachbilanzen während der Bearbeitung deutlich.

Da die Absolutwerte keine vergleichbaren Ergebnisse liefern (aufgrund der unterschiedlichen Größen und somit Stoffströme der Gebäude), wurden diese Werte auf die Netto-Grundfläche (NGF) bezogen, die im Bereich der Ökobilanzierung die gängige Bezugsgröße ist. Somit ist die **funktionale Einheit** der Ökobilanz **1m² NGF pro Jahr**. Der Betrachtungszeitraum beträgt 50 Jahre, da dieser Wert in der gängigen Praxis als realistischer Bezugszeitraum für Bürogebäude verwendet wird. Die Betrachtung der einzelnen Baumaterialien entspricht dem cradle-to-grave (Wiege zur Bahre) Prinzip (vgl. Kapitel 5.2).

Zunächst wurden die Gebäude nach deren Heizwärmebedarf (HWB) geordnet. Der spezifische Heizwärmebedarf ist gemäß den Standards der OIB Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik 2011) berechnet wurden. Tabelle 13 zeigt diese Aufstellung. Gebäude Nummer 4 ist ein Wohnbau, der in der Auswertung vorerst nicht berücksichtigt wird, da bei Wohngebäuden gemäß OIB Richtlinie 6 (2011, S.5) der der Nutzungsphase zugrunde liegende Endenergiebedarf (EEB) gewisse Energieverbräuche nicht berücksichtigt (Kühlbedarf, Beleuchtungsenergie). Damit ist eine Vergleichbarkeit zu Bürogebäuden nur bedingt möglich.

Nummer	Nutzungsprofil	Tiefgarage	HWB pro m ² BGF
-	-	ja/nein	kWh/a
1	NBV	nein	7,8
2*	NBV	ja	10,0
3	NBV	nein	11,8
4	NWO	nein	14,8
5*	NBV	ja	14,9
6*	NBV	ja	15,0
7*	NBV	ja	17,7
8	NBV	nein	19,3
9*	NBV	ja	22,8
10*	NBV	ja	24,8

Tabelle 13: Übersicht über die untersuchten Gebäude nach HWB zu BGF_{gesamt}

Quelle: Eigene Darstellung

Die Angabe über das Vorhandensein einer Tiefgarage ist deswegen von Relevanz, da die Fläche der Tiefgarage zwar in die Netto-Grundfläche eingeht (ergo diese vergrößert), dort aber geringere Energieverbräuche stattfinden als auf den Nutzflächen.

Dies stellt eine methodische Schwäche bei der Betrachtung von relativen Werten der Ökobilanzierung von Gebäuden dar (die sich auf m² NGF beziehen), ist aber nicht zu umgehen, da weder die Werte für Nutzfläche (NF), Funktionsfläche (FF) und Verkehrsfläche (VF) bekannt sind, noch der Endenergiebedarf eines Gebäudes sich auf Nutzflächenkategorien verteilen lässt.

6.2 Spezifika der Lebenszyklusphasen

Um eine vollständige Ökobilanz gemäß ISO 14040/44 (2006) durchzuführen, sind die Annahmen hinter den Berechnungen und Auswertungen darzustellen. Dieses Unterkapitel beschreibt die Vorgehensweise bei der Erstellung für jede Lebenszyklusphase. Die Basis bildeten hierbei die von der ÖGNI übermittelten Sachbilanzen aus vorhandenen Life Cycle Assessments.

6.2.1 Konstruktionsphase

Bei der Konstruktionsphase wurden sämtliche in der Sachbilanz enthaltenen Stoffströme mit Baustofffaktoren der Ökobau.dat verknüpft. Falls für ein Gebäude schon eine Wirkungsabschätzung vorhanden war, wurde vom Autor danach getrachtet,

die gleichen Datensätze zu verwenden. Da jedoch auf Vergleichbarkeit und Einheitlichkeit der verschiedenen Ökobilanzen großer Wert gelegt wurde, wurden in Einzelfällen andere Faktoren gewählt.

Die Stoffströme der eingesetzten Baumaterialien wurden in die Gesamtkategorien nach Ökobau.dat (BMBVS o.J.) zusammengefasst (vgl. Kapitel 5.5). Da für die Kategorien 8- Gebäudetechnik und 9- Sonstiges in den Sachbilanzen keine einheitlichen Angaben gemacht wurden, wurden diese Kategorien genauso wie Bauprozesse und bei der Konstruktion anfallender Bauschutt auf Grund mangelnder Verfügbarkeit nicht in die Auswertung inkludiert. Deswegen wurde für die Konstruktions- wie auch die Erneuerungsphase jeweils ein 10% Aufschlag auf die Ergebnisse hinzugefügt um etwaige Unsicherheiten der Datensätze abzuschwächen und um eventuell nicht erfasste Bauprozesse und Abfälle während der Konstruktion zu inkludieren. Wie in Kapitel 5.3.1 und 5.5 beschrieben dient dies als Sicherheitsmaßnahme.

6.2.2 Nutzungphase

Für die Ermittlung der Verbräuche während der Nutzungsphase wurden die Werte der beiliegenden Energieausweise der jeweiligen Ökobilanz bzw. einer von der ÖGNI übermittelten Aufstellung herangezogen. Dabei wurden die entsprechenden Standortklimawerte des Heizwärmebedarfs (HWB) und des Kühlbedarfs (KB) eingesetzt. Für die Wirkungsabschätzung wurden für Österreich entsprechende Faktoren für Strom-Mix und Fernwärme eingesetzt, die gemäß ÖGNI zu verwenden sind (siehe Kapitel 5.3.2). Sollte es in der technischen Ausführung eines Gebäudes nicht anders beschrieben worden sein, wurde dabei folgende Zuordnung eingehalten:

Endenergiebedarf (EEB)	
Strom	
Haustechnikenergiebedarf	HTEB
Beleuchtungsenergiebedarf	BeIEB
Raumlufttechnik-Energiebedarf	RltEB
Kühlbedarf + Kühltechnikenergiebedarf (so vorhanden)	KB + KTEB
Wärme	
Warmwasserwärmebedarf	WWWB
Heizwärmebedarf	HWB

Tabelle 14: Energiebedarfskategorien nach Strom und Wärme

Quelle: Eigene Darstellung

6.2.3 Erneuerung

Wie bereits in Kapitel 5.3.2 beschrieben, wurden die Nutzungsdauern gemäß dem Leitfaden „BNB Nutzungsdauern von Bauteilen“ (BMVBS o.J.) bestimmt. Von Seiten des BMVBS wird darauf hingewiesen, dass Nutzungsdauern *„auf Erfahrungswerten und nicht auf messbaren Prüfungen beruhen, nicht alle zu differenzierenden Einflussfaktoren für die Austauschzyklen sind abbildbar.“* (BMVBS o.J.) Bei der Bewertung der Nutzungsdauer eines Baustoffes sind deswegen u.a. Einbauzustände, klimatische Einflüsse, Nutzerbeanspruchung, Instandhaltungskonzepte etc. zu beachten. Die vom Autor getroffenen, relevanten Annahmen zu den Nutzungsdauern befinden sich in Anhang 3.

Sobald ein Baustoff eine Nutzungsdauer <50 Jahre hat, wurde dieser (in Kombination mit dem entsprechenden Entsorgungsprozess) seiner Nutzungsdauer entsprechend entsorgt und der jeweiligen Massenangabe entsprechend wieder ergänzt.

6.2.4 Abbruch / End of Life

Sämtliche Stoffe, die während der Konstruktionsphase eingesetzt wurden, wurden in dieser Lebenszyklusphase entsorgt. Dies wurde mit Hilfe der entsprechenden Ökoba.dat Faktoren (Bauschutt-Deponierung, div. EOL-Prozesse, Recyclingpotentiale etc.) Aufgrund des Recyclingpotentials gewisser Stoffe (v.a. Metalle, aber auch energetische Verwertung durch Verbrennung von Holzwerkstoffen) kann es dadurch bei manchen Gebäuden zu Gutschriften bei Ergebnissen der Wirkungsabschätzung kommen.

6.3 Sachbilanz (Life Cycle Inventory Analysis (LCI))

Die Sachbilanzen der Gebäude wurden von der ÖGNI an den Autor übermittelt. Da es sich hierbei um real existierende Gebäude handelt, können die Massenaufstellungen sowie die Energieverbrauchsdaten der einzelnen Gebäude in dieser Arbeit nicht publiziert werden.

6.4 Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment (LCIA)) und Interpretation der Resultate

Die Ergebnisse der Wirkungsabschätzung sind in Tabelle 15 dargestellt. Die Werte stellen die Gesamtergebnisse bezogen auf die Netto-Grundfläche (NGF) der einzelnen Gebäude dar, nachdem die Ergebnisse der einzelnen Lebenszyklusphasen aufsummiert wurden. Des Weiteren wurden die Gesamtergebnisse noch auf die Gebäudenutzungsdauer von 50 Jahren abgeschrieben, womit die Ergebnisse die Inputs und Wirkungsabschätzungen pro m² Netto-Grundfläche und Jahr wiedergeben.

Untersucht wurden die Inputwerte zu Primärenergieeinsatz (PE gesamt, nicht erneuerbar, erneuerbar) sowie folgende **Wirkungskategorien**:

- Treibhauspotenzial, GWP 100 (Global Warming Potential) [kg CO₂-Äq.]
- Versauerungspotenzial, AP (Acidification Potential) [kg SO₂-Äq.]
- Bodennahe Ozonbildung, POCP (Photochemical Ozone Creation Potential) [kg C₂H₄-Äq.]
- Eutrophierungspotenzial, EP (Eutrication Potential) [kg PO₄-Äq.]
- Ozonabbau­potenzial in der Stratosphäre, ODP (Ozone Depletion Potential) [kg R11-Äq.]

Eine Darstellung der Ergebnisse nach Lebenszyklusphasen aller Gebäude ist im Anhang (vgl. Anhang 4) ersichtlich.

Aus Tabelle 15 wird ersichtlich, dass sich die Verteilung von Minimal- und Maximalwerten recht deutlich auf zwei Gebäude verteilt. Gebäude 3 (bzw. Gebäude 5*, welches beim Indikator GWP 100 den höchsten Wert aufweist) erreicht diese negativen Spitzenwerte aufgrund des hohen Energieverbrauchs während der Nutzungsphase (auf deren Bedeutung in Kapitel 6.4.1 genauer eingegangen wird). Diese beiden Gebäude haben zwar einen unter dem Durchschnitt der untersuchten Gebäude liegenden HWB pro m² BGF (Tabelle 13: Übersicht über die untersuchten Gebäude Tabelle 13) und Gebäude 3 entspricht sogar der höchsten Energieeffizienzklasse A++, betrachtet man jedoch auch die zusätzlich eingesetzten Energiemengen und dabei besonders den RLT und KEB (Tabelle 14), relativiert sich dieser gute Wert.

Beim **Energieverbrauch** pro m² NGF (in kWh) weisen diese Gebäude den rund 2-fachen Wert der in dieser Kategorie besten Gebäude auf. Dass die Nutzungsphase bei den untersuchten Wirkungskategorien bis zu 90% der Umweltwirkung ausmacht lässt darauf schließen, dass die benötigten Energiemengen (v.a. der Strombedarf) den größten Einfluss auf die Umweltp­erformance von Gebäuden haben. Der niedrige Gesamtenergieverbrauch liefert im Umkehrschluss auch die Erklärung, warum Gebäude 7* (zusammen mit dem Vorhandensein einer Tiefgarage) im Vergleich so gut abschneidet. Dieses Gebäude stellt ein Musterbeispiel für die Optimierung der Gesamtenergieeffizienz für Bürogebäude dar.

Generell ist hier festzuhalten, dass die Ergebnisse der Gebäude sehr nahe beieinander liegen. Der abgebildete Max/Min Faktor macht sichtbar, dass der Minimalwert vom Minimalwert höchstens um das 2,4-fache (POCP) überstiegen wird. Im Durchschnitt erzeugt das schlechteste Gebäude rund doppelt so hohe Umweltauswirkungen als das in der jeweiligen Wirkungskategorie optimalste.

Nr	PE Gesamt	PE ne	PE e	GWP 100	AP	POCP	EP	ODP	EEK
	MJ	MJ	MJ	kg CO2-Äqv.	kg SO2-Äqv.	kg Ethen-Äqv.	kg Phosphat-Äqv.	kg R11-Äqv.	
Nr 1*	589,7	312,5	277,2	28,4	0,051	5,04E-03	4,86E-03	9,05E-07	A+
Nr 2*	549,5	303,7	245,8	27,5	0,055	5,44E-03	6,25E-03	1,09E-06	A+
Nr 3	989,4	458,0	531,4	37,7	0,093	9,59E-03	9,67E-03	1,40E-06	A++
Nr 5*	787,0	420,5	366,6	38,2	0,069	6,73E-03	6,56E-03	1,33E-06	A
Nr 6*	606,3	339,9	266,4	31,2	0,061	5,89E-03	5,89E-03	1,51E-06	A
Nr 7*	503,3	266,6	236,8	23,4	0,041	4,07E-03	4,13E-03	1,21E-06	A
Nr 8	801,6	408,9	392,6	36,4	0,059	5,64E-03	5,54E-03	1,30E-06	A
Nr 9*	643,8	339,7	304,1	30,3	0,052	5,35E-03	5,84E-03	1,59E-06	B
Nr 10*	678,0	363,5	314,5	31,6	0,058	5,72E-03	6,60E-03	1,69E-06	B
Durchschnitt	683,2	357,0	326,2	31,6	0,060	5,94E-03	6,15E-03	1,34E-06	
Nr 4 (NWO)	476,9	266,0	210,8	23,5	0,040	5,55E-03	4,49E-03	1,52E-06	B
* kennzeichnet eine vorhandene Tiefgarage									
Min	503,3	266,6	236,8	23,4	0,041	4,07E-03	4,13E-03	9,05E-07	
Max	989,4	458,0	531,4	38,2	0,093	9,59E-03	9,67E-03	1,69E-06	
Max/Min Faktor	2,0	1,7	2,2	1,6	2,3	2,4	2,3	1,9	

Tabelle 15: Ergebnisse der Ökobilanzen nach 1m²a NGF

Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 18 sind die Ergebnisse nach GWP 100 geordnet dargestellt. Dabei ist auffallend, dass die unter dem Durchschnitt liegenden Gebäude über eine Tiefgarage verfügen, was darauf schließen lässt, dass sich die dadurch herbeigeführte Vergrößerung der Netto-Grundfläche positiv auf die Ergebnisse auswirkt. Dieses Ergebnis kann man auf zweierlei Arten interpretieren: zum Einen verzerrt es die Ergebnisse der Ökobilanz, zum Anderen widerspricht es Annahmen, dass Tiefgaragen durch die eingesetzten Materialmengen in Konstruktion, Erneuerung und Abriss/EOL einen negativen Einfluss haben. Dieser methodischen Unschärfe wird in Kapitel 8.1 Rechnung getragen.

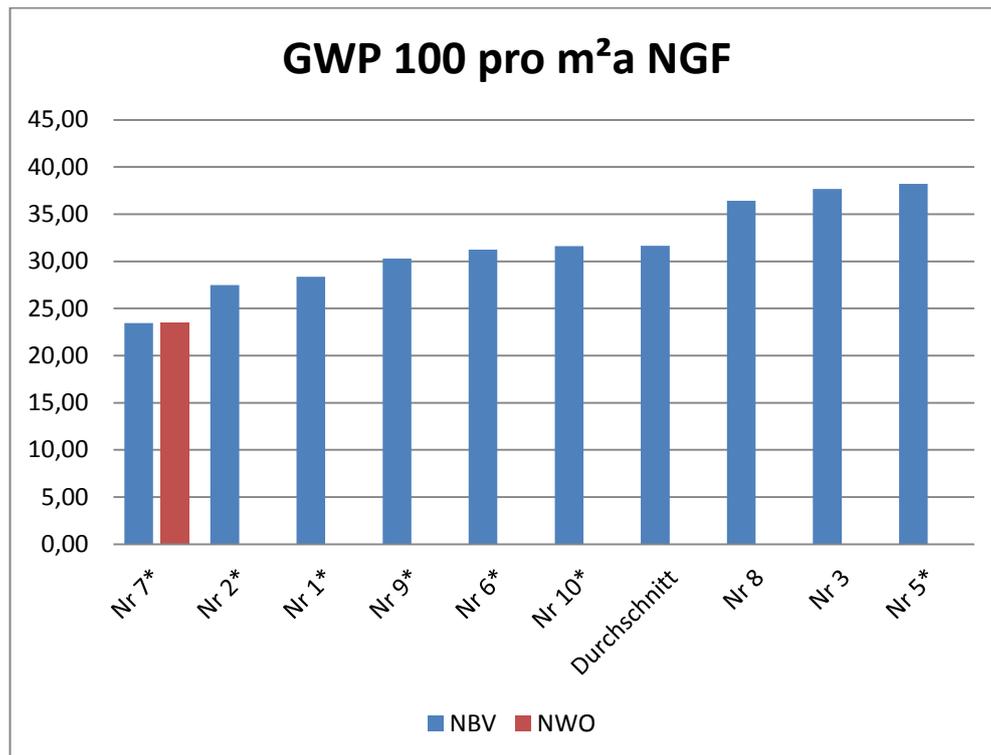


Abbildung 18: Ergebnisse geordnet nach GWP 100

Quelle: Eigene Darstellung

Generell geht aus dieser Grafik sehr deutlich hervor, dass **Gebäude mit Tiefgaragen** niedrigere Werte erzielen, da für die Tiefgaragen keine Verbrauchswerte während der Nutzungsphase (über den 50 jährigen Betrachtungszeitraum) ermittelt werden. Aus dem oben beschriebenen Schema bricht nur Gebäude 5* aus. Gebäude 5* weist zwar einen geringen Materialinput, jedoch einen überdurchschnittlichen Endenergieverbrauch auf, obwohl der Heizwärmebedarf nahezu dem Mittelwert gleichkommt.

6.4.1 Analyse der Lebenszyklusphasen

These:

- Welche **Phase des Gebäudelebenszyklus** ist dominant?
- Bei welchen **Indikatoren** zeigen sich welche Phasen dominant?

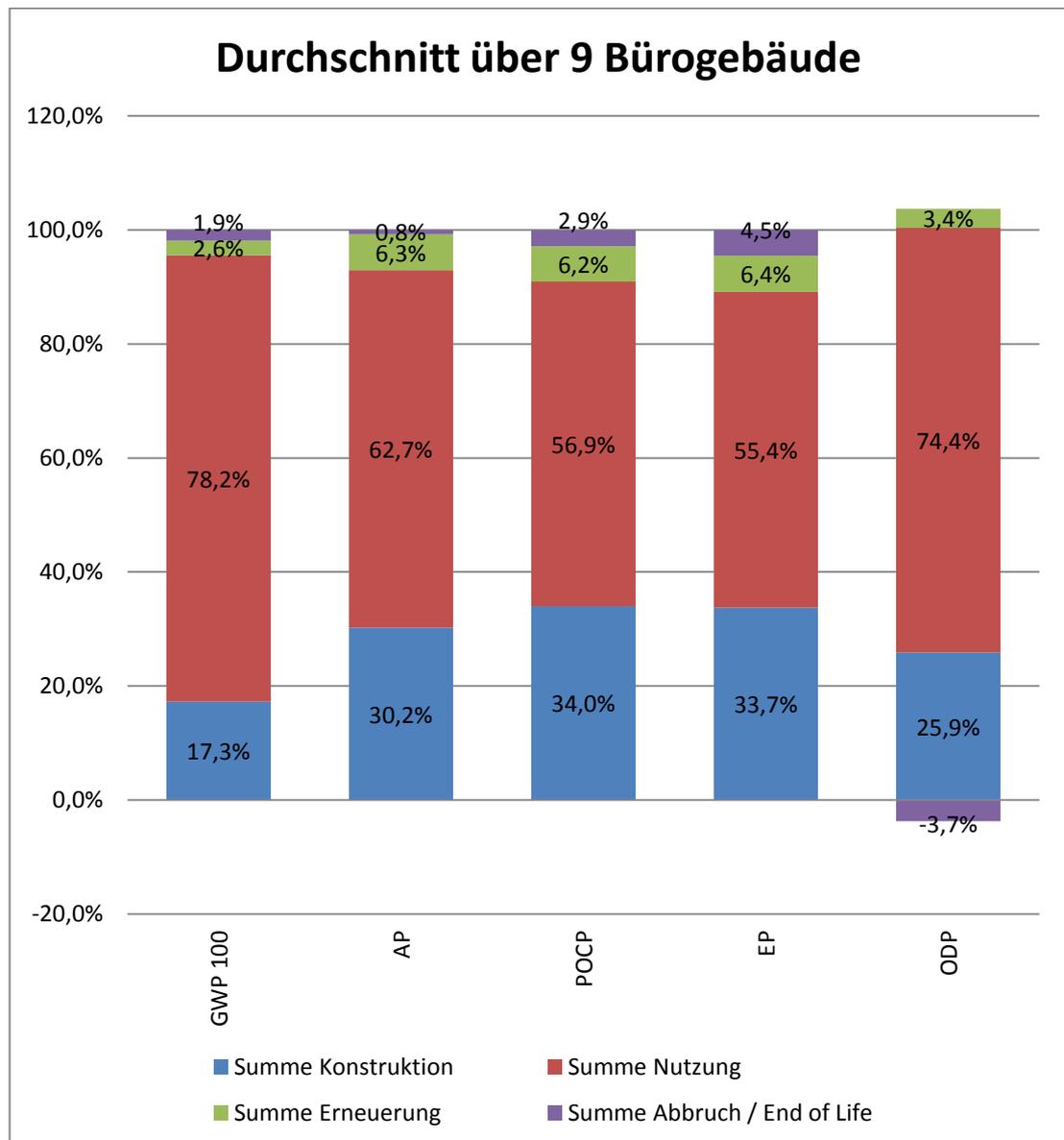


Abbildung 19: Prozentuale Verteilung der Wirkungsabschätzung nach Lebenszyklusphasen

Quelle: Eigene Darstellung

Abbildung 19 macht deutlich sichtbar, dass die **Nutzungsphase** durchschnittlich mit 55 - 78% bei allen Wirkungsindikatoren klar den größten Anteil einnimmt. Auch beim Primärenergieinput ist sie klar dominant. Auch die in Tabelle 16 ersichtlichen Minima und Maxima sprechen ein klares Bild. Der Anteil der Nutzungsphase an den Umweltwirkungen eines Gebäudes sinkt nie unter 41%.

	GWP 100 kg CO ₂ -Äqv.	AP kg SO ₂ -Äqv.	POCP kg Ethen-Äqv.	EP kg Phosphat- Äqv.	ODP kg R11-Äqv.
Konstruktion	17,3%	30,2%	34,0%	33,7%	25,9%
Nutzung	78,2%	62,7%	56,9%	55,4%	74,4%
Erneuerung	2,6%	6,3%	6,2%	6,4%	3,4%
Abbruch / EOL	1,9%	0,8%	2,9%	4,5%	-3,7%
Konstruktion Min	-5%	14%	17%	16%	10%
Nutzung Min	66%	49%	46%	41%	62%
Erneuerung Min	1%	2%	1%	3%	1%
Abbruch/EOL Min	-1%	-4%	-3%	3%	-10%
Konstruktion Max	29%	45%	46%	49%	45%
Nutzung Max	92%	83%	77%	78%	90%
Erneuerung Max	9%	19%	17%	14%	15%
Abbruch/EOL Max	10%	6%	8%	8%	1%

Tabelle 16: Prozentuale Verteilung der Wirkungsabschätzung nach Lebenszyklusphasen

Quelle: Eigene Darstellung

Neben der Nutzungsphase weist die **Konstruktionsphase** die stärksten Umweltauswirkungen auf. Bezogen auf die durchschnittlichen Ergebnisse der untersuchten Wirkungsindikatoren resultieren 17 - 34% der Umweltverbräuche der Nicht-Wohngebäude aus dieser Lebenszyklusphase. Erneuerungsprozesse und Abbruch/End-of-Life Prozesse spielen nur eine nebensächliche Rolle. Letztere bringen v.a. über Recycling-Potentiale und thermische Verwertung sogar Gutschriften bei der Berechnung (sofern die Baustoffe ordnungsgemäß getrennt und entsorgt werden, wovon bei einer theoretischen Berechnung ausgegangen werden muss).

Diese Ergebnisse spiegeln die Wichtigkeit der Optimierung des Endenergieverbrauchs von Gebäuden wider, wobei hier wiederum erwähnt werden muss, dass die untersuchten Gebäude den Energieeffizienzklassen A++ bis B entsprechen, und somit zumindest was den Heizwärmedarf angeht schon einem hohen Standard entsprechen (pro Jahr <37 kWh/BGF_{kond.}).

6.4.2 Einfluss der Energieeffizienzklasse

- Wie verhalten sich die Umweltwirkungen von Nicht-Wohngebäuden in Relation zu ihren Energieeffizienzklassen?

Der spezifische Heizwärmebedarf ist gemäß der Standards der OiB Richtlinie 6 (Österreichisches Institut für Bautechnik 2011) pro m² Brutto-Grundfläche (BGF_{gesamt}) anzugeben, was von der Darstellung im Energieausweis abweicht, in welchem der HWB lediglich mit der konditionierten Brutto-Grundfläche in Relation gesetzt wird.

	PE Gesamt	PE ne	PE e	GWP 100	AP	POCP	EP	ODP	EEK
	MJ	MJ	MJ	kg CO2-Äqv.	kg SO2-Äqv.	kg Ethen-Äqv.	kg Phosphat-Äqv.	kg R11-Äqv.	
3	989,44	458,00	531,44	37,68	0,09	9,59E-03	9,67E-03	1,40E-06	A++
1*	589,72	312,53	277,19	28,36	0,05	5,04E-03	4,86E-03	9,05E-07	A+
2*	549,51	303,70	245,81	27,48	0,05	5,44E-03	6,25E-03	1,09E-06	A+
7*	503,33	266,57	236,76	23,44	0,04	4,07E-03	4,13E-03	1,21E-06	A
6*	606,34	339,95	266,39	31,24	0,06	5,89E-03	5,89E-03	1,51E-06	A
5*	787,04	420,46	366,58	38,20	0,07	6,73E-03	6,56E-03	1,33E-06	A
8	801,55	408,92	392,63	36,41	0,06	5,64E-03	5,54E-03	1,30E-06	A
4	476,86	266,05	210,81	23,55	0,04	5,55E-03	4,49E-03	1,52E-06	B
9*	643,80	339,73	304,08	30,28	0,05	5,35E-03	5,84E-03	1,59E-06	B
10*	677,98	363,50	314,47	31,63	0,06	5,72E-03	6,60E-03	1,69E-06	B

Tabelle 17: Ergebnisse (pro m² NGF) geordnet nach Energieeffizienzklassen

Quelle: Eigene Darstellung

In Tabelle 17 sind die Ergebnisse geordnet nach den Energieeffizienzklassen der Nicht-Wohngebäude dargestellt. Daraus zeigt sich deutlich, dass dieser Parameter keine Auskunft über die Umweltwirkungen von Gebäude gibt. Selbst innerhalb den Energieeffizienzklassen sind keine Ähnlichkeiten (Abbildung 20) oder Trends (Abbildung 21) auszumachen. Dies ist hier am Beispiel des Wirkungsindikators GWP 100 dargestellt.

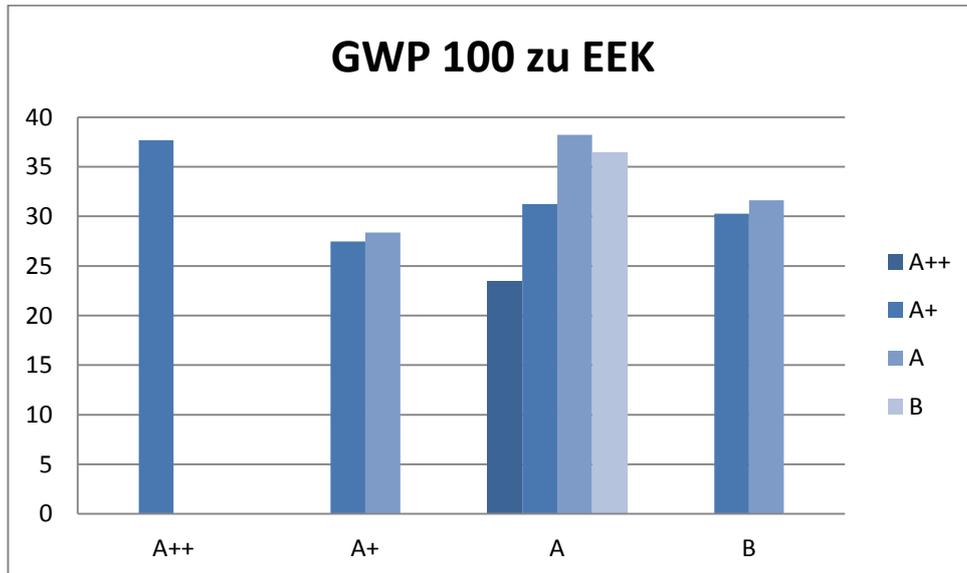


Abbildung 20: Global Warming Potential 100 nach Energieeffizienzklassen
Quelle: Eigene Darstellung

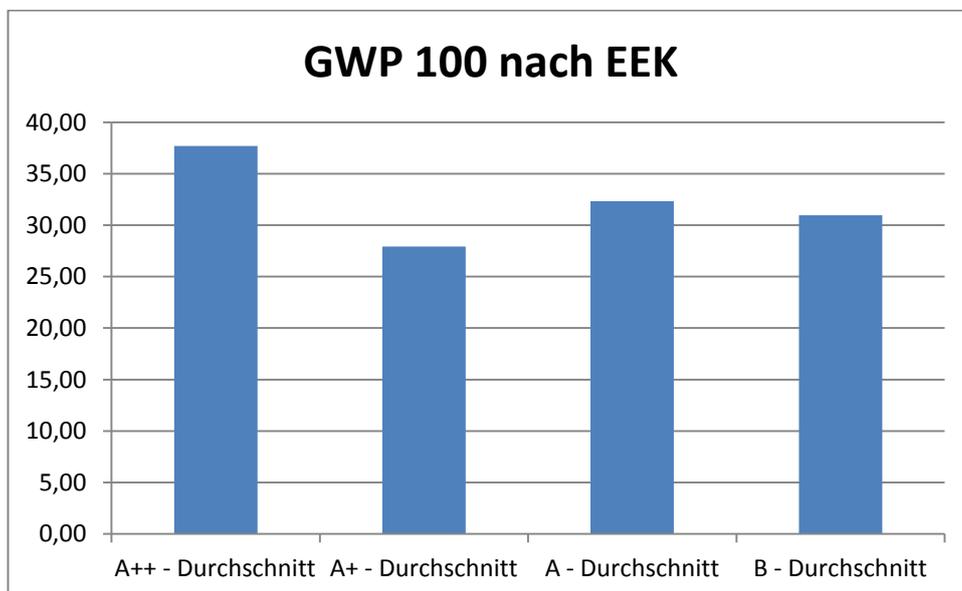


Abbildung 21: Global Warming Potential 100 nach Energieeffizienzklassen
Quelle: Eigene Darstellung

Dieses Phänomen muss damit begründet werden, dass die Energieeffizienzklasse zum Einen keine Aussage über die Bauweise eines Gebäudes gibt und zum Anderen

damit, dass der Heizwärmebedarf, auf den sich die Energieeffizienz bezieht, nur einen Teil des Endenergiebedarfs eines Gebäudes darstellt. Die Bedarfswerte von Nicht-Wohngebäuden für den Stromverbrauch übersteigen die des Wärmebedarfs im Durchschnitt um das 3-fache (1,6 bis 5,2-fache). Daraus schlussfolgernd stellt der **Heizwärmebedarf** (HWB) keine geeignete Größe für die Energieeffizienz von Bürogebäuden dar. Auch die Stichprobenanzahl an untersuchten Gebäuden müsste für eine genauere Analyse der Durchschnittswerte größer sein als die in dieser Arbeit untersuchten neun Nicht-Bürogebäude.

- Fällt mit steigender **Energieeffizienzklassen** für die Bausubstanz ein höherer Ressourcen- bzw. Energieverbrauch an, deren **Umweltwirkungen** aber durch den ressourcenschonenderen Betrieb in der Nutzungsphase insgesamt unter dem Verbrauch von „konventionellen“ Gebäuden liegt?

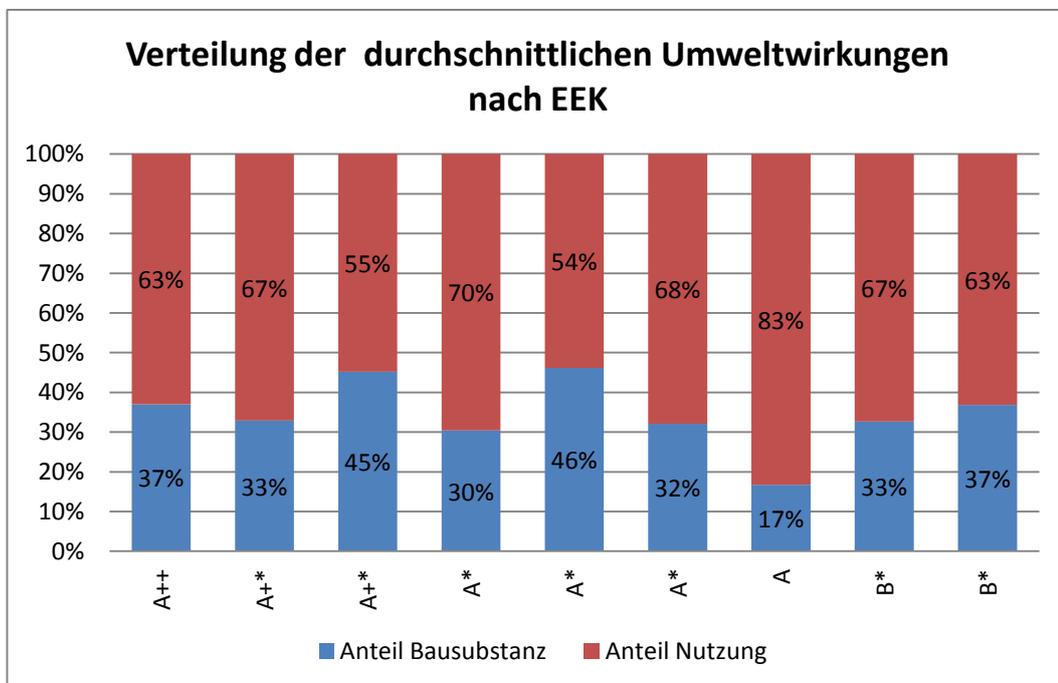


Abbildung 22: Verteilung der durchschnittlichen Umweltwirkungen nach Energieeffizienzklassen über die untersuchten Indikatoren gemittelt
Quelle: Eigene Darstellung

Um die durchschnittlichen Umweltwirkungen darstellen zu können, wurde für jedes Nicht-Wohngebäude aus der prozentualen Verteilung der fünf Wirkungskategorien GWP, AP, POCP, EP und OPD der Mittelwert gebildet. Damit die These bestätigt werden kann, müsste das Gebäude mit der Energieeffizienzklasse A++ den höchsten Anteil bei der Bausubstanz (blauer Balken) vorweisen, welcher über die verschiedenen Klassen stetig abnimmt. Wie aus Abbildung 22 ersichtlich ist, ist dies nicht der Fall. Somit kann **keine Korrelation** zwischen Energieeffizienzklasse und Verteilung der Umweltauswirkungen festgestellt werden. Das aus Energie-technischer Sicht

optimale Gebäude (A++) weist die gleiche Verteilung bei den Umweltwirkungen auf wie ein Gebäude der EEK B. Die Analyse des Endenergiebedarfs ergibt zwar ein anderes Bild, jedoch bringt sie ebenfalls keine Bestätigung dieser Arbeitsthese (vgl. Abbildung 23).

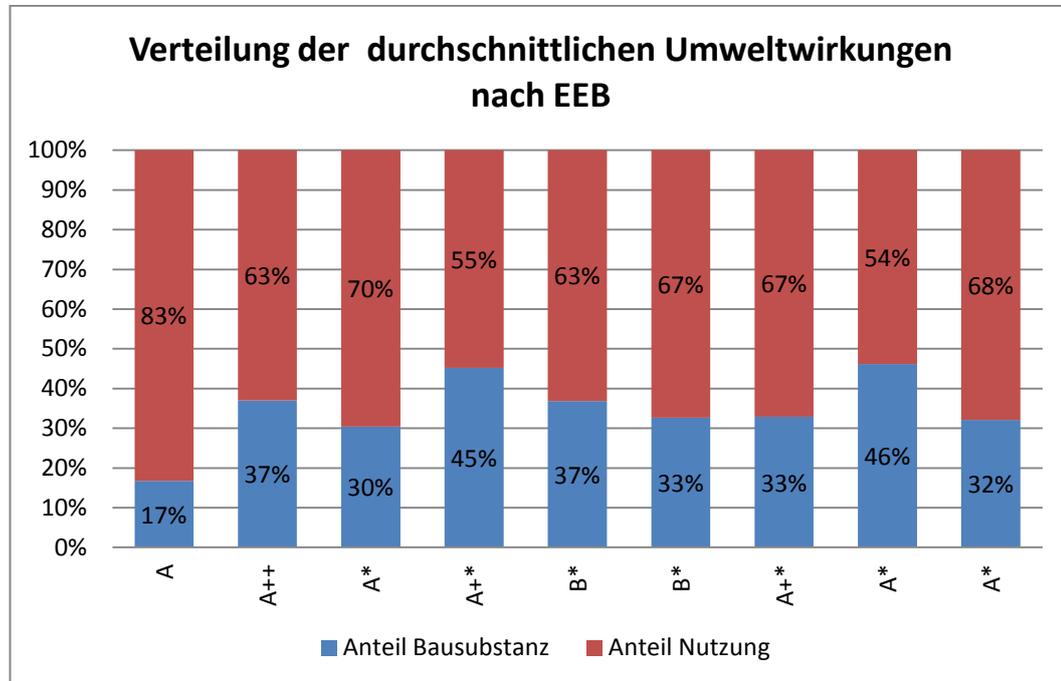


Abbildung 23: Verteilung der durchschnittlichen Umweltwirkungen nach Endenergiebedarf über die untersuchten Indikatoren gemittelt
Quelle: Eigene Darstellung

6.4.3 Einfluss von Skaleneffekten

- Sinkt mit der **Größe** eines Gebäudes die spezifische Belastung (pro m²) der Umwelt, woraus sich Größen-/ Skaleneffekte im Bauwesen ableiten lassen?

Netto-Grundfläche

Wie sich die Umweltwirkungen der Gebäude in Bezug zu deren Netto-Grundfläche darstellen, zeigen die Abbildung 24 bis Abbildung 29. Diese Abbildungen zeigen ebenfalls auf, wie sich die Energieeffizienzklassen dabei verteilen.

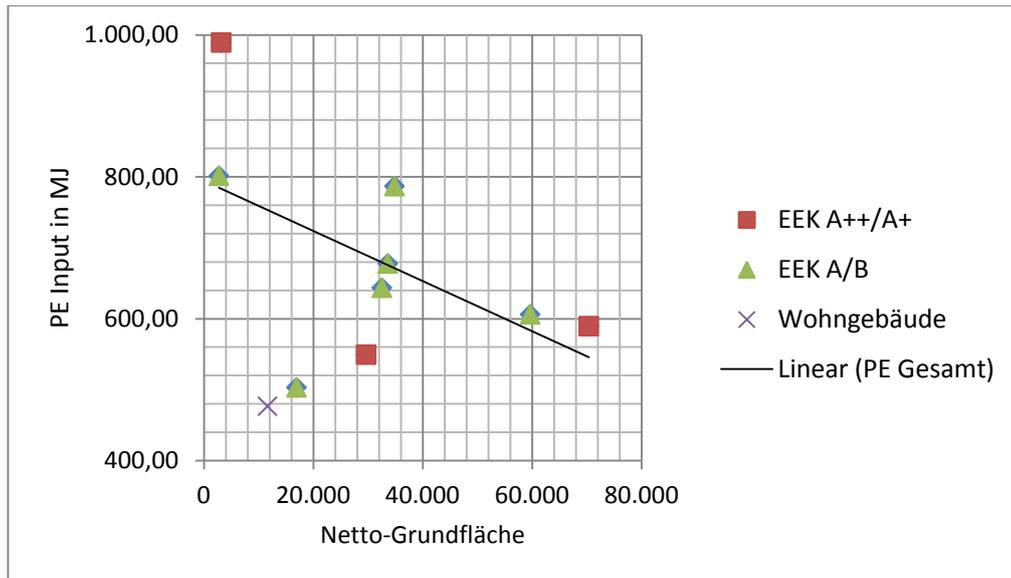


Abbildung 24: Primärenergieinput Gesamt in Bezug zu Netto-Grundfläche

Quelle: Eigene Darstellung

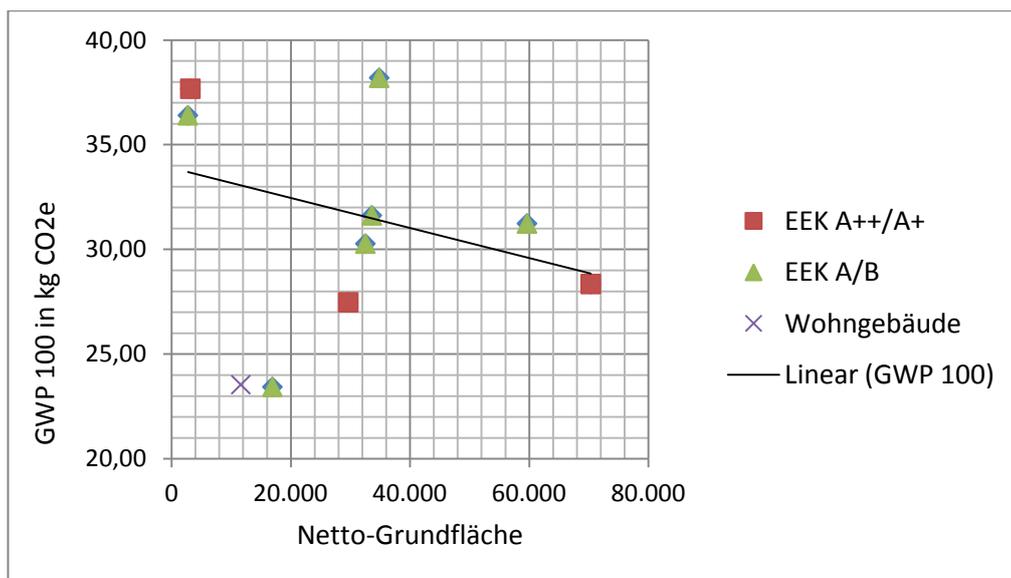


Abbildung 25: Global Warming Potential in Bezug zu Netto-Grundfläche

Quelle: Eigene Darstellung

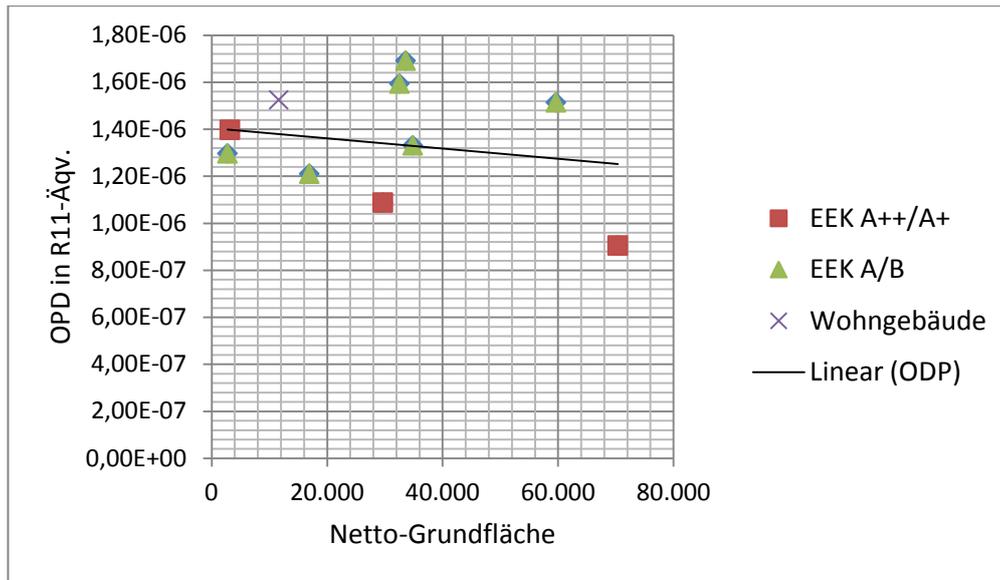


Abbildung 26: Ozonabbaupotential in Bezug zu Netto-Grundfläche
 Quelle: Eigene Darstellung

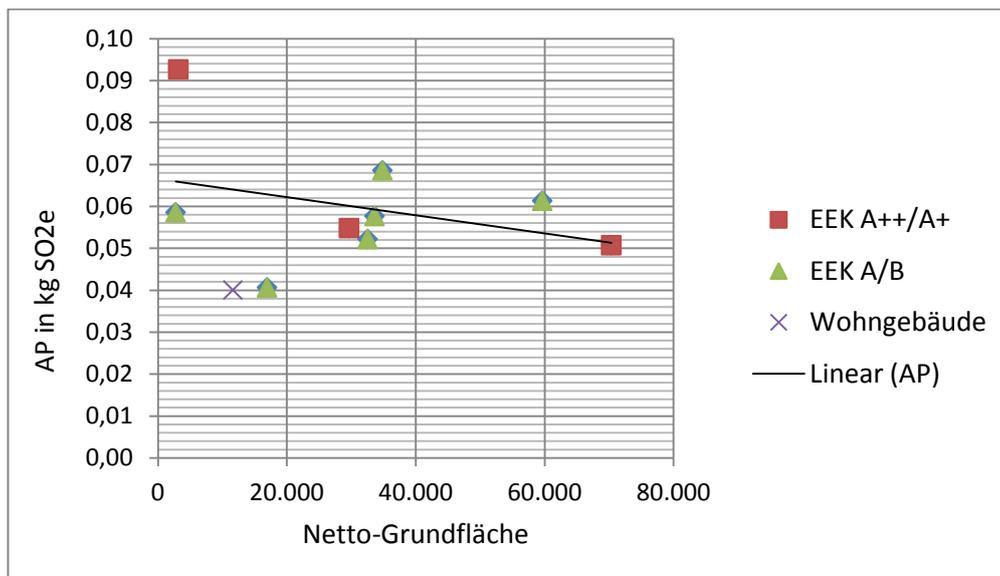


Abbildung 27: Versauerungspotential in Bezug zu Netto-Grundfläche
 Quelle: Eigene Darstellung

Bei sämtlichen Indikatoren zeigen sich die Skaleneffekte zum Teil deutlich. Die spezifischen Auswirkungen sinken mit der Größe der Fläche. Diese Ergebnisse lassen auf die Effektivität von großflächigen Gebäuden schließen. Selbst wenn man die Ausreißer entfernt, bleibt die negative Steigung der Trendlinien bestehen.

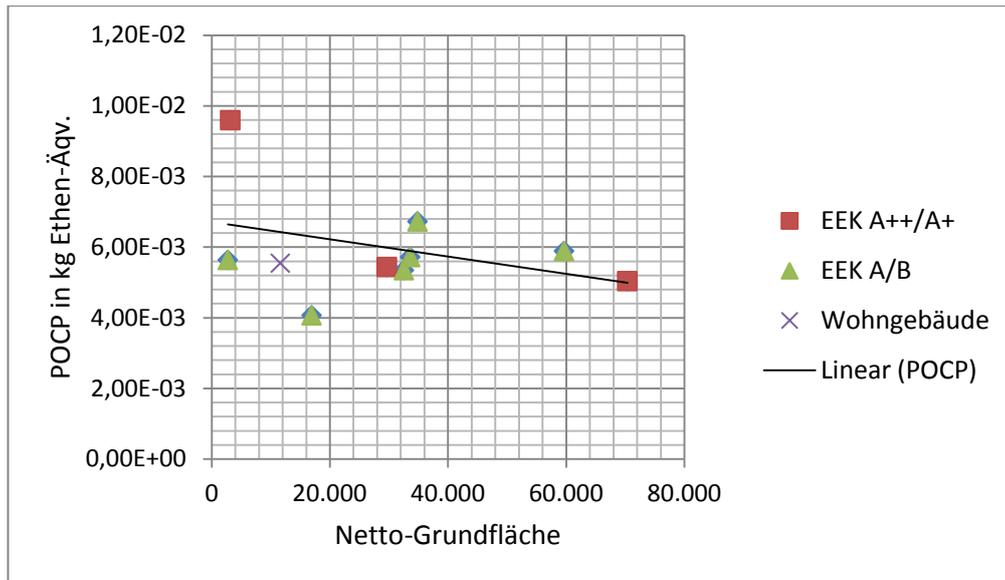


Abbildung 28: Sommersmogpotential in Bezug zu Netto-Grundfläche
 Quelle: Eigene Darstellung

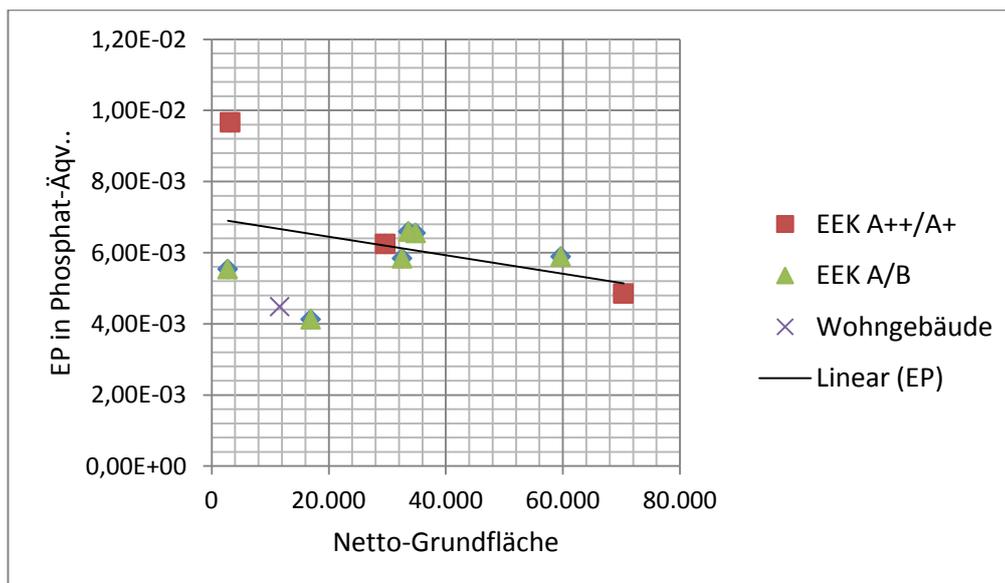


Abbildung 29: Eutrophierungspotential in Bezug zu Netto-Grundfläche
 Quelle: Eigene Darstellung

Oberfläche-zu-Volumen-Verhältnis

Das Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis (A/V-Verhältnis) beschreibt den Quotienten aus der Oberfläche A (m²) und dem Bruttorauminhalt (m³) eines geometrischen Körpers. Bei Gebäuden liefert es Informationen zu deren Kompaktheit, d.h. je kleiner das A/V-Verhältnis, desto geringer ist die Fläche, über welche Energie nach außen hin abgegeben werden kann (und somit auch der Energieverlust). (Quelle: Treberspurg 2006, S.127)

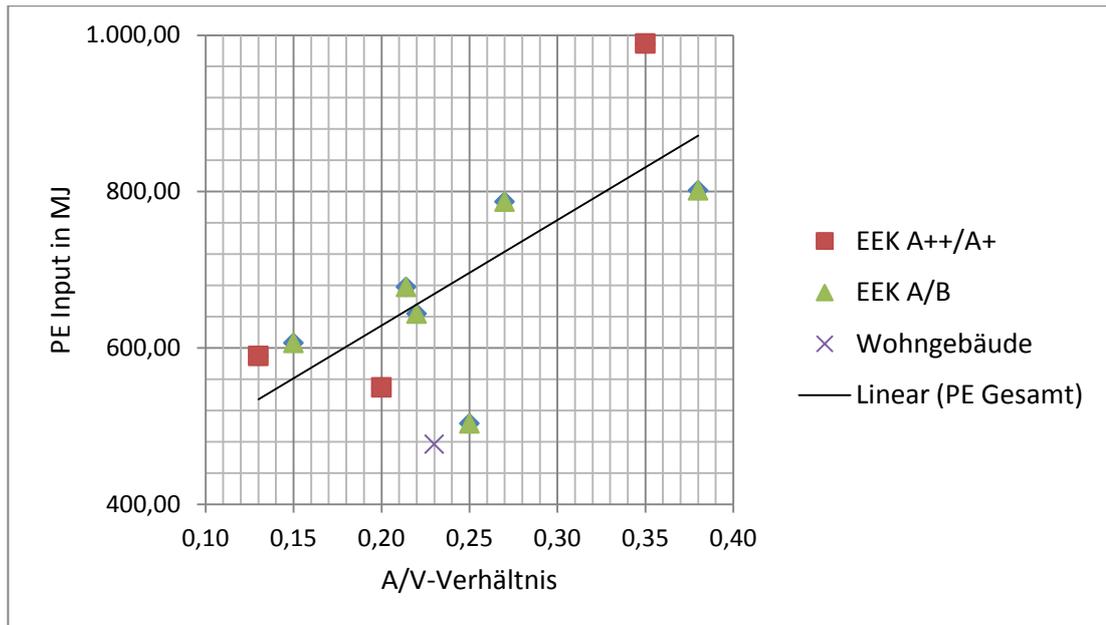


Abbildung 30: Primärenergieinput Gesamt in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

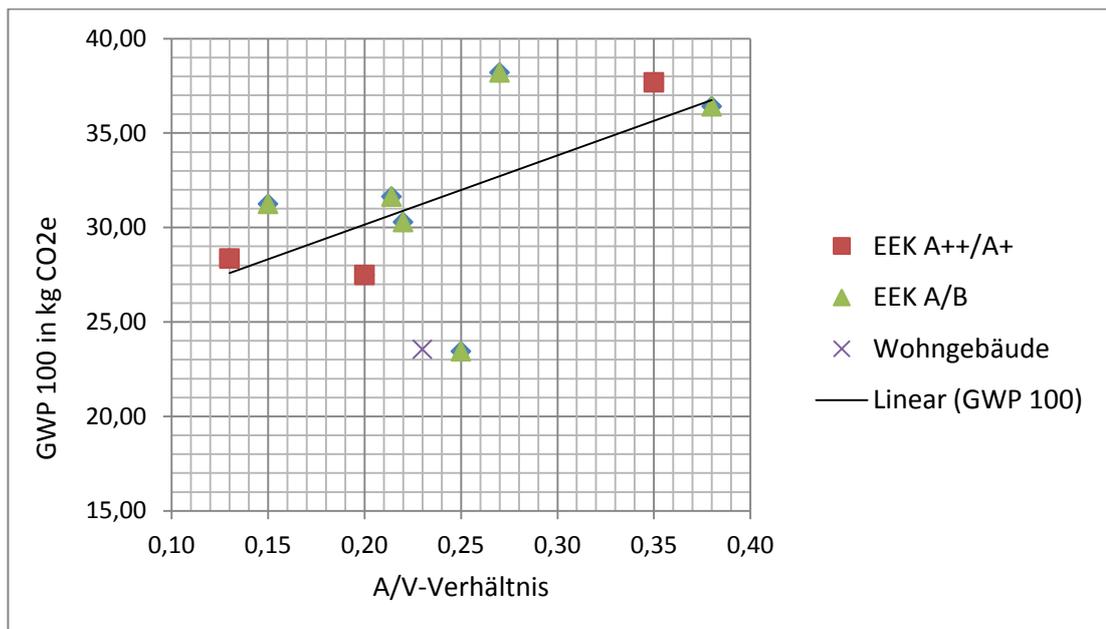


Abbildung 31: Treibhausgaspotential in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

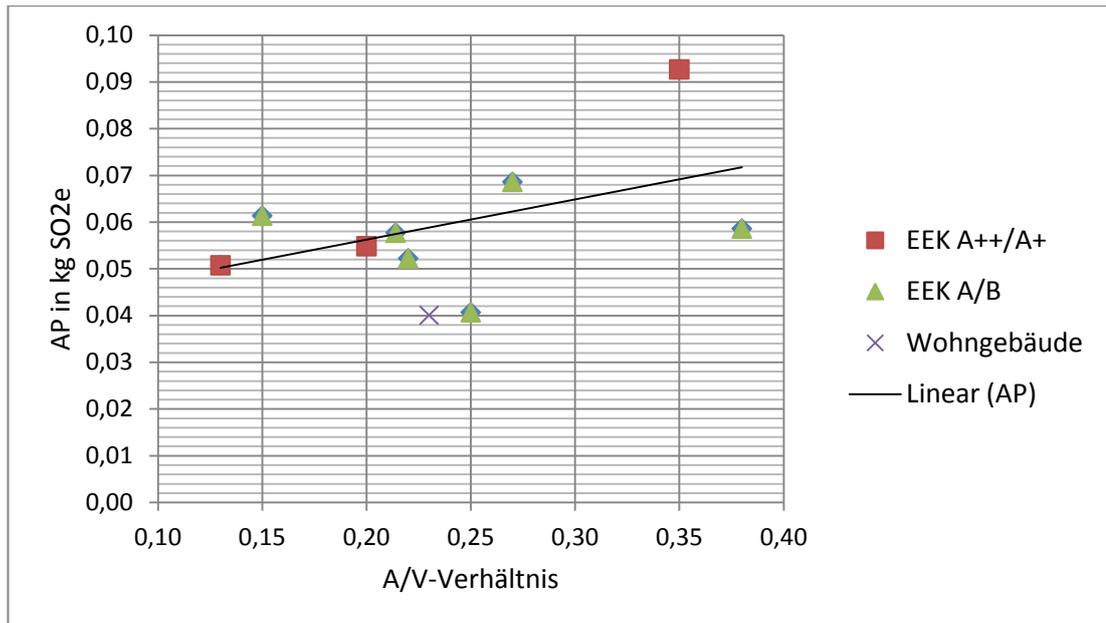


Abbildung 32: Versauerungspotential in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

Auch beim Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis sind die Ergebnisse über alle Indikatoren hinweg eindeutig. Je größer das A/V-Verhältnis, desto höher sind die spezifischen Umweltwirkungen. Dies hängt mit dem großen Einfluss der Nutzungsphase auf die Ökobilanzergebnisse zusammen.

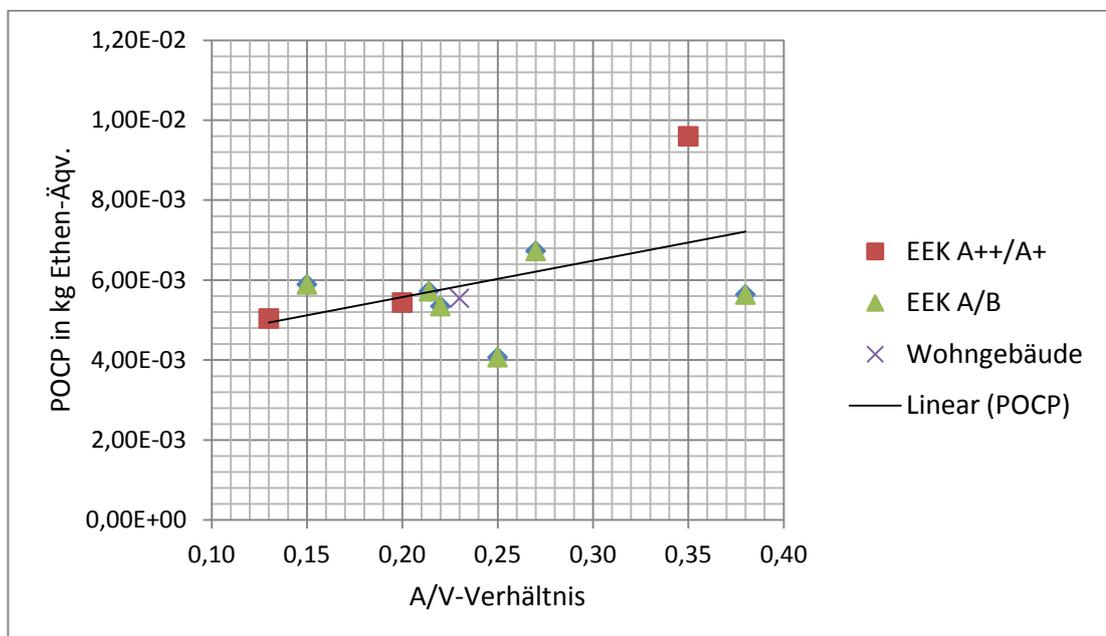


Abbildung 33: Sommersmogpotential in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

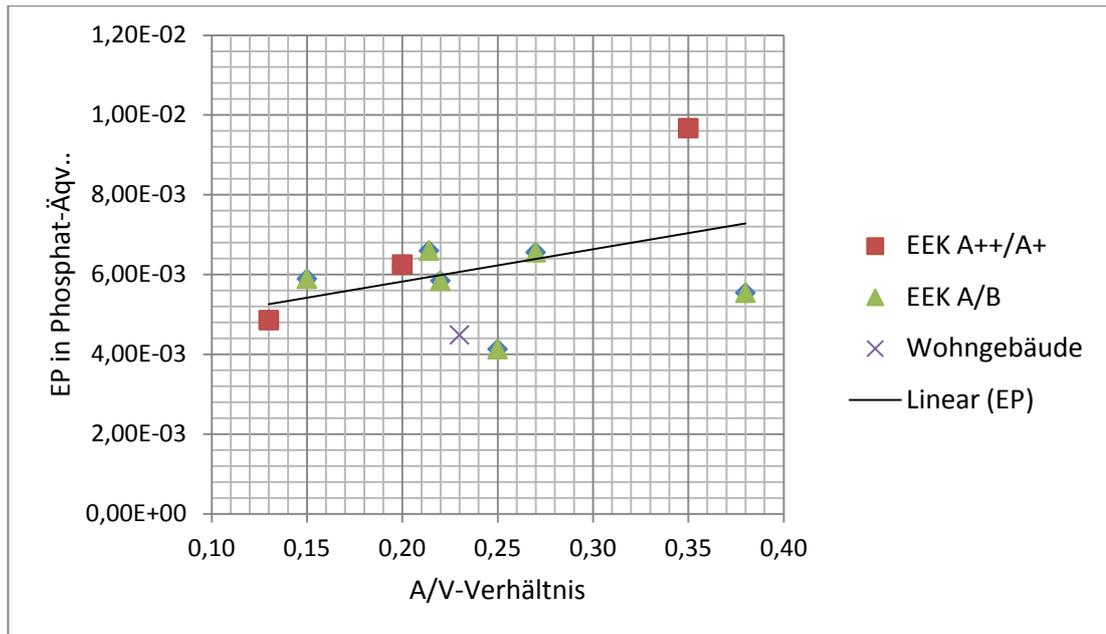


Abbildung 34: Eutrophierungspotential in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

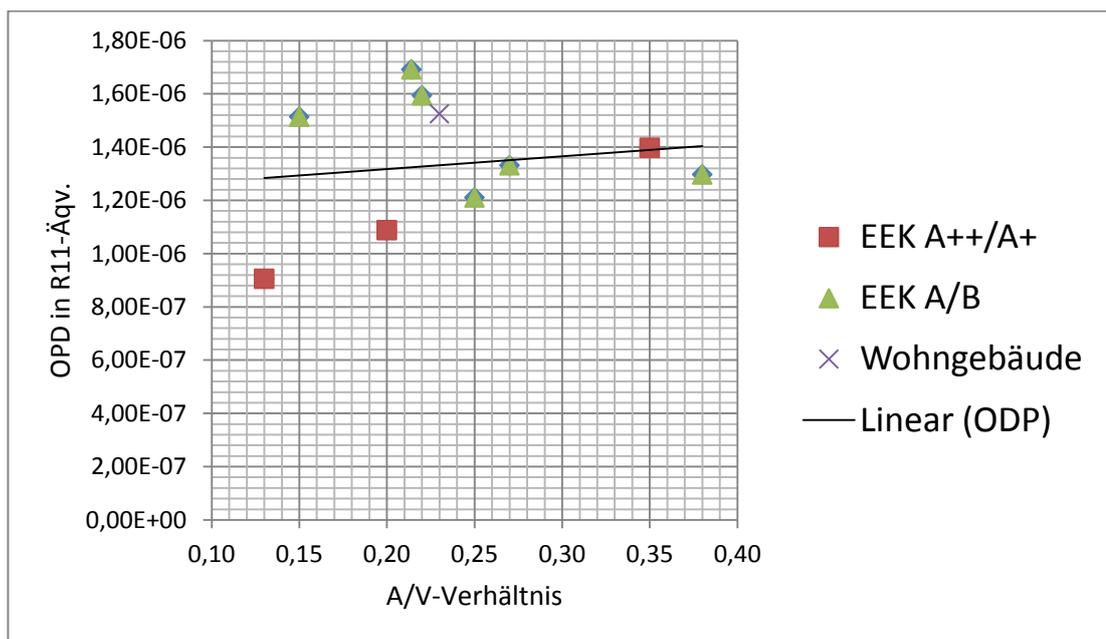


Abbildung 35: Ozonabbaupotential in Bezug zum A/V-Verhältnis

Quelle: Eigene Darstellung

Bezüglich Skaleneffekten fällt die Beantwortung der Arbeitsthese eindeutig aus. Über alle Indikatoren hinweg konnte dargestellt werden, dass ein Zusammenhang zwischen **Größe** (Netto-Grundfläche) sowie der **Kompaktheit** (A/V-Verhältnis) der Gebäude besteht. Schlussfolgerung dieser Ergebnisse ist für den Autor bezogen auf eine mögliche Reduktion von Umweltauswirkungen dementsprechend das Präferieren von großflächigen, kompakten Gebäuden. Die Entwicklung von Immobilien mit diesen Spezifika begegnet auch Problemen, die in anderen Disziplinen als der ökolo-

gischen Bewertung von Einzelgebäuden angesiedelt sind. Die steigende Flächeninanspruchnahme und Zersiedelung durch Trends zum Einfamilienhaus im Grünen erhöht in Industrienationen wie Österreich den Druck auf die Raumplanung. Steigende Kosten aufgrund der Zurverfügungstellung von Infrastruktur (Strom- und Wasserversorgung, Verkehr, Abwasserentsorgung, etc.) ist ein Problem, dem viele Kommunen ausgeliefert sind.

7 Entwicklung von Benchmarks

Im folgenden Kapitel soll versucht werden anhand der 9 ausgewerteten Nicht-Wohngebäude Benchmarks zu entwickeln. Nr. 4 als Wohngebäude wird bei der Analyse nicht betrachtet.

7.1 Materialeinsatz

Tabelle 18 zeigt eine Aufstellung der Mengenverbräuche an Baumaterialien, die für die einzelnen Gebäude eingesetzt wurden. Verteilt auf die sieben erhobenen Kategorien liegen diese Verbräuche zwischen 764 und 3.429 kg pro m²a NGF. **Mineralische Baustoffe** bilden dabei mit rd. 92% deutlich das am häufigsten eingesetzte Material. Nur Metalle und Holzprodukte (aufgrund der Tatsache, dass diese bei Gebäude Nr. 3 mit 32% einen Hauptbestandteil bilden) werden noch in relevanten Mengen eingesetzt bzw. in der Sachbilanz dargestellt. Bei allen anderen Kategorien liegt der Mengen-mäßige Einsatz bei 0,1 - 0,7%.

Betrachtet man neben den Mengen die Umweltwirkungen der Baustoffgruppen (vgl.

Tabelle 19), wird deutlich, dass mineralische Baustoffe (bei 92% der Menge) und Metalle (bei 5% der Menge) über die fünf Indikatoren die höchsten Werte aufweisen. Das bedeutet, dass **Metalle** (und auch **Komponenten von Fenstern, Türen und Vorhängefassaden** mit nur rd. 1% Mengenanteil) bei einem bedeutend geringerem mengenmäßigen Einsatz relativ hohe Umweltwirkungspotentiale besitzen. Es muss allerdings erwähnt werden, dass in dieser Aufstellung lediglich die Konstruktionsphase untersucht wurde und somit die Recyclingpotentiale (die die Umweltauswirkungen reduzieren) nicht erfasst wurden.

Bezeichnung	Einheit	1*	2*	3	4 (NWO)	5*	6*	7*	8	9*	10*	Mittelwert ohne Nr.4
Mineralische Baustoffe	kg	3.266	1.855	400	2.296	1.600	1.713	1.307	899	2.382	1.163	1621
Dämmstoffe	kg	6	4	37	11	5	5	6	5	4	2	8
Holzprodukte	kg	7	21	246	5	1	24	1	0	13	16	37
Metalle	kg	140	66	58	99	134	126	47	26	20	106	80
Anstriche und Dichtmassen	kg	0	0	6	0	2	0	0	1	0	1	1
Bauprodukte aus Kunststoffen	kg	5	5	1	3	2	3	1	3	2	3	3
Komponenten von Fenstern, Türen, Vorhangfassaden	kg	5	31	15	4	12	14	6	5	5	18	12
Summe	kg	3.429	1.982	764	2.419	1.755	1.885	1.368	940	2.425	1.309	1762
<i>Produktivität</i>		21	15	4	5	20	32	12	3	13	26	16
Mineralische Baustoffe		95,2%	93,6%	52,3%	94,9%	91,2%	90,9%	95,6%	95,7%	98,2%	88,9%	92,0%
Dämmstoffe		0,2%	0,2%	4,9%	0,5%	0,3%	0,2%	0,4%	0,5%	0,2%	0,1%	0,5%
Holzprodukte		0,2%	1,0%	32,2%	0,2%	0,0%	1,3%	0,1%	0,0%	0,5%	1,3%	2,1%
Metalle		4,1%	3,3%	7,6%	4,1%	7,6%	6,7%	3,4%	2,8%	0,8%	8,1%	4,6%
Anstriche und Dichtmassen		0,0%	0,0%	0,8%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,1%
Bauprodukte aus Kunststoffen		0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,4%	0,1%	0,2%	0,2%
Fenstern, Türen, Vorhangfass.		0,2%	1,6%	2,0%	0,2%	0,7%	0,7%	0,4%	0,6%	0,2%	1,3%	0,7%
Energieverbrauch in kWh pro m ² NGF												
Strombedarf	kWh	62,50	49,36	94,85	24,97	80,22	48,77	40,49	83,37	49,40	50,94	62,21
Wärmebedarf	kWh	12,00	14,72	19,84	27,81	20,10	20,47	22,59	24,72	30,40	30,01	21,65
Summe	kWh	74,50	64,08	114,68	52,78	100,32	69,24	63,08	108,09	79,79	80,94	83,86
Strombedarf in %		84%	77%	83%	47%	80%	70%	64%	77%	62%	63%	73%
Wärmebedarf in %		16%	23%	17%	53%	20%	30%	36%	23%	38%	37%	27%

Tabelle 18: Aufstellung des Material- und Energieinputs über die (nach HWB geordneten) Gebäude pro m²a NGF

Quelle: Eigene Darstellung

	% Masse in Gebäude	PE ne MJ	PE e MJ	GWP 100 kg CO2-Äqv.	AP kg SO2-Äqv.	POCP kg Ethen-Äqv.	EP kg Phosphat-Äqv.	ODP kg R11-Äqv.
Mineralische Baustoffe	92,0%	29%	7%	53%	51%	36%	45%	58%
Dämmstoffe	0,5%	4%	4%	2%	6%	4%	3%	8%
Holzprodukte	2,1%	4%	46%	-4%	1%	5%	5%	0%
Metalle	4,6%	46%	30%	38%	29%	41%	27%	21%
Anstriche und Dichtmassen	0,1%	1%	0%	0%	1%	3%	0%	1%
Bauprodukte aus Kunststoffen	0,2%	4%	1%	2%	4%	3%	3%	7%
Komponenten von Fenstern, Türen, Vorhangfassaden	0,7%	12%	11%	10%	7%	10%	16%	5%

Tabelle 19: Durchschnittliche Umweltverbräuche nach Materialkomponenten

Quelle: Eigene Darstellung

7.2 Energieeinsatz

Bei den Energieverbräuchen zeigen sich pro m² NGF Schwankungen von 40-95 kWh (Strombedarf), 12-30 kWh (Wärmebedarf) und 63-115 kWh (Endenergiebedarf) (vgl. Tabelle 18). Damit liegen der zwei- bis dreifache Energieverbrauch zwischen dem technisch machbaren Minimum und dem Maximum. Unterstützt durch die Tatsache, dass rd. 73% der verbrauchten Energie dem Stromverbrauch zuzurechnen ist, ist die **Optimierung des Stromverbrauchs** (bei gleichzeitiger Beibehaltung bzw. Weiterentwicklung der hohen Standards den Wärmebedarf betreffend) der für die Wirkungsabschätzung von Bürogebäuden bestimmende Faktor.

Neben Einsparungsmöglichkeiten beim Strombedarf stellt die Erzeugung von Strom aus erneubaren Energiequellen wie z.B. Wind- und Wasserkraft erhebliche Reduktionsmöglichkeiten der Wirkungspotentiale dar (vgl. Tabelle 20). Durch eine Forcierung von elektrischer Energie aus regenerativen Energieträgern ließen sich die Gesamtergebnisse der Wirkungsabschätzung von Gebäuden um bis zu 70% reduzieren.

		GWP 100 kg CO ₂ - Äqv.	AP kg SO ₂ - Äqv.	POCP kg Ethen- Äqv.	EP kg Phosphat- Äqv.	ODP kg R11- Äqv.
9.2.5 Strom aus Wasserkraft	1 MJ	0,007	2,43E-06	2,19E-07	4,49E-07	2,38E-11
9.2.5 Strom aus Windkraft	1 MJ	0,002	7,82E-06	1,18E-06	7,14E-07	0,00E+00
9.2.5 Strom Mix AT	1 MJ	0,086	1,37E-04	1,17E-05	1,17E-05	4,04E-10
Einsparung Wasserkraft		-91%	-98%	-98%	-96%	-94%
Einsparung Windkraft		-98%	-94%	-90%	-94%	-100%

Tabelle 20: Einsparungspotentiale von Wind- und Wasserkraft

Quelle: Eigene Darstellung nach Ökobau.dat

Zum Anderen würde sich die Dominanz der Nutzungsphase dahingehend relativieren, dass der Analyse der Baukonstruktion und vor allem der Erneuerungs- und Entsorgungsprozesse, die beim gegenwärtigen Strommix auf Grund ihrer prozentuellen Anteile an den Umweltwirkungen nahezu vernachlässigbare Größenordnungen einnehmen, einer größeren Bedeutung zukommen.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Kapitel werden noch einmal die wichtigsten Erkenntnisse der Arbeit zusammengefasst. Dabei wird zum einen die in dieser Arbeit angewandte Methodik der Ökobilanzierung von Gebäuden und zum anderen die Ergebnisse kritisch reflektiert. Die Ergebnisse der Arbeit gilt es in weiterer Folge auf Praxisrelevanz und Nutzen für die Immobilienwirtschaft zu untersuchen.

8.1 Reflexion der Methode

Die Ökobilanzierung wurde als eine Methode zur Erfassung der **Umweltwirkungen** entwickelt. Diesbezüglich wird der Anspruch gestellt, den Einfluss des menschlichen Schaffens auf das komplexe System des Planeten mittels Wirkungspotentialen darzustellen, was wiederum eine Komplexität der Methode bedingt. Aufgrund der Messung unterschiedlichster Indikatoren kommt es des Öfteren vor, dass allgemeine gültige Maßnahmen und Empfehlungen schwer zu treffen sind. Dies soll anhand eines Beispiels erklärt werden. Wenn Alternative 1 in drei von fünf Wirkungsindikatoren bessere Werte aufweist, bedeutet das im Umkehrschluss, dass sie in zwei von fünf Fällen schlechtere Ergebnisse liefert.

Die Einschätzung, welche Alternative die umweltverträglichere ist, lässt sich somit nicht beantworten, da Gewichtungsmethoden dieser vergleichsweisen jungen Methodik bis dato noch nicht als ausgereift angesehen werden können (vgl. Kapitel 4.6). Dem kann mit der Systematik der Normierung begegnet werden (ISO 14044 2006), in welcher die Ergebnisse von Mikro- auf Makroebene aggregiert werden können (und umgekehrt). Dies bedingt aber vereinheitlichte Indikatoren und Berechnungsweisen. (Giljum et al. 2011, S.304)

Um bei der Ökobilanzierung von Gebäuden valide Ergebnisse darstellen und Maßnahmen ableiten zu können, ist die Kenntnis über die bauphysikalische Qualität der Gebäude von Relevanz. Diese sollte v.a. in Hinsicht auf die Baukonstruktion bekannt und vergleichbar sein, denn die **funktionelle Äquivalenz** (Treberspurg 2006, S. 210) ist bei bloßer Betrachtung der Sachbilanz nicht sicherzustellen. Leistungsmerkmale von Baustoffen (z.B. Wärmedurchgangskoeffizient) und der Aufbau verschiedener Bauteile, wie sie z.B. im Energieausweis vorhanden sind, gehen aus den dieser Arbeit zugrunde liegenden Rohdaten nicht hervor.

Die Zielerreichung einer LCA (gemäß ISO 14040 2006), also Möglichkeiten zur Verbesserung (Verringerung) der Umweltauswirkungen von Produkten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg aufzuzeigen, Information für Entscheidungsträger be-

reitzustellen bzw. die Vermarktung einheitlicher Ergebnisse und Deklarationen voranzutreiben kann damit im Zuge dieser Arbeit nur bedingt Folge geleistet werden.

Auch wenn diese bauphysikalischen Qualitäten bekannt wären, wäre die gleichzeitige Betrachtung von monetären Bezugswerten, wie das DGNB System es z.B. vorsieht, von großer Bedeutung. Bei der Immobilienentwicklung stellen diese eine erhebliche Motivationstriebfeder für die verantwortlichen Personen dar. Die im Zuge einer LCA erhobenen Wirkungsindikatoren lassen derzeit nämlich keine Aussage bezüglich deren Einfluss auf den Wert einer Immobilie zu. Diese Verknüpfung zwischen der Qualität (also niedrigen Umweltwirkungen im Sinne der Ökobilanzierung) und dem Wert eines Gebäudes könnte am ehesten mittels hedonischen Preisbildungsmodellen (Bammer 2012) bzw. mittels **Lebenszykluskosten** (LCC) dargestellt werden.

Diese stellen die anfallenden Kosten eines Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus dar, eine Darstellung, der derzeit in der Immobilienbranche noch relativ wenig Beachtung zukommt, da generell die **Minimierung der Herstellungskosten** und nicht die Folgekosten im Fokus stehen. Da die Kundenorientierung und das Facility Management für Immobilienentwickler zunehmend an Bedeutung gewinnt, könnten den Kundinnen und Kunden mit Hilfe von LCC die qualitativen Vorteile (i.d.R. niedrigere Betriebs- und Energiekosten) eines Bauprojekts kommuniziert werden. Würde man z.B. neben den positiven ökologischen Auswirkungen der Verbesserung der Energieeffizienz auch die Vorteile mittels Lebenszykluskostenanalyse aus wirtschaftlicher Sicht darstellen, hätte das auf die Entscheidungsträger mit Sicherheit einen stärkeren Effekt.

Des Weiteren hat das Beispiel der Tiefgaragen gezeigt, dass die bei der Ökobilanzierung von Gebäuden angewandte **funktionelle Einheit** der Netto-Grundfläche (NGF) methodische Schwächen aufweist bzw. die spezifischen Ergebnisse verzerren kann. Tiefgaragen beeinflussen die Ergebnisse der Ökobilanzen, indem sie die NGF erweitern, jedoch im Energieausweis unbeachtet bleiben, bei welchem keine Bedarfswerte berechnet werden. Die funktionelle Einheit ist somit in der aktuellen Form zu hinterfragen. Aus Sicht des Autors sollte in Nutzflächen (NF), (Technische) Funktionsflächen (TF) und Verkehrsflächen (VF) differenziert werden.

Diese Angaben zu NF, TF und VF (siehe DIN 277) sollen gemacht werden, damit Allokationen der Energieverbräuche durchgeführt werden könnten. Dies würde die Komplexität der Methode aber zusätzlich erhöhen, weswegen eine Integration der Bedarfswerte der Tiefgarage in den Energieausweis wohl zweckdienlicher wäre. Dem Vorschlag des Bundesamtes für Energie (1998, S.7) Gebäude ohne Tiefgarage um eine äquivalente Garage zu erweitern steht sowohl der Autor als auch Bauex-

perten skeptisch gegenüber, da eine Ökobilanz eine Erfassung der tatsächlich anfallenden und vorhandenen Energie- und Stoffströme darstellen soll.

Jedenfalls zeigen die Ergebnisse aus Kapitel 7.1, dass gewisse **Baustoffgruppen** bei niedrigen Mengen hohe potentielle Umweltwirkungen generieren können (Metalle, Komponenten von Fenstern, Türen, Vorhangfassaden). Diese sind damit bei der Erstellung von Ökobilanzen genauer zu erheben. Bei unpräzisen qualitativen wie quantitativen Angaben zu diesen Materialkomponenten ist bei der Ökobilanzierung von Gebäuden danach zu trachten, den inkludierten **Sicherheitsfaktor** auf die Wirkungspotentiale (derzeit rd. 10%) gegebenenfalls zu erhöhen, um die potentiellen Umweltwirkungen genauer darzustellen und die Ergebnisse verschiedener LCAs vergleichbarer zu gestalten.

8.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Maximalwerte bei den Umweltwirkungen verteilen sich deutlich auf zwei Gebäude (3 und 5*), was auf den hohen (elektrischen) **Energieverbrauch** dieser während der Nutzungsphase zurückzuführen ist. Es wurden ausschließlich Gebäude untersucht, die bereits einen hohen thermischen Effizienzgrad (HWB) besitzen (EEK A++ bis B). Damit liegen die Ergebnisse mit einem Faktor von maximal 2,4 auseinander. Das erschwert die Entwicklung von Maßnahmen, verdeutlicht aber auch den hohen Standard bei der Zertifizierung von Gebäuden. Daraus leitet sich im Umkehrschluss die Frage ab, ob (bezogen auf deren Energieeffizienzklasse) schlechte Gebäude nicht zertifizierbar sind oder ob deren Eigentümer von vornherein eine solche ablehnen.

Es zeigt sich bei der Analyse für den Autor aber auch, dass Normen nicht jedem Zweck dienlich sind. So stellt der **Heizwärmebedarf** (HWB), im Energieausweis von großer Bedeutung, für Nicht-Wohngebäude keine aussagekräftige Bezugsgröße dar. Bei Bürogebäuden beeinflussen die weiteren Energieflüsse den Energieverbrauch stärker als der HWB, was man v.a. aus den Ergebnissen (vgl. Kapitel 6.4) der Wirkungsabschätzung für Gebäude 3 und 5* ableiten kann. In diesem Sinne bedeutet der Fokus auf die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, welcher von der Europäischen Union (RL 2002/91/EG, siehe Kapitel 3.5) forciert wird, den zielführenderen Weg, den Energieverbrauch von Gebäuden abzubilden. Auch die neueste Überarbeitung der OiB Richtlinie 6 (2011) zielt mit der Integration des Gesamtenergieeffizienzfaktors (F_{GEE}) auf diese Darstellung ab.

Auch bei anderen Bezugseinheiten gibt es Bedarf zur Vereinfachung. So werden in unterschiedlichen Normen unterschiedliche Flächen verwendet. Der Energieausweis bezieht sich für die Ermittlung des HWB auf die konditionierte Brutto-Grundfläche,

die (in dieser Arbeit angewandte) Ö-Norm 18001 auf die gesamte BGF, das PHPP (Passivhaus-Projektierungs-Paket) auf die Energiebezugsfläche (EBF). Daraus resultiert, dass die Ergebnisse bezogen auf die **Energieeffizienzklassen** keine aussagekräftigen Ergebnisse liefern.

Die Betrachtung der **Skaleneffekte** macht über sämtliche Indikatoren deutlich, dass die Größe (im Sinne der m^2 NGF) von Gebäuden eine positive Auswirkung auf die spezifischen Umweltauswirkungen hat (d.h. diese sinken mit zunehmender Größe), ein steigendes Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis die Umweltwirkungen aber steigen lässt. Die Schlussfolgerung aus ökologischer Sicht ist somit großflächige, kompakte Gebäude zu errichten. Dies wird durch die in Kapitel 7.2 ermittelte Materialproduktivität unterstützt. Jedoch werden bei nachhaltigen Gebäuden neben ökologischen Kriterien auch soziale bzw. funktionale Eigenschaften von Gebäuden betrachtet. Den dementsprechenden NutzerInnenbedürfnissen ist somit ebenfalls Augenmerk zu schenken.

Abschließend gilt es zu festzuhalten, dass die Adaption und Veränderung vorhandener Bausubstanz und deren technische Anlagen, wenn überhaupt, in der Regel nur mit umfassenden Renovierungstätigkeiten möglich ist und somit hohen monetären Aufwendungen verbunden. Je später im Lebenszyklus eines Gebäudes Veränderungen an Substanz und Haustechnik vorgenommen werden, desto geringer fallen die positiven Auswirkungen bei exponentiell steigenden Kosten und Zeitaufwand aus. Eine nachträgliche Betrachtung von Ökobilanzergebnissen ist demnach bei komplexen Systemen wie Gebäude sie darstellen nur bedingt zielführend. Vielmehr sollte bereits bei den Planungsprozessen auf LCAs zurückgegriffen werden. Entsprechend den Ergebnissen dieser Arbeit müssen bei der Planung eines Gebäudes die Energieverbräuche während der **Nutzungsphase** im Fokus stehen. Hierbei hat Energieeffizienz und der Einsatz von erneuerbaren Energieträgern Priorität. Dies sollte mit Hilfe interdisziplinärer Planungsprozesse wie dem Integrated Energy Design (IED) (Österreichische Energieagentur 2009) ermöglicht werden.

Energie-Contracting bietet ebenfalls Möglichkeiten, die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase zu reduzieren. Es ist ein Modell, welches die Energieversorgung und vor allem Energiesparmaßnahmen regelt. Beim Einspar-Contracting dienen die Einsparungen zur Refinanzierung der Kosten der gesetzten Maßnahmen (ÖGUT 2011) und können somit finanzielle Anreize für Betreiber von Gebäuden darstellen niedrige Energieverbräuche sicherzustellen.

Neben der Optimierung eines Gebäudes im Energie-technischen Bereich sollten Baukonstruktion und Materialien gewählt werden, aus denen die geringsten Umweltauswirkungen resultieren. Dafür stellt die Ökobilanzierung eine adäquate Me-

thode dar. Der Lebenszyklusweite Betrachtungshorizont, die Vergleichbarkeit der Ergebnisse bezogen auf eine funktionelle Einheit und die Darstellung der Ergebnisse bezogen auf verschiedenste Indikatoren sind dabei von großer Hilfe.

Literaturverweise

Bammer (2012): Persönliches Interview, geführt vom Verfasser. Wien, 19. April 2012

BSI British Standards (2008): Guide to PAS 2050. How to assess the carbon footprint of goods and services. London: Selbstverlag.

Burger, E. (2010): Inhaltsanalytische Ermittlung relevanter Kriterien zur Berechnung des Carbon Footprint bei Lebensmitteln. Masterarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.

Dahlhaus, U.J., Meisel, U. (2009): Nachhaltiges Bauen 08/09. Bauelemente, Kostenwerte, ökologische Bewertung. Essen: Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen.

Deutsches Institut für Normung (2005): DIN 277. Grundflächen und Rauminhalte von Bauwerken im Hochbau. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.

Ebert, T., Eßig, N., Hauser, G. (2010): Zertifizierungssysteme für Gebäude. München: Detail Green Book.

Europäische Kommission (2005): Doing more with less. Green Paper on energy efficiency. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.

Fichtinger, G. (2009): Green Building Zertifikate. Master Thesis an der TU Wien.

Geissler, S. (2007): Immobilienbewertung als Instrument zur Forcierung der nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Ressourcen (Schwerpunkt Energie) im Hochbau. Dissertation an der Universität für Bodenkultur Wien.

Giljum, S., Burger, E., Hinterberger, F., Lutter, S., Bruckner, M. (2011): A comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level. In: *Resources, Conservation and Recycling* 55 (2011), S.300-308.

Graubner, C.A., Hüske, K. (2003): Nachhaltigkeit im Bauwesen. Grundlagen – Instrumente – Beispiele. Berlin: Ernst & Sohn Verlag.

Hauke, B. (2011): Daten und Normenschwungel der Ökobilanzierung. Wir brauchen mehr Licht. In: *Greenbuilding* 10/2011, S.18-19.

Hegger, M. (2009): Nachhaltiges Bauen: Neue Aufgaben für Architekten und Ingenieure – Architektur im Klimawandel. In: *Schetter, H.M., Hegger, M., Sedlbauer, K., Just, T., Lützendorf, T.: Brennpunkt CO2 Reduktion - Chancen für das Bauwesen.* Stuttgart: Stiftung Bauwesen.

ISO 14040 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Genf: International Standardization Organization.

- ISO 14044 (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and Guidelines. Genf: International Standardization Organization.
- ISO 14067 (2012): Carbon footprint of products. Genf: International Standardization Organization.
- König, H., Kohler, N., Kreißig, J., Lützkendorf, T. (2009): Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung. Grundlagen, Berechnungen, Planungswerkzeuge. München: Detail Green Book.
- Lebensart (o.J.): Nachhaltig bauen. St. Pölten: Lebensart VerlagsGmbH.
- Luthe, T. (2008): Energetische Bilanzierung von Holzbaustoffen für den Holzhausbau. Hamburg: Diplomatica Verlag GmbH.
- Luther, S., Polzin, C., Giljium, S., Palfy, T., Patz, T., Dittrich, M., Kernegger, L., Rodrigo, A. (2011): Wie gewonnen, so zerronnen. Vom steigenden Ressourcenverbrauch und der Auswirkung auf Wasser. Wien: Global 2000.
- Lützkendorf, T. (2009): Nachhaltiges Bauen – auf dem Weg zum Leitmarkt. In: *Schetter, H.M., Hegger, M., Sedlbauer, K., Just, T., Lützkendorf, T.: Brennpunkt CO2 Reduktion - Chancen für das Bauwesen*. Stuttgart: Stiftung Bauwesen.
- Meadows, D.L., Meadows, D.H., Zahn, E.. (1972): Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit. Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Meckmann, F. (2010): Nachhaltiges Bauen. Eine qualitative Übersicht und quantitative Analyse. Graz: Verlag der Technischen Universität Graz.
- Österreichisches Normungsinstitut (2011): ÖNORM B 1800. Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken. Wien: Österreichisches Normungsinstitut.
- Passivhaustrend (o.J.): Die Finanzierung. IG Passivhaus Ost.
- Peters, H. (2011): Nachhaltiges Bauen beginnt bei den Baustoffen. In: *Greenbuilding 10/2011*, S.14-17.
- RL 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates v. 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl 2002 L1 v. 4.1.2003
- Sedlbauer, K. (2009): Globale Trends und Chancen des Klimawandels. In: *Schetter, H.M., Hegger, M., Sedlbauer, K., Just, T., Lützkendorf, T.: Brennpunkt CO2 Reduktion - Chancen für das Bauwesen*. Stuttgart: Stiftung Bauwesen.
- Treberspurg, M. (1999): Neues Bauen mit der Sonne. Ansätze zu einer klimagerechten Architektur. Wien: Springer-Verlag.
- Treberspurg, M. (2006): Ressourcenorientiertes Bauen. 2. Aufl. Lehr- und Lernunterlagen der Universität für Bodenkultur Wien.

Vereinte Nationen (1987): Sonderkommission „World Commission on Environment and Development“ der Vereinten Nationen unter Vorsitz der Norwegerin Gro Harlem Brundtland: „Our Common Future“. Oxford: University Press.

VMÖ – Verband der Marktforscher Österreichs (2007): Handbuch der Marktforschung. Wien: facultas.wuv Universitätsverlag.

VO 2911/305/EU des Europäischen Parlaments und des Rates v. 09.03.2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates, ABl 2011 L88 v. 4.4.2011

World Wide Web:

Austrian Energy Agency (2011): Energie in Zahlen.

<http://www.energyagency.at/energie-in-zahlen.html> (29.09.2011)

BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (2011): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. <http://www.nachhaltigesbauen.de/leitfaeden-und-arbeitshilfen/leitfaden-nachhaltiges-bauen.html> (25.11.2011)

Beschaffungswelt.de (2011): Infobase. Rohstoffpreise.

<http://www.beschaffungswelt.de/rohstoffpreise> (24.11.2011)

BRE Global (2010): BREEAM Schemes. <http://www.breeam.org/podpage.jsp?id=369> (27.10.2011)

BRE Global (2011): BREEAAM New Construction. Technical Manual SD5073 – 2.0 <http://www.breeam.org/page.jsp?id=301> (27.12.2011)

BMVBS (2011): Leifaden Nachhaltiges Bauen.

http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/Leitfaden_2011/LFNB2011.pdf (09.11.2011)

Bundesamt für Energie (1998): Funktionale Einheit und Systemgrenzen bei Ökobilanzen im Bauwesen. <http://www.bfe.admin.ch/> (27.03.2012)

DGNB (2011): Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen.

<http://www.dgnb.de/de/> (25.10.2011)

DiePresse.com (2010): Energiepreise ziehen stark an.

http://diepresse.com/home/wirtschaft/economist/606736/Oesterreich_Energiepreise-ziehen-stark-an (29.09.2011)

e-control (2010): Stromkennzeichnungsbericht 2010. <http://www.e-control.at/de/publikationen/aktuelle-meldungen/stromkennzeichnungsbericht-2010> (28.10.2011)

Eichholtz, P., Kok, N., Quingley, J. (2009): Doing Well by Doing Good? An analysis of the financial performance of green office buildings in the USA.

http://www.rics.org/site/download_feed.aspx?fileID=5763&fileExtension=PDF
(10.11.2011)

energiesparhaus.at (2012): Niedrigstenergiehaus.
<http://www.energiesparhaus.at/fachbegriffe/niedrigstenergiehaus.htm>
(24.06.2012)

Energie Tirol (o.J.): Energieausweis. Energiebilanz ziehen. <http://www.energie-tirol.at/index.php?id=1492> (05.11.2011)

Europäische Kommission (o.J.): Greenbuilding. Improved Energy Efficiency for Non-Residential Buildings. <http://www.eu-greenbuilding.org/> (15.01.2012)

Europäische Kommission (2010): Life Cycle Thinking and Assessment. <http://lct.jrc.ec.europa.eu/assessment> (04.10.2011)

Europäische Kommission (2011): Europa-2020-Ziele. http://ec.europa.eu/europe2020/targets/eu-targets/index_de.htm (28.09.2011)

Europäische Kommission (2012): Soil. Overview of best practices for limiting soil sealing or mitigating its effects in EU-27. <http://ec.europa.eu/environment/soil/sealing.htm> (27.02.2012)

GaBi (o.J.): Databases. <http://www.gabi-software.com/ce-eu-german/databases/>
(05.11.2011)

Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMVBS (o.J.): Ökobau.dat. <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten/oekobaudat.html>
(05.11.2011)

ISO (2011): The ISO history. http://www.iso.org/iso/about/the_iso_story.htm
(04.10.2011)

Institut Bauen und Umwelt e.V. (2006): Allgemeiner Leitfaden für die Formulierung der Anforderungen an die Produktkategorien der Umweltdeklaration (Typ III) für Bauprodukte. http://bau-umwelt.de/download/CY22ca6fa5X1269771fda0XYca7/Allgemeiner_Leitfaden.pdf
(03.11.2011)

IWU Darmstadt (2007): Primärenergiekennwerte bei unterschiedlichen energetischen Ausführungen. http://www.ibl.uni-stuttgart.de/wiki/index.php/Prim%C3%A4renergiekennwerte_von_B%C3%BCrogeb%C3%A4uden (22.10.2011)

Lebensministerium (2008): Die Österreichische Klimastrategie. <http://www.klimastrategie.at/> (27.09.2011)

Manner, M. (2009): Wettkampf der Gütesiegel. In: Wirtschaftsblatt, 15.04.2009. <http://www.wirtschaftsblatt.at/home/schwerpunkt/immobilien/393795/index.do> (25.10.2011)

OECD (o.J.): Glossary fo Statistical Terms: Sustainability. <http://stats.oecd.org/glossary/index.htm> (27.10.2011)

ÖGUT (2011): Energie-Contracting. <http://www.contracting-portal.at/show.php?nid=0> (17.04.2012)

Österreichische Energieagentur (2009): Integrierte Planung. Integrated Energy Design. <http://www.klimaaktiv.at/filemanager/download/54771> (29.03.2012)

Österreichisches Institut für Bautechnik (2011): OIB Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. http://www.oib.or.at/RL6_061011.pdf (03.11.2011)

Passivhaus Institut (o.J.): Was ist ein Passivhaus. http://www.passiv.de/index.html?/01_dph/St-dph/WasPH/WasPH_F.htm (03.11.2011)

PE International (o.J.): Methodische Grundlagen. Ökobilanzbasierte Umweltindikatoren im Bauwesen. http://www.nachhaltigesbauen.de/fileadmin/pdf/baustoff_gebauededaten/Methodische-Grundlagen_12-2007.pdf (05.11.2011)

PE International (2012): Österreichischer Strommix 2008. http://gabi-dataset-documentation.gabi-software.com/xml_data/processes/f8a2668d-9b8c-4759-b736-1b848a211902_05.00.000.xml (31.03.2012)

Stahlbroker (2010): Rohstoffpreise: Preisentwicklung bei Kohle und Eisenerz im Fokus. <http://stahlbroker.de/2010/05/rohstoffpreise-preisentwicklung-bei-kohle-und-eisenerz-im-fokus/> (24.11.2011)

Umweltbundesamt (2011): Nachhaltige Produktion. <http://www.umweltbundesamt.de/nachhaltige-produktion-anlagensicherheit/nachhaltige-produktion/oekobilanz.htm> (22.10.2011)

UNFCCC (2011): Global Warming Potentials. http://unfccc.int/ghg_data/items/3825.php (12.10.2011)

USGBC (2011a): An Introduction to LEED. <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CategoryID=19> (28.10.2011)

USGBC (2011b): LEED 2009 for New Constructions and Major Renovations. Rating System. <http://www.usgbc.org/DisplayPage.aspx?CMSPageID=220> (28.10.2011)

Vorholz, F., Blume, G. (2004): Gier nach Erz und Öl. In: Die Zeit 22 vom 19.05.2004. <http://www.zeit.de/2004/22/Rohstoffe/seite-1> (24.11.2011)

WBSCD, WRI (2009): Greenhouse Gas Protocol Initiative „Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard; <http://www.ghgprotocol.org> (27.12.2011)

WKO (2011): Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) beschließt neue Fassung. http://portal.wko.at/wk/format_detail.wk?angid=1&stid=642448&dstid=681&titel=OIB-Richtlinien%2C2011%2Cver%C3%B6ffentlicht (24.11.2011)

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: ASPEKTE DES GLOBALEN WANDELS	17
TABELLE 2: INSTRUMENTE FÜR DIE NACHHALTIGKEITSANALYSE.....	20
TABELLE 3: BEWERTUNG NACH DGNB.....	25
TABELLE 4: LEED THEMENFELDER.....	26
TABELLE 5: BREEAM THEMENFELDER UND GEWICHTUNG	28
TABELLE 6: VERGLEICH DER ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME BASIEREND AUF ASPEKTEN UND KRITERIEN	30
TABELLE 7: VERGLEICH DER ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME BASIEREND AUF ASPEKTEN UND DEREN GEWICHTUNG.....	31
TABELLE 8: ÖKOBILANZIERUNG IM RAHMEN DER DREI SYSTEME LEED, BREEAM, DGNB	31
TABELLE 9: KLASSENGRENZEN UNTERSCHIEDLICHER ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN VON WOHN UND NICHT-WOHN- GEBÄUDEN NACH OIB-RICHTLINIE 6	33
TABELLE 10: FUNKTIONELLE EINHEITEN VON BAUKONSTRUKTIONEN	51
TABELLE 11: BESCHREIBUNG VON BAUPROZESSEN.....	54
TABELLE 12: PROZESSE VERSCHIEDENER LEBENSZYKLUSPHASEN	54
TABELLE 13: ÜBERSICHT ÜBER DIE UNTERSUCHTEN GEBÄUDE NACH HWB ZU BGF _{GESAMT}	62
TABELLE 14: ENERGIEBEDARFSKATEGORIEN NACH STROM UND WÄRME.....	63
TABELLE 15: ERGEBNISSE DER ÖKOBILANZEN NACH 1M ² A NGF	66
TABELLE 16: PROZENTUALE VERTEILUNG DER WIRKUNGSABSCHÄTZUNG NACH LEBENSZYKLUSPHASEN	69
TABELLE 17: ERGEBNISSE (PRO M ² NGF) GEORDNET NACH ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN.....	71
TABELLE 18: AUFSTELLUNG DES MATERIAL- UND ENERGIEINPUTS ÜBER DIE (NACH HWB GEORDNETEN) GEBÄUDE PRO M ² A NGF.....	83
TABELLE 19: DURCHSCHNITTLICHE UMWELTVERBRÄUCHE NACH MATERIALKOMPONENTEN.....	84
TABELLE 20: EINSPARUNGSPOTENTIALE VON WIND- UND WASSERKRAFT.....	85

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: ENDENERGIEVERBRAUCH IN DEN EU27 NACH SEKTOREN.....	9
ABBILDUNG 2: DIMENSIONEN NACHHALTIGER ENTWICKLUNG.....	15
ABBILDUNG 3: NUTZENERGIEVERBRAUCH GEGLIEDERT NACH SEKTOREN IN TJ VON 1970 BIS 2009	17
ABBILDUNG 4: SCHUTZGÜTER UND –ZIELE DER ALLGEMEINEN NACHHALTIGKEIT UND AUF DAS BAUWESEN BEZOGEN	19
ABBILDUNG 5: STRUKTUR DER NORMEN ISO/TC 59/SC 17 UND CEN/TC 350.....	22
ABBILDUNG 6: LEED ZERTIFIZIERUNGSSYSTEME.....	26
ABBILDUNG 7: VERGLEICH DER GLIEDERUNG DER DREI SYSTEME LEED, BREEAM, DGNB.....	29
ABBILDUNG 8: VERGLEICH VON ENERGIEKENNWERTEN UNTERSCHIEDLICHER BAUWEISEN.....	33
ABBILDUNG 9: FÖRDERDARLEHEN ABSTUFUNG NACH ENERGIEEFFIZIENZKRITERIEN OHNE BASISFÖRDERUNG FÜR EIGENHEIME IN ÖSTERREICH	35
ABBILDUNG 10: PRIMÄRENERGIEKENNWERTE VON BÜROGEBÄUDEN BEI UNTERSCHIEDLICHEN BAUWEISEN	36
ABBILDUNG 11: AUFBAU EINER ÖKOBILANZ.....	37
ABBILDUNG 12: INPUTS UND OUTPUTS EINES PRODUKTLEBENSZYKLUS.....	40
ABBILDUNG 13: PHASEN EINER ÖKOBILANZ	41
ABBILDUNG 14: SCHEMATISCHE ABBILDUNG EINES PRODUKTIONSSYSTEMS.....	43
ABBILDUNG 15: EINFLUSSFAKTOREN AUF BAUPRODUKTE.....	52
ABBILDUNG 16: PHASEN DES LEBENSZYKLUS EINES GEBÄUDES.....	53
ABBILDUNG 17: ÖSTERREICHISCHER STROMMIX 2008.....	57
ABBILDUNG 18: ERGEBNISSE GEORDNET NACH GWP 100.....	67
ABBILDUNG 19: PROZENTUALE VERTEILUNG DER WIRKUNGSABSCHÄTZUNG NACH LEBENSZYKLUSPHASEN.....	68
ABBILDUNG 20: GLOBAL WARMING POTENTIAL 100 NACH ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN.....	72
ABBILDUNG 21: GLOBAL WARMING POTENTIAL 100 NACH ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN.....	72
ABBILDUNG 22: VERTEILUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN UMWELTWIRKUNGEN NACH ENERGIEEFFIZIENZKLASSEN ÜBER DIE UNTERSUCHTEN INDIKATOREN GEMITTELT	73
ABBILDUNG 23: VERTEILUNG DER DURCHSCHNITTLICHEN UMWELTWIRKUNGEN NACH ENDENERGIEBEDARF ÜBER DIE UNTERSUCHTEN INDIKATOREN GEMITTELT	74
ABBILDUNG 24: PRIMÄRENERGIEINPUT GESAMT IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE	75
ABBILDUNG 25: GLOBAL WARMING POTENTIAL IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE	75
ABBILDUNG 26: OZONABBAUPOTENTIAL IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE	76
ABBILDUNG 27: VERSAUERUNGSPOTENTIAL IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE.....	76
ABBILDUNG 28: SOMMERSMOGPOTENTIAL IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE.....	77
ABBILDUNG 29: EUTROPHIERUNGSPOTENTIAL IN BEZUG ZU NETTO-GRUNDFLÄCHE.....	77
ABBILDUNG 30: PRIMÄRENERGIEINPUT GESAMT IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS.....	78
ABBILDUNG 31: TREIBHAUSGASPOTENTIAL IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS	78
ABBILDUNG 32: VERSAUERUNGSPOTENTIAL IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS.....	79
ABBILDUNG 33: SOMMERSMOGPOTENTIAL IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS.....	79

ABBILDUNG 34: EUTROPHIERUNGSPOTENTIAL IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS 80

ABBILDUNG 35: OZONABBAUPOTENTIAL IN BEZUG ZUM A/V-VERHÄLTNIS 80

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A/V	Oberfläche-zu-Volumen(-Verhältnis)
AP	Acidification Potential
BeLEB	Beleuchtungsenergiebedarf
BGF	Brutto-Grundfläche
BMVBS	dt. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BREEAM	Building Research Establishment's Environmental Assessment Method
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CEN	Europäisches Komitee für Normung
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
CO ₂	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
EEB	Endenergiebedarf
EOL	End-of-Life
EP	Eutrication Potential
et. al	et alia
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
ggf.	gegebenenfalls
GJ	Giga-Joule
GWP	Global Warming Potential
HTEB	Haustechnikenergiebedarf
HWB	Heizwärmebedarf
i.d.R.	in der Regel
IKI	Institut für Konstruktiven Ingenieurbau
ISO	Internationale Organisation für Normung
KB	Kühlbedarf
kg	Kilogramm
KTEB	Kühltechnikenergiebedarf
kWh	Kilowattstunde
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
LCI	Life Cycle Inventory
LCIA	Life Cycle Impact Assessment
LEED	Leadership in Energy & Environmental Design
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
NBV	Neubau Büro und Verwaltung

NBW	Neubau Wohngebäude
NF	Nutzfläche
NGF	Netto-Grundfläche
ODP	Ozone Depletion Potential
ÖGNI	Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft
OiB	Österreichisches Institut für Bautechnik
o.J.	Ohne Erscheinungsjahr
PE	Primärenergie(input)
PE _e	Primärenergie(input) aus erneuerbaren Ressourcen
PE _{ne}	Primärenergie(input) aus nicht erneuerbaren Ressourcen
POCP	Photochemical Ozone Creation Potential
RL	Richtlinie
RltEB	Raumlufttechnik-Energiebedarf
t	Tonne
TC	Technical Committee
TJ	Terajoule
UTCE	Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
VOC	Volatile Air Compounds
EPD	Environmental Product Declaration
WWWB	Warmwasserbedarf
z.B.	zum Beispiel

Anhang

Anhang 1: Treibhausgaspotentiale

Species	Chemical formula	Lifetime (years)	Global Warming Potential (Time Horizon)		
			20 years	100 years	500 years
CO ₂	CO ₂	variable	1	1	1
Methane *	CH ₄	12±3	56	21	6.5
Nitrous oxide	N ₂ O	120	280	310	170
HFC-23	CHF ₃	264	9100	11700	9800
HFC-32	CH ₂ F ₂	5.6	2100	650	200
HFC-41	CH ₃ F	3.7	490	150	45
HFC-43-10mee	C ₅ H ₂ F ₁₀	17.1	3000	1300	400
HFC-125	C ₂ HF ₅	32.6	4600	2800	920
HFC-134	C ₂ H ₂ F ₄	10.6	2900	1000	310
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	14.6	3400	1300	420
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	1.5	460	140	42
HFC-143	C ₂ H ₃ F ₃	3.8	1000	300	94
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	48.3	5000	3800	1400
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	36.5	4300	2900	950
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	209	5100	6300	4700
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	6.6	1800	560	170
Sulphur hexafluoride	SF ₆	3200	16300	23900	34900
Perfluoromethane	CF ₄	50000	4400	6500	10000
Perfluoroethane	C ₂ F ₆	10000	6200	9200	14000
Perfluoropropane	C ₃ F ₈	2600	4800	7000	10100
Perfluorobutane	C ₄ F ₁₀	2600	4800	7000	10100
Perfluorocyclobutane	c-C ₄ F ₈	3200	6000	8700	12700
Perfluoropentane	C ₅ F ₁₂	4100	5100	7500	11000

Perfluorohexane	C6F14	3200	5000	7400	10700
-----------------	-------	------	------	------	-------

Quelle: Climate Change 1995, The Science of Climate Change: Summary for Policymakers and Technical Summary of the Working Group I Report, page 22

Anhang 2: Beispiel eines Ökobilanzdatensatzes eines Betonfertigteils

Datensatz: 1.3.05 Betonfertigteil Decke, 20cm; 504 kg/m ² (de)	
Inhalt: Datensatzinformation - Modellierung und Validierung - Umweltindikatoren	
Datensatzinformation	
Kerninformation des Datensatzes	
Geographische Repräsentativität	DE
Referenzjahr	2001
Name	Basisname; Technische Kennwerte/ Eigenschaften 1.3.05 Betonfertigteil Decke, 20cm; 504 kg/m ²
Technisches Anwendungsgebiet	Stahlbetonfertigteil, Decke, 20 cm
Fluss	Betonfertigteil Decke, 20cm
Kerninformation des Datensatzes	1 qm (Fläche)
Anwendungshinweis für Datensatz	Bewehrungsanteil 120 kg/m ³ , höhere Bewehrungsanteile sind entsprechend mit Hilfe des Datensatzes "4.1.2 Bewehrungsstahl" zu ergänzen. Das vorliegende Umweltprofil beinhaltet die Aufwendungen für die Lebenszyklus-Stadien "Cradle to Gate". Es basiert hauptsächlich auf Literaturrecherchen und direkten Datenerhebungen der Industrie. Der Datensatz ist bereits mit einem Sicherheitszuschlag von 10% auf die Ergebnisse versehen, da kein unabhängiges Review vorliegt.
Gliederung Produktgruppe ()	Prozesse / 1 Mineralische Baustoffe / 1.3 Steine und Bauelemente / 1.3.05 Betonfertigteile und Betonwaren
Urheberrecht? Ja	Eigner des PE INTERNATIONALE Datensatzes NAL
Quantitative Referenz	
Referenzfluss (Name und Einheit)	Betonfertigteil Decke, 20cm - qm (Fläche)
Zeitliche Repräsentativität	
Zeitliche Gültigkeit des Datensatzes	2010
Erläuterungen zur zeitlichen Repräsentativität	Jährlicher Durchschnitt

tativität	
Technische Repräsentativität	
Technische Beschreibung inklusive der Hintergrundsysteme	Die Lebenszyklusanalyse von Stahlbeton-Fertigteildecken berücksichtigt die Herstellung von Beton (C30/37) und Bewehrungstahl. Es wird von einer mittleren Betondichte von 2,4 t/m ³ ausgegangen und einem Bewehrungsanteil von 120 kg/m ³ . Die Systemgrenze bildet das fertige Produkt am Werkstor. Transporte vom Werk zur Baustelle sind nicht berücksichtigt und müssen bei Systembetrachtungen eingerechnet werden.
Modellierung und Validierung	
Angewandte Methode und Allokation	
Art des Datensatzes	EPD
Datenquellen und Repräsentativität	
Datenquellen (source data set)	Beton Atlas - Entwerfen mit Stahlbeton im Hochbau, 2002
javascript:void(0);	GaBi4 Software und Datenbank 2006
javascript:void(0);	Statik-Information Betonfertigteile, 2008
Validierung	
Review	<i>Dependent internal review</i>
Reviewer (Name und Institution)	PE INTERNATIONAL
Administrative Information	
Dateneingabe	
Zeitpunkt der Dateneingabe	2009-09-08 11:53:48 +01:00
Kennung	
UUID des Datensatzes	46465171-0c54-40bc-804e-6aa2e957a460
Letzte Änderung	2009-09-08T11:53:48+01:00
Eigner des Datensatzes (contact data set)	PE INTERNATIONAL

Umweltindikatoren
Indikatoren der Sachbilanz

	Indikator	Richtung	Wert	Einheit	Anteile
Inputs					
	Primärenergie nicht regenerierbar	Input	597 MJ		
	- Braunkohle				19 %
	- Steinkohle				28 %
	- Erdgas				14 %
	- Erdöl				19 %
	- Uran				19 %
	Primärenergie regenerierbar	Input	29,3 MJ		
	- Wasserkraft				37 %
	- Windkraft				24 %
	- Sonnennutzung (Solarenergie)				38 %
	- Sonnennutzung (Biomasse)				0 %
	Sekundärbrennstoffe	Input	102 MJ		
	Wassernutzung	Input	210 kg		
Outputs					
	Abraum und Erzaufbereitungsrückstände	Output	289 kg		
	Hausmüll und Gewerbeabfälle	Output	0,93 kg		
	Sonderabfälle	Output	0,11 kg		
Indikatoren der Wirkbilanz					
	Indikator		Wert	Einheit	
	Abiotischer Ressourcenverbrauch (ADP)	Input	0,232 kg Sb-Äqv.		
	Treibhauspotential (GWP 100)	Output	89,3 kg CO2-Äqv.		
	Versauerungspotential (AP)	Output	0,177 kg SO2-Äqv.		
	Photochem. Oxidantienbildungspot. (POCP)	Output	0,0168 kg Ethen-Äqv.		
	Eutrophierungspotential (EP)	Output	0,024 kg Phosphat-Äqv.		
	Ozonabbaupotential (ODP)	Output	3,088E-6 kg R11-Äqv.		

Quelle: Ökobau.dat (2009)

Anhang 3: Nutzungsdauern nach Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB)

Mineralische Baustoffe	ND in Jahren	BNB Nr
Beton	50	331.111 333.211 341.111
Dämmstoffe		
Wärmedämmung Mineralwolle außen	40 außen	335.142 335.152 335.541
Wärmedämmung EPS außen	40 außen	335.142 335.152 335.541
Wärmedämmung Dach	50 Dach	363.531 364.211
Wärmedämmung EPS innen	40 innen	345.316
Bodendämmung	50 Decken	352.122
Foamglas (Schaumglas)	50	363.531
Holzwohle, Holzfaserdämmplatten	40	335.541
Holzprodukte		
Vollholzboden	50 Decken	352.811
Parkett (Mehrschicht)	40 innen	352.812
Holzbekleidung	< 50 außen	355.511
Spanplatte	40 außen	335.711
Metalle		
innen	50 innen	345.222
außen	50 außen	335.811
Verzinktes Stahl	40 außen	335.812
Decken	50 Decken	351.311

Deckungen: Aluminium, Verzinktes Stahl	40 Dach	363.517			
Deckungen: Aluminiumblech, Verzinktes Stahlblech	40 Dach	363.523			
Anstriche und Dichtmassen					
Dispersion inne	15 innen	345.111			
Dispersion außen	20 außen	335.211			
Bauprodukte aus Kunststoffen					
Bitumenbahnen	40 außen	335.121			
Bitumenbahnen	30 Dach	363.112	363.113		
PVC	40 innen	345.314			
PVC Dachbahnen	40 Dach	363.111			
Linoleum, PVC	20 Decke	352.711			
Textile Bodenbeläge	10 Decke	352.611			
Abdichtmassen (mittel)	30 Dach	363.211	363.212	363.213	363.214
Dachbahn EPDM (mittel)	30 Dach	363.211	363.212	363.213	363.214
Abdichtungen (erdberührend): Noppenbahnen (PE PP)	40 außen	335.142			
Kunststoff (PE PP)	40 innen	345.314			
Kunststofffolien	30 Dach	364.113			
Dampfbremse	30 Dach	364.113			
Komponenten von Fenstern, Türen und Vorhangfassaden					
Türen innen	50 innen	344.111			
Türen außen	außen	abhängig von Material			
Fenster und Rahmen außen	50 außen	334.211			
Fenster und Rahmen außen Kunststoff	40 außen	334.212			
1 Scheiben Glas außen	30 außen	334.316			

2 Scheiben Glas außen	30 außen	334.317
Fenster und Rahmen innen	50 innen	344.511
1 Scheiben Glas innen	50 innen	344.617
2 Scheiben Glas innen	40 innen	344.618
Glas (Dachdeckung)	30 Dach	363.518

Quelle: Eigene Darstellung

Anhang 4: Spezifische Ergebnisse

	PE Gesamt	PE ne	PE e	GWP 100	AP	POCP	EP	ODP
		MJ	MJ	kg CO2-Äqv.	kg SO2-Äqv.	kg Ethen-Äqv.	kg Phosphat-Äqv.	kg R11-Äqv.
Nr 5*								
Summe Konstruktion	84,04	79,49	4,55	7,43	0,020	2,34E-03	2,06E-03	3,49E-07
Summe Nutzung	699,16	337,71	361,45	30,08	0,046	4,05E-03	4,05E-03	9,63E-07
Summe Erneuerung	3,76	3,48	0,28	0,30	0,001	8,39E-05	1,94E-04	8,71E-09
Summe Abbruch / End of Life	0,07	-0,22	0,30	0,40	0,002	2,57E-04	2,52E-04	1,03E-08
Nr 5*	787,04	420,46	366,58	38,20	0,069	6,73E-03	6,56E-03	1,33E-06
Nr 4								
Summe Konstruktion	73,05	65,89	7,16	6,64	0,014	2,31E-03	1,75E-03	3,07E-07
Summe Nutzung	390,76	191,64	199,11	15,09	0,021	1,97E-03	1,98E-03	1,21E-06
Summe Erneuerung	11,03	6,91	4,12	0,66	0,002	7,25E-04	2,78E-04	1,48E-08
Summe Abbruch / End of Life	2,02	1,60	0,42	1,16	0,003	5,39E-04	4,78E-04	-4,53E-09
Nr 4	476,86	266,05	210,81	23,55	0,040	5,55E-03	4,49E-03	1,52E-06
Nr 3								
Summe Konstruktion	229,17	121,10	108,08	-2,07	0,028	3,57E-03	3,33E-03	4,90E-07
Summe Nutzung	794,91	383,43	411,48	34,52	0,053	4,65E-03	4,66E-03	9,73E-07
Summe Erneuerung	35,32	22,62	12,70	1,36	0,011	1,68E-03	1,18E-03	7,97E-08
Summe Abbruch / End of Life	-69,97	-69,15	-0,82	3,87	0,000	-3,08E-04	5,03E-04	-1,46E-07
Nr 3	989,44	458,00	531,44	37,68	0,093	9,59E-03	9,67E-03	1,40E-06

Nr 7*

Summe Konstruktion	48,11	43,48	4,63	4,44	0,012	1,24E-03	1,30E-03	2,13E-07
Summe Nutzung	452,88	220,42	232,45	18,49	0,027	2,46E-03	2,46E-03	1,01E-06
Summe Erneuerung	5,82	4,92	0,90	0,37	0,001	1,77E-04	1,89E-04	1,67E-08
Summe Abbruch / End of Life	-3,47	-2,25	-1,23	0,14	0,000	1,94E-04	1,84E-04	-2,98E-08
Nr 7*	503,33	266,57	236,76	23,44	0,041	4,07E-03	4,13E-03	1,21E-06

Nr 9*

Summe Konstruktion	64,45	55,53	8,92	5,74	0,014	1,66E-03	2,05E-03	2,40E-07
Summe Nutzung	575,25	280,28	294,97	23,31	0,033	3,09E-03	3,10E-03	1,35E-06
Summe Erneuerung	6,13	5,88	0,25	0,42	0,001	1,42E-04	2,16E-04	1,42E-08
Summe Abbruch / End of Life	-2,03	-1,97	-0,06	0,81	0,003	4,52E-04	4,77E-04	-1,22E-08
Nr 9*	643,80	339,73	304,08	30,28	0,052	5,35E-03	5,84E-03	1,59E-06

Nr 6*

Summe Konstruktion	95,73	86,61	9,12	8,28	0,022	2,37E-03	2,13E-03	4,56E-07
Summe Nutzung	491,30	238,42	252,88	20,48	0,030	2,73E-03	2,74E-03	9,33E-07
Summe Erneuerung	44,56	36,07	8,49	2,84	0,012	8,12E-04	8,35E-04	2,30E-07
Summe Abbruch / End of Life	-25,26	-21,16	-4,10	-0,35	-0,002	-2,23E-05	1,87E-04	-1,05E-07
Nr 6*	606,34	339,95	266,39	31,24	0,061	5,89E-03	5,89E-03	1,51E-06

Nr 1

Summe Konstruktion	73,56	64,16	9,39	5,17	0,014	1,76E-03	1,46E-03	3,03E-07
Summe Nutzung	515,32	248,42	266,90	22,46	0,034	3,03E-03	3,03E-03	5,96E-07
Summe Erneuerung	5,29	4,28	1,01	0,36	0,001	1,02E-04	1,60E-04	9,42E-09
Summe Abbruch / End of Life	-4,45	-4,33	-0,12	0,35	0,001	1,43E-04	2,04E-04	-3,32E-09
Nr 1	589,72	312,53	277,19	28,36	0,051	5,04E-03	4,86E-03	9,05E-07

Nr 8

Summe Konstruktion	40,73	38,80	1,94	3,33	0,008	9,34E-04	9,02E-04	1,36E-07
Summe Nutzung	757,39	366,35	391,04	32,28	0,048	4,33E-03	4,34E-03	1,16E-06
Summe Erneuerung	7,39	7,16	0,24	0,50	0,002	2,17E-04	1,50E-04	1,75E-08
Summe Abbruch / End of Life	-3,96	-3,38	-0,58	0,30	0,000	1,54E-04	1,52E-04	-1,88E-08
Nr 8	801,55	408,92	392,63	36,41	0,059	5,64E-03	5,54E-03	1,30E-06

Nr 2*

Summe Konstruktion	112,90	95,06	17,84	7,93	0,025	2,49E-03	3,06E-03	4,89E-07
Summe Nutzung	449,11	217,25	231,86	19,14	0,029	2,57E-03	2,57E-03	6,92E-07
Summe Erneuerung	7,84	7,66	0,18	0,47	0,003	2,22E-04	3,36E-04	2,02E-08
Summe Abbruch / End of Life	-20,35	-16,27	-4,08	-0,05	-0,001	1,59E-04	2,82E-04	-1,13E-07
Nr 2*	549,51	303,70	245,81	27,48	0,055	5,44E-03	6,25E-03	1,09E-06

Nr 10*

Summe Konstruktion	86,19	74,79	11,40	6,68	0,019	2,00E-03	2,61E-03	3,39E-07
Summe Nutzung	582,45	283,65	298,79	23,68	0,034	3,14E-03	3,15E-03	1,34E-06
Summe Erneuerung	16,31	11,07	5,24	0,78	0,004	3,57E-04	5,48E-04	3,66E-08
Summe Abbruch / End of Life	-6,97	-6,01	-0,96	0,50	0,001	2,18E-04	2,93E-04	-2,17E-08
Nr 10*	677,98	363,50	314,47	31,63	0,058	5,72E-03	6,60E-03	1,69E-06

* kennzeichnet eine vorhandene Tiefgarage

Quelle: eigene Darstellung

