

Diplomarbeit

Nachhaltigkeit im Bauwesen: Zertifizierungs- und Bewertungsmöglichkeiten von ökologischen Baustoffen, Bauprodukten und Gebäuden

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Sustainability in the building industry: Certification and evaluation possibilities of ecological building materials, building products and buildings

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

Jasmin El Bakry

Matr.Nr.: 01226565

Betreuung: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Andreas Kolbitsch**
Univ.Ass. Dipl.-Ing. BSc. **Rene Kurzbauer**
Institut für Hoch- und Industriebau
Forschungsbereich Hochbau und Gebäudeerhaltung
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/210-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Jänner 2023

Kurzfassung

Unsere Gesellschaft erfährt weltweit eine Neuorientierung. Neueste Erkenntnisse von Umweltforschungen sowie auch gegenwärtig stattfindende, gesundheitliche und wirtschaftliche Krisen drängen den Menschen zu einer umorientierten Denkweise. Auf der einen Seite existieren stetig steigende Rohstoff- und Energiepreise. Der Mensch sieht sich daher gezwungen alternative aber vor allem erneuerbare Rohstoffe und Energiequellen aufzufinden. Dementsprechend erfährt die Technologie eine rasante Entwicklung mit dem Ziel neue Rohstoffe und Energiequellen effizient nutzen zu können. Auf der anderen Seite sind die Veränderungen der Umwelt nicht mehr zu übersehen. Über die Folgen anthropogen verursachter Handlungen wird mittlerweile alltäglich in den Medien berichtet. Vor allem gewinnt die globale Erderwärmung die höchste Aufmerksamkeit. Unter anderem sind damit ausschlaggebende Veränderungen in der Fauna und Flora verbunden. In diesem Zusammenhang ist das Aussterben diverser Tier- und Pflanzenarten bedroht, womit ein Rückgang der Biodiversität kaum zu vermeiden ist. Aber auch die Gefährdung der eigenen menschlichen Gesundheit rückt immer mehr in den Vordergrund des Gesprächs. Verursacht wird dies vor allem durch das Ausscheiden von Schadstoffen in die Umwelt. Mit Hilfe von Forschungen wird auf gesundheitsgefährdende Stoffe aufmerksam gemacht. Allgemein entsteht ein Bewusstsein für ein umweltschonendes Handeln. Auch im Bauwesen drängen die Begriffe wie Baubiologie und Bauökologie immer mehr in den Vordergrund. Zukunftsorientiert möchten Planerinnen und Planer eine gesund gebaute Umwelt schaffen. Mit steigender Bedeutung der Nachhaltigkeit wird auch die Begrifflichkeit vor allem im Laufe der letzten Jahrzehnte genauer eingegrenzt. Die Nachhaltigkeit lässt sich in die drei Dimensionen der Ökologie, der Ökonomie und dem soziokulturellen Aspekt unterteilen. Um nachhaltig zu bauen, müssen alle drei Dimensionen in der Planung berücksichtigt werden.

Nachhaltig bauen wird gegenwärtig auch als „grünes Bauen“ und in den aktuellsten Fällen als „blaues Bauen“ bezeichnet. Die Farbuweisung ist auf die mit der Erde in Verbindung bringenden Farben zurückzuführen. Das Ziel einer nachhaltigen Bauweise ist es nicht nur gesundheitsgefährdende Baustoffe oder Bauprozesse zu vermeiden, sondern vor allem zukunftsorientiert zu denken. Es werden nicht nur die Auswirkungen des Bauprozesses auf die Gegenwart, sondern auch jene der Zukunft behandelt. Im Bau- und Gebäudesektor erweist sich eine nachhaltige Vorgehensweise allerdings als sehr komplex. Es herrscht eine unüberschaubare Menge an Bauprodukten, welche mit Labels versehen sind, die die nachhaltigen Eigenschaften eines Produktes hervorheben sollen. Es existiert eine große Anzahl an etwa Qualitätssymbolen, welche alle nach unterschiedlichen Kriterien vergeben werden. Hierbei einen Überblick zu behalten, erweist sich in vielen Fällen nicht gerade einfach. Aus diesem Grund existiert für die Umsetzung einer nachhaltigen Bauweise mittlerweile eine Vielzahl an Hilfsmittel. Zur Unterscheidung zwischen umweltschädlichen und gesunden Baustoffen bzw. Bauprodukten können gesammelte Bilanzdatenwerte in Baustofftabellen, Softwareprogrammen und Datenbanken dienen. Länderspezifische Leitfäden können die Herangehensweise einer nachhaltigen Planung eines Gebäudes erleichtern. Schließlich dienen Bewertungsmethoden zur Orientierung und als Informationsquelle bezüglich mögliche Umweltauswirkungen.

Bewertungsmethoden existieren in vielen verschiedenen Formen. Unterscheiden lassen sie sich grob in qualitative und quantitative Methoden. Zusätzlich kann eine Bewertungsmethode ihren Schwerpunkt, in Abhängigkeit der Interessen der Entwickler, auf nur ausgewählte Kategorien der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit haben. Eine vielbewährte Methode stellt die Ökobilanz dar. Wie der Name schon verrät, liegt der Fokus dieses Verfahrens auf der ökologischen Säule der Nachhaltigkeit. Die ermittelten Werte über eine Ökobilanzierung dienen als Bilanzdatenwerte in oben genannten Hilfsmitteln. Die über eine ausgewählte Bewertungsmethode ausgewerteten Daten werden in Sachbilanzdatenbanken gesammelt. Im weiteren Verlauf kommen diese Datensammlungen in Planungswerkzeugen zur Anwendung. Schließlich ist für die Vergabe von Gütesiegel die Erstellung eines

Zertifizierungssysteme erforderlich. Hierfür kommen ausgewählte Sachbilanzdatenbanken sowie Planungswerkzeuge zum Einsatz. In Abhängigkeit der Interessen des Entwicklers können Gütesiegel zur Beurteilung der jeweiligen Nachhaltigkeit an Baustoffe, Bauprodukte, Gebäude aber auch an gewisse Tätigkeiten oder Veranstaltungen verliehen werden. Dementsprechend verfolgen die verschiedenen Zertifizierungssysteme unterschiedliche Ziele. Ein Vergleich von etwa Bauprodukten, welche mit verschiedenen Qualitäts- oder Prüfsiegeln versehen sind, ist daher schwer möglich. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen Umweltzeichen, welche die Qualität eines Bewertungsgegenstandes beurteilen und den Umweltproduktdeklarationen, welche die Quantität an Umweltauswirkungen bekannt geben. In manchen Fällen, wie etwa für die Bewertung eines Gebäudes, empfiehlt sich die zweite Variante. Dadurch können Gebäudezertifizierungssysteme die Gesamtheit eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigen und ihre Bewertung individuell gestalten.

Die große Anzahl an Bewertungsmethoden, Datenbanken und Gütesiegel sollen das nachhaltige Bauen fördern. Nachhaltig Bauen hat zwar bereits im Mittelalter seine ersten Ansätze zu finden, sodass nach dem forstwirtschaftlichen Prinzip, schon früh nur so viel Holz gefällt werden darf, als jeweils nachwachsen kann, allerdings scheint die Dringlichkeit zur Veränderung erst in den letzten Jahrzehnten den Großteil der Bevölkerung erreicht haben. Das Bewusstsein des Menschen hat sich stark zum Positiven gewendet. Doch als Hindernis in der Umsetzung gilt allerdings immer noch das unvollständige Wissen über die Thematik. Daher erfolgt gegenwärtig eine effiziente Wissensverbreitung durch Forschungsinstitute, Unternehmen, private Personen sowie Politiker. Im Vordergrund steht vor allem eine Vereinheitlichung von Bewertungsmethoden, um etwa für eine Überschaubarkeit unter den Bauprodukten zu sorgen. Engagierte Baubeteiligte streben jetzt schon einen Gebäudestandard an, welcher über die in der Gesetzgebung geforderten Anforderungen geht. All jene und weitere ähnliche Tatsachen deuten auf eine baldige revolutionäre Umstellung im Bauwesen hin.

Abstract

Our society is going through a worldwide reorientation. The latest findings of environmental research as well as the current health and economic crises are pushing people to change their way of thinking. On the one hand, there are constantly rising raw material and energy prices. The human is being forced to find alternative but above all renewable raw materials and energy sources. Accordingly, technology is undergoing a rapid development with the aim of efficiently utilizing new raw materials and energy sources. On the other hand, the changes in the environment can no longer be ignored. The consequences of our anthropogenic actions are nowadays reported daily through the media. Above all, the global warming is gaining the most attention. Among other things, there are the decisive changes in fauna and flora which are related to it. In this context, the extinction of various animal and plant species is threatened, which means that a decline in biodiversity can hardly be avoided. And regarding this, also the danger of the own human health becomes slowly the main topic of any conversation. This is mainly caused by the release of pollutants into the environment. With the help of research, attention is being drawn to substances that are hazardous to health. In general, there is an awareness of the need to act in an environmentally friendly manner. In the building industry terms such as building biology and building ecology are increasingly gaining in importance. Forward-looking planners want to create a healthy built environment. With the increasing importance of sustainability, the terminology has also been narrowed down more precisely, especially in the course of the last decades. Sustainability can be divided into the three dimensions of ecology, economy and the socio-cultural aspect. In order to build sustainably, all three dimensions must be considered in the planning.

Sustainable building is currently also referred to as "green building" and, in the most current cases, it can also be designated as "blue building". The colour assignment is due to the colours associated with the earth. The goal of sustainable construction is not only to avoid building materials or building processes that are hazardous to health, but above all to think in terms of the future. Not only the effects of the building process on the present, but also those of the future are dealt with. In the construction and building sector, however, a sustainable approach proves to be very complex. There is an unmanageable amount of building products, which are provided with labels. And these labels are supposed to emphasize the sustainable characteristics of a product. There is a large number of quality symbols, all of which are awarded according to different criteria. In many cases, it is not easy to keep an overview. For this reason, there is now a wide range of tools for implementing sustainable construction. To differentiate between environmentally harmful and healthy building materials or products, collected balance data values in building material tables, software programs and databases can be used. Country-specific guidelines can facilitate the approach to sustainable building design. Finally, assessment methods serve as orientation and as a source of information regarding possible environmental impacts.

Evaluation methods exist in many different forms. They can be roughly divided into qualitative and quantitative methods. In addition, an assessment method can focus on only selected categories of the three dimensions of sustainability, depending on the interests of the developers. A well-tried method is the life cycle assessment. The focus of this method is on the ecological pillar of sustainability. The values determined via a life cycle assessment serve as balance sheet data values in the already mentioned tools above. The data evaluated via a selected assessment method are collected in life cycle balance databases. In the further course, these data collections are used in planning tools. Finally, the development of a certification system is required for the award of quality labels. Selected life cycle balance databases and planning tools are used for this purpose. Depending on the interests of the developer, seals of approval for the assessment of the respective sustainability can be awarded to building materials, building products, buildings, but also to certain activities or events. Accordingly, the different certification systems pursue different goals. It is therefore difficult to compare, for example,

building products that have been awarded different quality or test seals. Basically, a distinction is made between eco-labels, which assess the quality of an evaluation object, and environmental product declarations, which disclose the quantity of environmental impacts. In some cases, such as for the assessment of a building, the second variant is recommended. This allows building certification systems to consider the totality of a building over its entire life cycle and to tailor their assessment.

The large number of evaluation methods, databases and quality seals are meant to support sustainable building. Sustainable building has its first beginnings in the Middle Ages, so that according to the forestry principle, only as much wood may be felled as it can also grow back, but the urgency for change seems to have reached the majority of the population only in the recent decades. The consciousness of the people has changed strongly to the positive. However, the incomplete knowledge about the topic is still considered as an obstacle in the implementation. Therefore, an efficient dissemination of knowledge is currently being carried out by research institutes, companies, private persons as well as politicians. The main focus lies on the standardization of assessment methods, for example, in order to ensure clarity among building products. Committed building participants are already striving for a building standard that goes beyond the requirements stipulated in the legislation. All these and other similar facts point to an upcoming revolutionary change in the building industry.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Einleitung..... | 9 |
| 1.1 | Problemstellung und Motivation | 9 |
| 1.2 | Methodik und Zielsetzung | 10 |
| 2 | Einführung in die Thematik | 11 |
| 2.1 | Das Drei-Säulen-Modell..... | 11 |
| 2.1.1 | Nachhaltigkeitsdreieck | 13 |
| 2.1.2 | Schnittmengenmodell | 14 |
| 2.1.3 | Integriertes Dreiecksdiagramm | 15 |
| 2.2 | Historischer Überblick | 18 |
| 2.2.1 | Geschichte | 18 |
| 2.2.2 | Entwicklung | 19 |
| 2.3 | Situationsanalyse im Bauwesen | 22 |
| 2.3.1 | Umwelt | 22 |
| 2.3.2 | Nachhaltigkeit im Bauwesen | 24 |
| 3 | Nachhaltigkeit im Bauwesen | 28 |
| 3.1 | Entstehung eines nachhaltigen Bewusstseins..... | 28 |
| 3.1.1 | Mittelalter | 28 |
| 3.1.2 | Industrialisierung..... | 30 |
| 3.1.3 | Nachkriegszeit – Goldene Ära | 32 |
| 3.2 | Nachhaltiges Umdenken im Bauwesen..... | 33 |
| 3.2.1 | Grünes Image | 34 |
| 3.2.2 | Grünes Bauen | 37 |
| 3.2.3 | Gefahrenpotenzial Baustoff | 38 |
| 3.3 | Nachhaltige Ziele im Bauwesen..... | 41 |
| 3.3.1 | Ökologisch nachhaltig Bauen | 41 |
| 3.3.2 | Ökonomisch nachhaltig Bauen | 43 |
| 3.3.3 | Sozial nachhaltig Bauen..... | 44 |
| 4 | Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bauprozess..... | 45 |
| 4.1 | Ansätze nachhaltiger Bewertungssysteme | 46 |
| 4.1.1 | Entwicklung nachhaltiger Bewertungssysteme..... | 46 |
| 4.1.2 | Gliederung und Leitstrategien..... | 54 |
| 4.2 | Nachhaltige Wirtschaftsstrategien zur Umsetzung ökologischer Ziele..... | 61 |
| 4.2.1 | Green Economy | 62 |
| 4.2.2 | Blue Economy | 63 |
| 4.2.3 | Kreislaufwirtschaft..... | 65 |
| 4.2.4 | Faktor X..... | 68 |
| 4.3 | Nachhaltige Bewertungsmethoden..... | 70 |
| 4.4 | Nachhaltigkeitsindikatoren | 74 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.4.1 | Input-orientierte Bewertung in der Ökologie | 75 |
| 4.4.2 | Output-orientierte Bewertung in der Ökologie..... | 80 |
| 4.4.3 | Input-Output-Relation..... | 92 |
| 5 | Verfahren der Ökobilanzierung..... | 93 |
| 5.1 | Lebenszyklusmanagement – Life Cycle Management (LCM) | 93 |
| 5.2 | Lebenszyklusingenieurwissenschaften – Life Cycle Engineering (LCE) | 95 |
| 5.3 | Lebenszykluskosten – Life Cycle Cost (LCC)..... | 97 |
| 5.4 | Soziale Lebenszyklusanalyse – Social Life Cycle Assessment (S-LCA)..... | 99 |
| 5.5 | Lebenszyklusanalyse – Life Cycle Assessment (LCA) | 99 |
| 5.5.1 | Phase 1: Festlegung der Ziele | 102 |
| 5.5.2 | Phase 2: Festlegung des Untersuchungsrahmens..... | 104 |
| 5.5.3 | Phase 3: Sachbilanz | 108 |
| 5.5.4 | Phase 4: Wirkungsabschätzung..... | 114 |
| 5.5.5 | Phase 5: Auswertung der Ergebnisse | 119 |
| 6 | Instrumente zur Umsetzung einer ökologischen Bewertung..... | 120 |
| 6.1 | Normung zum nachhaltigen Bauen..... | 122 |
| 6.1.1 | Gesetzliche Vorgaben auf europäischer Ebene..... | 122 |
| 6.1.2 | Gesetzliche Vorgaben auf nationaler Ebene | 128 |
| 6.1.3 | Technische Regelwerke auf europäischer Ebene..... | 128 |
| 6.1.4 | Technische Regelwerke auf nationaler Ebene | 134 |
| 6.2 | Sachbilanzdatenbanken und Planungswerkzeuge | 135 |
| 6.2.1 | Sachbilanzdatenbanken in der Praxis..... | 136 |
| 6.2.2 | Sachbilanzdatenbanken in der Forschung..... | 142 |
| 6.2.3 | Planungswerkzeuge..... | 143 |
| 6.2.4 | Leitfäden..... | 153 |
| 6.3 | Gütesiegel und Zertifikate | 155 |
| 6.3.1 | Gütesiegel und Label für Baustoffe und Bauprodukte..... | 157 |
| 6.3.2 | Zertifizierungssysteme für Gebäude | 167 |
| 7 | Analyse | 175 |
| 7.1 | Komplikationen im nachhaltigen Bauen | 177 |
| 7.1.1 | Ungleiche Aufteilung der Dimensionen in der Bewertung | 177 |
| 7.1.2 | Intransparenz der Bewertungssysteme | 178 |
| 7.1.3 | Herausforderungen einer nachhaltigen Sanierung | 179 |
| 7.1.4 | Energieausweis..... | 181 |
| 7.2 | Motivation..... | 184 |
| 7.2.1 | Ideologie des nachhaltigen Bauens..... | 184 |
| 7.2.2 | Nachhaltig Bauen für die nächsten Generationen..... | 185 |
| 7.2.3 | Bedeutung der Sanierung von Bestandsbauten..... | 187 |
| 7.2.4 | Erfolgreich nachhaltig Bauen..... | 188 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.2.5 | Stufenbewertung im Bewertungssystem | 189 |
| 7.2.6 | Kostensparnis über den Lebenszyklus | 190 |
| 7.2.7 | Förderungen | 191 |
| 7.3 | Ausblick in die Zukunft | 192 |
| 7.3.1 | Gleichwertigkeit der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit..... | 192 |
| 7.3.2 | Integrale Planung | 194 |
| 7.3.3 | Kreislaufwirtschaft..... | 195 |
| 7.3.4 | Baustoff der Zukunft..... | 197 |
| 7.3.5 | Ausblick..... | 199 |
| 8 | Resümee | 202 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 208 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 210 |
| | Literaturverzeichnis..... | 211 |

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Die weltweit steigenden Rohstoff- und Energiepreise, erhebliche Auswirkungen auf die Umwelt zufolge den Klimaänderungen oder aber auch die gesundheitsgefährdenden Auswirkungen von Schadstoff beinhaltenden Bauprodukten zwingen unsere Gesellschaft zu einem ökologisch nachhaltig orientierten Umdenken. Das steigende Umweltbewusstsein gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die Erkenntnis, dass vor allem der Bausektor einen dominanten Einfluss auf die Umweltveränderungen hat¹, steigert die Notwendigkeit dieser Thematik. Bauherrn, Planer sowie weitere Baubeteiligte streben nach einer nachhaltig gebauten Umwelt. Für das sogenannte „grüne Bauen“ werden ausschlaggebende Maßnahmen getroffen, um ökologisch nachhaltige Baustoffe, Bauprodukte und schließlich Gebäude garantieren zu können.

Bauökologisch und baubiologisch orientierte Forschungen verfolgen das Ziel einer gesunden Umwelt. Über viele Jahrhunderte hinweg sind bereits einige verbindliche Vorschriften hinsichtlich einer nachhaltigen, also zukunftsorientierten, Bauwirtschaft festgelegt worden. Es gilt nun einer stetigen Überprüfung gesundheitsgefährdender Baustoffe und Bauprozesse auf Mensch und Umwelt nachzugehen. Es wird eine Vielzahl an gesetzlich verbindlichen Rechtsnormen festgelegt. Auf europäischer Ebene liegen rechtliche Regelungen vor, welche Baustoffe oder Bauprodukte in ihrem Schadstoffgehalt bzw. die Schadstoffemissionen jener begrenzen. Unter anderem zählen hierzu etwa das Chemikalienrecht, das Abfallrecht und auch das Baurecht. Auf nationaler Ebene werden die gesetzlichen Vorgaben in Österreich in Form von etwa Verordnungen oder Richtlinien umgesetzt. Darüber hinaus entwickeln motivierte Unternehmen, Vereine oder Organisationen eigene Methoden zur Gewährleistung von nicht gesundheitsgefährdenden, wenn nicht sogar von für die Umwelt und für den Menschen gesunden, also nachhaltigen Endprodukten. Diese stehen als unverbindliche Leitlinien den Baubeteiligten zur Verfügung. Schließlich werden Methoden entworfen, welche die Nachhaltigkeit von Produkten bewerten sollen. Eine Bewertung des Grades der Nachhaltigkeit von Baustoffen oder Bauprodukten soll den Vergleich und die Wahl der Materialien erleichtern. Die Schwierigkeit hierbei liegt allerdings in der nicht eindeutigen Begriffsdefinition der Nachhaltigkeit. Die gegenwärtige Anzahl an verschiedenen Bewertungssystemen und -methoden ist groß und wächst stetig. In Abhängigkeit der Interessen verschiedener Organisationen weisen diese unterschiedliche Ziele auf. Ein Vergleich nachhaltiger Werte ähnlicher Produkte untereinander ist demnach kaum möglich. Ferner erschweren es diese Gegebenheiten einen Überblick über alle zur Verfügung stehenden Bewertungsmöglichkeiten zu behalten. Somit stellt sich auch die Anwendung jener Bewertungsmöglichkeiten in den meisten Fällen als sehr komplex dar.

Konsumenten von Bauprodukten und Nutzer von Gebäuden können aufgrund dieser Intransparenz in diesem Themenbereich in die Irre geführt werden. Ihre Unkenntnis kann von Unternehmen für „grüne“ Marketingstrategien genutzt werden. Aus diesem Grund ist es von großer Wichtigkeit, Überlegungen anzustellen, um klare Grenzen für die Nachhaltigkeit in den Bewertungssystemen festlegen zu können.

¹ United Nations Environment Programme, 2020 *Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi (2020)

1.2 Methodik und Zielsetzung

Diese Diplomarbeit dient einerseits dem Zweck der Schaffung eines ausführlichen Überblicks über gegenwärtig im deutschsprachigen Raum vorhandenen Bewertungsmöglichkeiten des nachhaltigen Bauens für Baustoffe, Bauprodukte und Gebäude. Nach einem historischen Einblick in die Entwicklung der Nachhaltigkeit, werden ökonomisch nachhaltige Ansätze erläutert, welche schließlich in die Zieldefinition von Bewertungsmöglichkeiten einfließen. Indem die Entstehung und der Aufbau relevanter Bewertungsmethoden und -systeme erläutert wird, kann gleichzeitig auf die Vor- und Nachteile dieser Techniken eingegangen werden. Als weiteres Ziel dieser Arbeit wird die Problematik der gegenwärtigen Situation näher analysiert. Im Zuge von Gesprächen mit Experten aus dem Gebiet des nachhaltigen Bauens werden bislang zurück gehaltene Themen aufgezeigt. Anschließend diskutierte Lösungsansätze dienen als Vorschlag, um den erwähnten Komplikationen entgegenzuwirken.

Der Aufbau dieser Arbeit kann als Lebenslauf der Nachhaltigkeit im Bauwesen verstanden werden. Über die folgenden Kapitel werden die Zeitabschnitte Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des nachhaltigen Bauens aufgegriffen und näher analysiert. Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut:

Abschnitt 1: Vergangenheit

ENTSTEHUNG UND ENTWICKLUNG DER NACHHALTIGKEIT

Im ersten Abschnitt dieser Arbeit wird über die Entstehung des nachhaltigen Denkens berichtet. Der historische Rückblick dringt tief in die Geschichte ein und greift revolutionäre Ereignisse nicht nur aus dem Bauwesen, sondern auch aus den Bereichen der Wirtschaft und der Medizin auf. Die heraus gegriffenen Geschehnisse sind ausschlaggebend für die Entwicklung einer modernen nachhaltigen Denkweise im Bauwesen.

Des Weiteren werden in diesem Abschnitt die ersten Ansätze für die Bewertung der Nachhaltigkeit vorgestellt und einige für dieses Themengebiet relevante Begriffe definiert.

Abschnitt 2: Gegenwart

OPERATIONALISIERUNG DER NACHHALTIGKEIT IM BAUWESEN

Nach der historischen Einführung in die Thematik wird im zweiten Abschnitt auf gegenwärtige vorhandene Bewertungsmöglichkeiten der Nachhaltigkeit im Bauwesen eingegangen. Es werden nun Möglichkeiten zur Operationalisierung vorgestellt. Maßgebend für die Erzielung messbarer Ergebnisse, werden zudem nachhaltige Denkansätze und einige wesentliche ökonomisch nachhaltige Strategien vorgestellt. Ebenso werden die zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Baustoffen, Bauprodukten und Gebäuden erforderlichen Messwerte beschrieben. Die Ermittlung sogenannter Input- und Output-Indikatoren zur Bemessung wird präsentiert.

Speziell wird in diesem Abschnitt die Bewertungsmethode der Ökobilanzierung näher erläutert. Als quantitatives Bewertungsmodell spielt sie in den meisten Zertifizierungssystemen eine essenzielle Rolle. Schließlich beinhaltet diese Arbeit eine Übersicht der im deutschsprachigen Raum weit verbreiteten Gütesiegel und Label für Baustoffe und Bauprodukte sowie Zertifizierungssysteme für Gebäude.

Abschnitt 3: Zukunft

GRÜNES BAUEN

Der letzte Abschnitt dieser Arbeit behandelt eventuell im Zuge einer Nachhaltigkeitsbewertung auftretende Komplikationen und Schwierigkeiten. Hierfür sind im Rahmen dieser Diplomarbeit Gespräche mit Experten aus dem Fachgebiet geführt worden. Mit Hilfe dieser Interviews wird die Meinung von Fachkundigen und relevanten Organisationen eingeholt und in die Arbeit integriert. Die gemeinsamen Gespräche führen auch zu möglichen Ansätzen für Lösungs- bzw. Verbesserungsvorschläge für die Bewertung der Nachhaltigkeit im Bauwesen.

2 Einführung in die Thematik

2.1 Das Drei-Säulen-Modell

Sei es die Ernährung, die Kosmetik, das Wohnen oder das Bauen. Egal über welches Themengebiet die Rede ist, die Begriffe Ökologie, Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung sind gar nicht mehr wegzudenken. Diese Bezeichnungen beschreiben eine umweltbewusste, umweltschonende und alternativ grüne Denkweise. „Ökologisch“ steht umgangssprachlich auch für eine Lebensart, in welcher man schonend mit Umweltressourcen umzugehen anstrebt.

Die nachhaltige Nutzung bezieht sich auf ökologische, ökonomische und soziale Faktoren. Um eine Nachhaltigkeit in einem Gebiet, wie etwa dem Bauwesen, gewährleisten zu können, müssen alle drei Faktoren der Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Hierfür muss zunächst die Begrifflichkeit jener drei Bereiche genau definiert werden. Erst durch ein besseres Verständnis für die Vielfältigkeit der Nachhaltigkeit können Ziele zur Erreichung einer Nachhaltigkeit bzw. auch eigene Grenzen gesetzt werden.

Die **ökologische Nachhaltigkeit** beschreibt eine Entwicklung, welche Einfluss sowohl auf die Gegenwart als auch auf die Zukunft hat. Für die Bedürfnisse der Gegenwart werden Rohstoffe der Erde verwendet, ohne dabei ein Risiko für die Bedürfnisse künftiger Generationen darzustellen. Nach dem forstwirtschaftlichen Prinzip, dass nicht mehr Holz gefällt werden darf, als jeweils nachwachsen kann, bewahrt man dadurch die natürliche Regenerationsfähigkeit. Eine Ressource wird dementsprechend so genutzt, dass sie keinen bleibenden Schaden auf der Erde hinterlässt und somit auch in Zukunft in gleicher Weise zur Verfügung steht. Der Schaden am Ökosystem wird dadurch vermieden bzw. geringgehalten und die Biodiversität, etwa in der Pflanzen- und Tierwelt, kann gefördert werden.²

Durch die schonende und nachhaltige Verwendung natürlicher Ressourcen wird auch für den Menschen ein gesunder Lebensraum geschaffen. Denn ein nicht auszublenender und wesentlicher Begriff in der ökologischen Nachhaltigkeit ist der Klimaschutz. Die erkannte Notwendigkeit der Nachhaltigkeit wurde im Jahre 2000 von den Vereinten Nationen (UN) in sogenannte Millenniumsziele formuliert. Für die Bereiche Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt wurden Entwicklungsziele beschrieben, welche die Staaten bis zum Jahr 2030 anstreben bzw. erreichen sollen.³

Durch das Aufrechterhalten von Ressourcen wird für den wirtschaftlichen Erfolg etwa eines Unternehmens gesorgt. Eine **ökonomische Nachhaltigkeit** beschreibt einen verantwortungsvollen Umgang mit dem vorhandenen Material. Endlich vorhandene Rohstoffe werden im Sinne der Ökonomie nicht verschwendet und können über Recyclingvorgänge eine Wiederverwendung finden. Diese ressourcenschonende Arbeitsweise bringt stark finanzielle Vorteile mit sich, die sich vor allem in einem langfristigen Prozess zeigen. Das Ausdenken von langwierigen Strategien veranlasst eine Profitmaximierung des ökonomischen Ertrags auf Dauer. Des Weiteren wird dadurch auch die Qualität der Güter in Gegenwart und Zukunft sichergestellt. Eine Wirtschaft, welche ökologische und soziale Aspekte erfüllt, jedoch nicht ökonomisch anpassungsfähig ist, zeigt nicht von großer Dauerhaftigkeit.⁴

Für ein erfolgreiches zukunftsorientiertes Konzept ist die Anpassung an Veränderungen im Sinne der Innovationsgeschwindigkeit maßgebend. Ein langfristiges Weiterbestehen eines Konzeptes erfordert

² Vgl. Polipedia, *Ökologische Nachhaltigkeit*, online: <http://www.polipedia.at/tiki-index.php?page=Ökologische+Nachhaltigkeit> (Zugriff: 08.06.2022)

³ Vgl. Polipedia, *Ökologische Nachhaltigkeit*

⁴ Vgl. Mueller L. S./Strub L./Kurth A., *Ökonomische Nachhaltigkeit in der Weinwirtschaft*, In: forthcoming book chapter: in Ulrich et al. (2020) *Nachhaltigkeit*, Geisenheim University, bezogen unter: https://www.researchgate.net/publication/343189775_Ökonomische_Nachhaltigkeit_in_der_Weinwirtschaft (Zugriff: 05.04.2022)

demnach die Fähigkeit unvorhersehbare Risiken überstehen zu können. Dies kann etwa bei Unternehmen durch eine finanzielle Stabilität gewährleistet werden.

In der Nachhaltigkeit stehen nicht nur die Ressourcen oder der Lebensraum des Menschen im Vordergrund, sondern auch der Mensch selbst. Die Bedürfnisse sowie die Würde eines Menschen werden über die **soziale Nachhaltigkeit** sichergestellt. Durch dieses Prinzip wird für die Gesundheit und das Wohlergehen aller gesorgt. Es ermöglicht eine stabile Gesellschaft, in der Arbeits- und Menschenrechte gewährleistet sind. Somit beschreibt die soziale Nachhaltigkeit die Organisation von sozialen und kulturellen Systemen. Die Stärkung sozialer Werte etwa innerhalb eines Unternehmens kann den Gesundheitszustand aufrechterhalten und sogar verbessern.⁵

Die soziale Nachhaltigkeit stellt nicht nur eine Disziplin der Gleichberechtigung des Menschen dar, sondern wird in den meisten Fällen oft auch als Verbot verstanden. Ein Verbot irreversible Veränderungen an der Welt vorzunehmen, welche von einer zukünftigen Menschheit nicht gewollt werden könnte.⁶ Die Gesellschaft sollte so organisiert werden, dass eine Eskalation von Auseinandersetzungen und Konflikten in der Gegenwart und in der Zukunft vermieden wird.

Die ökologische, ökonomische und die soziale Nachhaltigkeit bilden gemeinsam das sogenannte „**Drei-Säulen-Modell**“ für die Nachhaltigkeit, welches als Maßstab für Unternehmen und Staaten dienen soll. Diese drei Säulen der Nachhaltigkeit sind voneinander abhängig und überschneiden sich in vielen Bereichen. Das gleichzeitige Umsetzen dieser drei Faktoren kann für eine umweltschonende und eine positiv wirtschaftliche und soziale Entwicklung sorgen.

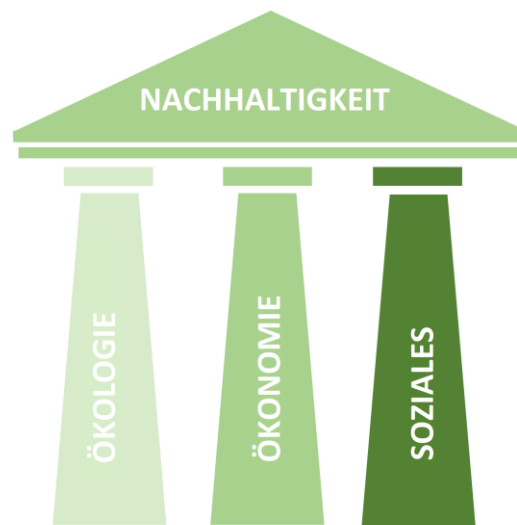


Abb. 2.1.: die drei Säulen der Nachhaltigkeit

Ausschlaggebend für dieses revolutionäre Umdenken ist die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED = World Commission on Environment and Development). 1983 von den Vereinten Nationen als unabhängige Sachverständigenkommission gegründet, veröffentlichte das Gremium 1987 unter dem Vorsitz der ehemaligen norwegischen Ministerpräsidenten Gro Harlem Brundland den sogenannten „Brundlandt-Bericht“ mit dem Titel „Unsere gemeinsame Zukunft“ (engl. „Our common future“).⁷ Im Anschluss daran beschreibt die Enquete-Kommission des deutschen Bundestages

⁵ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon, *Soziale Nachhaltigkeit*, online: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/soziale-nachhaltigkeit-53451/version-276540> (Zugriff: 05.04.2022)

⁶ Vgl. Ritt T. (Hrsg.), *Soziale Nachhaltigkeit. Von der Umweltpolitik zur Nachhaltigkeit?*, Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Wien (2002), bezogen unter: https://www.arbeiterkammer.at/infopool/wien/Informationen_zur_Umweltpolitik_149.pdf (Zugriff: 09.01.2023)

⁷ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung* (Brundland Bericht / Brundtland Report), online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_1987_728.htm (Zugriff: 10.04.2022)

die Nachhaltigkeit als ein Konzept einer zukünftigen Entwicklung, welches durch die im Brundlandt-Bericht erwähnten drei Faktoren erreicht werden könne. Im weiteren Verlauf definiert der Oldenburger Professor Bernd Heins dieses Konzept auch als das heutzutage bekannte „Drei-Säulen-Modell“ der Nachhaltigkeit.⁸

Obleich dieses Konzept ein wertvolles Leitbild für weiterführende Grundsätze bildet, steht es gegenwärtig unter Kritik. Das Drei-Säulen-Modell wird vor allem wegen der nicht möglichen Operationalisierbarkeit bemängelt. Aufgrund nicht möglicher messbarer Faktoren, können hiermit keine Vergleiche oder Fortschritte definiert werden. Das Forschungsinstitut Karlsruhe habe daher Mindestanforderungen für eine nachhaltige Entwicklung formuliert.⁹ Es wird außerdem kein Konzept mit drei nebeneinanderstehenden Säulen, sondern ein Konzept für eine Entwicklung mit dreidimensionaler Perspektive betrachtet.¹⁰ Die drei Faktoren dieses Modells führten laut Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) zu einem dreigespaltenen zukunftsorientierten Konzept, denn eine Gleichrangigkeit der ökologischen, ökonomischen und sozialen Säule der Nachhaltigkeit, sei nicht plausibel und habe ausschließlich eine „schwache Nachhaltigkeit“ als Ziel. Dies hat zur Folge, dass eine Naturressource verwendet oder sogar ausgeschöpft werden darf, wenn sich dadurch der Output als angemessen größere Mengen an Sachkapitel erweisen könne. Für eine „starke Nachhaltigkeit“ hingegen sei die ökologische Ressource in den Vordergrund zu stellen. Doch für diese unklare Gewichtung der einzelnen Faktoren, seien keine eindeutigen Richtlinien definiert.¹¹

2.1.1 Nachhaltigkeitsdreieck

Trotz vielfältiger Kritik gibt es bislang keine anderen ausgiebig überarbeiteten Konzepte, die eine zukunftsorientierte nachhaltige Entwicklung beschreiben. In vielen Fällen kommt ein vom Drei-Säulen-Modell weitergeführtes Modell zur Anwendung. Am weitesten verbreitet ist das Modell der Nachhaltigkeit in Form eines Dreiecks. Das **Nachhaltigkeitsdreieck**, auch bekannt als „Magisches Dreieck“ erweist sich als alternative Methode die Beziehungen der, ursprünglich als einzelne Säulen betrachteten, drei Faktoren der Nachhaltigkeit in einen Zusammenhang zu bringen. Diese Methode der Darstellung nutzt die Form des Dreiecks und zeigt dadurch die Verbindung der Säulen zueinander in Bezug auf eine Effektivität, welches dem absoluten und von anderen Faktoren unabhängigen Erreichen eines Ziel gewidmet ist, oder einer Effizienz, welche ein operatives Verhältnis von mindestens zwei Säulen beschreibt.¹² Folgende Abbildung zeigt den beschriebenen Zusammenhang einer Darstellung der Nachhaltigkeit in Dreiecksform.

8 Vgl. Wissenschaftliche Dienste des deutschen Bundestages, *Nachhaltigkeit* (2004)

9 Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung*, Karlsruhe, Institut für Autonomie intelligente Systeme (1999)

10 Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.46

11 Vgl. SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen), *Umweltgutachten 2008. Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels*, Berlin (2008) S. 56

12 Vgl. von Hauff M. et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie – Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck-*, Diskussionsbeitrag 19-05 an der Technische Universität Kaiserslautern (2005)

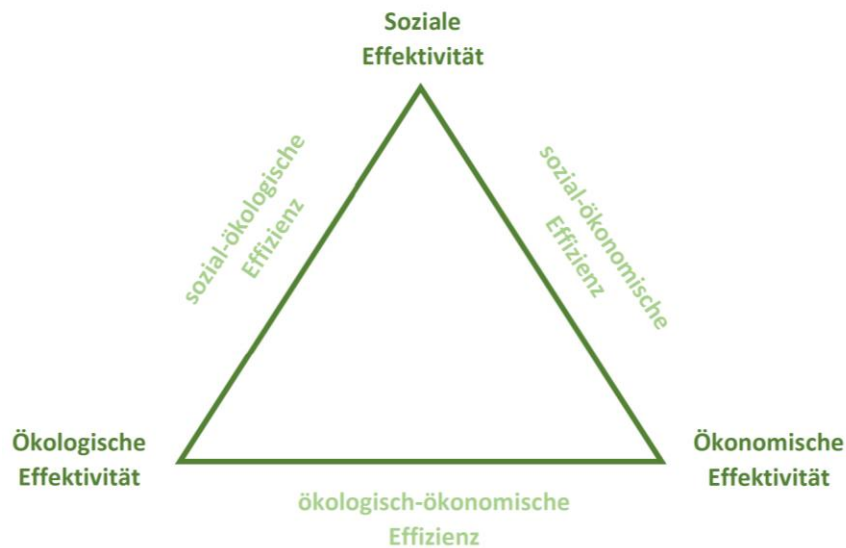


Abb. 2.2.: die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit bezogen auf das Nachhaltigkeitsdreieck

2.1.2 Schnittmengenmodell

Eine weitere auch sehr verbreitete Möglichkeit der Darstellung von Nachhaltigkeit erfolgt mittels Kreisformen. Über ein **Schnittmengen-Modell** werden die drei Säulen als kreisförmige Flächen dargestellt, die im Überschneidungsbereich einen Zusammenhang zueinander demonstrieren sollen.¹³ Dieses Konzept, auch als „Dreiklangmodell“ bekannt, beschreibt drei gleichbedeutende Bereiche, welche miteinander agieren. Die Nachhaltigkeit kann erst durch ein dreidimensionales Zusammenspiel aller drei Bereiche als Zielsetzung erreicht werden. Die Verknüpfung von nur zwei Dimensionen wird anderwärtig beschrieben und kennzeichnet demnach nur eine schwache Nachhaltigkeit.¹⁴ Unten stehende Abbildung zeigt eine Möglichkeit der Darstellung der Nachhaltigkeit mittels Kreisformen. Die Teilmenge „Lebensfähig“ beschreibt eine erträgliche Ausprägung der Lebensqualität sowie eine beständige Rentabilität. Die Teilmenge „Lebenswert“ beschreibt eine faire Nutzung und dementsprechend eine geschätzte und angesehene Entwicklung. Zuletzt beschreibt die Teilmenge „Gerecht“ eine überlebensfähige und ideale Verteilung der Dimensionen in ihrer Ausprägung.¹⁵ Der Nachteil an diesem Konzept ist jedoch, dass nicht auf die Größe der überschneidenden Flächen eingegangen werden kann. So kann dieses Modell nicht individuell an eine Situation angepasst werden. Eine Möglichkeit wäre das nähere Zusammenrücken der Kreise, um eine größere Überschneidung der Dimensionen zu verdeutlichen.¹⁶

¹³ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie* S. 40ff

¹⁴ Vgl. Herdeg P./Martos R., *Nachhaltige Entwicklung. Modelle*, Stiftung Umweltbildung Schweiz (Hg.), In: Beilage Bulletin umweltbildung.ch, Nr. 1/2012 (2012)

¹⁵ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie* S. 40ff

¹⁶ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie* S. 40ff

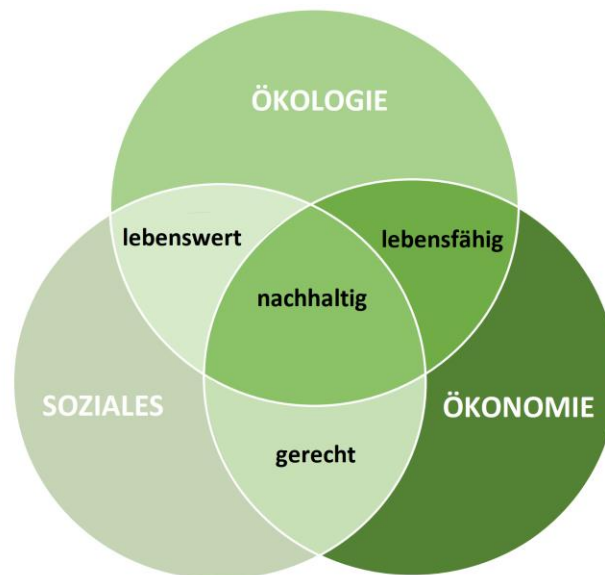


Abb. 2.3.: die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit bezogen auf das Schnittmengenmodell¹⁷

2.1.3 Integriertes Dreiecksdiagramm

Sowohl das Drei-Säulen-Modell als auch das Nachhaltigkeitsdreieck und das Schnittmengenmodell stellen die Dimensionen der Nachhaltigkeit in einem ausgeglichenen Verhältnis dar. Nachhaltigkeit könne erst erreicht werden, wenn jedem Bereich die gleiche Bedeutung geschenkt werde.¹⁸ Während bei einem Nachhaltigkeitsdreieck bereits der Ansatz für eine punktuelle Angabe eines Handlungsfeldes angegeben werden kann, stellt das Schnittmengenmodell eine Variante der Darstellung mit einer Überschneidung der drei Säulen dar.

Auf Basis, der eben genannten Methoden soll, nun ein Operationalisierungskonzept erarbeitet werden. Frühere Darstellungskonzepte werden herangezogen und zu einer Methode zusammengefasst. Es wird ein zur Bemessung der Nachhaltigkeit verbessertes und weitergeführtes Modell entwickelt. Das sogenannte **integrierte Dreiecksdiagramm** der Nachhaltigkeit ist am weitesten verbreitet und präsentiert, unter zu Hilfenahme eines in der Naturwissenschaft allgemein bekannten Gibbs'sche Dreieck, ein anderes und in der Umsetzung leichter anwendbares Konzept.¹⁹

Eine nachhaltige Entwicklung beschreibt weder eine absolute Effektivität aus einer Dimension noch das komplette Erfüllen aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit. Daher müsse eine gewisse **Integration** aller Bereiche der Nachhaltigkeit erreicht werden, um eine mehrdimensionale Entwicklung zu definieren. Des Weiteren ist eine **Differenzierung** der drei Bereiche zu berücksichtigen. Allerdings sollte das Wechselspiel dieser Gebiete im Vordergrund stehen. Für ein angemessenes Bemessungsmodell muss demonstriert werden, dass weder zu stark integriert noch zu stark differenziert werden darf.²⁰ Um die beiden Anforderungen zu erfüllen, wird für den ersten Ansatz zunächst das Dreiecksdiagramm herangezogen. Die einzelnen Ecken stehen jeweils für die ökologische, ökonomische oder die soziale Säule. Innerhalb der Fläche kann punktgenau angegeben werden, inwieweit eine Situation die drei Dimensionen prozentuell erfüllt. Die Abweichung zu einer absoluten Effektivität einer Dimension bemisst sich parallel zur Seite einer gegenüberliegenden Ecke. Um nun auch noch das Zusammenspiel

¹⁷ eigene Darstellung in Anlehnung an: Herdeg P. et al., *Nachhaltige Entwicklung*

¹⁸ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

¹⁹ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

²⁰ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

der Dimensionen mit der Differenzierung in Verbindung zu bringen, werden im nächsten Schritt für eine Integration das Dreiecksdiagramm und das Schnittmengenmodell überlagert.²¹

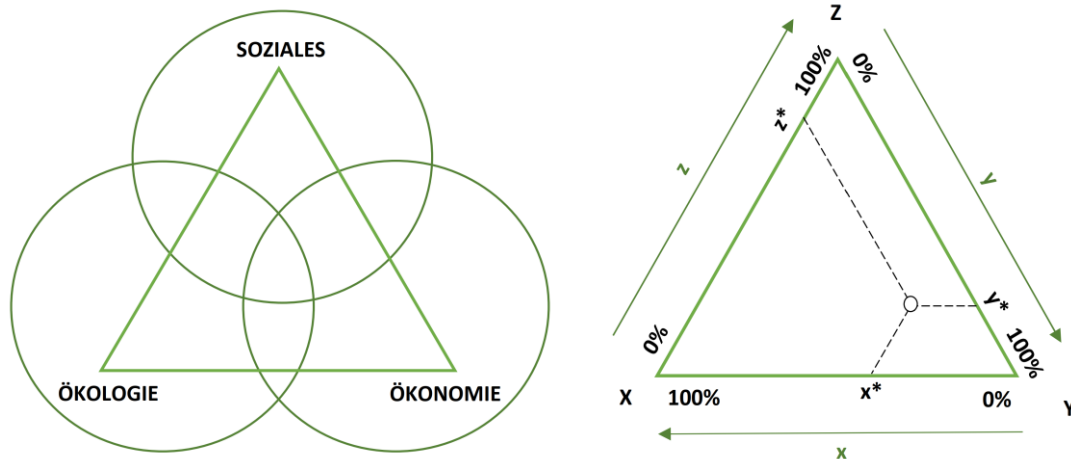


Abb. 2.4.: integriertes Dreiecksdiagramm

Die Kombination beider Modelle erzielt das als heute bekannte integrierte Dreiecksdiagramm. Dadurch können die ökologischen, ökonomischen und die sozialen Belange für die heutige als auch für die zukünftige Generation in individueller Form dauerhaft vereinbart werden.²²

Die drei Längen der Kanten des Dreiecks ergeben jeweils 100 % und stellen die drei Dimensionen dar. Die Verbindung der prozentuellen Angaben aus den Dimensionen entlang der Kanten des Dreiecks ergibt einen Punkt in einer Teilfläche. Die Summe der prozentuellen Angaben drei Dimensionen für einen zu bewertenden Gegenstand ergibt wiederum 100%. Diese Teilflächen unterscheiden sich in schwach, teils und stark konzipierten Dimensionen. Bei Feldern mit einer starken Zuordnung wird die Fläche größtenteils bis absolut von einer einzigen Säule bestimmt. Wohingegen bei Feldern mit schwacher Zuordnung diese gewisse Säule eine kleinere bis keine Rolle spielt, und das Feld wird von den anderen beiden Säulen bestimmt. Die Idealvorstellung der Nachhaltigkeit wäre demnach in der Mitte des Dreiecks aufzufinden. In diesem Fall sind alle drei Dimensionen gleichmäßig aufgeteilt.²³

Obleich einer bestimmten Abhängigkeit der drei Dimensionen zueinander, berücksichtigt dieses Diagramm eine Zielsetzung und ermöglicht dadurch die Angabe einer gewissen Priorisierung eines Bereiches.²⁴

²¹ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

²² Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

²³ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

²⁴ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

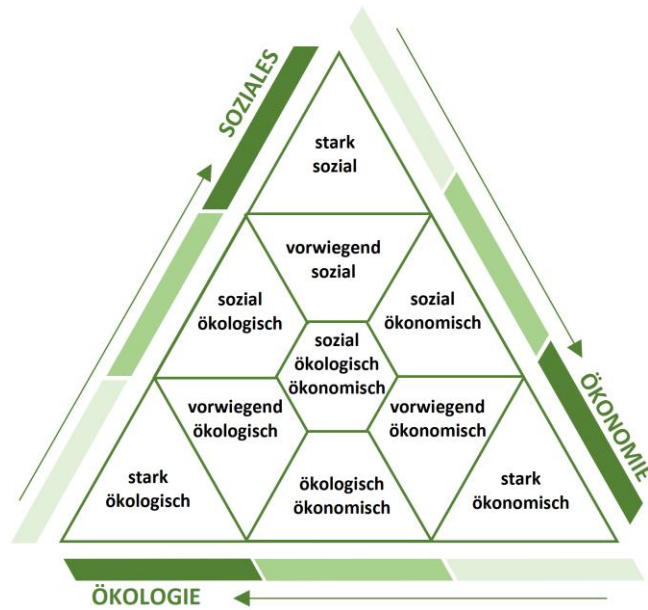


Abb. 2.5.: integriertes Dreiecksdiagramm²⁵

Für die Ermittlung der Position eines Bemessungsindikators der Nachhaltigkeit werden die Berechnungsvorschriften des Gibbs'schen Dreieck, auch Konzentrationsdreieck genannt, herangezogen. Den Ecken des Dreiecks, also den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, werden die Komponenten x, y und z zugeordnet. Gemeinsam ergeben diese in Summe stets 100%. Das zentrale Feld des integrierten Nachhaltigkeitsdreieck muss demnach ein gleichmäßig aufgeteiltes Verhältnis von 33,3% für jeweils alle drei Komponenten der Nachhaltigkeit aufweisen. Ausgehend von diesem Kriterium ergibt sich folgende Zuordnung der Felder.²⁶

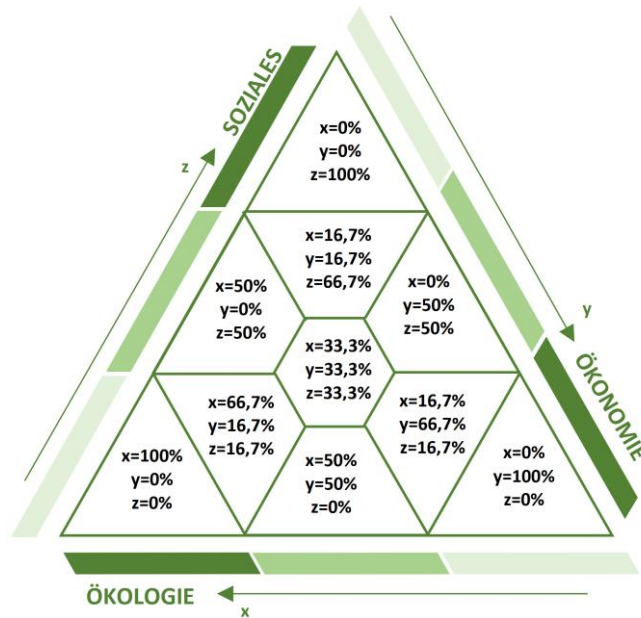


Abb. 2.6.: idealtypische Koordinaten der Felder des integrierten Nachhaltigkeitsdreieck²⁷

²⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an: von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

²⁶ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*, S.171

²⁷ eigene Darstellung in Anlehnung an: von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

Mit dieser Technik wird erstmals eine vereinfachte Operationalisierung der Nachhaltigkeit ermöglicht. Die Handlungsfelder des Dreiecks geben Auskunft über die Quantität der jeweiligen Dimensionen der Nachhaltigkeit. Diese Methode kann etwa für Handlungsfelder und Indikatoren angewendet werden, wodurch eine nachhaltige Entwicklung ermöglicht werden soll.

2.2 Historischer Überblick

2.2.1 Geschichte

Die Definition der Nachhaltigkeit kann bereits den Jägern und Sammlern zugeordnet werden. Eine selektive Nutzung der natürlichen Ressourcen weist seit vielen Jahrhunderten eine umweltschonende und nachhaltige Nutzungsform auf. Durch dieses Wirtschaftssystem passt der Mensch seine Landnutzung kontinuierlich an die jeweiligen Standortbedingungen sowie den Änderungen der Natur an. Diese Gemeinschaften streben den Schutz des Ökosystems an und erweisen sich durch eine verantwortungsvolle Nutzung der auf der Erde vorhandenen Rohstoffe.²⁸

Veraltet wird „nachhaltig“ auch mit, den ins Negative konzipierten, Begriffen „andauern“ oder „ertragen“ definiert. In älterer Verwendung beschreibt das Adjektiv eine Handlung die längere Zeit anhält.²⁹ Die englische Übersetzung „sustainable“ stammt aus dem lateinischen Verbum „sustinere“, was so viel bedeutet wie „ertragen“, „vertragen“ oder „aushalten“. Der Begriff beschreibt demnach zwei unterschiedliche Definitionen. Einerseits einen langfristig verträglichen und andererseits einen langfristig erträglichen Zustand. Eine heutige Verwendung des Begriffes bezieht sich allerdings auf ein positiv konstruiertes Handeln und wird auf Basis des Drei-Säulen-Modells verstanden.³⁰

Erste Ansätze für den Begriff der Nachhaltigkeit findet sich bereits im Jahre 1144 in der **Forstordnung** des Klosters Marmoutier (dt. Maursmünster) in Elsass. Eine Anweisung, dass nicht mehr Holz geschlagen werden dürfe als nachwachsen könne, wird als erste Formulierung für ein Nachhaltigkeitsprinzip betrachtet.³¹ Jedoch wird hier noch nicht der Begriff der Nachhaltigkeit formuliert. Die Bewahrung natürlicher Regeneration wird auch vom Oberberghauptmann und Freiberger in Kursachsen **Hans Carl von Carlowitz** 1713 gedeutet. Erstmals findet der Begriff der „Nachhaltigkeit“ Verwendung in seinem Werk „*Sylvicultura oeconomica*“. Eine zunehmend überregionale Holznot war der Grund für folgende bis heute bekannte Forderung:

*„Wird derhalben die gröste Kunst / Wissenschaft / Fleiß / und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine kontinuierliche beständige und **nachhaltende Nutzung** gebe / weiln es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse [im Sinne von Wesen, Dasein, d. Verf.] nicht bleiben mag.“³²*

Das Waldbewirtschaftungsprinzip von Carlowitz fordert demnach, dass nur so viel Holz im Forst geschlagen werden dürfe, wie durch planmäßige Aufforstung durch Pflanzen nachwachsen könne. Die Ökonomie solle nicht gegen die Natur handeln, um für zukünftige Generationen sorgen zu können. Er definiert dieses Konzept als eine „beständige und nachhaltige Nutzung“ der Natur. Diese Denkweise manifestiert sich über viele Jahre hinweg in die Arbeitsweise vieler naturnaher Branchen.³³

²⁸ Vgl. Goldsmith E., *Der Weg. Ein ökologisches Manifest*, Bettendorf, München (1996)

²⁹ Vgl. Rödel M., *Die Invasion der "Nachhaltigkeit": Eine linguistische Analyse eines politischen und ökonomischen Modeworts*, In: Zeitschrift für Theorie und Praxis, Dok. 2 (2013), S.115-141

³⁰ Vgl. Maydl P., *Die langfristigen Belange haben keine politische Lobby*, Die Presse (2015), bezogen unter: <https://www.diepresse.com/4678466/die-langfristigen-belange-haben-keine-politische-lobby> (Zugriff: 21.10.2022)

³¹ Vgl. Hotz W., *Handbuch der Kunstdenkmäler im Elsass und in Lothringen*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (1965)

³² Hans Carl von Carlowitz, *Sylvicultura Oeconomica, Oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung Zur Wilden Baum-Zucht*, Braun, Leipzig (1713), S.105-106, online: <https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/dlf/85039/127> (Zugriff 09.01.2023)

³³ Vgl. Hans Carl von Carlowitz, *Sylvicultura Oeconomica*

2.2.2 Entwicklung

Obleich der Begriff der nachhaltigen Entwicklung noch nicht genau definiert sein mag, so einigt man sich dennoch auf die Unterteilung in die drei Dimensionen der Ökologie, der Ökonomie und das Soziale. Die Forderungen hierfür werden heutzutage bereits in die Wirtschaft und in unsere Gesellschaft integriert. Grundsätzlich bestimmt das Interesse der Gesellschaft die Politik, während die Wirtschaft größtenteils über Unternehmen gesteuert wird. Die Bedeutung einer nachhaltigen Entwicklung unserer Erde zeigt sich in einem bürgerschaftlichen Engagement, welches ebenso einen gewissen Beitrag zur Politik mit sich bringt.³⁴ Eine ausführliche Aufklärung über Nutzen und Folgen von Nachhaltigkeit steigert immer mehr das Interesse eines jedes Einzelnen und weckt eine allgemeine Motivation in der Gesellschaft auf.

Erst 1972 veröffentlicht der sogenannte *Club of Rome* eine Studie über die Zukunft der Weltwirtschaft mit dem Titel „**The Limits to Growth**“ (dt. „Die Grenzen des Wachstums“) und verleiht dadurch der Nachhaltigkeitsdebatte wieder einen ernsthaften Impuls. Mit dem Ziel einer nachhaltigen Zukunft setzt sich seit 1968 dieser Zusammenschluss von Experten aus 30 verschiedenen Ländern für den Schutz von Ökosystemen ein.³⁵ Der Bericht beschreibt eine Studie, welche auf eine Computersimulation für die Analyse eines Weltmodells beruht. Für die Untersuchung werden fünf Ereignisse herangezogen: Industrialisierung, Bevölkerungswachstum, Unterernährung, Ausbeutung von Rohstoffressourcen sowie die Zerstörung von Lebensraum.³⁶ Erstmals werden die Auswirkungen technologischer Entwicklungen mit den Veränderungen in der Natur in einem Zusammenhang gebracht. Man glaubt an eine Wechselwirkung zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten für das Erzielen einer nachhaltigen Entwicklung. Ausschlaggebende Erkenntnis ist der Zweifel an die Unerschöpflichkeit der natürlichen Ressourcen. Der *Club of Rome* schlussfolgert aus den Untersuchungen, dass die absoluten Wachstumsgrenzen dieser Erde bald erreicht werden würden, wenn es zu keinen Änderungen in den oben genannten fünf Tendenzen kommen würde. Es seien neue Vorgehensweisen erforderlich, um natürliche Rohstoffressourcen auch für zukünftige Generationen sicherstellen zu können.³⁷ Mit dem Vorwurf, dass die Erkenntnisse aus der Studie stark von politischen Vorstellungen geprägt sein sollen, kamen es, als Reaktion auf die Veröffentlichung des Berichts, zu vielen Kontroversen.³⁸ Aus diesem Grund wird die Studie im Jahre 2004 nochmal auf den neuesten Stand gebracht und es wird das 1994 von Mathis Wackernagel und William Rees entwickelte Konzept des ökologischen Fußabdrucks herangezogen.³⁹ Um die Kapazitäten der Erde zu schonen, wird aufgefordert den ökologischen Fußabdruck jedes einzelnen zu verkleinern. Es wird vor allem eine Selbstbeschränkung (Suffizienz) in materieller Hinsicht erwünscht.⁴⁰ Um den momentanen Zustand der Erde zu bessern bedarf es an Disziplin in jeglicher Hinsicht, vor allem jedoch sind der politische aber auch der persönliche Aspekt zu berücksichtigen.

Noch im selben Jahr mit der schriftlichen Veröffentlichung des *Club of Rome* findet die *Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt des Menschen (UNCHE)* in Stockholm statt. Als erste Konferenz der Vereinten Nationen zum Thema Umwelt, verabschieden Vertreter aus 113 Staaten eine

³⁴ Vgl. von Hauff M., et al., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie*

³⁵ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Club of Rome: Grenzen des Wachstums, wie alles begann*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/entstehung_des_berichtes_541.htm (Zugriff 09.11.2023)

³⁶ Vgl. Forrester J. W., *Der teuflische Regelkreis. Das Globalmodell der Menschheitskrise*, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart (1972)

³⁷ Vgl. Forrester J. W., *Der teuflische Regelkreis. Das Globalmodell der Menschheitskrise*

³⁸ Vgl. Simon J. L., *The Ultimate Resource 2*, Princeton Univ. Press (1998)

³⁹ Vgl. Wackernagel M., et al., *Der Ecological Footprint. Die Welt neu vermessen*, EVA, 1.Auflage, Hamburg (2010)

⁴⁰ Vgl. Schuhmacher E. F., *Small is beautiful. Die Rückkehr zum menschlichen Maß*, Rowohlt, Hamburg (1977)

Deklaration mit Prinzipien für die Umwelt. Infolgedessen wird das *Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP)* gegründet, welches sich einen schonenden Umgang mit der Umwelt als Ziel setzt.⁴¹

Die größte Auswirkung auf das politische Engagement für eine nachhaltige Entwicklung löst immer noch das im Brundtland-Bericht beschriebene Leitbild der Nachhaltigkeit aus. Die Definition für eine nachhaltige Entwicklung wird folgendermaßen formuliert:

*“Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.”*⁴²

Eine nachhaltige Entwicklung wird demnach als eine Entwicklung beschrieben, welche die Bedürfnisse der gegenwärtigen Generation erfüllt und gleichzeitig alle Möglichkeiten für eine künftige Generation offenlässt. Der Bericht definiert keine konkreten Maßnahmen für Veränderungen, sondern soll durch genaueste Situationsanalyse lediglich einen Bewusstseinswandel einleiten. Es werden für die Entwicklung der Nachhaltigkeit drei Dimensionen beschrieben, welche in stetiger Wechselwirkung zueinanderstehen. Der Brundtland-Bericht wird somit zu einem Auslöser für ausgiebige Debatten auf internationalen Konferenzen und stellt somit ein neues Ideal für die Weltgemeinschaft dar.

Einen weiteren Höhepunkt der UN-Konferenzen ist die *Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung (UNCED)*, welche 1992 in Rio de Janeiro stattfand.⁴³ Auch als Erdgipfel oder **Rio-Konferenz** bezeichnet, gilt dieser Zusammenschluss als Meilenstein für die Integration von Umweltbestrebungen. 178 Staaten formulieren in der Konferenz über die sogenannte „**Agenda 21**“ einen Leitfaden für das 21. Jahrhundert. Mit dem verabschiedeten Aktionsprogramm werden nationale Umweltpäne und Umweltaktionspläne formuliert. Da für den Erfolg einer nachhaltigen Entwicklung eine breite Beteiligung der Öffentlichkeit erforderlich ist, nehmen neben vielen Regierungsvertretern auch einige nichtstaatliche Organisationen (NGOs) an der Konferenz teil. Somit wird der Umweltgipfel in Rio de Janeiro auslösend für jährlich an wechselnden Orten stattfindenden UN-Weltklimakonferenzen.⁴⁴

Ausschlaggebend von der Kritik, dass die Agenda 21 grundsätzlich keine Umsetzungsprozesse beschreibt, werden auf der dritten Klimakonferenz in Kyoto (Japan) 1997 über das „**Kyoto-Protokoll**“ erstmals rechtlich verbindliche Ziele für Emissionshöchstmengen für Industrieländer festgelegt.⁴⁵ Mit Reduzierungsverpflichtungen für Industrieländer tritt das Abkommen schließlich 2005 in Kraft. Innerhalb der ersten Verpflichtungsperiode zwischen 2008 und 2012 können die jährlichen Treibhausgas-Emissionen durchschnittlich um 5,2% gemindert werden. Für eine Verlängerung des Abkommens zwischen 2013 bis 2020 erklären allerdings die USA, Kanada, Japan und Neuseeland ihren Austritt. Da vor allem Kanada in den Jahren zuvor eine Erhöhung der Treibhausgasemissionen erfuhr, wären bei nicht Erreichen der gewünschten Ziele des Abkommens hohe Strafzahlungen entstanden. Erst 90 Tage vor Ende der Verpflichtungsperiode wurde durch die Akzeptierung von Nigeria das erforderliche Quorum erreicht. Demnach war eine Verlängerung dieses Abkommens nur von kurzer, aber dennoch bedeutender Dauer.⁴⁶

⁴¹ Vgl. Vereinte Nationen, *Bericht der Vereinten Nationen über die Umwelt des Menschen*, Stockholm (1972)

⁴² Vereinte Nationen, *Bericht der Weltkommission über Umwelt und Entwicklung. Our Common Future* (1987), o.S., Kapitel 2/IV

⁴³ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung*

⁴⁴ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Agenda 21*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/agenda_21_744.htm (Zugriff: 21.10.2022)

⁴⁵ Vgl. Vereinte Nationen, *Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen* (1997)

⁴⁶ Vgl. Vereinte Nationen, *Frequently asked questions relating to the Doha Amendment to the Kyoto Protocol*

Als Nachfolger des Kyoto-Protokolls wird das **Übereinkommen von Paris** im Jahre 2015 von 195 Vertragsparteien als völkerrechtlichen Vertrag geschlossen. Ausschlaggebend für dieses Übereinkommen ist die Reduzierung der Erderwärmung auf deutlich unter 2°C bis zum Jahre 2030.⁴⁷

Im Rahmen des sogenannten **Millennium-Gipfels** im Jahre 2000 verabschiedeten die Mitgliedstaaten der Vereinten Nationen die „Millenniumserklärung“, in welcher sie sich für die Förderung der Entwicklung, Bekämpfung der Armut sowie für einen Schutz der Menschenrechte einsetzen.⁴⁸ Daraus abgeleitet werden die acht Millenniums-Entwicklungsziele beschrieben, die bis 2015 erreicht werden sollten.



Abb. 2.7.: 8 Millenniums-Entwicklungsziele⁴⁹

Gegen Ende des erwähnten Jahres werden die Millenniums-Entwicklungsziele, durch die beim *Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in New York* verabschiedeten „**17 Ziele für nachhaltige Entwicklung**“ ergänzt. Hiermit sollen bis 2030 weltweite Armut und Hunger grundsätzlich bekämpft werden.⁵⁰

⁴⁷ Vgl. Vereinte Nationen, UNFCCC, *Historic Paris Agreement on Climate Change: 195 Nations Set Path to Keep Temperature Rise Well Below 2 Degrees Celsius*, Presseerklärung vom 12.12.2015, online: <https://web.archive.org/web/20160117141004/http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/finale-cop21/> (Zugriff 12.01.2023)

⁴⁸ Vgl. Bahrinipour Mandana, *Fokus Entwicklungspolitik. Positionspapiere der KfW Entwicklungsbank. Umsetzungsstand der Millenniums-Entwicklungsziele (MDGs)*, hrsg. KfW Entwicklungsbank (2008)

⁴⁹ Darstellung in Anlehnung an: NoExcuse 2015 Millenniumkampagne, *Die UN-Millenniumentwicklungsziele*, online: <https://www.un-kampagne.de/index-11305.php> (Zugriff: 08.01.2023) (©Piktogramme: Sustainable Development Goals (SDGs))

⁵⁰ Vgl. SDGWATCH Austria, *Über die Sustainable Development Goals (SDGs)*, online: <https://www.sdgwatch.at/de/ueber-sdgs/> (Zugriff 12.01.2023)



Abb. 2.8.: 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung⁵¹

Als Nachfolger des Gipfeltreffens 1992 in Rio de Janeiro gilt der *Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung in Johannesburg*. 2002 werden nationale Nachhaltigkeitsstrategien im „**Johannesburg-Aktionsplan**“ für die Umsetzung der in der Agenda 21 definierten Ziele beschrieben. Erstmals werden hier die Millenniums-Entwicklungsziele im Aktionsplan inkludiert.⁵²

Eine weitere Konferenz der Vereinten Nationen in Rio de Janeiro, auch als **Rio+20** bezeichnet, findet 2012 statt und bestätigt bisher formulierte Ziele. Die Konzentration liegt auf die Wirtschaftsweise der Green Economy, um das menschliche Wohlergehen zu steigern sowie die soziale Gleichheit sicherzustellen.⁵³

Das „Rahmenübereinkommen der vereinten Nationen über Klimaänderungen“ (engl. United Nations Framework Convention on Climate Change, **UNFCCC**) vereint alle Staaten, welche über ein internationales Umweltabkommen das Ziel verfolgen, die Änderung des Erdklimas und dessen nachteiligen Folgen zu vermeiden. Viele Staaten besitzen bereits umfassende Nachhaltigkeitsstrategien, die in Anwendung und im stetigen Aufbau sind. Vor allem haben sich Staaten, welche der *Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (engl. *Organisation for Economic Co-operation and Development*, **OECD**) angehören, sich für Unterstützungsleistungen für Entwicklungsländer ausgesprochen. Auf jährlich stattfindenden Klimagipfel treffen sich die 197 Vertragspartner und einigen sich auf konkrete Maßnahmen zur Umsetzung des Klimaschutzes.⁵⁴

2.3 Situationsanalyse im Bauwesen

2.3.1 Umwelt

Im Laufe ihrer 4,5 Milliarden Jahre währenden Geschichte hat die Erde sowohl kältere als auch wärmere Perioden erlebt. Änderungen in der Umwelt, die durch **Naturereignisse** wie Sturmfluten, Meteoriteneinschläge oder Vulkanausbrüchen verursacht werden, haben ihre Auswirkung auf die menschliche Geschichte.⁵⁵ Eine von Naturereignissen verursachter Klimawandel oder eine Hungerkrise sowie

⁵¹ SDGWatch Austria, *Über die Sustainable Development Goals (SDGs)*

⁵² Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Lokale Agenda 21*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/aalborg_chartalokale_agenda_21_651.htm (Zugriff 12.01.2023)

⁵³ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Weltgipfel Rio +20, Rio 2012*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/weltgipfel_rio_20_rio_de_janeiro_2012_1419.htm (Zugriff 12.01.2023)

⁵⁴ Vgl. Vereinte Nationen, *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*

⁵⁵ Vgl. Brüggemeier F. J., *Schranken der Natur. Umwelt, Gesellschaft, Experimente. 1750 bis heute* (2015)

das Aussterben von Artenvielfalten sind Phänomene, auf die die Menschheit in vielen Fällen nicht dafür ausgerüstet ist. Um für solche Ereignisse vorbereitet zu sein, erfordert es einen historischen Verstand, in welcher der Hintergrund des Phänomens betrachtet wird und Ursachen erforscht werden. Die Umweltgeschichte zu studieren, reicht jedoch nicht aus, um für die Zukunft gewappnet zu sein. Ereignisse aus der Vergangenheit lassen sich nicht auf die Gegenwart übertragen. Daher ist ein stetiges Beobachten der Veränderungen in der Umwelt erforderlich.⁵⁶

Im Gegensatz zur Umgebung, welche die bloße Aufnahme von Objekten in einem Raum bezeichnet, wird die **Umwelt** über ein Weltbild definiert, in welcher es eine kausale Beziehung zwischen dem Lebewesen und seiner natürlichen Außenwelt gibt.⁵⁷ Die Umweltgeschichte beschreibt demnach nicht nur die Auswirkungen von Veränderungen in der Natur, sondern stellt auch den Einfluss des Menschen in der Natur dar. Die Wechselwirkung zwischen menschlichen Handlungen und unvermeidbaren Naturereignissen fasst die Umweltgeschichte zusammen.⁵⁸

Unbestreitbar haben **unsere Eingriffe** für einen ausschlaggebenden Wandel in der Natur gesorgt. Schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts haben Forscher Änderungen in der Umwelt festgestellt. Die späte Erkenntnis, der durch menschliche Eingriffe verursachten Änderungen in der Umwelt, lässt die Vergangenheit nicht ungeschehen machen. Viele natürliche Prozesse haben sich in Anbetracht historisch festgelegter Dokumentation beträchtlich verändert. Nicht anthropogene und naturbelassene Landschaften gibt es in Europa kaum noch.⁵⁹ Der Mensch greift mit seinen Taten ein und schafft sich eine „ideale Natur“. Doch die möglichen Auswirkungen unseres Handelns werden nicht für alle Szenarien durchdacht. Einerseits verändern wir die Natur auf direktem Wege, durch etwa die Erzeugung einer Kulturlandschaft. Der Naturraum wird in seiner Fauna und Flora durch anthropogene Eingriffe angegriffen. Auf der anderen Seite dringen Verbrennungsabgase aus Industrieanlagen, Kraftfahrzeugen oder auch Luftfahrzeugen in unsere Erdatmosphäre. Mittlerweile wird die gesamte Umwelt als Kulturlandschaft betrachtet, da anthropogene Emissionen überall nachweisbar sind.⁶⁰ Jede kleinste Emission bewirkt eine Immission auf dieser Erde und zeigt ihre Effekte in Kurz- oder Langzeitwirkung. Untersuchungen der Universität in Oxford zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit für ein existenzielles Risiko für die Menschheit durch anthropogene Veränderungen in der Umwelt eher erreicht werden würde als, dass es durch eine natürliche Katastrophe passieren würde.⁶¹ Unser Handeln kann sich in der Umwelt sofort bemerkbar machen, doch in vielen Fällen treten Änderungen sehr schleichend ein. Viele für uns heute selbstverständlichen Tätigkeiten können sich später über negative Auswirkungen auf die Umwelt bemerkbar machen. Änderungen in unserem Umweltsystem können sich auf Boden, Wasser oder Luft auswirken. Dadurch ist das Leben – sowie in vielen Fällen auch das Überleben – aller Lebewesen auf der Erde ungewiss.⁶² Das Aussterben vieler Artenvielfalten in der Tierwelt oder die Zerstörung großer Naturlandschaften sind nicht reversibel. Daher zählt es nun stetige Beobachtungen und Kontrollen unseres Handelns auszuwerten, um weitere für die Umwelt negative Effekte zu vermeiden. Es ist wichtig alle Tätigkeiten unseres Alltags auf mögliche Veränderungen in der Umwelt zu hinterfragen und dementsprechend zu handeln. Die Umwelt und ihr Schutz in jeglicher Hinsicht muss fester Bestandteil unseres Alltags werden.

⁵⁶ Vgl. Masius Patrick et al., *Umweltgeschichte und Umweltzukunft. Zur gesellschaftlichen Relevanz einer jungen Disziplin* (2009), S.11

⁵⁷ Vgl. Masius Patrick et al., *Umweltgeschichte und Umweltzukunft* (2009), S.13 ff

⁵⁸ Vgl. Beier Robert et al., *Umweltgeschichte* (2013), S.9

⁵⁹ Vgl. Beier Robert et al., *Umweltgeschichte* (2013), S.11 & S.12

⁶⁰ Vgl. Fischer L., *Kulturlandschaft – naturtheoretische und kultursoziologische Anmerkungen zu einem Konzept* (2007)

⁶¹ Vgl. Existential risks: threats to humanity's survival, *Frequently Asked Questions*, online: <https://www.existential-risk.org/faq.html> (Zugriff: 21.10.2022)

⁶² Vgl. Beier Robert et al., *Umweltgeschichte* (2013), S.12

2.3.2 Nachhaltigkeit im Bauwesen

In jedem Aspekt des Lebens sollte der Mensch dazu angestrebt sein, sein Handeln zu hinterfragen. Unser Vorgehen muss zukunftsorientiert sein, um für nachfolgende Generationen eine intakte Umwelt zu hinterlassen. Im Bauwesen findet man hierfür zwei verschiedene Motivationen. In Abhängigkeit davon, ob die Gesundheit des Menschen oder jener der Umwelt betrachtet wird, wird zwischen der Baubiologie und der Bauökologie unterschieden. Hierbei handelt es sich um die Auswirkungen von Bauprozessen oder das Gefahrenpotenzial von Baustoffen auf Mensch und Umwelt. Beide Begriffe hängen eng miteinander zusammen und unterstützen das Ziel einer innovativen Denkweise.

In der **Baubiologie** wird es angestrebt die Wechselbeziehung zwischen dem Menschen und seiner gebauten Umwelt möglichst harmonisch zu gestalten. Die Auswirkungen aus den Veränderungen, die wir am Ökosystem ausüben, wurden lange Zeit nicht hinterfragt. Mittlerweile ist bekannt, dass Baustoffe und Bauteile sowohl in ihrer Herstellung als auch in ihrer Verwendung und sogar in der Abschaffung großen Einfluss auf die Gesundheit des Menschen und der Natur haben. Erstmals beschreibt Hubert Palm im Jahre 1968 „das gesunde Haus“ und setzt somit einen Meilenstein in der modernen Denkweise des alternativen Bauens.⁶³ Den Großteil unseres Lebens verbringen wir in Gebäuden. Es ist somit selbstverständlich, wenn dieser in diesem Sinne zweiten Haut des Menschen besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Von der Gebäudehülle und den verwendeten Dämmstoffen bis hin zur integrierten Haustechnik sowie den verwendeten Lehmputzen und Farben werden Maßnahmen gesetzt, um eine umweltfreundliche und schadstoffminimierte Ausführung von Bauwerken zu erzielen. Weltweit steigt ein großes Interesse bei Bauwerberinnen und Bauwerbern Bauwerke mittels geeigneter Erkenntnisse und neuester Technologie schadstofffrei auszuführen.

Entscheidend in der Baubiologie ist der Schutz des Menschen und sein Wohlbefinden in der Umgebung. Zum Wohle eines gesünderen Wohn- und Arbeitsumfeld werden Bauteile bzw. Baustoffe in verschiedenen Verfahren auf toxische Stoffe untersucht. Gesundheitsrisiken, welche durch Schadstoffemissionen über Möbel oder etwa auch durch einen Elektrosmog im Haushalt entstehen, werden durch den Einsatz erforschter Techniken ermittelt. Störungen, die sich auf den Schlaf auswirken, Allergien hervorrufen, Kopfschmerzen verursachen oder Infektionen und Depressionen auslösen, sind meist nicht auf den ersten Blick erkennbar. Sogenannte flüchtig organische Stoffe (engl. volatile organic compounds, kurz **VOC**) sind organische Verbindungen aus unzähligen biogenen und anthropogenen Inhaltsstoffen, welche in vielen Materialien und Produkten unseres täglichen Alltages vorkommen. Bereits bei einer Raumtemperatur entweichen diese Stoffe und verunreinigen dadurch die Umgebungsluft.⁶⁴ Durch die Einhaltung der vom deutschen *Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit* formulierten „25 Leitlinien der Baubiologie“ können das Wohnen, Schlafen und das Arbeiten in einem Gebäude in einem gesunden und nachhaltigen Umfeld sichergestellt werden.

⁶³ Vgl. Palm H., *Das gesunde Haus. Unser naher Umweltschutz*, Berlin (1992)

⁶⁴ Manomano, *Flüchtige organische Verbindungen: Alles was Sie wissen müssen*, online: <https://www.manomano.de/beratung/fluechtige-organische-verbindungen-alles-was-sie-wissen-muessen-9175> (Zugriff: 19.09.2022)

Institut für
Baubiologie +
Nachhaltigkeit

25 LEITLINIEN DER BAUBIOLOGIE

Die Baubiologie umfasst Kriterien für ein gesundes, naturnahes, nachhaltiges und schön gestaltetes Lebensumfeld. Dabei geht es um Baustoffe und Raumgestaltung sowie um ökologische, ökonomische und soziale Aspekte.

| | | | | | |
|--------------------------------|--|---|---|--|--|
| INNRUMKLIMA | | Reiz- und Schadstoffe reduzieren und ausreichend Frischluft zuführen | | Physiologische und ergonomische Erkenntnisse berücksichtigen | |
| | Gesundheitsschädliche Schimmel- und Hefepilze, Bakterien, Staub und Allergene vermeiden | | Neutral- oder wohlrühende Materialien verwenden | | Regionale Baukultur und Handwerkskunst fördern |
| | Elektromagnetische Felder und Funkwellen minimieren | | Strahlungswärme zur Beheizung bevorzugen | | UMWELT, ENERGIE UND WASSER |
| BAUSTOFFE UND RAUM AUSSTATTUNG | | Natürliche, schadstofffreie Materialien mit möglichst geringer Radioaktivität verwenden | | Den Energieverbrauch minimieren und erneuerbare Energiequellen nutzen | |
| | Auf ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Wärmedämmung, Wärmespeicherung, Oberflächen- und Raumlufttemperaturen achten | | Feuchtigkeitsausgleichende Materialien verwenden | | Beim Bauen und Sanieren negative Auswirkungen auf die Umwelt vermeiden |
| | Auf geringe Neubaufeuchte achten | | Raumakustik und Schallschutz optimieren (inkl. Infrasschall) | | Natürliche Ressourcen schonen, Flora und Fauna schützen |
| RAUMGESTALTUNG UND ARCHITEKTUR | | Auf harmonische Proportionen und Formen achten | | Regionale Bauweisen bevorzugen, Materialien und Wirtschaftskreisläufe mit bestmöglicher Ökobilanz wählen | |
| | Sinneseindrücke wie das Sehen, Hören, Riechen und Tasten fördern | | Auf naturnahe Lichtverhältnisse und Farben achten, flimmerfreie Leuchtmittel verwenden | | Für optimale Trinkwasserqualität sorgen |
| ÖKOZIALER LEBENSRAUM | | Bei der Infrastruktur auf gute Nutzungsmischung achten: kurze Wege zum Arbeitsplatz, zum öffentlichen Nahverkehr, zu Schulen, Geschäften etc. | | Den Lebensraum menschenwürdig und umweltschonend gestalten | |
| | In ländlichen und städtischen Siedlungen ausreichende Grünflächen vorsehen | | Nah- und Selbstversorgung stärken, regionale Dienstleistungsnetzwerke und Lieferanten einbinden | | In ländlichen und städtischen Siedlungen ausreichende Grünflächen vorsehen |
| | Baugrundstücke wählen, die möglichst nicht durch Altlasten, Strahlenquellen, Schadstoffemissionen und Lärm belastet sind | | | | |

Unter realen Bedingungen können nicht immer alle Kriterien erfüllt werden. Im Mittelpunkt der Betrachtung steht deshalb deren Optimierung im individuell machbaren Rahmen.

Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN | Erlenastraße 24 | 83022 Rosenheim | Tel. 08031-353920 | www.baubiologie.de | Download: www.25leitlinien.baubiologie.de

© Institut für Baubiologie + Nachhaltigkeit IBN. © Piktogramme Christian Kaiser. Text und Bilder dürfen unverändert unter Nennung der Quelle in allen Medien wiedergegeben werden.

Abb. 2.9.: Leitlinien in der Baubiologie - Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit⁶⁵

⁶⁵ Text: © Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit (IBN), 25 Leitlinien in der Baubiologie und Nachhaltigkeit; Piktogramme: © Christian Kaiser; online: www.baubiologie.de (Zugriff: 08.01.2023)

Das Einhalten dieser Regelungen garantiert gleichzeitig die Erfüllung der Anforderungen der Bauökologie. Im Gegensatz zur Baubiologie beschäftigt sich die Bauökologie zusätzlich mit den Auswirkungen der Bauwerke auf die Umwelt. Eine Wechselbeziehung zwischen belebter und unbelebter Umwelt. Eine große Verantwortung der Ökologie gegenüber trägt heute das Bauwesen. Die Auswirkungen des gesamten Lebenszyklus der Rohstoffbereitstellung von der Herstellung, Verwendung bis zur Entsorgung fließen in den Kreislauf des Ökosystems mit ein.⁶⁶

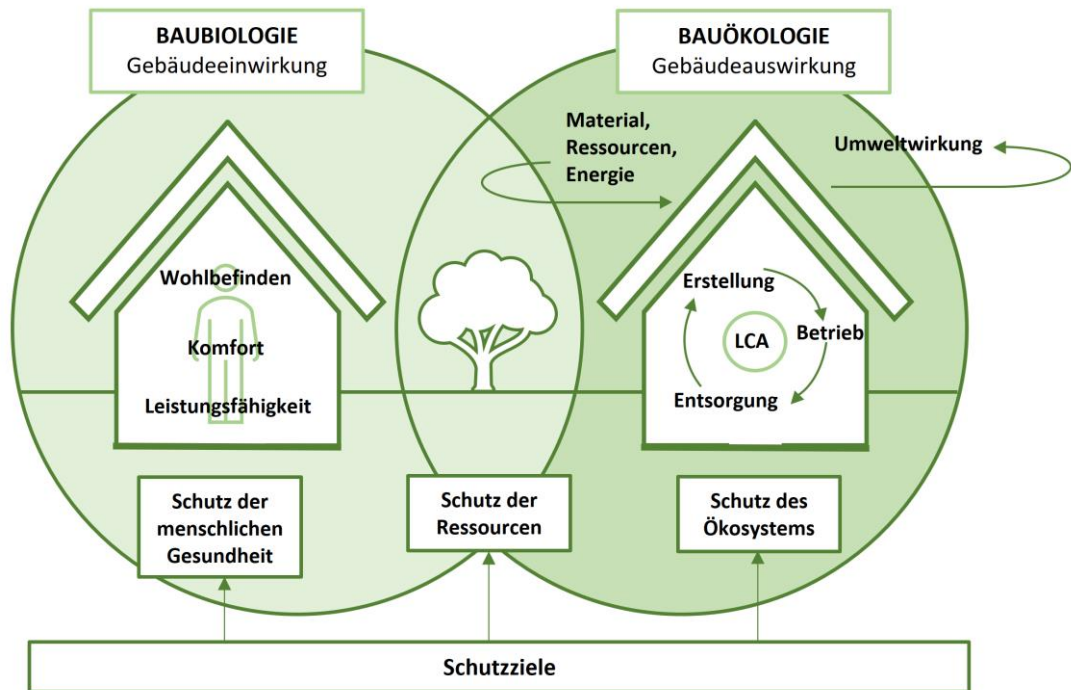


Abb. 2.10.: Schutzziele der Baubiologie und Bauökologie⁶⁷

Dementsprechend verfolgen sowohl die Baubiologie als auch die Bauökologie dasselbe Ziel. Neben dem Schutz des Menschen über die Baubiologie und dem Schutz des Ökosystems über die Bauökologie, verantworten sich beide Begriffe zusätzlich für den Schutz der vorhandenen natürlichen Ressourcen. Aufgrund des hohen Gebäudeenergieverbrauchs ist der Bau- und Gebäudesektor laut dem am 16.12.2020 vorgelegten Berichtes des UN-Umweltprogramms „2020 Global Status Report for Building and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector“ für 38 % der globalen **CO₂-Emissionen** verantwortlich.⁶⁸ Daher droht der Bausektor die im Pariser-Abkommen festgelegten Ziele nicht zu erreichen. Um bis 2030 die CO₂-Emissionen halbieren zu können, werden die Maßnahmen des Pariser Abkommens verschärft. Somit sind alle Akteure im Herstellungsprozess eines Gebäudes dazu angestrebt eine kohlenstoffarme Produktion zu erreichen. Das für 2050 gesetzte Ziel eines kohlenstofffreien Gebäudebestandes kann erst durch Optimierungsvorgänge im Bauprozess und eine Ressourcenschonung erfolgen.⁶⁹ Die Schwierigkeit in der Umsetzung ist meist der Unüberschaubarkeit der Thematik zuzuschreiben. Um Bauprozesse nachhaltiger ausführen zu können gilt es dem technischen Fortschritt die größte Aufmerksamkeit zu schenken. Die neuesten Technologien werden den gesellschaftlichen Werten vorangestellt.

⁶⁶ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl: Gebäude ökologisch Bilanzieren und Optimieren*, München DETAIL (2014)

⁶⁷ eigene Darstellung in Anlehnung an: El Khouli Sebastian, et al., *Nachhaltig Konstruieren*

⁶⁸ Vgl. El Khouli Sebastian, et al., *Nachhaltig Konstruieren*

⁶⁹ Vgl. Solarify, *Rekord-CO₂-Ausstoß im Baubereich*, online: <https://www.solarify.eu/2020/12/17/331-0-rekord-co2-ausstoss-im-baubereich/> (Zugriff: 19.09.2022)

Für eine bessere Übersicht werden Gebäude und Materialien nach ökologischen Grundsätzen bewertet. Die Beurteilung erfolgt durch unabhängige Institute und Gemeinschaften, welche über zahlreiche Laborprüfungen die einzelnen Produkte auf den Ressourcenverbrauch und die Emissionen über den gesamten Herstellungsprozess überprüfen. Bei Erfüllung gewisser Kriterien werden spezifische Gütesiegel vergeben. Auswirkungen auf den Treibhauseffekt, die Übersäuerung der Gewässer oder der Abbau der Ozonschicht sind Eigenschaften, die bei der Prozessanalyse untersucht werden. Als wichtigstes Kriterium für ein Zertifizierungsprogramm gelten die sogenannten **Umweltproduktdeklarationen**. Für eine europaweite einheitliche Bewertung ökobilanzierter Inhaltstoffe werden Typ-III Umweltdeklarationen (engl. Environmental Product Declarations, EPD) herangezogen. Über die EPD werden Grundanforderungen der europäischen Bauproduktenverordnung in der ISO 14025 „Umweltkennzeichnungen und -deklarationen – Typ-III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren“ sowie in der EN 15804 „Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Kategorie Bauprodukte“ geregelt.⁷⁰

Gegenwärtig stellt das Thema **Nachhaltigkeit** eines der wichtigsten Leitbilder der Zukunft dar. In Bezugnahme auf die ökologische, die ökonomische und die soziale Dimension sind Gebäude stets im Sinne einer Verantwortung gegenüber einer Sicherheit für unsere Umwelt und Gesellschaft zu definieren. Über das nachhaltige Bauen werden Anforderungen an den Umweltschutz gesetzt. Hiermit wird für eine hohe Planungs- und Bauqualität gesorgt. Nachhaltige Ziele zu verfolgen, bedeutet demnach einen gesunden Lebensraum zu schaffen und gleichzeitig auf die Gesundheit der Umwelt zu achten. Wie stark diesen Zielen nachgegangen wird, hängt von mehreren Faktoren ab. Unter anderem spielen das finanzielle Budget aber auch die Ausprägung des Wissens in diesem Gebiet wesentliche Rollen. Zur Erzielung einer energiesparenden und ressourcenschonenden Qualität ist die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes allerdings unbestreitbar. Von der Planung, bis zur Errichtung, der Nutzung und dem anschließenden Abbau eines Gebäudes ist die Nachhaltigkeit miteinzubeziehen.⁷¹ Für die Umsetzung eines ressourcenschonenden Bauens müssen alle Akteure im Bauwesen gestärkt werden. Das Zusammenspiel der Baubiologie und der Bauökologie ist eine Annäherung zur „perfekten Lösung“. Zukunftsorientiertes Denken führt zur Optimierung der Gesundheit des Menschen und der Natur. Das Verwenden einer nicht nachhaltigen Lösung ist erst dann gerechtfertigt, wenn bislang keine bessere Lösung vorhanden ist. Dennoch ist in diesem Falle, die Notwendigkeit zu hinterfragen und bei Nicht-Einhaltung sind die Konsequenzen auf die Umwelt zu minimieren. Erst wenn im ökologischen, ökonomischen und im sozialen Bereich der Nachhaltigkeit ein Mindestmaß an Zufriedenheit erreicht ist, kann eine Produktionsart oder ein Produkt als nachhaltig bezeichnet werden.

⁷⁰ Baunetz_Wissen, *Umweltzeichen, Labels und Umweltproduktdeklarationen*, online: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/richtlinien-verordnungen/umweltzeichen-labels-und-umweltproduktdeklarationen-152368> (Zugriff 19.09.2022)

⁷¹ Vgl. Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat, *Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden* (2019), S.7

3 Nachhaltigkeit im Bauwesen

3.1 Entstehung eines nachhaltigen Bewusstseins

Nachhaltig Bauen erfordert kein großes Umdenken, sondern bedient sich am bisherigen Erfolg der Baugeschichte und erzielt über eine zukunftsorientierte Vorgehensweise eine Variante des Bauens, welche Rücksicht auf Mensch und Natur nimmt. Wirft man einen genaueren Blick auf die Baugeschichte, erkennt man, dass viele Jahrhunderte zurück bereits einige nachhaltige Baustoffe in Verwendung waren.

3.1.1 Mittelalter

Noch vor der Einführung des ersten Kraftfahrzeugs 1886 über Carl Benz oder des ersten Luftfahrzeugs 1903 durch die Gebrüder Wright, verlief der Transport von Baumaterial über sehr aufwändige Varianten. Große Steinbrüche wurden auf Lastschiffen, Schlitten oder Wagen transportiert. Kräftige Säugetiere, wie Ochsen, Pferde oder Eseln, dienten hierbei als Zugtiere.⁷² Die Rahmenbedingungen der vorhandenen Technologie und der umgebenden Umwelt bestimmte das Wesen des Bauens. Der Mensch bediente sich stets der vorhandenen Baumaterialien aus der naheliegenden Natur. Im mitteleuropäischen Raum agiert in der Epoche des **Frühmittelalters** (6. Jahrhundert bis Anfang/Mitte des 11. Jahrhunderts) somit der Stein als das wichtigste Baumaterial. Zusätzlich kommen Holz sowie Kalk für die Mörtelherstellung zur Anwendung. Obgleich von der mittelalterlichen Bautechnik wenig bekannt ist, kann durch erhaltene Gebäude und Ruinen sowie durch entdeckte Bauhilfsmittel ein Rückschluss auf mögliche Bautechniken geführt werden.⁷³ Diesem Wissen macht sich die Archäologin Renate Jernej zunutze. Mit ihrer Idee startet sie 2009 ein Bauprojekt in Friesach, Kärnten. Inspiriert vom französischen Konzept in Guédelon, soll nun auch in Österreich der Bau einer mittelalterlichen Burg bis frühestens 2049 fertiggestellt werden. Die lange Bauzeit ist dem gewählten mediävalem Baustil zuzuschreiben. Ganz ohne technische Hilfsmittel übernehmen in diesem Projekt Noriker, Schmiede und Bauarbeiter die Schwerarbeit. Verwendetes Holz kommt lediglich aus der naheliegenden Umgebung, Werkzeuge werden selbst geschmiedet und Mörtel mit Schutt und Kalk vor Ort verarbeitet.⁷⁴ Somit verkörpert dieses zeitaufwändige Projekt eine nachhaltige Baumethode, bei welcher es durch etwa Transportmittel oder der Herstellung von Baumaterialien zu keinen Schadstoffemissionen kommt.

Diese minimalistische und die unbewusst ökologisch angeeignete Lebensweise wird durch einen starken Bevölkerungswachstum im späten **Hochmittelalter** (11. Jahrhunderts bis zur Mitte des 13. Jahrhunderts) in West- und Mitteleuropa übergangen. Die Notwendigkeit einer plötzlichen Erhöhung der Erträge und das Bedürfnis neuer Produktionsmethoden zeigen sich in einem umweltschädlichen Raubbau an der Natur und durch eine starke Luft- und Wasserverschmutzung. Viele Waldflächen werden gerodet und das gewonnene Holz für Bau- oder Heizzwecke verwendet. Ebenso wird das Verbrennen von Holz zur Gewinnung von Hitze in vielen Herstellungsprozessen in Glas- und Ziegelhütten benötigt. Massenhaft werden Stoffe wie etwa Stickoxyd, Schwefeldioxyd, Kohlenmonoxyd, Blei, Zink und viele weitere bei der Herstellung von Glas, Metallen oder Erzen in die Luft freigesetzt. Erhebliche Änderungen an der Umwelt zeigen sich durch belastete Äcker und Weiden und eine Verschlechterung der Gesundheit von Menschen und Tieren.⁷⁵ Vor allem entsteht im 12. Jahrhundert in England durch

⁷² Mittelalterlexikon, *Baumaterialtransporte*, online: <https://www.mittelalter-lexikon.de/wiki/Baumaterialtransporte> (Zugriff 08.06.2022)

⁷³ Vgl. Bayerl G., *Technik im Mittelalter und Früher Neuzeit*, Theiss, Stuttgart (2013)

⁷⁴ Vgl. Pollerhof Thorben, *Alles Handarbeit: Burgbau wie im Mittelalter*, Homepage der Standard (2021), online: <https://www.derstandard.at/story/2000130644503/alles-handarbeit-burgbau-wie-im-mittelalter> (Zugriff: 08.06.2022)

⁷⁵ Vgl. Landrichter, *Umweltbelastungen im Mittelalter – Luftverschmutzung und Gestank*, Website Mittelaltergazette (2014), online: <http://mittelaltergazette.de/10925/wissenswertes/umweltbelastungen-im-mittelalter-luftverschmutzung-und-gestank/> (Zugriff: 19.05.2022)

das Verbrennen von großen Mengen an Steinkohle eine enorme Luftverpestung, die bei vielen Menschen zu Atemwegserkrankungen führt. Auch der beträchtliche Abbau und die Verarbeitung von Blei in England zieht nicht nur lokale Folgen mit sich. Bleiablagerungen sind in Wasserleitungen sowie an den Dächern hoher Gebäude bis heute noch aufzufinden. Durch den Wind haben sich Bleipartikel sogar nach Mitteleuropa verweht und lassen sich gegenwärtig in den Gletschern der Schweizer Alpen nachweisen.⁷⁶ Auch in Grönland haben Forscher in den 1990er Jahren das Gletschereis auf Spuren von metallhaltigen Aerosolen, wie Blei und Kupfer, analysiert und Rückschlüsse auf Luftbelastungen aus der Antike und dem Mittelalter festgestellt.⁷⁷ Diesen enormen Veränderungen in der Umwelt wurde durch einigen Verboten entgegengewirkt. Zahlreiche Stoffe und somit auch viele Herstellungsprozesse werden untersagt oder nur bedingt fortgeführt. In einigen Städten wird der Betrieb von emissionsintensiven Produktionsstätten im engeren Siedlungsbereich verwehrt. An anderen Orten findet eine grundlegende Trennung von Wohn- und Gewerbegebiet statt.⁷⁸ Erste Anzeichen für ein zukunftsorientiertes Denken weist der schwäbische Herzog und späterer römisch-deutscher König, sowie Kaiser des römisch-deutschen Reiches Friedrich I. Barbarossa. Aufgrund einer Holzknappheit werden Baumgattungen in ihre Nutzungen unterteilt und dementsprechend verwendet. Demgemäß darf für Brennholz jede Baumart ausschließlich der Buche und der Eiche verwendet werden, da diese als Bauholz dienen sollen.⁷⁹ In vielen Fällen werden die Folgen anthropogener Handlungen zu spät erkannt. Vorhandene Mängel in der Natur oder Verschlechterungen von Ressourcen werden verdrängt und unbedacht bedient man sich an noch unbenutzten Waldflächen.

Im **Spätmittelalter** (Mitte des 13. Jahrhunderts bis Ende des 15. Jahrhunderts) werden die Folgen der anthropogenen Taten der Menschheit immer erkenntlicher. Der früh- und hochmittelalterliche Bergbau vor allem in Mitteleuropa weist nun massive Bodenerosionen sowie Veränderungen in der Erdkruste auf. Auch der starke Holzverbrauch ist durch den großen Raubbau an der Natur immer deutlicher zu erkennen und zwingt manche Ortschaften ihre Gewerbegebiete aus dem städtischen Umland zu verlagern. Vor allem sind Hüttenwesen, wie etwa Metallverhüttungen, Seigerhütten, Schmelzhütten aber auch Köhlereien betroffen, in welchen Holz bzw. Holzkohle als Energieträger erforderlich ist.⁸⁰ Die Einstellung der Anlagebetriebe von Seigerhütten hingegen ist oft mit politischen Komplikationen verbunden, da diese häufig im Besitz angesehener Familien sind. Die Verwendung von Blei für den Schmelzprozess von Schwarzkupfer zur Gewinnung von Silber zeigt enorme Auswirkungen in der Luftqualität. Als Mitte des 14. Jahrhunderts der weit bekannte „Schwarze Tod“ in Europa etwa 25 Millionen Menschen das Leben nimmt wird somit etwa ein Drittel der damaligen Bevölkerung ausgelöscht. Der starke Bevölkerungsrückgang bringt viele verlassene Ortschaften mit sich und zahlreiche Gewerbestätte werden stillgelegt. Diese Situation verleiht der Natur die Chance der Rückeroberung dieser Gebiete. Da der Betrieb emissionsintensiver Produktionsstätten vielerorts eingestellt wird, sind eindeutige Verbesserungen der Luftqualität zu erkennen. Obgleich das Schwermetall gegenwärtig seltener zur Anwendung kommt, sind dennoch gewisse Konzentrationen in der Umwelt aufzufinden. In vielen Fällen lassen sich die Rückstände auf viele Jahrhunderte alte Herstellungsprozesse zurückführen.⁸¹

⁷⁶ Vgl. Mittelalterlexikon, *Umweltprobleme*, online: <https://www.mittelalter-lexikon.de/wiki/Umweltprobleme> (Zugriff 19.05.2022)

⁷⁷ Vgl. Briest R., *Darf der Mensch denn alles? 3000 Jahre Umweltzerstörung*, In: Leseliste Certamen Rheno-Palatinum für Latein IV 2000, online: https://lw-alte-sprachen.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/lw-alte-sprachen.bildung-rp.de/Latein_IV/Leseliste_CRP_IV_2020.pdf (Zugriff 06.04.2022)

⁷⁸ Vgl. Henze W. et al., *Umweltschutz bei Planung und Bau von Industrie- und Gewerbeanlagen*, Berlin (1990), S.28

⁷⁹ Vgl. Fuhrmann B., *Holzversorgung, Waldentwicklung, Umweltveränderungen und wirtschaftliche Tendenzen in Spätmittelalter und beginnender Neuzeit*, Stuttgart (2013), S.313

⁸⁰ Vgl. Fuhrmann B., *Holzversorgung, Waldentwicklung, Umweltveränderungen*, S.314

⁸¹ Vgl. Lingenhöhl D., *Pest machte die Luft bleifrei*, *Homepage Spektrum* (2017), online: <https://www.spektrum.de/news/umweltverschmutzung-pest-machte-die-luft-bleifrei/1481871> (Zugriff: 19.05.2022);

3.1.2 Industrialisierung

Mit Beginn der Industrialisierung (Ende des 18. Jahrhunderts bis Ende des 19. Jahrhunderts bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts) werden weltweit neue Bautechniken eingeführt. Das wirtschaftliche Wachstum erreicht die einzelnen europäischen Länder zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Es folgt eine Zeit der Innovationen und Erfindungen auf allen Gebieten. Das wirtschaftliche Wachstum sorgt für einen Ausbau in der Infrastruktur, eine Entwicklung im Bildungswesen, Fortschritte in der Landwirtschaft sowie Reformen in der Unternehmerorganisation.⁸² Ein erhöhter Bedarf an Mengenwaren löst einen rasanten Fortschritt in der Produktionsherstellung aus. Zunehmender Maschineneinsatz in den Betrieben verändern die Arbeitsverhältnisse. Ein erhöhtes Arbeitsangebot zwingt die Menschen in die Gewerbegebiete zu ziehen. Aufgrund der dadurch entstehenden Landflucht werden Großstädte gegründet. Ein erneuter **Bevölkerungswachstum** erfordert neue Wohnsiedlungen. Unbedacht werden große Bodenflächen versiegelt und Siedlungen dadurch vergrößert bzw. neu errichtet. Dieses Vorhaben zeigt deutliche Senkungen des **Grundwasserspiegels** und hat verheerende Auswirkungen auf die aquatische Fauna. Auch weist der Bergbau maßgebliche Folgen auf das Grundwasser auf. Für eine steigende Umfrage nach Kohle und Erz wird in tiefer gelegene Gesteine vorgedrungen, wo man notgedrungen das Grundwasser mithilfe von Dampfpumpen abpumpen muss. Diese Bodenbewegungen bei den Bergbautätigkeiten haben überdies starke Bodensenkungen zur Folge.⁸³ Neben dem Bevölkerungsanstieg hat auch der rapide Anstieg industrieller Produktion belastende Auswirkungen auf Wasser, Boden und Luft. Gewässer werden durch Chemikalien der Abwässer verunreinigt, die Luft durch die Abgase und weiteren Emissionen verseucht und der Boden etwa durch unsachgemäße Landwirtschaft angegriffen.

Für die Eisengewinnung wird weiterhin Holz als primärer Brennstoff verwendet. Der große Bedarf erfordert weitflächige Rodungen der Wälder. Unter anderem spielt hierbei die weltverändernde Erfindung einer ersten voll funktionsfähigen Dampfmaschine durch James Watt eine große Rolle. Bei **Holzknappheit** wird Holz über weite Transportwege befördert. Dies wird vor allem aber auch durch die darauffolgende Einführung der Eisenbahn durch George Stephenson ermöglicht. Eine rapide Ausweitung des Streckennetzes führt Eisenbahnstrecken durch Landschaften und Flüsse. Stetig sinkende Transportpreise steigern den Gütertransport. Dieser technologische Fortschritt erhöht die Transport- und Produktionskapazitäten. Der Einsatz von Dampflokomotiven erhöht den Kohlenstoffdioxidausstoß. Eine Veränderung der Luftqualität wird außerdem durch den erhöhten Bedarf an Eisen und Stahl hervorgerufen. Für den hierfür benötigten Brennstoff wird, der nicht erneuerbarer Rohstoff Kohle verwendet. Dieser fossile Brennstoff dient als Energieträger, welcher die Verwertung gespeicherter Sonnenenergie ermöglicht. Ein wesentlicher Bestandteil der scheinbar unendlich vorhandenen Energiequelle ist Schwefel, bei welchem durch einen Brennprozess Schwefeldioxid bzw. Schwefeltrioxid entsteht. Der dadurch entstandene sogenannte „**saure Regen**“ schädigt nicht nur die Atemluft, sondern wirkt sich auch auf die Gesundheit des Bodens aus und wird mitunter Grund für das Aussterben von Waldflächen.⁸⁴

Der Mensch verlernt es sich von seiner umliegenden Natur zu bedienen. Ohne Bedacht auf nachwachsende natürliche Ressourcen wird durch den augenscheinlich erweiterten Horizont an Rohstoffe die Umwelt angegriffen.⁸⁵ Die Dörfer sind nicht mehr an ihrem Aussehen zu erkennen, da nicht mehr

⁸² Vgl. Brüggemeier F. J., *Nachhaltigkeit – Ein historischer Überblick*, Vortrag an der Online-Akademie Friedrich Ebert Stiftung (2012)

⁸³ Vgl. Demmelhuber S., *Kohle, Stahl und Dampfmaschinen*, Homepage BR- Bayern Rundfunk (2014), online: <https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/radiowissen/geschichte/industrielle-revolution-stahl-kohle-dampfmaschine100.htm> (Zugriff: 19.05.2022)

⁸⁴ Vgl. Wieland M., *Industrielle Revolution und Umweltverschmutzung*, planetwissen, online: <https://www.planet-wissen.de/natur/umwelt/umweltverschmutzung/pwieindustriellerevolutionundumweltverschmutzung100.html> (Zugriff: 05.04.2022)

⁸⁵ Vgl. Demmelhuber S., *Kohle, Stahl und Dampfmaschinen* (2014)

nur das Baumaterial aus der einheimischen Umgebung zur Anwendung kommt. Es schleicht sich ein einheitliches Aussehen der Gebäude in allen Gebieten der Industrialisierung ein.⁸⁶

Die ungünstige Lebensqualität durch Luft-, Grundwasser- und Bodenverschmutzung wird in den Ballungszentren immer deutlicher, allerdings sind zu diesem Zeitpunkt die Umweltprobleme nicht mehr lokal eingrenzbar. Erstmals reagiert die Bevölkerung mit einem zukunftsorientierten und somit nachhaltigen Bewusstsein. Da die Fortschritte in der Industrie für einen wirtschaftlichen Aufschwung sorgen, bleiben die Proteste meist ungehört.⁸⁷ Aus Gründen des Immissionsschutzes werden Gewerbebetriebe in vielen Ortschaften nur im Lee angeordnet.⁸⁸ Die Regierung, welche die wirtschaftlichen Errungenschaften nicht aufgeben möchte, verharmlost die Schäden an der Umwelt und bringt die Bevölkerung mit Schadenersatz zum Schweigen.

So versuchte auch das belgische Unternehmen **Vielle Montagne** die Fluktuation ihrer Arbeiter zu begrenzen. Bei der Zinkherstellung gelingt es dem Unternehmen nicht den Schadstoffanteil an Schwermetallen zu vermeiden oder gar einzuschränken. Die Arbeiter haben mit schweren gesundheitlichen Schäden, wie etwa chronischem Husten, Rückenbeschwerden oder Vergiftungen zu kämpfen. Um ein Fortbestehen des Unternehmens sicherzustellen, werden den Arbeitnehmern Sozialleistungen angeboten. Unter anderem sind es der unentgeltliche Besuch von Schulen, die Bereitstellung von Wohnungen oder weitere Vorsorgefonds, ausschlaggebende Gründe für die Aussichtslosigkeit eines einfachen Arbeiters. Dennoch entsteht eine Arbeiterbewegung, welche sich für die Durchsetzung von Arbeiternehmern einsetzt. Dieser Widerstand wird dabei still weitergeführt, um einen Verlust des sozialen Standes in der Gesellschaft nicht zu verlieren. Probleme in der Umwelt und der damit verbundenen Verschlechterung der Lebensqualität werden dem Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentlichen Arbeiten zugeordnet. Allerdings sind die Ziele der Wirtschaft stets dem vorgezogen, womit möglichen Veränderungen zugunsten der Umwelt kein Freiraum zur Verfügung steht. Doch die Bemühungen und der Aufschrei für eine Reduzierung der Umweltbelastungen werden immer größer.⁸⁹

Der deutsche Agrikulturchemiker **Julius Adolph Stöckhardt** (1809 - 1886) betrachtet es als seine Lebensaufgabe, seine Erkenntnisse der Agrikulturchemie den Landwirten näher zu bringen. Von seinen Mitmenschen als „chemischer Feldprediger“ genannt, übermittelt Stöckhardt seinen Zeitgenossen sein studiertes Wissen über landwirtschaftliche Technologie. Ein unter seinem Namen in Sachsen (Deutschland) errichtetes agrikulturchemisches Laboratorium soll allen in der Umgebung ansässigen Landwirten die Möglichkeit bieten Versuche mit Dünge- und Futtermittel durchzuführen. Das Laboratorium entwickelt sich zu einer Station des Wissensaustausches über Land- und Forstwirtschaft. Nach diesem Vorbild entstehen vielerorts weitere Forschungs- und Ausbildungsstätten. Öffentliche Bekanntheit erreicht Stöckhardt durch seine Beräucherungsversuche an Pflanzen. Erstmals kann der Schaden an der Umwelt durch Schwefeldioxid nachgewiesen werden. Der hohe Schwefeldioxidgehalt in der Luft sei auf die Abgase aus den Metallhütten zurückzuführen und solle langfristige Folgen mit sich ziehen. Der Agrikulturchemiker erreicht es den Ernst der Lage der Bevölkerung näher zu bringen und erschafft durch die chemische Umweltanalytik ein aktives Umdenken.⁹⁰

⁸⁶ Vgl. Seymour, John. *Vergessene Künste: Bilder Vom Alten Handwerk*. Stuttgart: Urania-Verl., 2005. Print., S.40

⁸⁷ <https://e-hausaufgaben.de/Hausaufgaben/D11742-Umweltverschmutzung-durch-die-Industrialisierung.php> (Zugriff: 05.04.2022)

⁸⁸ Vgl. Umweltschutz, Industrie, Gewerbe, Indust - Henze, et.al., Aachen: Umweltschutz bei Planung und Bau von Industrie- und Gewerbeanlagen. Berichte 10/90, bezogen unter: <https://www.econbiz.de/Record/umweltschutz-bei-planung-und-bau-von-industrie-und-gewerbeanlagen-forschungsbericht-10102086-henze-wolfgang/10004111324> (Zugriff: 19.05.2022), S.28

⁸⁹ Vgl. Demmelhuber S., *Kohle, Stahl und Dampfmaschinen* (2014)

⁹⁰ Vgl. Wikipedia, *Julius Adolph Stöckhardt*, bezogen unter: https://de.wikipedia.org/wiki/Julius_Adolph_Stöckhardt (Zugriff: 05.04.2022)

3.1.3 Nachkriegszeit – Goldene Ära

Mit dem Ende des Zweiten Weltkrieges beginnen in allen industrialisierten Ländern die sogenannten „goldenen Jahre“ (1945 bis 1972). Mit dem Ziel ökologische, ökonomische und soziale Probleme zu beseitigen, wird ein quantitatives Wachstumsparadigma angestrebt. Ein Wirtschaftswachstum und ein damit verbundener Anstieg des Bruttoinlandprodukts solle den Wohlstand eines Landes sicherstellen.⁹¹ Unbedacht wird dem Bestreben einer Ideologie gefolgt, welches einen raschen ökonomischen Anstieg zusichere. Es folgt in kürzester Zeit eine funktionale jedoch ästhetisch weniger scheinbare Massenfertigung an Wohngebieten. Der Wiederaufbau Europas ist im vollen Gange. Die „brutalistische“ Architektur ist geprägt durch graue Sichtbetonwände, monotoner Beschaffenheit sowie dem Ausfall an jeglicher Ornamentik. Dieser avantgardistische Baustil verdeutlicht das große Verlangen nach einer raschen Rückkehr in eine belebende Wirtschaft.⁹² Der schnelle Wiederaufbau von Siedlungen erfordert ebenso einen rasanten Aufbau und die Inbetriebnahme von Industrien. Die größeren Belastungen auf die Umwelt aufgrund des dominierenden Wachstums der Wirtschaft werden vorerst nicht berücksichtigt. Es folgen eine rasch zunehmende Nutzung von Ressourcen, ein steigender Verbrauch an Landwirtschaft sowie zusätzliche Emissionsquellen.⁹³

Die Ökonomie scheint sich in der Blüte ihres Zeitalters zu befinden und steht in einem direkten Dialog zu politischen Entscheidungsträgern. Unter Mitwirkung in der Infrastrukturpolitik werden weitere technologische Fortschritte, vor allem in der Automobilindustrie, erreicht. Mit dem Ziel eines ökonomischen Profits, wendet sich dieser Industriezweig an die Bevölkerung und leitet ein neues Bild von Wohlstand ein. Der Konsument wird durch Leitbilder der Freiheit und der unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten zu einem privaten Transportmittel verleitet. Durch eine steigende Massenproduktion wird das Kraftfahrzeug anschließend nicht mehr nur zu einem Privileg der sozial höher gelegenen Gesellschaftsschicht. Die zunächst irrtümlich als positiv verstandenen Wachstumseffekte dieses technologischen Fortschritts führen zu einer Ausweitung der Straßen- und Verkehrsplanung.⁹⁴ Der motorisierte Individualverkehr erreicht in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts seinen Höhepunkt und löst in weiterentwickelten Industrieländern die von Zugtieren gezogenen Fuhrwerke ab. Allerdings werden die umweltbelasteten Auswirkungen mit einer zunehmenden Verkehrsdichte deutlicher.⁹⁵ Eine problematische Rauchentwicklung vor allem von Kraftfahrzeugen mit Dieselmotoren löst einen europaweiten Diskurs aus. Eine Messung der Rauchdichte Anfang der 60er Jahre weist einen übermäßigen Ausstoß von Luftschadstoffen, wie Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoff, auf. Erst im Jahre 1970 tritt eine Richtlinie für Abgasvorschriften für Personenkraftwagen in der Europäischen Gemeinschaft in Kraft. In den darauffolgenden Jahren wird diese Richtlinie schrittweise korrigiert und verschärft.⁹⁶

Obgleich die negativen Auswirkungen der neuen Technologien auf die Umwelt vor allem in Ballungszentren sich deutlich zu erkennen geben und Katastrophenmeldungen sich langsam in den Nachrichten einschleichen, fehlt der Bevölkerung ein gewisses Umweltbewusstsein. Mit dem Wirtschaftswachstum nimmt die Menge an Belastungen zu. Der umfangreiche Einsatz von Öl löst den Energieträger Kohle in vielen energieabhängigen Stoffwechselprozessen ab. Sowohl für Kraftfahrzeuge und Luftfahrzeuge als auch für Beheizungssysteme und für den Industriebetrieb wird die neue Energiequelle angewendet. Doch das Erdöl setzt eine bedenkliche Menge an klimaschädlichem CO₂ in die Erdatmosphäre aus. Der

⁹¹ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Historischer Abriss über die Wachstumsdebatte 1823*, bezogen unter: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/historischer_abriss_ueber_die_wachstumsdebatte_1823.htm (Zugriff: 10.04.2022)

⁹² Vgl. Arte.TV, *Die Betonmonster der Nachkriegszeit*, Reportage, online: <https://info.arte.tv/de/die-betonmonster-der-nachkriegszeit> (Zugriff: 05.04.2022)

⁹³ Vgl. Brüggemeier F. J., *Nachhaltigkeit – Ein historischer Überblick*, Vortrag an der Online-Akademie Friedrich Ebert Stiftung (2012)

⁹⁴ Vgl. Dalkmann H. et al., *Wege von der nachholenden zur nachhaltigen Entwicklung*, Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen (2004), S.41

⁹⁵ Vgl. Görmer G., *Der Ursprung des Wagens*, GRIN, München (2008)

⁹⁶ Vgl. Europäische Union, *Richtlinie 70/220/EWG des Rates vom 20.März 1970*, online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:31970L0220> (Zugriff 13.01.2023)

Anteil der Kohlenstoffdioxidemissionen erreicht erstmalig beachtenswerte Höchstwerte.⁹⁷ Der größte Anteil wird durch Kraftwerke und industrielle Prozesse hervorgerufen. Der deutsche Meteorologe und Klimatologe Hermann Flohn (1912 – 1997) erkennt schon 1941 die Relevanz der anthropogen hervorgerufenen globalen Klimaänderung. Als Wegbereiter der internationalen Klimaforschung weist Flohn auf die CO₂-Problematik seit der Nachkriegszeit hin.⁹⁸

Erhebliche Änderungen finden auch im Gewässer statt. Durch die Vervielfachung der Anzahl der Industrien erhöhen sich auch die Abwässer, welche in Flüsse oder Meeren ohne erforderliche bzw. noch nicht ausgereiften Filteranlagen ausgeschüttet werden. Des Weiteren kommt es zu häufigeren Unglücken beim Schiffstransport von Erdöl in Meeren. Ausgeschüttetes Öl verteilt sich im Meer, setzt sich auf dem Meeresboden ab oder gelangt an Küsten. Da Schweröl nicht mikrobiell abbaubar ist, ist solch ein Schaden schwer handzuhaben und die Ausführung von Gegenmaßnahmen können bis zu zwei Jahrzehnte dauern. Bis solche Schäden aufgehoben werden, sind in den meisten Fällen die Aquafauna sowie Aquarienpflanzen bereits stark beeinträchtigt.

Obleich dem Menschen die Belastungen durch unser Handeln immer bewusster werden, kann er sich nur unschwer von seinen erworbenen technologischen Errungenschaften trennen und die Maßnahmen in diesem Gebiet bleiben sehr eingeschränkt. Ein Aufschrei wird erst durch die Proteste von Medizinern, Wissenschaftlern, Technikern und Journalisten immer größer. Der US-amerikanische Biologe Paul Ehrlich veröffentlicht 1968 sein Werk unter dem Titel „The Population Bomb“ (deutscher Titel: „Die Bevölkerungsbombe“). Er beschreibt eine unvermeidliche Hungersnot, welche zwischen den Jahren 1970 und 1980 Millionen von Menschen betreffen würde. Der Grund sei die Überbelastung von Ressourcen.⁹⁹ Auch der britische Journalist Gordon Rattray Taylor geht von verheerenden Weltuntergangsszenarien aus und prangert in seiner Publikation „The Biological Time Bomb“ (deutscher Titel: „Das Selbstmordprogramm – Zukunft oder Untergang der Menschheit“) das korrupte Verhalten der Menschen gegenüber der Umwelt an.¹⁰⁰ Ganz nach Immanuel Kant werden immer mehr zuvor missachtete Schäden an der Umwelt kritisch hinterfragt und die Bevölkerung ruft, der reinen Vernunft entsprechend, nach Veränderungen zum Wohle der Gesundheit der Menschen und der Umwelt. Schließlich wird 1972 die alles verändernde Studie „The Limits to Growth“ durch den Zusammenschluss von Experten verschiedener Disziplinen, *Club of Rome*, veröffentlicht.¹⁰¹ Dem Diskurs über Umweltbelastungen und Nachhaltigkeitsstrategien wird ein ernsthafter Impuls erteilt. Die Entwicklung des Umweltschutzes wird zu einer avantgardistischen Bewegung, die bisweilen anhält und sich aktuell weiter entfaltet.

3.2 Nachhaltiges Umdenken im Bauwesen

In der Vergangenheit liegt der Schwerpunkt im Bauwesen auf technische, ökonomische sowie ästhetische Aspekte. Durch ein steigendes Umweltbewusstsein in der Gesellschaft und in der Politik, wird gegenwertig die Reduktion des Energieverbrauches der Nutzungsdauer vorangestellt. In gewisser Weise wird der Mensch zum Umdenken gedrängt. Die weltweit steigenden Rohstoff- und Energiepreise veranlassen viele Unternehmen zu einem schonenden Umgang mit den vorhandenen Ressourcen. Bei seinen Recherchen zu den Umweltbelastungen in der Antike fallen dem deutschen Althistoriker Gian Franco Chiai gewisse Ähnlichkeiten in der Verhaltensweise des Menschen auf.

⁹⁷ Vgl. Brüggemeier F. J., *Nachhaltigkeit – Ein historischer Überblick* (2012)

⁹⁸ Vgl. Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt (Hrsg.), *Klimaänderung. Wichtige Erkenntnisse aus dem 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (IPCC)* (2009)

⁹⁹ Vgl. Gardner D., *FUTURE BABBLE: Why Expert Predictions Fail-and Why We Believe Them Anyway*, McClelland & Stewart (2010), S.228ff.

¹⁰⁰ Vgl. Gordon R. T., *Die Biologische Zeitbombe. Revolution der modernen Biologie*, G. B. Fischer, Frankfurt am Main (1969)

¹⁰¹ Vgl. Lexikon der Nachhaltigkeit, *Club of Rome: Grenzen des Wachstums, wie alles begann*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/entstehung_des_berichtes_541.htm (Zugriff 09.11.2023)

"Dass Menschen ihre Umwelt unbekümmert verschmutzen, dabei spielen Bequemlichkeit und schlechte Gewohnheiten eine Rolle." – Gian Franco Chia¹⁰²

Die Probleme und der von Menschenhand an der Umwelt verrichtete Schaden werden schon früh erkannt. Solange jedoch Alternativen anstelle einer Problemlösung vorhanden waren, bediente sich der Mensch weiterhin nicht zukunftsorientiert an der Natur und vermeidet die Auseinandersetzung mit der Diagnose einer komplexen Umweltbelastung. Gegenwertig werden die Auswirkungen unserer Lebensweise immer deutlicher. Eindeutig verständliche Zahlen und Statistiken beweisen eine Schadstoffproblematik in der Natur und damit verbundenen gesundheitlichen Schäden für den Menschen. Das Verständnis der Bevölkerung für ein klares Umdenken überwiegt. Zunehmend werden Aufklärungen gefordert. Ein vom UN-Umweltprogramm im Dezember 2020 veröffentlichter Bericht mit dem Titel „2020 Global Status Report for Building and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector“ verdeutlicht den Ernst der Lage. Die Bau- und Immobilienwirtschaft ist weltweit für 60% des Materialverbrauches, 50% des Abfallabkommens sowie für 35% des fossilen Energieverbrauches verantwortlich und produziert 35% der Emissionen.¹⁰³ Diese Werte verdeutlichen nochmals die erhebliche Auswirkung auf die Umwelt und den darin befindlichen Veränderungen wie dem Klimawandel und dem Ressourcenverbrauch. In diesem Sinne entsteht eine anwachsende Auseinandersetzung über die Nachhaltigkeit im Bauwesen. Mit einem steigenden Interesse für ein nachhaltiges Umdenken im Bau- und Gebäudesektor, verändern sich unterdessen ebenso die Vorschriften und Regelungen für die erlaubten Emissionswerte. Im Vergleich zu früheren Jahrhunderteperioden, stehen gegenwertig zahlreiche Materialien und verschiedene Bautechniken zur Verfügung. Die Komplexität in diesem Themenbereich ermöglicht keine Allgemeinlösung für den Bau von nachhaltigen Gebäuden. Dennoch stehen die gesetzlichen Anforderungen der Nachhaltigkeit fest. Die verpflichtenden Grenzwerte für Schadstoffwerte sowie auch eine Energiepreisssteigerung forcieren eine stetige Weiterentwicklung, sowohl im Herstellungsverfahren als auch im Anwendungsbereich und in der Verwertung von Baustoffen.

3.2.1 Grünes Image

Die Bedeutung der Nachhaltigkeit steigt und mit ihr das Interesse nachhaltige Strategien umzusetzen. Anthropogene Veränderungen der Umwelt werden immer deutlicher und geben sich vor allem durch den Klimawandel zu spüren bekannt. Über die letzten Jahrzehnte verändert sich das Verhalten der Menschen. Angestrebt wird eine nachhaltige Lebensweise mit dem Ziel eine lebenswerte Welt auch in Zukunft garantieren zu können. In diesem Bereich spielen nun die Unternehmen eine wesentliche Rolle. Sei es der Textilhandel, der Lebensmittelhandel, die Automobilindustrie oder der Gebäudesektor, alle Dienstleistungen erkennen die großen Belange der Bevölkerung einer Lebensumstellung. Sukzessiv werden verwendete Produkte des alltäglichen Bedarfs auf den Prüfstand gestellt. Auch im Bauwesen werden inzwischen verwendete Materialien in den Baustoffen examiniert. Für den Verbraucher ist es nicht nur von Bedeutung Umweltschaden zu vermeiden, sondern auch die eigene Gesundheit zu schützen. So wird mittlerweile etwa bei der Auswahl der Wandfarben fürs eigene Heim das Produkt auf problematische Inhaltstoffe untersucht. Konservierungstoffe wie Formaldehyd, welches sich in Wandfarben genauso wie in Möbel, Bodenbelägen, Textilien und anderweitigen Holzwerkstoffen¹⁰⁴ auffinden lässt, kann aufgrund von einfachen Temperaturerhöhungen in einem Raum das Austreten von Gasen herbeiführen. Eine solch bedingte Ausgasung kann die Atemluft vor allem in wenig belüfteten Räumen stark kontaminieren. In der **Chemikalienverordnung (EG) Nr. 1907/2006**, welche 2007 im Europäischen Wirtschaftsraum in Kraft tritt, werden zulässige Mengen an Chemikalien bzw. komplette

¹⁰² Briest R., *Darf der Mensch denn alles? 3000 Jahre Umweltzerstörung*

¹⁰³ Vgl. Zimmermann J. et al., *Prognose des Verbrauchs grauer Energie über die Lebensdauer von Gebäuden*, In: Die Bautechnik, Vol. 98, Issue 1 (2020), S. 63-73, online unter: <https://doi.org/10.1002/bate.202000068> (Zugriff: 06.04.2022)

¹⁰⁴ Vgl. Jann O. et al., *Innenraumluftqualität und Bauprodukte: Emissionen - Bewertung, Minderung, Vermeidung*, RM Rudolf Müller, Köln (2018)

Beschränkungen definiert. Die Bewertung erfolgt gemäß auftretenden Auswirkungen eines Stoffes auf die menschliche Gesundheit bzw. weiterführende Folgen auf die Umwelt. Folglich vermerkt das Chemikaliengesetz bei unsachgemäßer Anwendung bzw. bei einer Verwendung von Formaldehyd in erhöhter Konzentration ein mögliches Auftreten von Allergien, Atemwegserkrankungen sowie Haut- und Augenreizungen.¹⁰⁵ Das Bekanntwerden gesundheitsschädlicher Folgen von häufig verwendeten Inhaltsstoffen in zahlreichen Produkten des alltäglichen Gebrauchs erzeugt eine große Umstellung im Verhalten der Bevölkerung. Gefordert wird nicht mehr eine sogenannte Premiumqualität. Denn im Sinne eines überschaubaren und transparenten Herstellungsprozesses steigt die Erwartung an einer hohen Produktqualität. Das kritische Hinterfragen der Verbraucherin bzw. des Verbrauchers sowie stetig strengere Verordnungen drängen viele Unternehmen ihre Strategie zu ändern. Rezepturen, Herstellungsprozesse und Inhaltsstoffe werden grundlegend verändert und an die Wünsche der Verbraucher angepasst. Mit andauernd steigender Tendenz steigt die Nachfrage nach möglichst naturbelassenen Produkten. Eine starke Reduktion chemischer Stoffe erschafft einen emotionalen Mehrwert, bei welchem Kosten keine Rolle spielt. Über eine Nachhaltigkeitskommunikation wird das Image vieler Betriebe mit Begriffen wie „nachhaltig“ und „umweltschonend“ vermarktet. Dem Kunden/ der Kundin wird durch ein grünes Image ein bauökologisch und baubiologisch gesundes Bild weitergeleitet, welchem ohne Skepsis Vertrauen geschenkt wird. Das Einhalten ökologischer Grundsätze wird meist aufgrund finanzieller Prinzipien in den Hintergrund gestellt. Durch geschicktes Marketing und „grüne“ Geschäftsmodelle werden Konsumentinnen und Konsumenten in die Irre geführt.

Vor allem im Bauwesen kann das Einhalten von nachhaltigen Prinzipien sehr komplex sein, da sehr viele Faktoren zu berücksichtigen sind. Stetige Wechselwirkungen zwischen Gebäude und Raum und ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit sowie auf die Umwelt sind zu analysieren. Der 2011 gegründete österreichische Verein **IG Lebenszyklus Bau** hat sich die Verantwortung gegenüber dem Umweltschutz als höchste Priorität genommen. Bestehend aus 70 Unternehmen und Institutionen der Bau- und Immobilienbranche entwickelt der Verein ein neues Verständnis für den Lebenszyklus eines nachhaltigen Objektes.¹⁰⁶ Mit dem Ziel einer Gesamtoptimierung von Gebäuden werden laufend Leitfäden für Bauherren sowie für weitere beteiligte Branchenvertreter definiert. Der Leitfaden unter dem Titel „Charta gegen Greenwashing“ setzt sich vor allem gegen ein unbedachtes „grünes“ Geschäftsmodell und gegen eine Täuschung der Konsumentinnen und Konsumenten mittels Werbekampagnen ein. Die wahre Absicht sei die „reale“ Nachhaltigkeit. Über zehn Prinzipien sowie angeführten Musterbeispielen werden die Maßnahmen für ein nachhaltiges Bauen formuliert. Das Allgemeinwohl der Bevölkerung stehe im Fokus.¹⁰⁷

¹⁰⁵ Vgl. Europäische Union, *Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH)*, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj> (Zugriff 13.01.2023)

¹⁰⁶ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Strategisches Leitbild 2021*, Wien (2021)

¹⁰⁷ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hg.), *Nachhaltigkeitsrecht. Charta gegen Greenwashing. Mit Erläuterungen auf Basis von Erfahrungen aus Vergabeverfahren, Audits und der unternehmerischen Praxis*, Wien (2021)

CHARTA GEGEN GREENWASHING

1. Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen sind Selbstzweck. Umweltschutz und Nachhaltigkeit sind Werte aus sich heraus und sollen eine lebenswerte Zukunft ermöglichen.
2. Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen sind in ihrem jeweiligen Gesamtzusammenhang und über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu bewerten.
3. Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen werden ausschließlich anhand überprüfbarer und bereichsrelevanter Kriterien dargestellt. Diese sind regelmäßig zu bewerten.
4. Im Sinne der Transparenz werden anerkannte Zertifizierungen verwendet, die den jeweiligen rechtlichen Vorgaben auf Unionsebene entsprechen.
5. Die Regeln des fairen Wettbewerbs sind einzuhalten.
6. Öffentliche Beteiligung soll in allen Fragen von Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsmaßnahmen erfolgen.
7. Wo sich dies nicht bereits aus gesetzlichen oder vertraglichen Verpflichtungen ergibt, stehen der unteilbare Schutz von Mensch und Umwelt als Erwägung ausnahmslos im Vordergrund.
8. Vertragliche Beziehungen werden so ausgestaltet, dass diese der Umsetzung von Umweltschutz- oder Nachhaltigkeitsmaßnahmen nicht entgegenstehen.
9. Nach Möglichkeit ist in vertraglichen Beziehungen auf diese Charta Bezug zu nehmen und sind die Parteien zu deren gegenseitiger Einhaltung zu verpflichten.
10. Die Umsetzung dieser Prinzipien erfolgt im guten Glauben unter Anwendung der höchstmöglich gebotenen Transparenz.

Tab. 3.1.: Charta gegen Greenwashing vom Verein IG Lebenszyklus Bau¹⁰⁸

In einem weiteren Leitfaden wird vor allem die dringende Umstellung zu klimaneutralen Bauten verdeutlicht. Die Publikation unter dem Titel „Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft“¹⁰⁹ beinhaltet Planungsgrundsätze und Entscheidungshilfen für einen innovativen Planungsprozess. Für eine Unternehmenstransformation mit positivem ökologischem Fußabdruck sei es erforderlich die Ziele und Maßnahmen in allen produktbezogenen Themenfeldern zu identifizieren.¹¹⁰ Insbesondere wird auf die große Relevanz der Nutzung von regionalen Rohstoffen und Gütern eingegangen. Auch wird die Möglichkeit einer Wiederverwertung von Materialien angeführt. Bereits verwendetes Baumaterial, genauso wie verschiedene Produkte wie etwa Fenster- und Türausstattungen oder Bodenbeläge werden auf ihre Nutzbarkeit überprüft und über Internetkataloge angeboten. Um eine erkennbare Reduktion der Kohlenstoffdioxid Emissionen zu erreichen, sei es vor allem notwendig für die Energieproduktion erneuerbare Primärenergiequellen anzuwenden. Die Nutzung der Solarenergie durch etwa Photovoltaikanlagen, der Wasserkraft mit Hilfe von Laufwasserkraftwerken, Windenergie durch Windkraftanlagen oder die Bioenergie aus Biomasse sind bekannte Techniken zur Erzeugung regenerativer Energie.¹¹¹ Ein Umstieg auf erneuerbare Energien bringt nicht nur Vorteile für den Klimaschutz, sondern zeugt auch von einer reduzierten Importabhängigkeit. Das Aufkommen bestimmter

¹⁰⁸ IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Nachhaltigkeitsrecht. Charta gegen Greenwashing* (2021)

¹⁰⁹ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Wien kann es gelingen, dass klimaneutrale Gebäude kreislauffähig werden?*, Wien (2021)

¹¹⁰ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen* (2021)

¹¹¹ Vgl. Kaltschmitt M. et al., *Regenerative Energien in Österreich. Grundlagen, Systematik, Umweltaspekte, Kostenanalysten, Potenziale, Nutzung. Praxis*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2009)

Primärenergiequellen ist jedoch von räumlichen und zeitlichen Variationen eines Landes abhängig. So ist etwa Afrika der Kontinent mit dem größten Potenzial für Solarenergie, während in mitteleuropäischen Ländern vor allem Wasser- und Windkraft eine bedeutende Rolle spielen. In Österreich wird vor allem die Wasserkraft durch das vorhandene Gebirge und den hohen Wasserfällen gefördert.

Die seit dem 1. Januar 2022 im Europäischen Wirtschaftsraum anzuwendende **Taxonomie-Verordnung (EU) 2020/852** unterstützt Investitionen mit nachhaltigem Interesse, indem sie sämtliche Finanzmarktteilnehmer zu einer Offenlegung ihrer Geldanlagen verpflichtet.¹¹² Somit wird auch von Bau- und Immobilienunternehmen eine gewisse Transparenz erwartet, welche auch nicht-nachhaltige Aktivitäten offenlegt. Kriterien, die in der Verordnung definiert sind, dienen einer besseren Orientierung bei der Auswahl von Investoren ganz im Sinne des Klimaschutzes und dem Klimawandel. Ab 1. Januar 2023 sind gemäß Artikel neun der erwähnten Verordnung folgende Umweltziele anzuwenden:¹¹³

- a) Klimaschutz
- b) Anpassung an Klimawandel
- c) die nachhaltige Nutzung und Schutz von Wasser- und Meeresressourcen
- d) der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft
- e) Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung
- f) der Schutz und Wiederherstellung der Biodiversität und Ökosysteme¹¹⁴

Vor allem sei hier Punkt d) des Artikels hervorzuheben. Das Ziel einer Kreislauffähigkeit eines Finanzproduktes bezieht nicht nur auf das Abfallaufkommen bei Bau- sondern auch beim Abbruchprozess. In beiden Fällen sollte die Menge des Abfallaufkommens möglichst geringgehalten werden. Im Idealfall sollte eine Wiederverwendung vom Baustellenabfall noch vor dem Bau eines Gebäudes durchdacht werden.

Um oben genannte Ziele zu erreichen, hat der Verein IG Lebenszyklus Bau zwölf strategische Leitthemen formuliert.¹¹⁵ Unter anderem fasst der folgende leitende Grundsatz die Thematik gut zusammen:

„Wer nicht nachhaltig baut, baut in Zukunft gar nicht mehr. Aufgrund der regulatorischen (ESG-Kriterien), gesellschaftspolitischen und kommerziellen Rahmenbedingungen, verliert das Planen, Bauen, Betreiben und Finanzieren von nicht-nachhaltigen Gebäuden massiv an Attraktivität und Akzeptanz.“
– 4. Leitthema aus „Strategisches Leitbild“, IG Lebenszyklus Bau¹¹⁶

3.2.2 Grünes Bauen

Nachhaltig positiv geprägt kann ein Gebäude allein schon durch die richtige Auswahl an Baustoffen und Bauprodukten sein. Gesundheitlich unbedenkliche und umweltfreundliche Materialien versichern eine Gewissheit der menschlichen Gesundheit. Die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Baustoffen und Bauprodukten ist grundsätzlich von den anstrebenden Zielen und den hierfür erforderlichen Anforderungen abhängig. Die baubiologische Bewertung von Baustoffen und Bauprodukten lässt sich grob in globale und lokale Kriterien unterscheiden.¹¹⁷

¹¹² Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen?* (2021)

¹¹³ Vgl. Europäische Union, Verordnung (EU) 2020/852 (Taxonomieverordnung), online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=de> (Zugriff 13.01.2023)

¹¹⁴ Europäische Union, Verordnung (EU) 2020/852 (Taxonomieverordnung)

¹¹⁵ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Strategisches Leitbild 2021* (2021)

¹¹⁶ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Strategisches Leitbild 2021* (2021)

¹¹⁷ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe „Schadstoffarmes Bauen“*, hrsg. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2016)

In der Betrachtung **globaler** Umwelteinflüsse erfolgt eine Bewertung eines Baustoffes bzw. eines Bauproduktes in Abhängigkeit zum jeweiligen Einfluss auf globale Umweltauswirkungen. Einige globale Umweltfaktoren werden in Abschnitt 4.4 vorgestellt. Mit Hilfe von Sachbilanzen können globale Indikatoren wie das Treibhauspotenzial, der stratosphärische Ozonabbau oder auch das Versauerungspotenzial sowie viele weitere Faktoren bestimmt werden.¹¹⁸ Eine Gegenüberstellung der bewerteten Baustoffe verschafft einen besseren Überblick und ermöglicht die Auswahl umweltfreundlicher Baustoffe.

Lokale Kriterien von Baustoffen und Bauprodukten beschreiben üblicherweise die Umwelteinflüsse und Gesundheitsaspekte, welche im nahen Umfeld des Einbauortes wirken.¹¹⁹ Beurteilt wird die stoffbezogene Menge an Emissionen aus den Produkten. Schadstoffe können bereits durch das Auswaschen oder den Abrieb der Materialien emittieren. Besonders kritisch sind vor allem Schadstoffe, die bereits bei Raumtemperatur durch das Verdampfen von organischen Stoffen in die Raumluft gelangen und somit die Gesundheit des Menschen gefährden können.

Die Risiken von Bauprodukten und Materialien müssen allerdings über den gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden. In einer global betrachteten Bewertung werden meist die Umwelteinflüsse aus der Produktherstellung berücksichtigt, während lokale Kriterien hingegen die Nutzungsphase analysieren. Daher ist ein drittes und wesentliches Kriterium in der Bewertung von Baustoffen der **Ressourcenverbrauch**¹²⁰. Dieser Aspekt ist meist mit der ökonomischen Säule der Nachhaltigkeit in Verbindung zu bringen. Einige ökologische Wirtschaftsmodelle werden in Abschnitt 4.2 vorgestellt. Hervorzuheben ist vor allem das Modell der Kreislaufwirtschaft. Sei es ein technischer oder biologischer Kreislauf (siehe Abschnitt 4.2.3), es gilt in allen Fällen stets einen effizienten Ressourcenverbrauch anzustreben.

3.2.3 Gefahrenpotenzial Baustoff

Grundsätzlich verbringt der Mensch die meiste Zeit seines Lebens in Gebäuden. Daher ist es von großer Notwendigkeit eine gesunde Innenraumluftqualität für den Nutzer zu gewährleisten. Die baubiologische Qualität von Gebäuden kann einerseits durch unsachgemäßes Verhalten der Nutzer (schlechte Belüftung) verschlechtert werden, ausschlaggebend ist jedoch die richtige Wahl an Baumaterialien. Zur Beurteilung der ökologischen Qualität von Baustoffen müssen Kriterien und Anforderungen für alle Lebenszyklusphasen festgelegt werden.

Die Ansprüche an die ökologische Qualität können unterschiedlich definiert werden. Unter baubiologischer Betrachtung verfolgen sie dennoch ein Ziel, nämlich die Reduktion von Schadstoffen, welche die menschliche Gesundheit gefährden können. Nach und nach erfolgen Verbote für die Verwendung von toxischen und krebserregenden Stoffen in den Herstellungsverfahren. Stetige Forschungen schaffen neue umwelt- und gesundheitsschonende Baustoffe. Wiederkehrend werden einige chemische Stoffe, wie etwa Asbest, Teer oder Lindan, Gegenstand öffentlicher Diskussionen¹²¹. Die Gefahr und die Problematik chemischer Stoffe erregten das öffentliche Interesse. Eingeführte Regelungen führen zu veränderten Rezepturen und Herstellungsverfahren. Auch gegenwärtig stehen einige noch eingesetzte Stoffe unter Verdacht gesundheitsschädlich zu sein. Folgend lesen Sie eine Übersicht über die wesentlichen Schadstoffgruppen. Unterschieden wird grundsätzlich zwischen Stoffen, für die bereits ein Verbot gilt, und jene die derzeit unter Verdacht stehen gesundheitsschädlich zu sein. In Abschnitt 6.2 werden einige Programme bzw. Werkzeuge vorgestellt, welche die wesentlichen Schadstoffe und

¹¹⁸ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.8

¹¹⁹ Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.8

¹²⁰ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.8

¹²¹ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.9

ihre Auswirkungen übersichtlich darstellen. Informationen zu Stoffen und Verbindungen sowie deren Einschränkung in der Nutzung sind über die Programme im Internet unverbindlich zugänglich.

- SVHC – Substance of Very High Concern (dt. besonders besorgniserregender Stoff)

Unter SVHC-Stoffen versteht man Chemikalien, die gemäß der EU Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction; dt. Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien)¹²² als besonders besorgniserregend eingestuft sind. Diese Verordnung umfasst eine Auflistung chemischer Stoffe. Es wird das Gefahrenpotenzial in Bezug auf die Gesundheit des Menschen bzw. der Umwelt untersucht. Darunter fallen vor allem die sogenannten **CMR-Stoffe**¹²³ (Carcinogenic, Mutagenic and toxic to Reproduction; dt. krebserzeugende, mutagene oder reproduktionstoxische Stoffe), die aus Kategorie 1A (Gefahr beim Menschen nachgewiesen) und 1B (Gefahr bei Tieren nachgewiesen) gemäß EU Verordnung Nr. 1272/2008 (CLP Classification, Labeling and Packaging; dt. Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)¹²⁴ berücksichtigt werden. Zu den SVHC-Stoffen zählen des Weiteren die sogenannten **PBT-Stoffe**, welche gemäß den Kriterien im Anhang XIII der REACH-Verordnung¹²⁵ persistente, bioakkumulative und toxische Stoffe beschreibt. Schließlich zählen auch die **vPvB-Stoffe** zur SVHC-Gruppe, welche ebenso gemäß Anhang XIII der REACH-Verordnung¹²⁶ alle sehr persistenten und sehr bioakkumulierenden Stoffe einschließt. Demnach umfasst die SVHC-Chemikaliengruppe eine Vielzahl an unterschiedlich stark gefährlichen Stoffen für Mensch und Umwelt.¹²⁷

- VOC – Volatile Organic Compounds (dt. flüchtige organische Verbindungen)

Dieser Sammelbegriff beschreibt eine Gruppe von organischen Verbindungen, welche hauptsächlich aus Kohlenstoff und Wasserstoff bestehen. Die für den Menschen gefährliche Haupteigenschaft jener chemisch-organischen Substanzen ist das Verdampfen dieser Stoffe bei Raumtemperatur oder höheren Temperaturen. Ein hoher Dampfdruck bzw. ein niedriger Siedepunkt sind der Grund für die mühelose Verflüchtigung der Stoffe in unsere Umgebung.¹²⁸ VOCs können narkoseähnliche Auswirkungen auf den Menschen haben und sorgen für Schwindel, Übelkeit, Müdigkeit und können auch zu einer Störung der Gedächtnisleistung führen. In ausgeprägteren Fällen können ebenso Symptome wie Augen- und Schleimhautreizungen sowie weitere Organschäden auftreten.¹²⁹ Meist ist das Gas Methan nicht in dieser Gruppierung miteingeschlossen und kann durch die Abkürzung **NMVO** (non-methane volatile organic compounds) explizit hervorgehoben werden. Die Gesamtheit aller Emissionskonzentrationen wird meist über die Abkürzung **TVOC** (total volatile organic compounds) angegeben. Im Baubereich sind jene Gefahren in Form von potenziellen Lösungsmittel vor allem in Anstrichstoffen, Klebstoffen und Verdünnern zu finden.¹³⁰

- PAK – Polyaromatische Kohlenwasserstoffe

Polyaromatische Kohlenwasserstoffe sind vor allem in älteren Verbauten und Asphaltbelägen aufzufinden. Teeranstrieche (Schwarzanstrich) und Teerdachbahnen (Dachpappe) sind ebenso Techniken, die früher in großer Häufigkeit angewendet wurden.¹³¹ Das gesundheitliche Risiko ist erst nach knapp einem Jahrhundert in Verwendung bekannt geworden. PAK Schadstoffe können vor allem durch die

¹²²Vgl. Europäische Union, Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH)

¹²³ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹²⁴ Vgl. Verordnung (EG) Nr.1272/2008, ursprüngliche Fassung der REACH-Verordnung mit Änderungen

¹²⁵ Vgl. Europäische Union, Verordnung (EG) Nr.1272/2008 (CLP)

¹²⁶ Vgl. Europäische Union, Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH)

¹²⁷ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹²⁸ Vgl. Weltgesundheitsorganisation (WHO), *Total Volatile Organic Compounds*, online: <https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/total-volatile-organic-compounds> (Zugriff 13.01.2023)

¹²⁹ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹³⁰ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹³¹ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

Nahrung und durch das Trinkwasser, sowie durch die Atmung von belasteter Luft über die Lunge aufgenommen werden. Hautentzündungen, Hornhautschädigungen und Reizung von Atemwegen, Augen und Verdauungstrakt sind die wesentlichen Auswirkungen auf den Menschen. Erst in den 1980er Jahren sind durch die amerikanische EPA (Environmental Protection Agency; dt. Bundesumweltschutzbehörde) die Persistenz und die Toxizität einiger Substanzen dieser organischen Verbindungen bekannt gegeben.¹³² Mittlerweile wird die Verwendung von Polyaromatischen Kohlenwasserstoffen zur Gänze ausgeschlossen und es kommt etwa Bitumen als Ersatzrohstoff häufiger in Anwendung.¹³³

- Formaldehyd CH₂O

Diese organisch-chemische Verbindung dient grundsätzlich als Konservierungsmittel. Vor allem wird es als Klebstoffbestandteil für Holzwerkstoffe angewendet. Da Formaldehyd etwa durch Sonnenlicht oder durch die im Boden vorhandenen Bakterien abgebaut wird, häuft es sich nicht in der Umwelt und hat dementsprechend keine großen Umweltauswirkungen. Die gesundheitlichen Schäden auf den Menschen sind allerdings erheblich. Bereits in Innenräumen können formaldehydhaltige Bauprodukte und Baustoffe durch Ausgasung die Atemluft kontaminieren. Besonderes Augenmerk lag auf die mit Aminoplaste als Bindemittel hergestellten Spanplatten und Sperrholzplatten. Eine weitere Emissionsquelle stellen einzelne Verbrennungsprozesse dar, durch die zur Herstellung von Kunststoffartikel eine hohe Konzentration an Formaldehyd in den Abgasen aufzufinden ist. Auch die Verbrennung von Holz kann sich als problematisch erweisen, wenn der Verbrennungsprozess unvollständig abläuft. Die gesundheitlichen Auswirkungen durch Formaldehyd auf den Menschen können von großer Toxizität sein. Bei Einatmung dieser organisch-chemischen Verbindung kann es Schleimhäute reizen. Studien weisen ebenso karzinogene Eigenschaften im Nasenrachenraum nach. Die Emissionen in den auf Formaldehyd basierenden Holzwerkstoffen ist heute deutlich reduziert worden. Auch die CLP-Verordnung bestimmt Grenzwerte der Formaldehydkonzentrationen in den Produkten und verordnet eine genaue Kennzeichnung von Produkten mit Formaldehyd. Die Gebäudezertifizierung nach DGNB (Deutsche Gesellschaft nachhaltiges Bauen) definiert ebenso einen Grenzwert der Formaldehydkonzentration als Absolut-Kriterium, bei dessen Überschreitung keine Zertifizierung verliehen wird.¹³⁴

- Schwermetalle

Alle Schwermetalle (ausgenommen Eisen) sind in gewisser Weise umwelt- und gesundheitsgefährdend. Eine Belastung durch Schwermetalle kann zu einem Absterben von Körperzellen führen, da sie sich an Körperzellen binden und nicht abbaubar sind. Die Auswirkungen dieser einzelnen Bestandteile auf den Menschen sind sehr unterschiedlich.¹³⁵ Einige dieser Metalle sind sogar essentiell für den menschlichen Körper. Daher existieren für diese natürlich auf dieser Erde vorkommenden Stoffe unterschiedliche Begrenzungen für die Dosierung und Anwendung.

- Weichmacher

Weichmacher wirken grundsätzlich als Lösungsmittel und sorgen in ihrer Anwendung für weiche und elastischere Stoffe. Auf Basis von Phthalaten können Lösungsmittel allerdings Unfruchtbarkeit bei Männern hervorrufen.¹³⁶ Die Europäische Union stuft die Phthalate DEHP, DBP und BBP als gesundheitsgefährdend ein und beschreibt eine Gefahr der Fortpflanzung, aufgrund der Beeinflussung von Testosteron gesteuerten Entwicklungsstufen. Des Weiteren besteht ein Verdacht auf die Verursachung von Diabetes.

¹³² Europäische Behörde für Lebensmittel (efsa), *Lebensmittel sind wichtigste BPA-Quelle für Verbraucher, auch Thermopapier kommt potenzielle Bedeutung zu*, online: <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/130725> (Zugriff 13.01.2023)

¹³³ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹³⁴ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹³⁵ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

¹³⁶ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl (2016)*, S.11

3.3 Nachhaltige Ziele im Bauwesen

3.3.1 Ökologisch nachhaltig Bauen

○ Energieeffizienz

Um der ökologischen Dimension des Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit gerecht zu werden, strebt der Bausektor eine Einsparung von Energie, einen schonenden Umgang mit Ressourcen sowie eine drastische Senkung von Emissionen an. Dadurch soll eine Bauweise erreicht werden, welche sich möglichst sanft in den Stoffkreislauf der Natur eingliedern lässt.

Eine Festlegung eines Mindeststandards für Um-, Neu- und Anbauten über eine **Wärmeschutzverordnung**, welche 1977 in Deutschland¹³⁷ und 1980 in Österreich¹³⁸ eingeführt wird, definiert eine erforderliche Reduzierung des Energieverbrauchs. Dies hat zur Folge, dass das bauphysikalische Wissen der Planer fortgesetzt sich weiterentwickelt. Die heutigen baulichen Maßnahmen zur Energieeinsparung haben, gegenüber konventionellen Gebäudekonzepten, bereits eine Ersparnis von 60%¹³⁹ ermöglicht. Verbessertes Dämmmaterial erhöht die Feuchte- und Wärmeschutzqualität. Der Energiebedarf bestimmt das Maß für die Energieeffizienz. In der Klimapolitik der Europäischen Union werden über das Klima- und Energiepaket 2020 konkrete Ziele formuliert. Unter anderem soll die Energieeffizienz um 20% verbessert werden. In Österreich wird diese Regelung über das **Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG)** umgesetzt.¹⁴⁰ In Deutschland gilt das Gebäudeenergiegesetz, welches Ende des Jahres 2020 die Energiesparverordnung ersetzt.¹⁴¹ Mittels eines Energieausweises soll der Energieverbrauch eines Gebäudes angegeben werden. 2006 wird in Österreich das **Energieausweis-Vorlage-Gesetz (EAVG)** verabschiedet. Das Vorlegen eines Energieausweises ist beim Verkauf eines Nutzungsobjektes obligatorisch. Der Energieausweis umfasst neun verschiedene Energiestandard-Kategorien von A++ bis G. Die Bundesländer Österreichs einigen sich 2008 auf eine Harmonisierung der technischen Bauvorschriften (das Bundesland Salzburg tritt erst 2011 dieser Einigung bei). Der Zielwert der technischen Bauvorschrift 2008 für einen Gebäudestandard liegt bei mindestens einer Gebäudekategorie C.¹⁴²

Normative Regelungen sowie digitale Berechnungsprogramme ermöglichen die Ermittlung der Energiestandard-Kategorie.¹⁴³ Durch bauliche Maßnahmen und innovative Haustechnik kann ein bestimmter Energiestandard erreicht werden. Das Österreichische Institut für Bautechnik beschreibt in der OIB-Richtlinie 6 die erforderlichen Angaben für einen vollständigen Energieausweis. Während bei Wohngebäuden nur der Heiztechnikenergiebedarf des Gebäudes und der Endenergiebedarfs anzugeben sind, gilt für Nicht-Wohngebäuden neben der Bekanntgabe des Endenergiebedarfs zusätzlich die Angabe von Heizwärmebedarf (HWB) und Kühlbedarf (KB). Des Weiteren müssen einem Energieausweis die U-Werte der einzelnen Bauteile angehängt werden.¹⁴⁴

¹³⁷ Vgl. Donath C. et al., *Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben*, >>bauforumstahl e.V. (Hrsg), Band Nr. B 105, Düsseldorf (2011), S.8

¹³⁸ Vgl. Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Wärmeschutzverordnung, BGBl. Nr. 550/1979, Fassung vom 31.12.2006

¹³⁹ Vgl. Donath C. et al., *Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben* (2011)

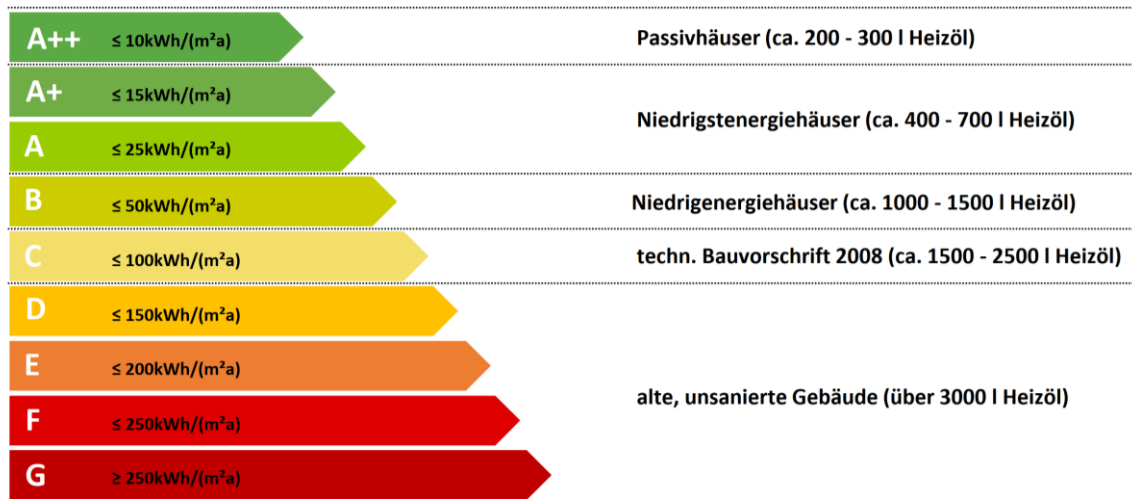
¹⁴⁰ Vgl. Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Bundes-Energieeffizienzgesetz, BGBl. Nr. 72/2014, Fassung vom 13.01.2023

¹⁴¹ Vgl. TGA (Technisch Gewerbliche Abendschule), Warum das neue Gebäudeenergiegesetz auch die Gebäudeautomation betrifft (09.10.2020), online: <https://tga.at/betreiben/warum-das-neue-gebaeudeenergiegesetz-auch-die-gebaeudeautomation-betrifft/> (Zugriff: 19.09.2022)

¹⁴² Vgl. Landesrecht konsolidiert Tirol: Technische Bauvorschriften 2008 § 0, LGBl. Nr. 93/2007, Fassung vom 07.09.2015

¹⁴³ Vgl. Mayer Hubert, *Energieausweis – Die ÖNORM H 5055*, Wien (2003)

¹⁴⁴ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 6 (2019)



Die angegebenen Mengenangaben für Heizöl beziehen sich auf den Energiebedarf eines Einfamilienhauses mit einer Größe von etwa 150m² und einem vier-Personen-Haushalt (ohne Warmwasseraufbereitung).

Abb. 3.1.: Energieausweis-Kategorien A++ bis G (Gebäudeklassen) mit dem jeweiligen Heizwärmebedarf (HWB) angegeben in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr und dem jeweiligen Heizöläquivalent¹⁴⁵

Neben einer Reduktion des Primärenergiebedarfes für die Wärmeversorgung werden weitere Energiequellen im Bauprozess auf den Energiebedarf untersucht. Die sogenannte **graue Energie** beschreibt den indirekten Energiebedarf eines Produktes in seiner Erzeugung. Hierfür werden jegliche Maßnahmen für die Rohstoffgewinnung als auch etwaige Produktionsprozesse für die Herstellung erforderlicher Maschinen miteinbezogen.¹⁴⁶ Der benötigte Energieaufwand für die Produktion von Baustoffen gibt Auskunft über die Menge der in den Materialien eingesetzten nicht erneuerbaren Primärenergie und erleichtert die Materialauswahl im Sinne der Umweltverträglichkeit. Die Begrifflichkeit der grauen Energie ist in der Literatur nicht einheitlich definiert. In einigen Fällen beschreibt die graue Energie zusätzlich den direkten Energiebedarf durch die Nutzung eines Konsumgutes. Eine Zusammenfassung des indirekten und direkten Energiebedarfes stellt den kumulierten nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt dar. Dieser berücksichtigt sowohl den Energieaufwand für die Rohstoffgewinnung, Material- und Baustoffherstellung als auch für alle Transportwege und die Entsorgungsprozesse.¹⁴⁷ Da Bauteile eine begrenzte Lebensdauer aufweisen berücksichtigt der kumulierte Energieaufwand zusätzlich die für eine Instandhaltung eines Gebäudes erforderlichen Maßnahmen. Die Ermittlung des kumulierten Energiebedarfs erweist sich in den meisten Fällen als komplex, da die Herstellungshistorie der meisten Produkte zu viele Faktoren berücksichtigt. Vereinfachte Annahmen und Datenbanken erleichtern die Berechnung. Die Minimierung der grauen Energie geht mit der Reduktion der für den Bau eines Gebäudes verwendeten Masse einher. Solange die Produktherstellung über fossile und nukleare Energieträger erfolgt, ist aufgrund des höheren Energieaufwandes, die Minimierung der grauen Energie unabhängig. Es gilt das Optimum zwischen der Leistungsfähigkeit eines Baustoffes und seiner Masse zu finden.¹⁴⁸

○ Ressourceneffizienz

Ausschlaggebend in der Ökologie ist der nachhaltige Umgang mit nachwachsenden Rohstoffen. Für eine funktionierende **Ressourceneffizienz** wird das Nutzen von wiederverwendbaren Materialien bevorzugt. Eine Wiederverwertung von Baustoffen bzw. von Bauteilen ermöglicht einen sparsamen Umgang mit Rohstoffen und stellt somit künftigen Generationen das Bestehen von technisch-

¹⁴⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an: Richtwerte nach OIB-Richtlinie 6, Ausgabe Oktober 2011

¹⁴⁶ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁴⁷ Vgl. Zimmermann J. et al., *Prognose des Verbrauchs grauer Energie über die Lebensdauer von Gebäuden* (2020)

¹⁴⁸ Vgl. Berger T. et al., *Einsparung von Grauer Energie bei Hochhäusern. Beton- und Stahlbetonbau* (2013), S. 395-403

wirtschaftlichen und natürlichen Ressourcen sicher. Beim Errichten von Bauwerken sind stets zukünftige Instandhaltungsmaßnahmen sowie eine eventuelle Umnutzung zu bedenken. Im ökologischen Sinne sollen ein großer Energieaufwand sowie Materialverbrauch nicht nur bei der Errichtung, sondern auch bei der Verwendung des Bauwerkes bedacht werden. Überdies ist eine Verminderung des späteren Abfallabkommens anzustreben. Nach Möglichkeit sind biologisch abbaubare Baustoffe zu verwenden, um ineffiziente Verbrennungsprozesse zu meiden.

- Senkung der Emissionen

In der Errichtung eines Bauwerkes und der Herstellung von Baumaterialien ist nicht nur auf den Energieverbrauch, sondern auch auf das Ausmaß an Emissionen zu achten. Vorwiegend liegt der Fokus auf umweltschädliche Emissionen, welche negative Auswirkungen auf den Treibhauseffekt haben. In unserer Atmosphäre verbreitet, verändern Treibhausgase die Temperatur der Erdoberfläche. Besonderes Augenmerk liegt auf das Gas Kohlendioxid, welches zu 75%¹⁴⁹ den größten Anteil der klimaschädlichen Treibhausgase ausmacht. Ebenso wird auf eine Minderung bzw. Vermeidung von säurebildenden Abgasen geachtet. Zuzufolge Verbrennungsprozessen von fossilen Brennstoffen werden Schwefeldioxid SO₂ und Stickoxide NO_x in die Atmosphäre freigesetzt und verbinden sich mit Wasser zu einem sogenannten sauren Regen. Die Auswirkungen sind eine Versauerung von Boden und Gewässern und weiterer Folge Waldbrände sowie die Dezimierung von Fischbeständen in Zahl und Artenvielfalt.¹⁵⁰ Als Gegenmaßnahme wird in großen Kraftwerken Schwefeldioxid aus den Abgasen aufgefangen und meist zu CaSO₄ Gips weiterverarbeitet.¹⁵¹ Das Entfernen von Stickoxiden erweist sich dagegen als komplex, weshalb eine grundsätzliche Verringerung der Stickstoffoxide anzustreben ist. Generell ist die Verwendung biologisch bedenklicher oder toxischer Stoffe zu vermeiden.

Neben einer Verringerung von Versäuerung potenziellen Schadstoffen in Industrien werden ebenso Maßnahmen zur Einschränkung von Emissionen durch den Straßenverkehr eingeführt. Die in diesem Bereich hervorgerufenen Stickoxide verursachen genauso einen sauren Regen und können mit Sauerstoff O₂ und unter Einfluss von UV-Strahlung das Molekül Ozon O₃ bilden. Auch hier gibt es Auswirkungen auf den Menschen sowie der Flora. Dem sauren Regen wird in vielen Gegenden Europas durch eine Bestreuung mit Kalk entgegengewirkt.

3.3.2 Ökonomisch nachhaltig Bauen

Aus ökonomischer Sicht sollen die Gesamtkosten über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt werden. Eine Minimierung des Materialverbrauchs bewirkt eine Reduzierung der Baukosten. Auch in der Instandhaltung und einer Umnutzung oder einer späteren Demontage soll der finanzielle Aufwand möglichst geringgehalten werden. Für die Gesamtkosten werden nicht nur die Ausgaben, sondern auch Einnahmen bedacht. Vorausschauend können letztere meist schwer abgeschätzt werden. Ein finanzieller Gewinn über die Nutzung eines Gebäudes wird durch die Nutzernachfrage bestimmt. Diese wird wiederum über viele Faktoren beeinflusst.¹⁵² Energiepreis in der Nutzung, Standort des Gebäudes sowie Umnutzungsmöglichkeiten sind Anhaltspunkte, die einen Wert eines Gebäudes steigern können.

¹⁴⁹ Vgl. Donath C. et al., Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben (2011)

¹⁵⁰ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept. Bewertungsmethodik, Zertifizierung, Anwendungsgebiete, Demonstrationsgebäude*, Institut für Wärmetechnik, S.1.4.23

¹⁵¹ Vgl. Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Wärmeschutzverordnung, BGBl. Nr. 550/1979, Fassung vom 31.12.2006

¹⁵² Vgl. Donath C. et al., Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben (2011)

3.3.3 Sozial nachhaltig Bauen

Die soziale Dimension der Nachhaltigkeit bezieht mehrere Faktoren mit ein. Die menschlichen Bedürfnisse in allen Lebensphasen sollen in einem gesunden, aber auch bezahlbaren Umfeld ausgeführt werden können. Das Arbeiten, das Wohnen und die Freizeit werden in einer für ihre Funktionalität entsprechend gestalteten Umgebung ausgelebt.¹⁵³

¹⁵³ Vgl. Friedrichsen S., *Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen. Kriterien für Neubau und Bauen im Bestand*, 2.Auflage, SpringerVieweg, Wiesbaden (2011/2018)

4 Operationalisierung der Nachhaltigkeit im Bauprozess

Das ökologische Bauen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die Erkenntnis, dass vor allem der Bau-sektor einen dominanten Einfluss auf die Umweltveränderungen hat, steigert die die Notwendigkeit dieser Thematik. Die Öffentlichkeit verlangt für ein ökologisches Bewertungssystem klare Grenzen für die Emissionen verwendeter Baustoffe. Klare Regelungen würden die Entscheidungsfindung bei Bau-maßnahmen erleichtern und ein Einbeziehen von ökologischen Kriterien bereits in der Planungsphase ermöglichen. Noch bis Mitte der 1970er Jahre waren Gebäudeschadstoffe kein Thema.¹⁵⁴ Ein unzu-reichendes Wissen früherer Generationen war der Grund für die Nutzung gesundheitsschädlicher Bau-stoffe in den alltäglichen Baupraktiken. Glücklicherweise ist die Forschung bereits so weit, dass stark schädliche Stoffe nicht mehr Verwendung finden. Der frühere Einsatz von gegenwärtig als schädlich bekannte Stoffe, wie etwa Asbest, PCB oder PCP, war weit verbreitet. Das Verbot jener Stoffe forderte einige aufwendige und kostspielige Sanierungen.

Zur Bewertung der Nachhaltigkeit bedarf es einem Verfahren zum Vergleichen von festgelegten Merkmalen. Da der Begriff der Nachhaltigkeit allerdings noch keiner genauen Definition zugeordnet werden kann, ist es hilfreich sich vor allem mit den Zielen der Nachhaltigkeit auseinander zu setzen. Mit dem Einsatz von geeigneten Indikatoren kann der unpräzise Ausdruck der Nachhaltigkeit durch eine Operationalisierung messbar gemacht werden.¹⁵⁵ Die Operationalisierung ist als Technik zu ver-stehen, die es ermöglicht Begriffe in Zahlen zu übersetzen und dadurch den Zugang zu einer Bewertung bzw. Beurteilung zulässt. Hierfür erforderliche ökonomische Ansätze haben ihren Ursprung in histori-schen Ereignissen und fungieren als innovative Ideen und als Grundlage nachhaltiger Strategiekon-zepte. Im folgenden Abschnitt werden einige Strategiekonzepte präsentiert, die auf Basis der behan-delten Ansätze aufbauen. Durch Strategien können innovative Grundsätze in ein plausibles und praktikables Konzept umgesetzt werden. Darauf aufbauend erfolgt eine Definition von schwerpunkt-orientierten Methoden, die zur Realisierung jener Konzepte erforderlich sind. Grundsätzlich wird zwis-chen qualitativen und quantitativen Methoden unterschieden. Diese können ihren Fokus beliebig stark oder schwach in den einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit ausüben. Schließlich werden ei-nige der hierfür erforderlichen Indikatoren zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von Baustoffen und Ge-bäuden aufgelistet.

¹⁵⁴ Vgl. Zwiener G. et al., *Handbuch Gebäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft*, Erich Schmidt, Berlin (2012), S.5

¹⁵⁵ Vgl. Prim R. et al, *Grundlagen einer kritisch-rationalen Sozialwissenschaft. Studienbuch zur Wissenschaftstheorie Karl R. Poppers*, UTB Verlag, Stuttgart (2000), S.51-62

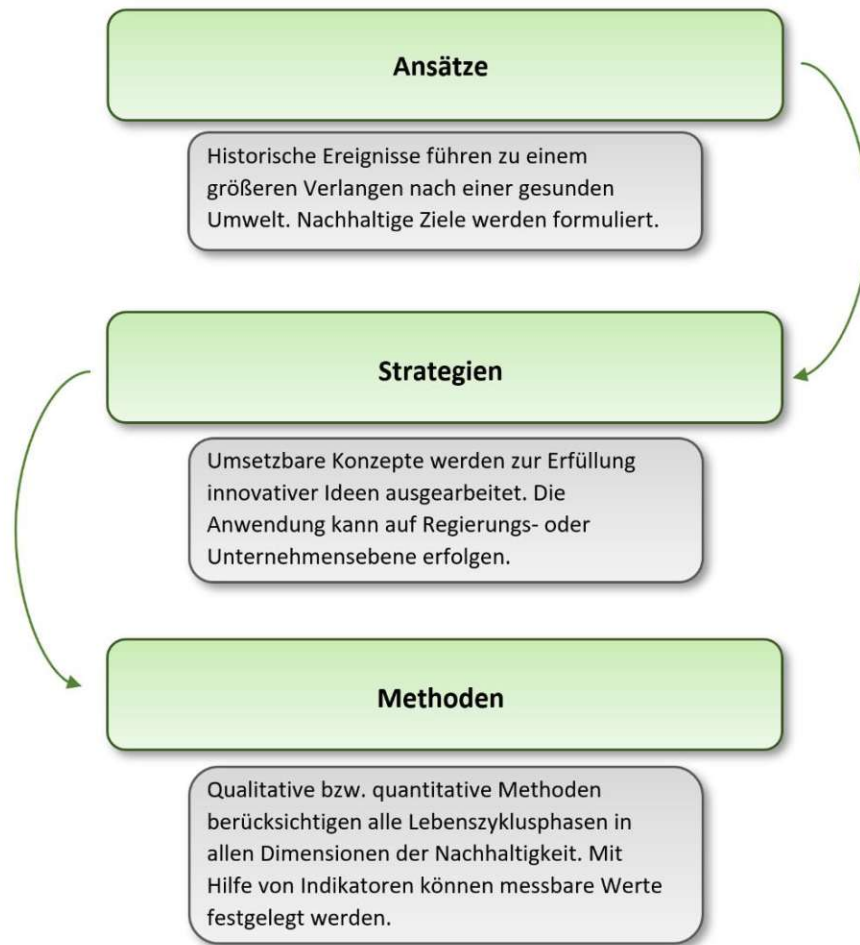


Abb. 4.1.: Vorgänge zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit

Gegenwärtig angewendete Strategien beinhalten verschiedene Ziele zur Erreichung einer Verbesserung der Nachhaltigkeit bzw. einer Vermeidung der Nichtnachhaltigkeit in unterschiedlichen Sektoren. Die Anwendung von qualitativen, quantitativen bzw. einer kombinierten Methode kann den Schwerpunkt einer Strategie auf eine gewisse Dimension legen. Hierbei ist zu beachten, dass eine Beurteilung bzw. eine Bemessung der soziokulturellen Aspekte der Nachhaltigkeit noch mit Komplikationen verbunden ist. Es gibt keine aussagekräftigen Indikatoren, die eine Messung gesellschaftlicher Werte ermöglichen könnten. Daher konzentrieren sich die meisten Methoden und somit auch die Strategien auf die ökonomischen und ökologischen Zweige der Nachhaltigkeit.

Der folgende Abschnitt zeigt die wesentlichen Teilbereiche zur Entwicklung von Operationalisierungsmethoden der Nachhaltigkeit.

4.1 Ansätze nachhaltiger Bewertungssysteme

4.1.1 Entwicklung nachhaltiger Bewertungssysteme

Nach Entstehen eines nachhaltigen Bewusstseins wird schnell klar, dass die Realisierung dieser Betrachtung gesetzliche Regelungen sowie einen Bewertungsstandard benötigt. Die Nachhaltigkeit erfährt vor allem im letzten Jahrhundert eine rasche Entwicklung in vielen Sektoren. Im Bau- und Gebäudesektor basiert die Evolution auf eine Integration unterschiedlicher Faktoren. Einerseits spielt das Streben nach einem Gesundheitsschutz eine große Rolle. Früh wird zur Verhinderung häufig

auftretender Krankheiten nach Ursachen im Arbeitsumfeld gesucht. Im Laufe der über Jahre geführten Untersuchungen kann auf flüchtige organische Verbindungen rückgeschlossen werden. Das Vorkommen von Schadstoffen grenzt sich jedoch nicht mehr nur im Arbeitsumfeld ein. Regierungen beschließen für die Gewährleistung der Gesundheit der Bevölkerung die, von Forschungsinstituten, bestimmten Grenzwerte in die Gesetzgebung einzuschließen. Des Weiteren haben große Umweltkatastrophen eine wesentliche Auswirkung auf ein Umdenken der Menschheit. Die Kontamination von Wohngebieten durch Arbeitsunfälle in Chemie-Industrien und den damit verbundenen gesundheitlichen Schäden der Bevölkerung und der Umwelt verschlechtern das Image der Chemie-Industrie. Früh beginnen Unternehmen das Ansehen wieder heben zu wollen. Gemeinnützige Organisationen setzen sich das Lösen von Umweltproblemen zum Ziel und führen Untersuchungen durch. Durch die Einhaltung von Grenzwerten von gewissen Chemikalien können weitere umweltschädliche Folgen vermindert bzw. verhindert werden. Schließlich wird dieses Gedankengut auch im Bausektor etabliert. Unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus von Materialien sollen alle möglichen Auswirkungen auf die Umwelt erkannt und behandelt werden können. Eine Kombination der baubiologischen und bauökologischen Bewertungsebene setzt den Grundstein zur Erzielung eines gesunden Lebens vom Menschen mit und in seiner Umwelt.

- Baubiologie – Gesundheitsschutz als Bewertungsebene

Ausschlaggebend bei der Bewertung von Baustoffen, Bauteilen und Gebäuden ist die ganzheitliche Betrachtung aller Lebenszyklen. Eine Qualität kann erst durch Berücksichtigung der Phasen in der Herstellung, Verwendung und Entsorgung bewertet werden.¹⁵⁶ Gemäß einem steigenden baubiologischen Bewusstsein, werden früh Änderungen in der Gesetzgebung vorgenommen. Der ungarisch-österreichische Chirurg **Ignaz Semmelweis** stellt erstmalig einen Zusammenhang zwischen Hygiene und Gesundheit fest. Er stellt die Sterberate durch das Kindbettfieber, welches im 19. Jahrhundert¹⁵⁷ oft in öffentlichen Kliniken auftritt in Frage. Auf der Suche nach einer Ursache werden in den 1840er Jahren¹⁵⁸ Studien durchgeführt. Seine Untersuchungen zeigen nachweislich eine Verbindung der Krankheit zu der damals mangelnden Hygiene des Krankenhauspersonals. Aufgrund dieser empirisch belegten Wirksamkeit führt Semmelweis Hygienevorschriften ein zur Desinfektion von Instrumenten und Verbandmaterial sowie der Hände des Krankenhauspersonals.¹⁵⁹ Trotz eines darauffolgenden erheblichen Rückganges der Sterberate wird der Erfolg dieser Hypothese von vielen Medizinern in Frage gestellt. Das Volk wünscht sich zwar eine Verbesserung der Gesundheit jedoch ist das Wissensgut noch eingeschränkt und durch die konservative Gesetzgebung geprägt.¹⁶⁰

Auch der bayerische Wissenschaftler **Max von Pettenkofer** vertritt zunächst eine Weltanschauung, in welcher die Regierung durch ökonomische Aspekte bestimmt wird. Eine Pandemie durch den Ausbruch der Infektionskrankheit Cholera stellt viele Länder in den Anfängen des 19. Jahrhunderts auf die Probe. In Bayern wird auf Forderung des Wissenschaftlers trotz der rasanten Pandemieausweitung auf das Schließen der Grenzen verzichtet und auf den Fortbestand des Handels bestanden. Die Entscheidung zwischen Seuchenschutz und Wirtschaft deutet auf ein Weltbild hin, in welcher ein einzelner Mensch nicht als Individuum, sondern als Grundlage für den Aufbau einer Gesellschaft betrachtet wird. Alternativ beschäftigt sich Pettenkofer mit der Hygiene des Landes zur Eindämmung der Pandemie. Neben der Untersuchung des Trinkwassers,¹⁶¹ wird auch die Raumluft auf Verunreinigungen untersucht. Ein hoher CO₂-Gehalt in engen Wohnräumen wird als Indikator für die Verbreitung von

¹⁵⁶ Vgl. Donath C. et al., *Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben* (2011), S.17

¹⁵⁷ Vgl. Perlow J. H., *Rediscovering Ignaz Philipp Semmelweis: some additional thoughts* (2019), S.606

¹⁵⁸ Vgl. Perlow J. H., *Rediscovering Ignaz Philipp Semmelweis: some additional thoughts* (2019), S.606

¹⁵⁹ Vgl. Perlow J. H., *Rediscovering Ignaz Philipp Semmelweis: some additional thoughts* (2019), S.606

¹⁶⁰ Vgl. Perlow J. H., *Rediscovering Ignaz Philipp Semmelweis: some additional thoughts* (2019), S.606

¹⁶¹ Vgl. Viciano Astrid, *Geld oder Leben*, Süddeutsche (2020), online: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/seuchenschutz-cholera-pettenkofer-bayern-> (14.01.2023)

Krankheiten herangezogen.¹⁶² Als Begründer der wissenschaftlich fundierten Hygiene wird er mitunter verantwortlich für ein aufgewerteten Hygieneverständnis und entwickelt eine innovative Gesundheitstechnik.

Die Bedeutung der Hygiene und des Gesundheitsschutzes bleiben im Gedankengut der Bevölkerung verankert und gewinnen immer mehr an öffentlichem Interesse. Entscheidend sind die Arbeiten des dänischen Ingenieurs **Ole Fanger**. Neben der Bestimmung der Raumlufthausqualität beschreibt Fanger die Gesundheitsaspekte der thermischen Behaglichkeit im Innenraumbereich. Seine im Jahre 1972 veröffentlichte Dissertation „Thermal Comfort: analysis and application in environmental engineering“ hat eine ausschlaggebende Bedeutung in der Zusammenstellung bauphysikalischer Normen.¹⁶³

Die steigende Bedeutung der Hygiene dient einer immerwährenden Hinterfragung des Lebensstils, wodurch ein Zusammenhang zur Hygiene des Lebensraumes und somit zur Gesundheit der Umwelt entwickelt wird. Schließlich folgt 1980 die Gründung der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (**AGÖF**) in Deutschland.¹⁶⁴ Der bisweilen aufrechterhaltene Verband unabhängiger Beratungs- und Dienstleistungsunternehmen führt Schadstoffmessungen im Innenraum sowie ökologische Produktprüfungen durch und konzipiert gesundheitsverträgliche Gebäudekonzepte und effiziente Energiesysteme.¹⁶⁵ Die durch die damalige Europäische Gemeinschaft veröffentlichte **Bauproduktenrichtlinie** von 1989 beschreibt erstmalig Anforderungen an Bauprodukte bezüglich gesundheitlicher Kriterien.¹⁶⁶ Die erwähnte Richtlinie wird in Deutschland im Bauproduktengesetz von 1992 (Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1992, Teil I, Nr. 39, S. 1495 ff.)¹⁶⁷ etabliert. Des Weiteren erlässt der Verband European Collaborative Action (ECA) in den 1990er Jahren weitere Untersuchungen zur Analyse von Schadstoffen am Arbeitsplatz.¹⁶⁸ 1993 veröffentlicht der Verband durch die Europäische Kommission den Bericht „Indoor air quality & its impact on Man“. Dokumentiert wird die Analyse der Beeinträchtigung menschlicher Gesundheit durch Arbeitsstoffe am Arbeitsplatz. Die Prüfung von Hausstaubmilben, das Fell von Haustieren, Pilze und Schimmelbefall sowie weitere in Verdacht der Gesundheitsgefährdung stehende Bakterien fließen in die Untersuchungen mit ein.¹⁶⁹ Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe erarbeitet durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) eine Liste mit maximal zulässigen Konzentrationen eines Stoffes in der Raumlufthaus am Arbeitsplatz.¹⁷⁰ Diese sogenannten Maximalen Arbeitsplatz-Konzentrationen (MAK-Werte) definieren Grenzwerte von Arbeitsstoffen als Gas, Dampf oder Schwebstoff zur Eingrenzung einer gesundheitlichen Beeinträchtigung am Arbeitsplatz. Eine Anpassung der veröffentlichten Werte erfolgt jährlich. In Deutschland werden seit 2005 die Vorschläge der Senatsitzung durch den Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) geprüft und in die Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) übernommen. Hier wird zwischen den Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) und den Biologischen Grenzwerten (BGW) unterschieden.¹⁷¹ In Österreich sind die Grenzwerte durch die Grenzwerteverordnung (GKV) festgelegt. Es wird zwischen Werten der maximalen Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) und der Technischen Richtkonzentration (TRK-Wert) unterschieden. Der TRK-Wert hat im Gegensatz zum MAK-Wert keinen Schwellenwert und wird gemäß dem Fortschritt des vorhandenen Technologiestandes definiert.¹⁷² Ein 1997 in

¹⁶² Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014), S.12

¹⁶³ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014), S.12

¹⁶⁴ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014), S.12

¹⁶⁵ Baunetz_Wissen, *Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF)*, online: <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/beratungsstellen/arbeitsgemeinschaft-oekologischer-forschungsinstitute-agoef-1539049> (Zugriff 19.09.2022)

¹⁶⁶ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014), S.12

¹⁶⁷ SecuPedia, *Bauproduktengesetz*, online: <https://www.secupedia.info/wiki/Bauproduktengesetz> (Zugriff 27.09.2022)

¹⁶⁸ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014)

¹⁶⁹ Vgl. European Collaborative Action, *Indoor air quality & its impact on Man. Biological Particles in Indoor Environments* (1993)

¹⁷⁰ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014)

¹⁷¹ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren*, (2014), S.9 - 18

¹⁷² Vgl. Web Archive, *Grenzwerte. MAK- und TRK-Werte*, online: <https://web.archive.org/web/20160419112025/http://www.arbeitsinspektion.gv.at/inspektorat/Arbeitsstoffe/Grenzwerte/> (Zugriff 27.09.2022)

Deutschland gegründeter **Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten (AgBB)** erarbeitet Prüfkriterien zur Untersuchung der Innenraumluft. 2007 wird eine Initiative zur Erstellung eines Bewertungsschemas zur Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung von **VOC-Emissionen** (engl. volatile organic compounds, dt. flüchtige organische Verbindungen) speziell aus Bauprodukten in Innenräumen gestartet.¹⁷³ Dieses Bewertungskonzept für Bauprodukte definiert ihre Grenzwerte für gesundheitliche Schäden durch die Hilfsgröße des NIK-Wertes (Niedrigste interessierende Konzentration). In Verbindung mit den Grundsätzen des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt) werden die Vorgaben für flüchtige organische Verbindungen (VOC, SVOC) unter Berücksichtigung des Arbeitnehmerschutzbereiches sowie den MAK-Werten getroffen und jährlich aktualisiert.¹⁷⁴ Schließlich erfolgt 2012 die Veröffentlichung der Bauproduktenverordnung (BauPVO) (Verordnung Nr. 305/2011) durch die Europäische Union (EU) und ersetzt somit die Bauproduktenrichtlinie (Richtlinie 89/106/EWG). Entscheidend ist hier die Einschließung einer ganzheitlichen Betrachtung des Lebenszyklus von Bauwerken. Es werden neben Bestimmungen für Bauprodukte auch die Grundsätze für die Sicherheit von Bauwerken im Allgemeinen berücksichtigt. Von der Herstellung über die Nutzung bis hin zum Abriss und der Entsorgung von Bauwerken werden Auswirkungen durch die Freisetzung von Treibhausgasen analysiert.¹⁷⁵ Die Verordnung dient zur Harmonisierung von Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten. Im Gegensatz zur Bauproduktenrichtlinie findet hier eine Vereinheitlichung der Anforderungsniveaus für Bauwerke in Europa statt.¹⁷⁶ Ganz im Sinne des seit 1985 beschlossenen neuen Konzeptes für die Produktkonformität sollen nationale gesetzliche Vorschriften für bestimmte Produktgruppen in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union harmonisiert werden. Das Ziel ist die Beseitigung von Handelshemmnissen im Binnenmarkt. Die Produktregulierung durch das „Neue Konzept“ (engl. New Approach) legt Anforderungen an Produkte, welche in den Harmonisierungsvorschriften (hEN) festgelegt sind. Für ein Produkt, welches mit einer harmonisierten Norm im Amtsblatt eingetragen ist, muss in Österreich durch den Hersteller eine Leistungserklärung erstellt werden. Daraufhin wird es mit einer sogenannten CE-Kennzeichnung versehen, womit die Erfüllung der Anforderungen gemäß den Richtlinien für Konformitätsstellen (Verordnung (EG) 765/2008) versichert wird bzw. zu verantworten ist. Eine CE-Kennzeichnung ist somit nicht mit einem Qualitätssiegel zu vergleichen.¹⁷⁷ In Österreich gelten zusätzlich die OIB-Richtlinien, welche vom Österreichischen Institut für Bautechnik zusammengestellt werden und 2008 in allen Bundesländern in den Bauordnungen als verbindlich erklärt werden. Auch die OIB-Richtlinien berücksichtigen die rechtlichen Anforderungen an Bauprodukte bezüglich der menschlichen Gesundheit und Sicherheit.¹⁷⁸ Das Österreichische Institut für Bautechnik verantwortet sich demnach einer baubiologischen Sichtweise in der Erstellung von Vorschriften, der Marktüberwachung sowie als Produktinformationsstelle für das Bauwesen.

- Bauökologie – Umweltwirkungen als Bewertungsebene

Mit dem Fortschritt der Technologie steigt auch der Lebensstandard. Um ein langes gesundes Leben zu ermöglichen, tritt die Wissenschaft einen Kampf gegen Erkrankungen und Seuchen an. Oftmals sind die Ursachen in Alltagsgegenständen im eigenen Umfeld zu finden. Beginnend mit einer Untersuchung des eigenen Arbeitsplatzes werden Schadstoffe ermittelt und schließlich Grenzwerte für ein gesundes Umfeld definiert. Gemäß diesem Gedankengut beziehen sich die ersten Bewertungssysteme auch auf die baubiologischen Aspekte der Nachhaltigkeit. Im Vordergrund der Bemessung steht die Gesundheit des Menschen. Historische Ereignisse hinterlassen allerdings eine neue Sichtweise auf die

¹⁷³ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁷⁴ Vgl. Umweltbundesamt, *Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-zur-gesundheitlichen-bewertung-von> (Zugriff 14.01.2023)

¹⁷⁵ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁷⁶ Vgl. SecuPedia, *Bauproduktengesetz*, online: <https://www.secupedia.info/wiki/Bauproduktengesetz> (Zugriff 27.09.2022)

¹⁷⁷ Vgl. Europäische Kommission, *Leitfaden für die Umsetzung der Produktvorschriften der EU 2022 („Blue Guide“)* (2022/C 247/01)

¹⁷⁸ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *OIB-Richtlinien*, online: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> (Zugriff 14.01.2023)

Nachhaltigkeit. Der Menschheit werden die Folgen anthropogen ausgeführter Veränderungen in der Umwelt relativ spät bewusst. Umweltkatastrophen verdeutlichen die Auswirkungen bei Vernachlässigung des Umweltschutzes.¹⁷⁹

Das Waldsterben der 1980er Jahre im mitteleuropäischen Bereich weckt politisches und gesellschaftliches Aufsehen.¹⁸⁰ Die Sorge um ein mögliches Aussterben des Waldes und einer damit verbundenen Holzknappheit führt zu Überlegungen über den Erhalt und die Nachhaltigkeit von Waldflächen. Zwar steht die Verwendung von Holz für Bau und Energiezwecke, und somit das Interesse des Menschen, im Vordergrund, dennoch spielt neuzeitlich nun auch der Schutz der Natur eine bedeutsame Rolle. Eine innovative Sichtweise der Waldschützer und Umweltschützer setzt sich in die Köpfe der Bevölkerung ein. Die bereits 1972 veröffentlichten Studien des Club of Rome erhalten eine neue Relevanz. Als mögliche Ursache steht die Luftverunreinigung durch den sauren Regen im Fokus der Untersuchungen. Als Begründung werden die ähnlichen Schadensbilder zwischen Rauchschaden und Waldsterben herangezogen. Daraufhin wird in Ostdeutschland die Abschaltung von Braunkohlekraftwerken, welche ohne Filteranlagen arbeiteten, verordnet. Diese Maßnahme zeigt eine starke Reduktion der Schadstoffbelastung auf.¹⁸¹ Allerdings lässt der Hitzesommer von 2003 abermals neue Sorgen auftreten. Darauf folgende Hitzewellen lassen auf eine globale Erwärmung schließen. Die Hauptursache ist die Erhöhung der Treibhausgaskonzentration in der Erdatmosphäre.¹⁸²

Der Klimawandel als modernes Umweltproblem revolutioniert die Herangehensweise an die Nachhaltigkeit. Im Vergleich zur baubiologischen Betrachtungsweise, in welcher die Gefahrenstoffe in der Verwendung bestimmter Materialien analysiert werden, wird nun der gesamte Lebenszyklus eines Materials betrachtet. Zur Optimierung der Prozesse in der Materialverwendung werden alle Stadien des Materiallebenszyklus erforscht. In das erweiterte Betrachtungsfeld fallen die Rohstoffgewinnung, die Herstellung und die Verarbeitung sowie der Transport, die Nutzung und schließlich die Nachnutzung und die Entsorgung des Materials.¹⁸³ Für die Ermittlung des Potenzials der Umweltbelastung, zufolge eines Materiallebenszyklus, wird in den 1990er Jahren¹⁸⁴ die sogenannte **Material-Input pro Serviceeinheit** (MIPS) eingeführt. MIPS wird durch den deutschen Umweltforscher Friedrich Schmidt-Bleek veröffentlicht und verschafft eine neue Möglichkeit zur Messung der Energie- und Materialströme innerhalb eines Lebenszyklus eines Materials.¹⁸⁵ Da jedes Produkt auf seinem Weg von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung bzw. Wiederverwertung einen Einfluss auf die Umwelt hat, wird die MIPS oftmals auch als „materiellen Fußabdruck“ bezeichnet. Der summierte Materialeinsatz (MI) kann in Form von Materialintensitäten als quantitatives Maß in SI-konformen Einheiten angegeben werden.¹⁸⁶ Der Verbrauch von abiotischen und von biotischen Ressourcen (kg) sowie von Boden (kg), Wasser (l) und Luft (m³) werden als getrennte Materialinputs ermittelt.¹⁸⁷ Der Materialinput abzüglich der Eigenmasse des Produktes entspricht dem sogenannten **ökologischen Rucksack**. Somit zeichnet ein kleiner ökologischer Rucksack eine geringe Material-, technische Energie- und Wassereintensität aus. Als grobe Zahl beschreibt der ökologische Rucksack die ökologischen Einflüsse infolge der nötigen Prozesse für die Aufwendungen eines Materials. Er bezieht sich daher nur auf die Materialmasse.¹⁸⁸ Auch der ökologische Rucksack kann in einzelne Kategorien unterteilt werden. Der

¹⁷⁹ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁸⁰ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁸¹ Vgl. Bemann M., *Und ewig sterben die Wälder*, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (2010)

¹⁸² Vgl. Climate Science Special Report (CSSR), *Executive Summary: Highlights of the Findings of the U.S. Global Change Research Program Climate Science Special Report*, online: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/executive-summary/> (Zugriff 05.04.2022)

¹⁸³ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁸⁴ Vgl. Schmidt-Bleek Friedrich et al., *Grüne Wahrheiten. Das Buch zur Ressourcenwende*, Springer, Berlin (2021), S.59

¹⁸⁵ Vgl. Schmidt-Bleek Friedrich et al., *Grüne Wahrheiten* (2021)

¹⁸⁶ Vgl. Schmidt-Bleek Friedrich et al., *Grüne Wahrheiten* (2021), S.62

¹⁸⁷ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

¹⁸⁸ Vgl. Schmidt-Bleek Friedrich et al., *Grüne Wahrheiten* (2021), S.62

Wasserrucksack bestimmt die Menge an benötigtem Wasser in Liter und der CO₂-Rucksack gibt das Ausmaß der CO₂-Emissionen in kg an.¹⁸⁹ Auf die möglichen Umweltwirkungen können nur Rückschlüsse geführt werden. Dennoch kann erstmalig durch das MIPS-System eine materialbezogene Optimierung vorgenommen werden. Der Material-Input (MI) eines Produktes wird durch die Nutzung eines Materials gemessen. Erst durch die Erfüllung seiner Dienstleistung kann für das Material eine Bemessung pro Serviceeinheit (PS) erfolgen.¹⁹⁰ Produkte, denen nur eine einmalige Nutzung und somit keine Wiederverwendung zugeschrieben ist, haben einen Material-Input pro Serviceeinheit, der gleich dem Material-Input zu setzen ist (also MIPS = MI, S=1). Bei Produkten, die eine längere Lebensdauer und ein Potenzial zur Wiederverwendung haben, ist der Wert des MIPS nur ein Bruchteil des MI-Wertes.¹⁹¹ Mit Hilfe des MIPS-Bewertungssystem kann, nach Bestimmung des gewünschten Nutzens für ein Produkt, eine zufriedenstellende Lösung, unter Berücksichtigung einer Kleinhaltung der verwendeten Ressourcen aus der Natur, ermittelt werden.¹⁹²

In den letzten Jahrzehnten entwickelt sich ein größeres Verständnis für einen Zusammenhang zwischen unseren Taten und den Veränderungen in der Umwelt. Unterschieden wird zwischen direkten Einflüssen, etwa durch die Abfallwirtschaft, und indirekten Eingriffen in die Umwelt, welche sich maßgeblich durch die Luftverschmutzung zur Energieerzeugung aufweisen. Auch Großunternehmen erkennen die Problematik und Folgen ihrer Handlungen. Zuzufolge einer damaligen Erdöl- und Ökologiekrisis beginnt das Getränkeunternehmen The Coca-Cola Company 1969 als Vorreiter in der Industrielwelt durch die **Resource of Environmental Analysis** (REPA) eine Untersuchung firmeneigener Verpackungen. Die Analyse bezieht sich auf die Feststellung des energetischen Aufwandes zur Herstellung der Verpackungsmaterialien.¹⁹³ Als eine der ältesten Ökobilanzen fungiert REPA als Vorbild für darauffolgend entwickelte Analysen in Europa. In den siebziger Jahren werden über **Sozialbilanz** auch die sozialen Leistungen eines Unternehmens berücksichtigt. Die Unternehmen beschäftigen sich nicht nur mit dem Ausmaß einer Belastung, sondern ermitteln ebenso Maßnahmen zur Milderung der Belastung. Mit dem Ziel alle Unternehmen auf die Auswirkungen ihrer hergestellten Produkte auf die Umwelt aufmerksam zu machen, entwickelt der Schweizer Umwelttechniker Müller-Wenk die **ökologische Buchhaltung**.¹⁹⁴ Die Erfassung aller Umweltwirkungen der einzelnen Unternehmen bezieht sich einerseits auf den Ressourcenverbrauch, die Emissionsquantität, den Energieverbrauch und andererseits auch auf die Entlastungen durch die Unternehmen in Form von etwa Materialwiederverwendung. Erst nach der Veröffentlichung des Brundtland-Berichts und im Zuge der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro werden soziale und ökonomische Aspekte der Ökobilanz beigefügt. Die Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung beschreibt im dritten der 27 erstellten unverbindlichen Grundsätze folgendes:¹⁹⁵

„Das Recht auf Entwicklung muss so verwirklicht werden, dass den Entwicklungs- und Umweltbedürfnissen der heutigen und der kommenden Generationen in gerechter Weise entsprochen wird.“¹⁹⁶

¹⁸⁹ Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BML) (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, Wien (2015), S.29

¹⁹⁰ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, Wien (2015), S.29

¹⁹¹ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, Wien (2015), S.29

¹⁹² Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, Wien (2015), S.29

¹⁹³ Vgl. Hunt R. G. et al., *Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and procedures* (1992), S.245 – 269

Vgl. Hay R. et al., *Life cycle assessment (LCA) of double-skin façade (DSF) system with fiber-reinforced concrete for sustainable and energy-efficient buildings in the tropics* (2018), S.327 – 341

¹⁹⁴ Vgl. Prituzhalova O., *Analyse des Lebenszyklus einer Verpackung anhand der Ökobilanzen. Vergleichende Untersuchung eines Getränkekartons in der Bundesrepublik Deutschland und in der Russischen Föderation*, Dissertation an Universität Lüneburg, Institut für Ökologie und Umweltchemie (2005), S.19

¹⁹⁵ Vgl. Organisation der Vereinten Nationen (UNO), *Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung* (1992)

¹⁹⁶ Organisation der Vereinten Nationen (UNO), *Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung* (1992), Grundsatz 3

Zur Erfüllung dieses Anspruches müssen mehrere Handlungsebenen analysiert werden. Die bereits 1987 von der *Projektgruppe Ökologische Wirtschaft* am Ökoinstitut Freiburg entwickelte Methode der **Produktlinienanalyse** (PLA) dient ursprünglich ebenso der Möglichkeit zur vergleichenden Produktbewertung und dem Umweltmanagement.¹⁹⁷ Allerdings erfolgt wenig später, aufgrund der Erkenntnis einer dringenden Miteinbeziehung der weiteren Säulen der Nachhaltigkeit, eine Weiterentwicklung der Bewertungsmethode. Die PLA bezieht nun auch die ökologischen und sozialen Auswirkungen auf die Umwelt mit ein. Der gesamte Lebenszyklus eines Produktes wird auf alle drei Faktoren der Nachhaltigkeit untersucht.

„Ziel einer Produktlinienanalyse ist es, ausgehend von einem bestimmten Bedürfnis verschiedene Alternativen bzw. Varianten zu untersuchen, die dieses Bedürfnis befriedigen können, wobei auch das Bedürfnis selbst angesprochen werden sollte. Die Konsequenzen dieser Alternativen für den Einzelnen und die Gesellschaft, für Natur und Wirtschaft werden aufgezeigt, um eine umfassende Abwägung in ökologischer und sozialer Hinsicht zu ermöglichen“¹⁹⁸

Die Auswirkungen auf die Umwelt durch große Herstellungskonzerne werden mit Hilfe von Bilanzen offenkundig dargelegt. Das Image der Chemie-Industrie verschlechtert sich vor allem aber durch immer wieder auftretende Industrieunfälle. Einen wesentlichen Wendepunkt stellt 1976 der Chemieunfall des Reaktors der italienischen Fabrik Icmesa in Seveso dar. Eine große Menge des hochgiftigen Tetrachlordibenzodioxin wird freigesetzt und wird Ursache für das Aussterben von Vögeln und Kleintieren in der Umgebung. Als Reaktion darauf wird die EG-Richtlinie 82/501/EWG (Seveso-I-Richtlinie) verabschiedet¹⁹⁹.

„Die Richtlinie 96/82/EG des Rates vom 9. Dezember 1996 zur Beherrschung der Gefahren bei schweren Unfällen mit gefährlichen Stoffen (3) enthält Bestimmungen für die Verhütung schwerer Unfälle, die durch bestimmte Industrietätigkeiten verursacht werden könnten, sowie zur Begrenzung der Unfallfolgen für die menschliche Gesundheit und die Umwelt.“²⁰⁰

Eine erhebliche Sterberate bringt ein 1984 stattgefundenen Unfall in der indischen Stadt Bhopal durch eine Pestizid-Fabrik der Firma Union Carbide India Limited. Eine große Menge an Methylisocyanat wird in die Atmosphäre ausgesetzt und verursacht starke gesundheitliche Schäden.²⁰¹ Auch im Jahre 1986 geht ein Unfall einer Lagerhalle für Pflanzenschutzmittel in Basel für die Bevölkerung glimpflich aus. Der Fluss Rhein wird durch kontaminiertes Löschwasser verseucht.²⁰² Die Auswirkungen des Bhopalunglückes fordern eine dringende Überarbeitung der Seveso-I-Richtlinie zur Umsetzung von strengeren Maßnahmen. Die Richtlinie 96/82/EG (Seveso-II-Richtlinie) verlangt zur besseren Beobachtung regelmäßige Sicherheitsberichte, die Berücksichtigung von Wohn- und Naturschutzgebieten sowie eine regelmäßige Untersuchung des Betriebes.²⁰³

Um das verschlechterte Ansehen der Chemie-Industrie wieder zu heben, beschließen 1984 Mitgliedsfirmen eines kanadischen Verbandes der Chemieindustrie (CCPA) Grundsätze für ein verantwortliches Handeln der Industrien zu erarbeiten. Die Vorgaben dieser Initiative **Responsible Care** werden schließlich vom Verband der Europäischen chemischen Industrien (CEFIC, frz. Conseil Européen des

¹⁹⁷ Vgl. Retzmann T., *Förderung des ökologischen Verantwortungsbewusstseins mit der Produktlinienanalyse*, Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Bielefeld (2000), S.63-81

¹⁹⁸ Osnowski R., *Produktlinienanalyse: Bedürfnisse, Produkte und ihre Folgen [ein Diskussionsbeitrag aus dem Öko-Institut]*, Kölner Volksblatt-Verl. Köln (1987)

¹⁹⁹ Vgl. Brandt C., *Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Sustainable Development und Responsible Care*, (2002), S.214-224

²⁰⁰ Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Rates vom 4.Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (2012), Abs. 1

²⁰¹ Vgl. Brandt C., *Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Sustainable Development und Responsible Care*, (2002), S.214-224

²⁰² Vgl. Brandt C., *Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Sustainable Development und Responsible Care*, (2002), S.214-224

²⁰³ Vgl. Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Rates vom 4.Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (2012)

Fédération de l'Industrie Chimique) übernommen. Die Chemie-Industrie Europas setzt sich im Sinne des Konzeptes der gesellschaftlichen Unternehmensverantwortung (CSR, engl. Corporate Social Responsibility) somit als einer der ersten Branchen für einen freiwilligen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung, über die gesetzlichen Forderungen hinaus, ein.²⁰⁴

„Konzept, das den Unternehmen als Grundlage dient, auf freiwilliger Basis soziale Belange und Umweltbelange in ihre Unternehmenstätigkeit und in die Wechselbeziehungen mit den Stakeholdern zu integrieren.“²⁰⁵

Die Verantwortung zur Vermeidung von Industrienfällen und zur Verbesserung des Umweltzustandes liege beim Hersteller von Chemikalien. Es sollen nur jene Produkte angeboten werden, die in ihrer Produktion, Verwendung und Entsorgung sicher für Mensch und Umwelt sind.²⁰⁶

Eine weitere nennenswerte Organisation, welches sich ebenso mit der Toxikologie von Chemikalien beschäftigt, ist die Society of Environmental Toxicology and Chemistry (**SETAC**). Die 1979 gegründete gemeinnützige Organisation mit Sitz in Florida und Brüssel verbindet heute weltweit Mitglieder aus etwa 100 Ländern²⁰⁷. Mit Hilfe der Wissenschaft auf den Gebieten der Ökotoxikologie und der Umweltchemie sollen Umweltprobleme gelöst sowie eine gesunde Umweltpolitik definiert werden.²⁰⁸

Eine Bekämpfung der Umweltkrise wird demnach erst durch eine explizite Betrachtung der ökologischen Auswirkungen aus verschiedenen Fachbereichen erzielt. Die **Ökobilanz**, oder auch Lebenszyklusanalyse (LCA, engl. life cycle assessment), dient durch methodisches Vorgehen als systematische Analyse von möglichen Umweltwirkungen zufolge einer Herstellung, Verwendung und Entsorgung eines Produktes. In die Berechnung fließen das Ausmaß an Emissionen in die Umwelt sowie die Menge an verwendeten Rohstoffen mit ein. Ähnlich wie bei der Material-Input pro Serviceeinheit wird der gesamte Materiallebenszyklus analysiert. Schließlich wird eine Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse dargelegt.²⁰⁹ Im Jahre 2000 wird die Norm ISO DIN EN 14040 erlassen. Diese beschäftigt sich mit dem Umweltmanagement und speziell mit der Ökobilanz. Nach der Veröffentlichung der zweiten Ausgabe erfolgt 2006 zusätzlich die Publikation der Norm ISO DIN EN 14044. Heute stellen diese beiden Normierungen den Standard für eine ISO-konforme Ökobilanzierung dar. Viele Unternehmen etablieren die Lebenszyklusanalyse bereits in ihre Marktbearbeitung.²¹⁰

Im Laufe der letzten Jahrzehnte hat sich das kritische Hinterfragen anthropogener Handlungen in unser Denken etabliert. Vor allem wird der Blick auch auf den Bau- und Gebäudesektor gelegt. Um ein gesundes Leben und Wohnen zu versichern, vermarkten Unternehmen ihre ökologisch nachhaltigen Produkte, im Sinne von Baustoffen und Gebäude, mit Hilfe von Zertifizierungen. Gütesiegel garantieren nicht nur die Einhaltung der Normen, sondern auch die Erfüllung der Anforderungen des von ihnen festgelegten Standards. Zertifizierungen dienen weiteres einer Bestätigung einer Überprüfung. Gegenwertig dient für Gebäudezertifizierungen die Ökobilanz als Bestandteil in der Ausführung der Planungsphase. Um zufriedenstellende Ergebnisse zu erreichen, muss die Ökobilanz möglichst früh in den Planungsprozess miteinbezogen werden.²¹¹

²⁰⁴ Vgl. Brandt C., *Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Sustainable Development und Responsible Care*, (2002), S.214-224

²⁰⁵ Europäische Kommission, *Grünbuch. Europäische Rahmenbedingungen für die soziale Verantwortung der Unternehmen*, Brüssel (2001)

²⁰⁶ Vgl. Retzmann T., *Förderung des ökologischen Verantwortungsbewusstseins mit der Produktlinienanalyse* (2000), S.63-81

²⁰⁷ Vgl. SETAC, *About SETAC*, online: <https://www.setac.org/page/AboutSETAC?> (Zugriff 27.09.2022)

²⁰⁸ Vgl. SETAC, *SETAC's Mission, Vision, Principles and Values*, online: <https://www.setac.org/page/Mission> (Zugriff 27.09.2022)

²⁰⁹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*

²¹⁰ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

²¹¹ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014)

4.1.2 Gliederung und Leitstrategien

Die Entwicklung von Zertifizierungssystemen verändert die Arbeitsweise im Bauwesen. Da vor allem Gebäudezertifizierungssysteme ein gesünderes Wohnen garantieren, werden jene mit Gütesiegel versehenen Gebäude den anderen vorgezogen. Dies unterstützt auch die Motivation der am Gebäude beteiligten Planer die Ökobilanzierung bereits in der Planungsphase einzubeziehen. Überdies können nachträglich nur schwer Veränderungen vorgenommen werden. Das Grüne Bauen beginnt bereits bei der Baustoffwahl. Ausschlaggebend ist also die Analyse aller Phasen des Lebenszyklus. Die genaue Betrachtung des Material- und des Gebäudelebenszyklus ermöglicht Optimierungsmöglichkeiten des Gesamtsystems. Ein nachhaltiger Baustoffeinsatz muss aus dem Lebenszyklus bezogen werden. Der heutige Stand der Technologie erlaubt bereits ausschlaggebende Fortschritte zur Verbesserung der Auswirkungen aus dem Lebenszyklus eines Baustoffes bzw. eines Gebäudes. Überdies beeinflussen negative Erfahrungen aus der Geschichte die Dringlichkeit der Thematik. Jedoch mangelt es meist an der richtigen Ausführung. Erst die Betrachtung vom Material- bzw. Gebäudekonzept zuzüglich einer Ökobilanzierung zur Ermittlung baukonstruktiver Umweltwirkungen kann zu erfolgreichen Resultaten führen. Auch ein Wechsel der Betrachtungsebene vom Gebäude- zum Materialelebenszyklus und umgekehrt ermöglicht einen besseren Überblick über die Geschehnisse. Dadurch lassen sich bedeutende Faktoren im Gesamtsystem klarer deuten. Im Vergleich zur Planungsphase eines Gebäudes werden gegenwärtig die Nutzungs- sowie die Nachnutzungsphase am wenigsten behandelt.²¹² Durch gesammelte Erfahrungen können die Faktoren in den einzelnen Phasen eines Lebenszyklus besser an die Rahmenbedingungen angepasst werden. Je nach Nutzungskategorie können die Strategien zur Optimierung sinnvoll verändert werden.²¹³

In der Zusammenstellung von Zertifizierungssystemen ist das Einbeziehen der drei Säulen der Nachhaltigkeit unumgänglich. In der Analyse zur Bewertung von Umweltwirkungen gibt es konstitutive Elemente, die durch drei, größtenteils auf die ökologische Dimension bezogenen²¹⁴, Leitstrategien bestimmt werden. Die einzelnen Strategien stellen keine hinreichenden Elemente dar und müssen für eine ausgewogene Nachhaltigkeitsstrategie zusammen aufgegriffen werden.²¹⁵

4.1.2.1 Effizienz-Strategie

Der größte Anteil am Erfolg einer Nachhaltigkeitsstrategie wird meist der Effizienz zugeschrieben. Die am weitesten operationalisierte Leitstrategie²¹⁶ behandelt hauptsächlich die Reduktion der zu verwendeten Ressourcen sowie des Energieverbrauches²¹⁷ bzw. die Steigerung der Energie- und Ressourcenproduktivität.²¹⁸ Das Ziel der Effizienz-Strategie ist also die Entlastung der Aufnahmekapazität ökologischer Systeme.²¹⁹

○ Dematerialisierung

Mit steigendem Volkswirtschaftswachstum wächst auch der Materialaufwand und somit die Umweltbelastungen. Die 1971 bekannt gewordene IPAT-Gleichung spiegelt diesen Zusammenhang wider.²²⁰

²¹² Vgl. El Khouli S., et al., *Nachhaltig Konstruieren (2014)*, S.14

²¹³ Vgl. El Khouli S., et al., *Nachhaltig Konstruieren (2014)*, S.15

²¹⁴ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung*, Wissenschaftlicher Bericht am Forschungszentrum Karlsruhe (1999), S.4

²¹⁵ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung*, De Gruyter Oldenbourg, 1.Auflage, München (2014), S.61-62

²¹⁶ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung (2014)*, S.62

²¹⁷ Vgl. Jörisen J., et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung (1999)*, S.12

²¹⁸ Vgl. Hartwick J. M., *Investing returns from depleting renewable resource stocks and intergenerational equity (1978)*, S. 85-88

²¹⁹ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung (2014)*, S.62

²²⁰ Vgl. Van der Voet E. et al., *Wachstum ohne Umweltverbrauch? Entkopplung und Dematerialisierung als Trends (2008)* S.202 -217

$$I = P \cdot A \cdot T \quad [1]$$

Die Variablen dieser Gleichung sind wie folgt zu verstehen:

I = Umweltbelastung, P = Bevölkerung pro Kopf, A = Wohlstand pro Person, T = Technologiefaktor

Früher geht man demnach von einer Zunahme der Umweltbelastungen bei wirtschaftlicher Entwicklung aus. Doch dem soll später Widerspruch gelegt werden. Das *Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat)* veröffentlicht 2001 die standardisierte Methodik des **Material Flow Accounting (MFA)** zur Veranschaulichung der verbrauchten Gesamtmenge der Materialien in Bezug auf eine Volkswirtschaft. Dies ermöglicht eine bessere Übersicht und verschafft der Regierung einen Zusammenhang zwischen dem Wachstum bzw. Rückgang einer Gesellschaft und dem Materialverbrauch.²²¹ Weltweit werden Daten der Materialnutzung festgestellt und können länderübergreifend verglichen werden. Die Messung erfolgt auf Basis von zwei Indikatoren, welche die materielle Basis einer Gesellschaft veranschaulichen. Unterschieden wird zwischen dem DMI-Wert (engl. direct material flow; dt. direkter Materialeinsatz) und dem DMC-Wert (engl. domestic material consumption; dt. inländischer Materialverbrauch). Reichere Länder Europas weisen, obgleich einem vorhandenen Wirtschaftswachstum, statt einem Wachstum im Materialverbrauch einen hingegen stabilisierten Materialeinsatz auf. Dies wird durch das größere Interesse einer reicheren Gesellschaft an der Umweltqualität begründet. Es wird viel mehr Zeit in eine gesunde Umwelt investiert. Ein Fortschritt im Wirtschaftswachstum kann dies nur begünstigen. Die IPAT-Gleichung, welche zuvor einen linearen Zusammenhang zwischen Wirtschaftswachstum und Umweltqualität zeigt, definiert nun ein Verhältnis zwischen dem Wachstum der Technosphäre und den Auswirkungen auf die Umwelt.²²² Das Ziel ist demnach eine Dematerialisierung im Sinne einer Entkopplung, also die Entkopplung der Wirtschaftsleistung von der Umweltbelastung. Für eine bessere Lebensqualität soll der Materialverbrauch bei gleichbleibendem Wirtschaftswachstum reduziert werden.²²³ Allgemein kann die Effizienz-Strategie den Material- und Energieaufwand pro Einheit zwar verringern, doch ein höherer Gesamtverbrauch kann nicht verhindert werden. Bereits erzielte Einsparungen werden wiederum durch eine stetig wachsende Nachfrage nach Gütern kompensiert. Im Falle eines Effizienzgewinnes, kann es sein, dass Unternehmen ihren Gesamtgewinn dadurch nochmals erhöhen möchten. Folgend steigt die Nachfrage nach mehr Gütern. Dieses Phänomen wird auch „rebound effect“ bezeichnet.²²⁴ Allein schon aus diesem Grund, wäre die alleinige Ausführung der Effizienz-Strategie nicht zielführend.

- Ökoeffizienz

Mit Hilfe der Ökoeffizienz wird, unter Berücksichtigung eines maximalen ökonomischen Erfolgs, der Beitrag zur Minimierung von Umweltbelastungen gemessen. Unternehmen verringern die Umweltauswirkungen aus dem Lebenszyklus von Material und Gebäude, verbessern die Lebensqualität und erfüllen dadurch die Wünsche ihrer Kunden. Der Input, also der Energie- und Ressourcenverbrauch, ist im Vergleich zum Output, der Zufriedenheit der Kunden sowie einer späteren Wiederverwendung von Materialien, viel geringer zu halten. Dieses Konzept verhilft Unternehmen zu einer nachhaltigen Leitstrategie. Allerdings gibt es hierfür keine einheitliche Umsetzungsstrategie.²²⁵ Doch kann auch hier die Idee der Dematerialisierung angewendet werden. Generell lässt sich der Eingriff in die Umwelt, also der Ressourcenbedarf oder der Energiebedarf, mit der Wertschöpfung, dem entwickelten Produkt, in einem Zusammenhang bringen. Um die Ökoeffizienz rechnerisch zu ermitteln, dient die folgende

²²¹ Vgl. Van der Voet E. et al., *Wachstum ohne Umweltverbrauch?* (2008) S.202 -217

²²² Vgl. Van der Voet E. et al., *Wachstum ohne Umweltverbrauch?* (2008) S.202 -217

²²³ Vgl. Van der Voet E. et al., *Wachstum ohne Umweltverbrauch?* (2008) S.202 -217

²²⁴ Vgl. Van der Voet E. et al., *Wachstum ohne Umweltverbrauch?* (2008) S.202 -217

²²⁵ Vgl. Lehni M. et al., *Eco-efficiency: Creating More Value with Less Impact*, WBCSD (2000)

allgemeine Formel, durch welche der ökologische und der ökonomische Faktor der Nachhaltigkeit in ein Verhältnis gesetzt werden.²²⁶

$$\text{Ökoeffizienz} = \frac{\text{Wertschöpfung}}{\text{Schadschöpfung}} \quad [2]$$

- Industrial Ecology

Sowohl die Ökoeffizienz als auch die Dematerialisierung erweisen sich als gute Motivationsmethoden zur Verringerung der sogenannten Nichtnachhaltigkeit. Diese Strategien können etwa Umweltbelastungen in Grenzen halten aber keine endgültige Nachhaltigkeit schaffen. Die Industrial Ecology als die Wissenschaft der Nachhaltigkeit ist ein guter Ansatz zur Bekämpfung der Nichtnachhaltigkeit. Auch wenn die Bereiche der Umwelt sehr umfangreich sind, um sie nur in einer Wissenschaft zusammenfassen zu können.²²⁷

Grundsätzlich befassen sich klassische ökologische Modelle nur mit einer der drei Nachhaltigkeitssäulen. Der ökonomische und der gesellschaftlich soziale Faktor werden meist nicht behandelt. Im Vergleich zu üblichen Wissenschaften, werden in der Industrial Ecology hingegen nicht die Informationen auf Tatsachen gesammelt, sondern die Auswirkungen auf die Umwelt erst nachträglich erfasst. Hierfür wird die erforderliche Input- sowie die darauffolgende Output-Quantität an Material für industrielle Prozesse zur Befriedigung gesellschaftlicher Bedürfnisse beobachtet. In der Nachhaltigkeitswissenschaft wird, durch das Einbeziehen des ökonomischen und des sozialen Faktors, das Verstehen der komplexen Theorie eines ökologischen Systems angestrebt.²²⁸

4.1.2.2 Konsistenz-Strategie

Weniger Aufmerksamkeit erhält die Konsistenz-Strategie. Sie stellt eine Vereinigung vom Qualitätsdenken der Effizienz und dem Quantitätsdenken der, im nächsten Abschnitt definierten, Suffizienz dar.²²⁹ Die Unpopularität hingegen lässt sich vor allem mit der komplexen Realisierung dieser Methodik erklären. Hier sollen, wie auch in anderen Leitstrategien der Nachhaltigkeit, die Umweltschäden verringert werden. Allerdings erlässt die Konsistenz-Strategie anspruchsvollere Forderungen. Das Ziel ist eine ökologische Transformation. Es werden jene neuen Technologien gefördert, welche sich leicht in den Stoffkreislauf und das Ökosystem der Natur etablieren lassen.²³⁰ Hierfür ist ein Umstieg von nicht-erneuerbaren zu regenerierbaren Ressourcen obligatorisch.²³¹

- Kreislaufwirtschaft

Der gesellschaftliche Stoffwechsel muss sich in den natürlichen integrieren können. Das Ziel ist die Vereinbarkeit von Natur und Technik.²³² Die Einwirkungen menschlicher Aktivität dürfen keinen Einfluss auf den natürlichen Stoffkreislauf haben. Daher gilt in der Konsistenz-Strategie generell die Vermeidung von Abfall. Wenn die Verwendung von regenerierbaren Ressourcen nicht möglich ist, so ist eine Wiederverwendung von naturfremden Stoffen anzustreben. Der Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen, wie etwa Kohle und Öl, sollte verringert oder generell vermieden werden. Diese Strategie ermöglicht bei wachsender Weltbevölkerung die Gewährleistung jener nicht erneuerbarer Ressourcen auch für die zukünftigen Generationen.²³³ Der Mensch muss sich seiner Umwelt assimilieren

²²⁶ Vgl. Lehni M. et al., *Eco-efficiency: Creating More Value with Less Impact*, WBCSD (2000)

²²⁷ Vgl. Isenmann R. et al., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology* (2008), S.304-374

²²⁸ Vgl. Isenmann R. et al., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology* (2008), S.304-374

²²⁹ Vgl. Schmidt-Bleek F., *Wieviel Umwelt braucht der Mensch?: MIPS - das Maß für ökologisches Wirtschaften*, Birkhäuser, Berlin (1994)

²³⁰ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.63

²³¹ Vgl. Isenmann R. et al., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology* (2008), S.370

²³² Vgl. Isenmann R. et al., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology* (2008), S.363

²³³ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.63

und mit der Natur in Übereinstimmung leben. Um keine bis wenige anthropogene Spuren zu hinterlassen, sollen etwa bei einem Gebäude alle hierfür verwendeten Baustoffe nach einem späteren Abbau wieder verwendet werden können.²³⁴ Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft sollen verwendete Baustoffe so oft wie möglich wiederverwendet werden. Allerdings zeigt die Umsetzung der Konsistenz-Strategie einige Komplikationen auf. Die Abneigung zu nicht regenerierbaren Ressourcen drängt sich bei den meisten Unternehmen erst schleichend ein. Andererseits ermöglicht in anderen Fällen der heutige Stand der Technik noch keine Allround-Lösung zur Vermeidung Umwelt schädlicher Unternehmensprozesse. Vor allem erweist sich in der Fahrzeugindustrie der weltweite Verzicht auf Öl als Treibstoff als eine sehr aufwendige und komplexe Strategie.²³⁵ Auch viele Bauherren können sich von der konservativen Variante zum Beheizen von Gebäuden mit Öl nicht abwenden.

○ Gesellschaftliche Akzeptanz

Der schottische Aktivist Patrick Geddes beschäftigt sich früh mit der Evolution von Städten und formuliert 1915 folgenden Ausdruck:²³⁶

„Think global, act local“²³⁷

Als das Motto des Futurologen-Kongresses in Toronto 1979²³⁸ ist heute diese Redewendung als Toronto-Formel bekannt und animiert zu einer nachhaltigen Entwicklung. Es müssen die Auswirkungen der einzelnen Veränderungen in der lokalen Umgebung genauestens überlegt werden. Meist ist zur Erreichung einer nachhaltigeren Lösung ein paradoxes Verfahren zielführend.²³⁹ So ist etwa die Verwendung von Holz zwar allgemein eine nachhaltige Lösung, doch der Transport von Holz auf langen Strecken, nur um lokal den Anforderungen der Nachhaltigkeit gerecht zu werden, entspricht, bei globaler Betrachtung, wiederum nicht den ökologischen Leitregeln. Die Konsistenz-Strategie greift vor allem auf ein veraltetes System zurück und spiegelt eine Zeit wieder, in welcher der Transport von Gütern noch nicht erforderlich war und man auf regionale Baustoffe zugreifen musste.

Die Konsistenz-Strategie erfordert zur Realisierung vor allem eine Akzeptanz in den sozialen und ökonomischen Faktoren der Nachhaltigkeit. Die Umstellung des Gedankengutes in der Bevölkerung muss akzeptiert werden. Durch die Forderungen und Wünsche der Bevölkerung wird auch die Regierung dazu gezwungen sein ihre Strategie zu ändern. Des Weiteren werden trotz einer wachsenden Wettbewerbsintensität die Unternehmen mit der Realität konfrontiert. Die Ressourcenknappheit zwingt sie zu einem Wechsel der Arbeitsstrategie.²⁴⁰ Das gleichzeitig wachsende Interesse der Bevölkerung an einem grünen Leben unterstützt Unternehmen in ihren Wechsel zur Nachhaltigkeit. Diese Strategie mag zwar in den Industrieländern bereits teilweise Verwendung finden, dennoch ist zum Erreichen einer globalen Umweltverbesserung die Teilnahme aller Länder erforderlich.

4.1.2.3 Suffizienz-Strategie

Die Einführung einer Suffizienz-Strategie erfolgt bereits in den 1970er Jahren unter dem Namen „Selbstbegrenzung“.²⁴¹ Die Notwendigkeit dieser Leitstrategie ist in der Gesellschaft bis heute noch umstritten. Der Grund hierfür liegt in der nicht konkreten Umsetzbarkeit.²⁴² Im Vergleich zu den oben erwähnten Leitstrategien lässt sich diese nur schwer in Richtlinien umsetzen, da es stark auf

²³⁴ Vgl. Isenmann R. et al., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology* (2008), S.363

²³⁵ Vgl. Huber J., *Nachhaltige Entwicklung : Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik*, Ed. Sigma, Berlin (1995)

²³⁶ Vgl. Barash D., *Peace and Conflict*, SAGE Publications, London (2002), S.547

²³⁷ Barash D., *Peace and Conflict* (2002), S.547

²³⁸ Vgl. Huber J., *Nachhaltigkeit: ein Entwicklungskonzept entwickelt sich...*, (1996), S.63-65

²³⁹ Vgl. von Hauff, Michael, *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung*, S.63

²⁴⁰ Vgl. von Hauff, Michael, *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung*, S.64

²⁴¹ Vgl. Huber J., *Nachhaltige Entwicklung* (1995)

²⁴² Vgl. Huber J., *Nachhaltige Entwicklung* (1995)

freiwilligem Handeln basiert. In die Suffizienz-Strategie fließen unterschiedliche Komponenten ein. Diese können gleichzeitig als Anforderungen verstanden werden.

- Selbstbeschränkung

Ausgehend von einer Bescheidenheit und Genügsamkeit²⁴³ jedes einzelnen Menschen, soll bereits der eigenständige Verzicht von Ressourcen eine ausschlaggebende Veränderung in der Entwicklung zur Nachhaltigkeit haben. Allerdings findet bereits diese Komponente der Suffizienz-Strategie ihre Kritiker. Es ist die Rede von einer sogenannten „Nullwachstumsdebatte“.²⁴⁴ Da die Unternehmen in ihrem Handeln stets eingeschränkt wären, würde diese Strategie kein Wirtschaftswachstum fördern. Die Wettbewerbseigenschaft gehe durch den Verzicht von Materialkonsum verloren.

- Veränderung der Lebensstile

Die zweite Komponente der Suffizienz beschreibt weniger eine Einschränkung als mehr die Motivation zu einem besseren Lebensstil. Im Vergleich zur Effizienz-Strategie, in welcher Unternehmen dazu aufgefordert werden den Konsum von Gütern so gut es geht zu verringern, wird hier zu einer qualitativen Veränderung aufgerufen. Im Sinne der Konsumenten werden die Ansprüche höher gesetzt, wodurch Unternehmen gezwungen sind, auf die Qualität ihrer verwendeten Ressourcen zu achten.²⁴⁵ Der rasante Bevölkerungswachstum steht der Realisierung dieser Komponente allerdings im Weg. So ist etwa der Bausektor dazu gezwungen in kurzer Zeit viele Wohnbauten zu errichten. Realistisch betrachtet, wird bei der Wahl einer größeren Ressourcenquantität nicht auf die Qualität geachtet. Bei einem erhöhten Ressourcendruck ist es für kein Unternehmen sinnvoll den ökonomischen Zweig der eigenen Strategie zu vernachlässigen. Dies stellt viele Unternehmen vor einer Herausforderung, durch welche sie sich in einem Zwiespalt zwischen wirtschaftlichen Errungenschaften und nachhaltigen Produktionsgut finden.

- Strukturwandel des Güterkorbs

Die dritte Komponente zielt auf einen Strukturwandel des Güterkorbs von materiellen Gütern zu Dienstleistungen und immateriellen Gütern hin.²⁴⁶

Die Suffizienz-Strategie führt oft zu Kontroversen. Sie zeigt keine wirklichen Bezugspunkte und stellt lediglich eine Wunschvorstellung dar. Es werden Anforderungen an das Individuum und den Staat gestellt, ohne konkret formulierte Realisierungsmöglichkeiten zu definieren.²⁴⁷ Diese Strategie erweist sich demnach lediglich als eine Idee für ein zu erreichendes Ziel. Denn die Suffizienz-Strategie fordert also sozialverträgliche Obergrenzen für die Ökonomie bzw. das Wirtschaftswachstum ein, um die ökologischen Belastungsgrenzen einhalten zu können.²⁴⁸ Für eine Realisierung dieser Leitstrategie erfordert es zunächst einer Überzeugung der Menschen zur selbstständigen Veränderung im Handeln.²⁴⁹ Der Nutzungs- und Konsummuster bzw. der Produktverbrauch und Produktgebrauch müssen neu definiert werden.

²⁴³ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014)

²⁴⁴ Vgl. Pufé I., *Nachhaltigkeit*, UVK-Verl.-Ges.UVK/Lucius, München (2014)

²⁴⁵ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.64

²⁴⁶ von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.64

²⁴⁷ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.64

²⁴⁸ von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.64

²⁴⁹ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.64

4.1.2.4 Gewichtung von Effizienz, Suffizienz und Konsistenz

○ Normative Regelungen

Nach der Festlegung der Ziele gilt es die Anforderungen normativ festzulegen. Vertreter gesellschaftlicher Gruppen bilden ein eigenständiges repräsentatives Panel. Es erfolgt eine Untersuchung des aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisstandes sowie eine Analyse des technologischen Potenzials.²⁵⁰ Mit dem gesammelten Wissen können die festzulegenden Regelungen realistischer geplant werden. Normierte Festlegungen werden üblicherweise regelmäßig angepasst und setzen meist Pläne für eine gewisse Zeitdauer an. Die Herausforderung in der Zusammensetzung eines Nachhaltigkeitskonzept ist, neben der Einschließung aller drei Leitstrategien, die Verknüpfung zwischen den Elementen Nutzung, Erhaltung und Entwicklung zu schaffen.²⁵¹

○ Kontroverse um die Realisierbarkeit – Frage der Verantwortung

Alle drei Leitstrategien verbindet ein **innovatives Handeln**. Für eine nachhaltige Entwicklung müssen neue Maßnahmen gesetzt werden. Konservative Technologien und Arbeitsweisen unter lediglich einer Berücksichtigung etwa der Energieeinsparung werden keine globalen Veränderungen erzielen. Für Umwelt- und Naturschutz-Verbände gilt es die Aufmerksamkeit vor allem der Strategien der Suffizienz zu schenken. Es herrscht eine Kontroverse, zwischen denen durch technische Innovationen induzierte Effizienz- und Konsistenzsteigerungen und dem materiellen Wohlstand durch die Suffizienz.²⁵² Allerdings kann eine alleinige Einführung einer Effizienz- oder/und Konsistenz-Strategie keine ökologisch nachhaltige Entwicklung erzielen.²⁵³

Alle drei Leitstrategien sind für die Realisierbarkeit einer nachhaltigen Entwicklung erforderlich. Dennoch hat die Frage nach dem „wie“ in den letzten Jahren immer mehr an Hinwendung erhalten.²⁵⁴ Das Konzept der Leitstrategien erfordert von der Menschheit eine allumfassende Transformation. Inwiefern ist unsere Gesellschaft mit dem heutigen Gedankengut dafür bereit diese Umstellung anzugehen. Eine Veränderung beginnt zwar bereits bei jedem einzelnen **Individuum**, doch ein Umdenken für ein umweltbewusstes Leben allein wird nicht reichen. Die Bevölkerung braucht die Unterstützung der Regierung. Statt suchend nach umweltbewussten Möglichkeiten am Markt voranzugehen, müssten sich die ökologischen Alternativen mehren, um hingegen der Bevölkerung eine Wahl zu ermöglichen. Auch wenn das Interesse von Unternehmen besteht das dominante Produktionsmuster²⁵⁵ umzuwandeln, ist diese weltweite Transformation nicht einfach umsetzbar.

Moderne Gesellschaften besitzen bereits eine Selbststeuerungsfähigkeit zum „richtigen Handeln“. Es mangelt also an der Transformation, die erst durch Regelungen der **Regierung** für eine nachhaltige Entwicklung erreicht werden. Hierfür ist es notwendig ein umfangreiches Wissen über ökologische, soziale und ökonomische Problemlagen zu sammeln.²⁵⁶ Ziele müssen klar definiert werden und bereits erreichte Veränderungen müssen genau analysiert werden, um eventuell einen schnelleren Vorgang für weitere Ziele zu erkennen. Doch auch hier kann die Verantwortung nicht allein auf die staatlichen Institutionen übergeben werden. Ein einzelnes System zu erstellen und hierbei alle unterschiedlichen Kulturen²⁵⁷, die verschiedenen Unternehmensstrategien und alle Umweltzustände zu berücksichtigen

²⁵⁰ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.25

²⁵¹ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.25

²⁵² Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.24

²⁵³ Vgl. von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung* (2014), S.65

²⁵⁴ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.25

²⁵⁵ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.25

²⁵⁶ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.26

²⁵⁷ Vgl. Jörisen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.26

ist mit dem heutigen Wissenstand nicht möglich. Stattdessen werden einzelne Bereiche bzw. Umweltprobleme herangezogen und schrittweise behandelt.

Das Bestreben einer nachhaltigen Entwicklung erfordert die Mitarbeit jedes einzelnen. Die bisherigen anthropogenen Entwicklungen und ihre Auswirkungen auf der Erde lassen davon ausgehen, dass in naher Zukunft jeder Mensch und somit auch jedes einzelne **Unternehmen** in gewisser Weise eine nachhaltige Entwicklung angehen wird müssen. Die 1995 gegründete internationale Organisation *World Council for Sustainable Development (WBCSD, dt. Weltwirtschaftsrat für Nachhaltige Entwicklung)* beschäftigt sich mit dem Thema der Wirtschaft und der nachhaltigen Entwicklung. Sie steht als Vermittler zwischen Unternehmen und der staatlichen Einheit. Sie unterstützt Unternehmen in ihrem Vorhaben zur Veränderung zu einer nachhaltigen Strategie. Da sie den direkten Kontakt zu den Unternehmen pflegt, dient sie bei UN-Klimakonferenzen auch als Interessensvertreter.²⁵⁸ Zukunftsorientiert formuliert die WBCSD die Hypothese, dass nur jene Unternehmen, welche gegenwärtig eine langfristige Nachhaltigkeitsstrategie führen, in Zukunft ihr Unternehmenskonzept den normativen Regelungen anpassen werden können. Rechtzeitiges Handeln verhindert zukünftige Komplikationen.

Generell lässt sich feststellen, dass die Änderung des Gedankengutes beim Kunden passiert. Vorrangig verändern Unternehmen ihre Strategie für eine bessere Kundenzufriedenheit. Denn es sind genau jene Veränderungen, die primär auch vom Staat früher oder später in Vorschriften und Gesetzen erlassen werden.²⁵⁹ Andererseits kann die Einführung von Regelungen auch durch die Anforderungen der Unternehmen selbst erfolgen. Jene Unternehmen, die aufgrund von Kundenwünschen oder aufgrund von eigenen Überzeugungen eine langfristige Nachhaltigkeitsstrategie einführen, fordern angemessene Beschlüsse für alle, um ihre Wettbewerbsposition²⁶⁰ zu garantieren. Diesem Vorgehen wirken aber jene entgegen, welche noch ihre konservativen Leitbilder durchziehen. In diesem **umgekehrten Einfluss** steuert die Wirtschaft der Politik entgegen.²⁶¹ Der Drang zu Veränderung erfolgt noch vor einer Reaktion der Regierung auf die behandelten Probleme.

4.1.2.5 Gegenüberstellung der Leitstrategien

Eine Einführung einer konsistenten Strategie erfordert zunächst die Überprüfung der Plausibilität und der Machbarkeit. Veränderte Vorgehensweisen müssen neben ökologischen auch qualitativen Anforderungen entsprechen und sich in die Stoffströme der Umwelt integrieren können. Die Prinzipien der Natur werden verstanden und eine Kreislaufwirtschaft wird eingeführt (Konsistenz). Des Weiteren müssen die Ressourcen- sowie Energieproduktivität gesteigert werden, ohne dabei das anzustrebende Ziel qualitativ zu verändern. Bei gleichbleibendem Wohlstand wird ein geringer Umweltverbrauch angestrebt (Effizienz). Zufrieden stellende Fortschritte zeigt der Mensch, wenn er die in seiner Macht möglichen Veränderungen zum besseren Umgang mit der Umwelt erreicht hat. Andauernd strebt er einer weiteren Verbesserung nach und setzt sich selbst Grenzen. Ein sparsames, minimalistisches, aber dennoch gesundes Leben zeigt eine neue Weltanschauung mit qualitativem Lebensstandard (Suffizienz). Im Allgemeinen geht es also um eine Verhaltensänderung. Die Beziehung zwischen Menschen und Umwelt verbessert sich, wenn die Begierde des Menschen nach Gütern sich in Grenzen hält. Geringe Eingriffe in die Natur verursachen geringere Auswirkungen auf die Umwelt. Eine an die Umwelt angepasste Technik als Hilfsmittel ermöglicht uns unsere Neigungen und Wünsche zu erfüllen.

²⁵⁸ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), *About us*, online: <https://www.wbcd.org/Overview/About-us> (Zugriff 14.01.2023)

²⁵⁹ Vgl. Jörissen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.27

²⁶⁰ Vgl. Jörissen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.27

²⁶¹ Vgl. Jörissen J. et al., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung* (1999), S.27

Die folgende Darstellung soll nochmals einen Überblick über die drei Leitstrategien erörtern und zeigt Möglichkeiten zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung in den Dimensionen des Bauwesens.

| <i>Dimension</i> | EFFIZIENZ <i>Funktionale Leistungssteigerung</i> | KONSISTENZ <i>Natur- und Gesundheitsverträglichkeit, Kreislaufwirtschaft</i> | SUFFIZIENZ <i>Bedarfshinterfragung, Verhaltensänderung</i> |
|------------------|--|--|---|
| Gebäude | Nutzung einer erhöhten Energieproduktivität zur Erhöhung der Flächenwirtschaftlichkeit | Reduktion der Umweltwirkungen in allen Lebensphasen eines Gebäudes | Hinterfragung der Notwendigkeit einer Ausführung; Befürwortung des Nutzungswandels/der Wiederverwendung |
| Raumzone | zukunftsorientierte Gestaltung zur Reduktion der Betriebsenergie, Vereinfachung der Wartung und Instandhaltung | Einhaltung der normativen Regelungen für VOC für eine gesundheitliche Unbedenklichkeit | minimalistisch gehaltener Raumbedarf; Kompaktheit |
| Raum | | | Genügsamkeit in der Ausstattungsgüte |
| Bauteil | individuelle Herstellungsoptimierungen für erhöhte Konstruktionseffizienz | Verwendung nachwachsender Rohstoffe; vorausschauende Planung zur Wiederverwendung; | Reduktion des Technisierungsgrades |
| Werkstoff | Erhöhung der technischen Leistung der Werkstoffe | Verwendung wiederverwertbarer Werkstoffe; Substitutionsrohstoffe | Reduktion von Detailschlüssen |

Tab. 4.1.: Möglichkeiten zur Ausübung der drei Leitstrategien (Effizienz, Konsistenz, Suffizienz) auf unterschiedlichen Maßstabsebenen²⁶²

Die erwähnten Leitstrategien dienen bis heute den Zertifizierungssystemen in der Zusammenstellung eines anstrebenden Standards. In den meisten Fällen wird allerdings mehr auf die Effizienz-Strategie eingegangen. Neue Regelungen durch die Europäische Union verpflichten bald auch das Miteinbeziehen der Konsistenz-Strategie. Das Leitbild der Suffizienz hingegen erfordert einen größeren Zeitaufwand. Die Befassung mit der Thematik für das Zusammenstellen möglicher Einführungsansätze ist noch ausbaufähig.

4.2 Nachhaltige Wirtschaftsstrategien zur Umsetzung ökologischer Ziele

Folgend werden einige wirtschaftsökologische Konzepte näher definiert, die zur Erreichung ökologisch nachhaltiger Ziele eine Veränderung des Wirtschaftssystems anstreben. Die Modelle haben unterschiedliche Wertschätzungen und setzen sich mit den Themen Wachstum, Wohlstand und Lebensqualität auseinander. Der folgende Abschnitt soll vor allem ein besseres Verständnis für die Entstehung nachhaltiger Regelungen staatlicher Einheit dienen. Prinzipiell werden nachhaltige Wirtschaftsmodelle

²⁶² In Anlehnung an El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.14

durch Interessensvertreter von Organisationen oder Vereinen entwickelt. Jene Gruppierungen entstehen stets aus einer wachsenden Unzufriedenheit zufolge Umweltbelastungen. Die entwickelten Wirtschaftsmodelle können, bezogen auf die Umwelt, unterschiedliche Zwecke oder Ziele haben. So gibt es jene Modelle, die eine Verbesserung der Umwelt zufolge eines Wirtschaftswachstums zu erzielen hoffen. Andere Formen sehen das Wachstum der Wirtschaft als ein Hindernis an. Wiederum andere Gesellschaftsmodelle legen den Fokus auf die Zufriedenheit des Menschen. Folgend lesen die Definition ausgewählter Wirtschaftsmodelle, die mit dem Wirtschaftswachstum in Abhängigkeit stehen. Diese Wirtschaftsmodelle können von staatlicher Einheit in Entwicklungsplänen integriert werden oder auch auf Firmenebene durch entsprechende Geschäftsmodelle eingeführt werden.

4.2.1 Green Economy

Die Green Economy beschreibt ein wirtschaftliches Konzept, welches unter Miteinbeziehen der sozialen Säule der Nachhaltigkeit, eine ökologische Nachhaltigkeit erreichen möchte. Der Kern dieser Idee ist ein grüner Umbau der Wirtschaft durch die Veränderung politischer Rahmenbedingungen. Green Economy zeigt Gemeinsamkeiten zu den Konzepten Green New Deal und Green Growth auf. Alle drei haben nutzen Krisensituationen als Chance für eine Veränderung.²⁶³

Bereits der US-amerikanische Präsident Franklin D. Roosevelt reagiert auf die in den 1930er Jahren stattgefundenen Weltwirtschaftskrise mit einer neuen Wirtschafts- und Sozialreform, dem New Deal Konzept. Eine strukturelle Umstellung der Wirtschaft verhilft zu einem Neuanfang. Das Konzept Green New Deal übernimmt das verwendete Konjunkturpaket und stellt ein grünes Konjunkturprogramm zusammen. Um den sozialen Standard zu heben, werden Grüne Jobs geschaffen. Für die ökologischen Ziele werden der Verbrauch von Ressourcen gemindert, Gebäudesanierungen energieeffizient ausgeführt und die Nutzung erneuerbarer Energien gefördert.²⁶⁴ In der Umsetzung globaler Maßnahmen wird in internationalen Konferenzen das System des Green Deal durch den Begriff Green Economy ersetzt.²⁶⁵

Der Kerngedanke der Green Economy baut auf dem des Green Deal auf und setzt zusätzlich einen größeren Wert auf die Inklusion sozialer Aspekte. Dieses Konzept unterstützt in den Maßnahmen zur Reduktion von Ressourcen und den CO₂-Emissionen. Best-Practice-Beispiele, als Exemplare für erfolgreiche Konzepte, werden weltweit analysiert.²⁶⁶ Die gesammelten Informationen dienen einem besseren Verständnis der Veränderungen in der Konstellationen Wirtschaft-Umwelt-Mensch und ermöglichen eine schnellere Erzielung der nachhaltigen Entwicklung.²⁶⁷

Das Konzept Green Economy hat sich in den letzten Jahren weiterentwickelt. Die Maßnahmen zur Erzielung einer gesunden Umwelt unter Förderung einer stabilen und risikoarmen Wirtschaft werden durch den Umweltforscher Martin Jänicke wie folgt zusammengefasst:

- Steigerung der Ressourcenproduktivität für eine Förderung des Wachstums und eine Unterstützung der Wettbewerbsfähigkeit
- Einführung staatlich induzierter „grüner“ Investitionen
- verstärktes Innovationstempo zur Unterstützung des Ressourcenschutzes implizite Umwelt- und Klimaschutz
- global dynamisches Wachstum der Industriemärkte für „grüne“ Technologien
- Vermeidung wachstumsschädlicher Umweltschäden

²⁶³ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.15

²⁶⁴ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.15

²⁶⁵ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.16

²⁶⁶ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.16

²⁶⁷ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.16

- Unterstützung einer Emissionsfreien Arbeitsstrategie durch ökologische Steuerreform für Steuerentlastung von Unternehmen²⁶⁸

Die bisherigen Ergebnisse des Green Economy zeigen noch keine globalen Veränderungen. Obgleich mit diesem Konzept kein effizientes BIP-Wachstum mit Sicherheit gewährleistet werden kann, verspricht Green Economy eine Schrumpfung umwelt- und ressourcenintensiver Bereiche.²⁶⁹

4.2.2 Blue Economy

Der belgische Ökonom Gunter Pauli wird 1994 an die United Nations University (UNU) in Tokyo gerufen, um die Ausarbeitung des Kyoto-Protokolls zur Bestimmung eines Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen vorzubereiten. Dort initiiert er die Gründung der Initiative Zero Emissions Research and Initiatives (ZERI).²⁷⁰ In Zusammenarbeit mit weiteren Forschern weltweit wird das Projekt „Nature’s 100 Best“ ins Leben gerufen. Das Forschungsteam sammelt Naturtechnologien in den Bereichen Wasser, Energie, Bauwesen und Ernährung.²⁷¹ Jene Technologien, die dazu im Stande wären, ein Gesellschaftsmodell grundlegend zu verändern werden rausgefiltert. Das Ziel dieses Projektes galt der Findung der 100 besten, Natur inspirierten, klimafreundlichen, ressourceneffizienten und wettbewerbsfähigen Technologien.²⁷² Schließlich erfolgt die Veröffentlichung des Geschäftsmodell The Blue Economy. Unter dem Titel „Blue Economy“ wird ein Bericht an The Club of Rome weitergeleitet, in welchem 100 Innovationen zur Ermöglichung von weltweit 100 Millionen Arbeitsplätzen in den nächsten 10 Jahren vorgestellt werden.

„Nach der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008 ist mir [...] endgültig klar geworden, dass Grün nur für diejenigen gut ist, die Geld haben. Das ist nicht gut. Wir sollten eine Wirtschaft schaffen, die die Grundbedürfnisse aller Menschen sicher stellen kann – und zwar mit dem, was zur Verfügung steht.“ - Gunter Pauli, Gründer von ZERI²⁷³

Im Vergleich zu herkömmlichen Wirtschaftsmodellen formuliert Blue Economy ein effizienteres Konzept durch die Nutzung von Innovationen, welche auf die Funktionsweise von Ökosystemen basieren. Naturwissenschaftliche Beobachtungen zeigen, dass das Ökosystem stark durch die Grundgesetze der Physik bestimmt wird. Darauf aufbauend werden die Innovationen der Blue Economy formuliert.²⁷⁴ Stufenweise wird ein Kaskadensystem der Natur in das Wirtschaftssystem integriert. Dieses innovative Vorgehen verlangt, dass der Abfall eines Stoffwechselprozesses als Rohstoff fungieren und als Ausgangsmaterial für den nächsten Prozess verwendet werden soll.²⁷⁵

Das Blue Economy Konzept erhält immer größere Aufmerksamkeit. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig und zeigen keinen eingeschränkten Geltungsbereich. Die Organisation der Vereinten Nationen (OVN, bzw. VN) empfiehlt die Verwendung dieses Konzeptes zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG, engl. Sustainable Development Goals).²⁷⁶ Doch dessen Einsatz erweist sich in manchen Bereichen als sehr komplex und herausfordernd. Die Folgende Abbildung zeigt das Ausmaß der gewünschten Anwendung des Blue Economy Konzeptes durch die Vereinten Nationen in den einzelnen Entwicklungszielen.

²⁶⁸ Vgl. Jänicke M., *Wir brauchen radikale Lösungen. Das „grüne Wachstum“ und seine Kritiker* (2012), S.20 – 22

²⁶⁹ Vgl. Jänicke M., *Wir brauchen radikale Lösungen. Das „grüne Wachstum“ und seine Kritiker* (2012) S.20 – 22

²⁷⁰ Vgl. Zero Emission Research Initiatives (ZERI), *ZERI History*, online: <http://zeri.org/history.html> (Zugriff 14.01.2023)

²⁷¹ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.22

²⁷² Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.22

²⁷³ BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.22

²⁷⁴ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.22

²⁷⁵ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.22

²⁷⁶ Vgl. Ki-Hoon L. et al., *The Blue Economy and the United Nations’ sustainable development goals: Challenges and opportunities* (2020)



Abb. 4.2.: Anwendung des Blue Economy Konzeptes zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG)²⁷⁷

Zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung wird das Blue Economy Konzept vor allem für das Ziel zur Bewahrung der Ozeane und Meere (Ziel 14) angewendet. Auch die Bewirtschaftung der Wälder und der Schutz biologischer Vielfalt (Ziel 15), das Streben nach Frieden und Gerechtigkeit in der Gesellschaft (Ziel 16) und die Unterstützung globaler Partnerschaften (Ziel 17) finden bereits Gebrauch in der Strategie Blue Economy. Die folgende Abbildung zeigt die Anwendung des Konzeptes unter Beteiligung der Stakeholder. Tatsächlich liegt Stakeholdern ein großes Anliegen zur erweiterten Anwendung in den anderen Zielen der Nachhaltigkeit. Mehr Aufmerksamkeit sollten die Ziele zur Erreichung eines gesunden Lebens für alle Menschen (Ziel 3) sowie zur Erreichung eines nachhaltigen Wirtschaftswachstums und menschwürdiger Arbeit (Ziel 8) erhalten.

²⁷⁷ Ki-Hoon L. et al., *The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals* (2020); bezogen unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019338255#f0025> (Zugriff 08.01.2023)



Abb. 4.3.: Anwendung des Blue Economy Konzeptes zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) unter Stakeholder Beteiligung²⁷⁸

Die Involvierung der Stakeholder zeigt einige Unterschiede in den Forderungen zur Anwendung des Konzeptes. Um zufriedenstellende und vor allem realisierbare Ziele zu setzen ist eine Involvierung der Stakeholder unabdingbar.²⁷⁹ Auch die Unterstützung zu einer nachhaltigen Siedlung (Ziel 11) gewinnt durch die Stakeholder mehr Eifer. Speziell im Gebäude- und Bausektor wäre die Anwendung dieses Konzeptes anzustreben, da sich in diesem Bereich in vielen Prozessen ein Anwendungspotenzial zeigt.

4.2.3 Kreislaufwirtschaft

Eine größere Bedeutung und steigende Anwendung im Bau- und Gebäudesektor erhält hingegen das System der Kreislaufwirtschaft. Sie beschreibt ein Alternativmodell zur üblichen linearen Wirtschaft²⁸⁰, in welcher ein Produkt seine letzte Lebensphase in der Entsorgung erlebt. Das Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es Produkte nach ihrer Anwendung nochmals wieder einsetzen zu können.²⁸¹ Regelmäßige Instandsetzungen und Sanierungen können die Lebensdauer eines Produktes erhöhen und seine Qualität am Ende seiner Anwendung verbessern. Verwendete Produkte erweisen sich als wertvolle Rohstoffe und ermöglichen somit die Vermeidung von Abfall.

Der US-amerikanische Wirtschaftswissenschaftler veröffentlicht 1966 den Artikel „The Economics of the Coming Spaceship Earth“. Erstmals wird die Idee von wiederbelebenden Materiallebenszyklen definiert. Seine Analysen dienen heute als Grundlage für die Kreislaufwirtschaft.²⁸² Die Produktion von

²⁷⁸ Ki-Hoon L. et al., *The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals* (2020); bezogen unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019338255#f0025> (Zugriff 08.01.2023)

²⁷⁹ Vgl. Ki-Hoon L. et al., *The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals* (2020)

²⁸⁰ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.24

²⁸¹ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.24

²⁸² Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.24

Abfall innerhalb der Europäischen Union liegt jährlich bei über 2,5 Milliarden Tonnen²⁸³. Aus diesem Grund sieht die Europäische Union eine Einführung einer Kreislaufwirtschaft als dringend an. Es erfolgt 2014 die Veröffentlichung einer Mitteilung, in welcher ein sogenanntes Null-Abfallprogramm skizziert wird. Aufbauend darauf entwickelt sich die Kreislaufwirtschaft, die neben der Vermeidung von Abfall auch die Verringerung der Emissionen als Ziel hat.²⁸⁴

Bereits in der Planungsphase von Gebäuden können nachhaltige Schritte in Richtung Kreislaufwirtschaft gesetzt werden. Es wird vehement dem linearen Wirtschaftsmodell entgegengewirkt. Nachdem die erneuerbaren Rohstoffe gewählt werden, muss in der Planungsphase über die Verwendung in jeder Lebensphase eines Baustoffes bzw. eines Produktes vorab entschieden werden. Dementsprechend werden die Herstellungsprozesse angepasst. Im Laufe der Anwendung müssen Gebäude regelmäßig saniert werden. Dadurch kann die Erhaltung einer guten Qualität der verwendeten Baustoffe gewährleistet werden. Nach dem Abbruch des Gebäudes werden alle Bauprodukte und Materialien sorgfältig gesammelt und recycelt. Unvermeidbare Produkte, für die es bisweilen noch keine nachhaltige Lösung gibt, verweilen im Restabfall. Die folgende Abbildung soll den erläuterten Verlauf nochmals bildlich veranschaulichen.

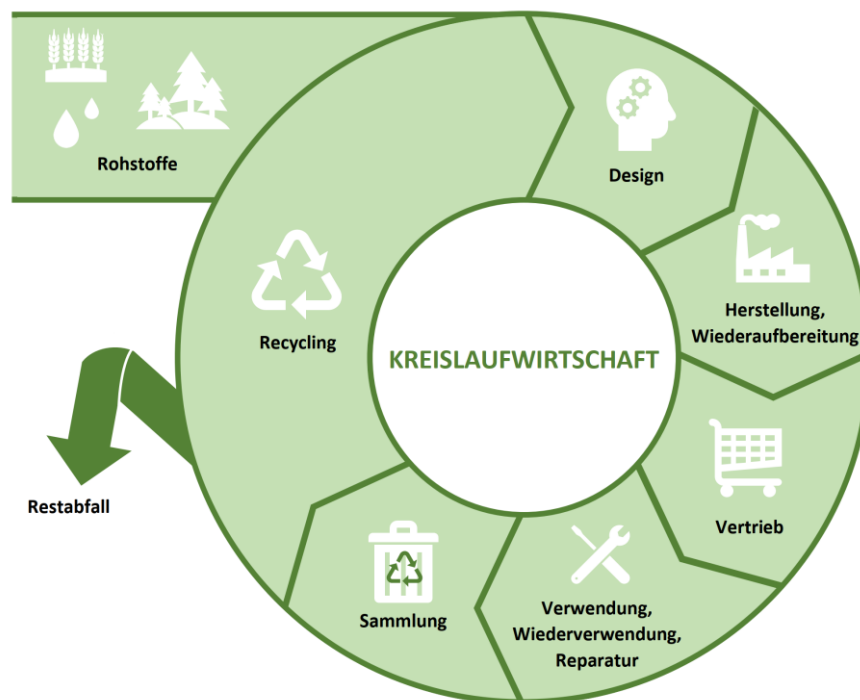


Abb. 4.4.: Modell der Kreislaufwirtschaft²⁸⁵

Das Konzept Cradle to Cradle (C2C, dt. von der Wiege zur Wiege) integriert die Idee der Kreislaufwirtschaft. Der Mitbegründer des C2C-Konzeptes Michael Braungart spricht von einer intelligenten Verschwendung des Menschen. Der Mensch müsse sich in seinem Konsum nicht einschränken, da in einer Kreislaufwirtschaft alle Materialien als Nährstoffe in einem geschlossenen Kreislauf zu verstehen

²⁸³ Europäisches Parlament, *Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile*, online: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile> (Zugriff 14.01.2023)

²⁸⁴ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.24

²⁸⁵ eigene Darstellung in Anlehnung an: Europäisches Parlament, *Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile*, online: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile> (Zugriff 08.01.2023)

sind.²⁸⁶ Als zentrale Energiequelle dient bevorzugt die Sonnenenergie, da sie eine maßlose Quelle darstellt.²⁸⁷

Zusätzlich ist die Idee dieses Konzeptes nicht nur auf Produkte beschränkt. Es wird zwischen einem biologisch geschlossenen und einem technisch geschlossenen Kreislauf unterschieden.²⁸⁸ Der biologisch geschlossene Kreislauf behandelt Verbrauchsgüter, die vollständig biologisch abbaubar sind. Der entstehende Abfall stellt schließlich einen Nährstoff für einen neuen Lebenszyklus. Hingegen steht der technisch geschlossene Kreislauf für Gebrauchsgüter, die nach ihrer Nutzung wieder in ihre Ausgangsstoffe auseinander zerlegt werden.²⁸⁹

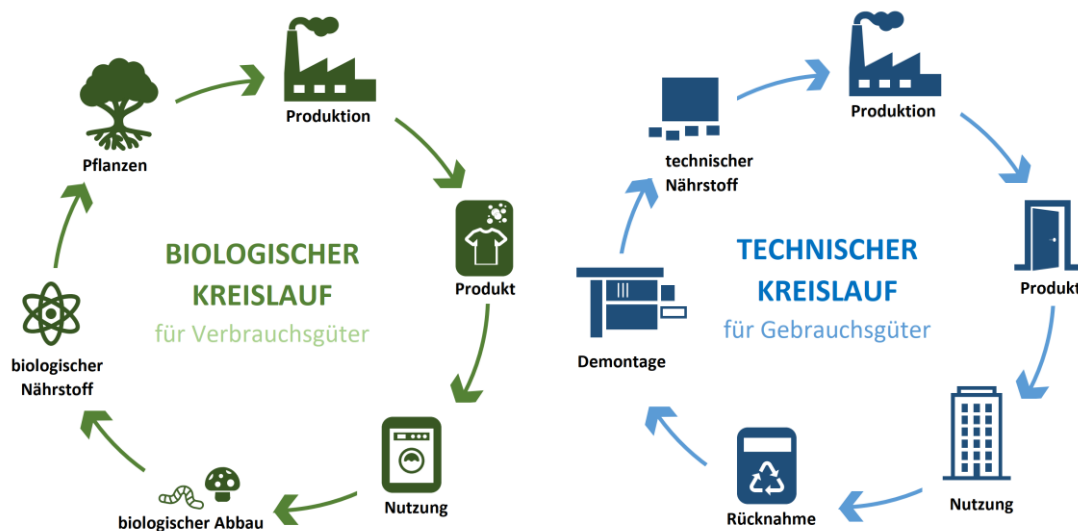


Abb. 4.5.: Biologischer (re.) und technischer (li.) Kreislauf bei C2C²⁹⁰

Das C2C-Konzept beschreibt gemäß obiger Abbildung zwei Kreisläufe, in welcher Rohstoffe nicht verloren gehen. Nach dem Gebrauch können sie unendlich oft wiederverwendet werden. Diese Idee wird auch durch die Öko-Effektivität-Philosophie gestützt. Im Vordergrund steht nicht die Verringerung von umweltschädlichen Gütern, sondern viel mehr die Erzeugung von gesunden und qualitativen Produkten²⁹¹ zur Ermöglichung einer immerwährenden Wiederverwendung. Diese Strategie verhindert somit eine große Abfallproduktion. Die Entsorgung der verwendeten Materialien ist Aufgabe des Produzenten. Ihm obliegt es Verantwortung für die rechtmäßige Wiederverwendung zu sorgen.²⁹²

Im Vergleich zum Blue Economy Konzept handelt das C2C nachhaltiger und zukunftsorientierter. Während beim Blue Economy, im Sinne eines Cradle to Grave (engl. von der Wiege zur Bahre) Prinzips, durch angewendete Innovationen die Lebensdauer eines Materials zu verlängern angestrebt wird, wird bei C2C auf eine ewige Wiederverwendung hingearbeitet.²⁹³

Das C2C Konzept ist gut umsetzbar und kann bemessen werden. Gegenwärtig wird es zur unabhängigen Zertifizierung durch Produkthersteller angewendet. Dadurch kann der Hersteller seinen Kunden

²⁸⁶ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.25

²⁸⁷ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.26

²⁸⁸ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.26

²⁸⁹ Vgl. Schüco, *Cradle to Cradle, Nachhaltig von Anfang an*, Schüco International KG Bielefeld (2019)

²⁹⁰ eigene Darstellung in Anlehnung an: Schüco International KG, *Cradle to Cradle. Nachhaltig von Anfang an*, Broschüre, online:

https://www.schueco.com/resource/blob/2168158/3ce874205df43dee3e5b21e4b44fd3c/Schueco_C2C_Broschuere_210119.pdf?domain=de-lu
(Zugriff 21.04.2022)

²⁹¹ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.25

²⁹² Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.26

²⁹³ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.25-26

im Sinne einer Green-Marketing-Strategie die Einhaltung von Schadstoffemissionen bei Montage, Verwendung und Rückbau garantieren. Unterschieden wird in der Beurteilung zwischen der Materialbewertung und Prozessbeurteilung.²⁹⁴

4.2.4 Faktor X

Das Konzept Faktor X dient dem Ziel zukünftiger Generationen einen weltweit besseren Zustand der Umweltressourcen zu versichern. Da nicht erneuerbare Rohstoffe, wie Öl, Gas, Kohle, Erze und Mineralien, nicht unendlich auf unserer Erde vorhanden sind, müssen wir sparsam damit umgehen und dürfen keine Abhängigkeit entwickeln. Allerdings müssen wir auch mit erneuerbaren Ressourcen vorsichtig umgehen. Denn nachwachsende Rohstoffe, wie etwa Holz, sind zwar „erneuerbar“, doch auch knapp. Die Rohstoffe können nicht so schnell nachwachsen, wie der Mensch es verbraucht.²⁹⁵

Der globale Materialverbrauch pro Kopf ist seit 1970²⁹⁶ um fast 80%²⁹⁷ gestiegen. Mit einem damaligen Durchschnittsverbrauch von 7,2 t pro Kopf, hat sich gegenwärtig der Materialverbrauch mit etwa 11,8 t pro Kopf um ein Vielfaches gesteigert. Vor allem der Anstieg des Verbrauches von Bau- und Industriemineralstoffe ist 1970 und 2017 um 12% gestiegen²⁹⁸. Wobei hier zu erwähnen ist, dass der Konsum von Bewohnern reicher Länder höhere Werte aufzeigt. Der Materialverbrauch pro Kopf in Industrieländern ist etwa 10-mal so hoch als jener in Entwicklungsländern²⁹⁹. Wenn das Verhalten der Menschen sich nicht so bald als möglich ändert ist mit ungewollten Veränderungen in der Umwelt zu rechnen. Bewohner aus Ländern fortgeschrittener Wirtschaftsstruktur, wie etwa Länder Europas und Nordamerikas, müssten ihren Materialkonsum in den nächsten drei Jahrzehnten um 90% reduzieren³⁰⁰. Das Erreichen dieses Zieles würde ein besseres „Funktionieren“ mit unserer Umwelt ermöglichen.

Zur Messung des Umweltverbrauches dient hier vor allem die Material-Input pro Serviceeinheit (MIPS). Dieser Bemessungswert ermöglicht eine Veranschaulichung des Verbrauches an erneuerbaren und nicht erneuerbaren Ressourcen. Bezieht sich MIPS auf einzelne Produkte, Dienstleistungen oder Gebäude, so wirkt es auf Mikro-Ebene einer Wirtschaft.³⁰¹ In Bezug auf eine Makro-Ebene wird MIPS in der internationalen Nachhaltigkeitspolitik einbezogen. Die Anwendung von Indikatoren ermöglicht eine spezifischere Bewertung. Mit der Domestic material consumption (DMC, dt. Inländischer Materialverbrauch) bezieht sich die Bemessung nur auf inländische Materialentnahmen und Importe und schließt die Exporte aus. Der ökonomische Indikator Total material requirements (TMR) ist ein jährlich bestimmtes Maß für alle in einem Wirtschaftssystem verbrauchten Materialien. Hierbei werden auch jene Materialien berücksichtigt, die für Produktionen für den Export bezogen werden. Raw material consumption (RAC) berücksichtigt in der Berechnung von inländischen Ressourcen zusätzlich das Ausmaß an Umweltwirkungen infolge der Vorleistungen, also der Herstellung, im Ausland der verwendeten Materialien.³⁰²

²⁹⁴ Vgl. Schüco International KG, *Cradle to Cradle. Nachhaltig von Anfang an*, Broschüre, online: https://www.schueco.com/resource/blob/2168158/3ce874205df43dee3e5b21e4b44fdd3c/Schueco_C2C_Broschuere_210119.pdf?domain=de-lu (Zugriff 21.04.2022)

²⁹⁵ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.30

²⁹⁶ Vgl. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), *Trends der globalen Ressourcennutzung. UN-Report*, online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/un_report.html (Zugriff: 08.06.2022)

²⁹⁷ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.28

²⁹⁸ Vgl. BMK, *Trends der globalen Ressourcennutzung*, online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/un_report.html (Zugriff: 08.06.2022)

²⁹⁹ Vgl. BMK, *Trends der globalen Ressourcennutzung*, online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/un_report.html (Zugriff: 08.06.2022)

³⁰⁰ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.29

³⁰¹ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.29

³⁰² Vgl. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft; Umwelt und Wasserwirtschaft, *Zukunftsdossier No.3a, Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, S.30

Im Sinne einer Effizienzstrategie wird durch das Konzept Faktor X eine Dematerialisierung angestrebt.³⁰³ Allerdings sind sich Umweltforscher über den Faktor einer Reduktion des Materialverbrauchs noch nicht einig. Ernst Ulrich von Weizsäcker vertritt die Meinung, dass ein Faktor 4 schon erhebliche Ergebnisse zeigen würde. Diese Strategie würde bedeuten, dass bei einer Verdopplung des Wohlstandes der Ressourcenverbrauch halbiert werden muss.³⁰⁴ Dieser Faktor würde in Summe eine 75 %ige.³⁰⁵ bzw. jährlich eine 3 %ige Steigerung der Ressourceneffizienz erfordern. Der Begründer des ökologischen Rucksackes, Friedrich Schmidt-Bleek, ist der Meinung, dass mindestens ein Faktor von 10 in den entwickelten Industrieländern einzuführen ist. Durch eine Reduktion des Konsumverbrauches auf ein Zehntel, wird Entwicklungsländern die Chance zur wirtschaftlichen Entwicklung ermöglicht sowie der Wohlstand in den entwickelten Ländern beibehalten. Die jährliche Ressourceneffizienzsteigerung bei einem Faktor 10 lege bei 5%. In Summe stellt dies eine Steigerung von 90 % dar³⁰⁶. In Japan wurde vor bereits 20 Jahren ein Konzept mit dem Faktor 10 in die Wirtschaftspolitik integriert³⁰⁷.

2012 wird der österreichische Aktionsplan zur Effizienzsteigerung (REAP, Ressourceneffizienz Aktionsplan) als Leitbild einer effizienten Umsetzung bis zum Jahr 2050 eingeführt.³⁰⁸ Laut dem Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (Lebensministerium Österreich) lauten Hauptziele des österreichischen Ressourceneffizienz Aktionsplan wie folgt:

- Sicherstellung einer nachhaltigen Ressourcenversorgung
- Unterstützung der Wirtschaft und Industrie bei Gestaltung von innovativen und ressourceneffizienten Technologien, Produkten und Dienstleistungen
- Förderung des Arbeitsmarktes bei der Schaffung von „green jobs“³⁰⁹

Dieses Konzept kann auch für die ökologische Kennzeichnung von Produkten herangezogen werden³¹⁰. Grundsätzlich geht es um die Ermittlung und systematische Durchführung von Möglichkeiten zur Reduktion natürlicher Ressourcen bei gleichzeitiger Schaffung von mehr Arbeitsplätzen und Erzeugung einer gesunden Umwelt-Mensch Beziehung.

Alle vorgestellten Konzepte dienen als Vorschlag für langfristige Strategien in der Wirtschaft und in Unternehmen zur Umsetzung von innovativen Ideen mit dem Ziel einer Umweltverbesserung. Allerdings gibt es bisweilen noch kein Allheilmittel gegen alle ökologischen Probleme. Umweltforscher versuchen sich mit ihren Theorien einer Allgemeinlösung zu nähern. Die Tatsache, dass die Umweltforschung in den letzten Jahrzehnten mehr Aufmerksamkeit erhalten hat, forciert ein Verlangen zur Besserung und motiviert weltweit die wissenschaftliche Forschung in allen Gebieten im Sinne der Umweltverbesserung.³¹¹

Für eine Übersicht und detaillierte Beschreibung weiterer Strategien für die Nachhaltigkeit sei auf die Literatur des Ministeriums für ein lebenswertes Österreich³¹² verwiesen.

³⁰³ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.29

³⁰⁴ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.29

³⁰⁵ Vgl. Umweltbundesamt, *Faktor X*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/faktor-x> (Zugriff 14.01.2023)

³⁰⁶ Umweltbundesamt, *Faktor X*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/faktor-x> (Zugriff 14.01.2023)

³⁰⁷ Umweltbundesamt, *Faktor X*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/faktor-x> (Zugriff 14.01.2023)

³⁰⁸ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.30

³⁰⁹ Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, *Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP)*, Wegweiser zur Schonung natürlicher Ressourcen, Wien (2012), S.19

³¹⁰ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.30

³¹¹ Vgl. Buchmayr R., *Faktor 4 – Faktor 10 – Faktor 10 Rechenbeispiele mit der Nature* (2000), S.56

³¹² Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015)

4.3 Nachhaltige Bewertungsmethoden

Die Untersuchungen von möglichen Schadstoffen haben sich in den letzten Jahren vehement weiterentwickelt. Es erfolgen Beurteilungen von Baustoffen zur Untersuchung derer Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen sowie der Umwelt. Darüber hinaus werden alle Lebenszyklusphasen genauestens analysiert. Der Einfluss der Bauwirtschaft auf die Umwelt ist vor allem dem hohen Energiebedarf, dem Ausmaß an Treibhausgasemissionen, der großen Abfallmenge, der Konsumgütermenge sowie dem Flächenverbrauch zuzuschreiben. Die folgende Tabelle verschafft einen Überblick auf die möglichen Bewertungskriterien in Abhängigkeit der betrachteten Lebenszyklusphase. Die Beurteilung kann auf Gebäudeebene oder Baustoffebene erfolgen.

| Lebenszyklusphase | Nachhaltigkeitsbereich | Bewertungsaspekte |
|---|------------------------|---|
| ROHSTOFFGEWINNUNG | ökologisch | Regenerierbarkeit und Ressourcenkapazität Reststoffverwertung aus anderen Sparten Abfall aus dem Ressourcenbau Emissionen (Belastung von Grundwasser) Energieaufwand Chemikalienaufwand |
| | sozial | Landschaftsbild |
| TRANSPORT | ökologisch | Energiebedarf Emissionen (Belastung von Atmosphäre) Lager- und Transportkonservierung Transportrisiko |
| HERSTELLUNG → Produktion von Baustoffen bzw. Errichtung von Gebäuden | ökologisch | Energiebedarf Störfallrisiko Abfall aus der Produktion/Errichtung Emissionen (Belastung von Atmosphäre, Boden) |
| | sozial | Lärmemissionen |
| | sozial/ökonomisch | Arbeitsplatzbelastungen |
| NUTZUNG | ökologisch | Störanfälligkeit Verträglichkeit mit anderen Baustoffen originärer und produktionsbedingter Schadstoffgehalt Emissionsverhalten Innenraum (Diffusion von Kunststoffadditiven und Lösemitteln) Emissionsverhalten Außenbereich Brandverhalten |
| | ökologisch/sozial | Leistungsprofil und Eignung (Anforderungen an bauliche Maßnahmen) |
| | sozial | Wohnklima |
| ERHALTUNG & INSTANDHALTUNG | ökologisch | Haltbarkeit und Lebensdauer Reparierbarkeit |
| | sozial/ökonomisch | Arbeitsplatzbelastung durch Reinigung und Wartung erforderliche Schutzmaßnahmen Reinigungserfordernis, Reinigungs- und Pflegeaufwand |
| ENTSORGUNG | ökologisch | Wiederverwertbarkeit Gefahrenpotential von unverbauten Baureststoffen Entsorgungsmöglichkeiten von unverbauten Baureststoffen Emissionsverhalten beim Abbruch Risikopotential von Rückständen |
| | sozial | Arbeitsplatzbelastung bei Entsorgung |

Tab. 4.2.: Kriterien ökologisch nachhaltiger Bewertungssysteme³¹³

Die wesentlichen Aspekte zur Bewertung der Umweltbelastungen aus dem Bereich werden durch die unterschiedlichen Bewertungsmethoden verschieden interpretiert. Zum einen hängt es davon ab, ob eine Bewertung auf Gebäude- oder Baustoffebene erfolgt. Das Ausmaß der Umweltbelastungen

³¹³ Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept. Bewertungsmethodik, Zertifizierung, Anwendungsgebiete, Demonstrationsgebäude*, Institut für Wärmetechnik, S.1.4.9

aller eingesetzten Baumaterialien eines fertigen Gebäudes ist nicht mit den Umweltbelastungen eines Gebäudes als Ganzes gleichzusetzen.³¹⁴ Des Weiteren ist es relevant auf welche Lebensphase im Gebäude- bzw. Baustofflebenszyklus mehr Wert gelegt wird. Die meisten existierenden Methoden haben ihren Fokus im Herstellungsprozess oder in der Nutzungsphase. Um die Umweltverträglichkeit von Bauwerken bzw. von Baustoffen vergleichen zu können, bedarf es an Bewertungsmethoden, die die vor allem die folgenden Punkte berücksichtigen:

- Herstellung:
Kenntnis über die aktuellen Daten der erlaubten Konzentrationen für Emissionen
- Materialwahl:
Anteil der erneuerbaren Ressourcen
- Baustofftransport:
Höhe des Energiebedarfes und Emissionsmenge
- Primärenergiebedarf:
Anteil der Primärenergieträger für Elektrizität und zum Heizen
- Instandhaltung und Instandsetzung:
Energieaufwand in der Wartung und Lebensdauer
- Rückbaubarkeit/Verwertung:
das Angebot im Recyclingprozess ist länderspezifisch
- Substitution von fossilen Energieträgern:
Einsparung von fossilen Energieträgern vor allem bei thermischer Verwertung³¹⁵

Die vorhanden Bewertungsmethoden weisen einen bestimmten Charakter auf. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen einem quantitativen und einem qualitativen Modell. Ersteres kann durch eine abstrakte Kennzahl einen einfachen Vergleich³¹⁶ von ähnlich funktionierenden Baustoffen bzw. von Gebäuden mit ähnlichen Ausgangsbedingungen ermöglichen. Ein qualitatives Modell bewertet die Qualität der einzelnen Parameter, die zum Ziel führen sollen. Außerdem gibt es ebenso Modelle, die die beiden erwähnten Konzepte miteinander kombinieren.

Behandeln die Modelle alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit im Bauwesen, so ist von ganzheitlichen Methoden die Rede.³¹⁷ Eine ganzheitliche Methode kann als Bewertungsstrategie ebenso eine Kombination aus Quantität und Qualität heranziehen. Der ökologische Bauteilkatalog vom Institut für Bautechnik und Ökologie in Österreich wendet eben jenes kombinierte Modell an.³¹⁸ Nachfolgend sollen die untenstehenden Tabellen mögliche heranzuziehende Indikatoren zur Bewertung durch eine quantitative bzw. qualitative Methode näher bringen.³¹⁹ Neben den drei Dimensionen der Nachhaltigkeit fließen grundsätzlich auch bautechnische Werte in die Beurteilung mit ein.

³¹⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.11

³¹⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.11

³¹⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.11

³¹⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.32

³¹⁸ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.12

³¹⁹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.32

- Quantitatives Modell

| Nachhaltigkeitsbereich | Quantitative Beurteilungskriterium | |
|------------------------|--|---|
| BAUTECHNIK | Flächengewicht | kg/m ² |
| | Druckfestigkeit | N/mm ² |
| | Zugfestigkeit | N/mm ² |
| | E-Modul | N/mm ² |
| | Wärmeausdehnungskoeffizient | K ⁻¹ |
| | Wärmedurchgangskoeffizient, U-Wert | W/(m ² K) |
| | Bewertetes Schalldämmmaß (R _w) | dB |
| | Bewertetes Standardtrittschallpegel (L _{nT,w}) | dB |
| | Phasenverschiebung T-Amplitude | h |
| | Wasserdampfdiffusion + Kondensationsschutz | kg/(m ² a) |
| | Speicherwirksame Masse | kg/m ² |
| | Feuerwiderstandsklasse | |
| ÖKOLOGIE | Anteil nachwachsender Rohstoffe in Bauteilmasse | Masse in % |
| | nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI) | MJ |
| | Treibhauseffekt | CO ₂ -Äquiv. in kg |
| | Versäuerung | SO ₂ -Äquiv. in g |
| | Überdüngung | PO ₄ ⁻³ -Äquiv. in kg |
| | Ozonbildung | C ₂ H ₄ -Äquiv. in kg |
| Abfallaufkommen | Menge (kg, l) | |
| ÖKONOMIE | Baukosten | €/m ² und €/m ³ |
| | Nutzungskosten | z.B. €/m ² , €/a |
| | Modernisierungskosten | €/m ² |
| | Verkehrswert und Wertentwicklung | € |
| | externe Kosten | € |
| SOZIALE ASPEKTE | Thermische Behaglichkeit | PPD/PMV-Index ³²⁰ |
| | Schadstoffabgabe | z.B. Abgastemp. in °C |
| | Elektromog | Hz |
| | Raumakustik | dB |

Tab. 4.3.: Beurteilungskriterien für ein quantitatives Modell³²¹

³²⁰ Austrian Standards International, ÖNORM EN ISO 7730 „Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“

³²¹ Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.32

○ Qualitatives Modell

| Nachhaltigkeitsbereich | Qualitatives Beurteilungskriterium |
|------------------------|---|
| BAUTECHNIK | Einsatzbereich Verarbeitungsprozesse Instandhaltung und Wartung (Regelmäßigkeit, Ausführlichkeit) verwendete Technologie (Technologiestand) |
| ÖKOLOGIE | Rohstoffherkunft Herstellungsprozesse Nutzung Erhaltung + Sanierung Rückbau Entsorgung, Wiederverwertbarkeit Passivhaus Qualifikation |
| ÖKONOMIE | Stärkung regionaler Wertschöpfung Nutzung lokaler Baustoffe Nutzung lokaler Energieträger |
| SOZIALE ASPEKTE | Nutzerzufriedenheit Raumluftqualität Lärmbelästigung infolge Nutzung Gebäude-Geruchsbelästigung Denkmalschutz |

Tab. 4.4.: Beurteilungskriterien für ein qualitatives Modell³²²

Behandelt eine Bewertungsmethode nur ein Kriterium so kann sie mit Hilfe des jeweiligen Indikators eine eindimensionale Kennzahl als Ergebnis angeben. Ein Ergebnis kann jedoch auch mehrere Dimensionen aufweisen, wenn zur Bewertung eines Kriteriums mehrere Indikatoren herangezogen werden.

4.4 Nachhaltigkeitsindikatoren

Mit Hilfe von Nachhaltigkeitsindikatoren können Bewertungssysteme eine Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Baustoffes, eines Bauteils oder eines Gebäudes gewährleisten. In den Tabellen 4.3. und 4.4 sind bereits einige Indikatoren aufgelistet. Diese ermöglichen durch klare Kennzahlen eine Vereinfachung der Bewertungen im Zuge einer nachvollziehbaren Gegenüberstellung der bemessenen Werte. Es wird dadurch eine übersichtliche Zusammenfassung ermittelter Werte eines komplexen Systems für eine entsprechende Bewertung ermöglicht.³²³ Die umfassenden Ziele der Nachhaltigkeit in den Bereichen Ökologie, Ökonomie und soziale Aspekte können mit Hilfe von Nachhaltigkeitsindikatoren

³²² Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.32

³²³ Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse. Entwicklung verschiedener Nachhaltigkeitsindikatoren zur umwelttechnischen Analyse und Bewertung von Nahwärmeversorgungsnetzen auf Basis regenerativer Energien im Vergleich zu fossilen Energieträgern*, Dissertation an der Leuphana Universität Lüneberg, Fakultät für Umwelt und Technik (2013), S.46

operationalisiert werden. „Der einzelne Indikator, (...), wird für einen definierten Betrachtungszeitraum in repräsentativer Form abgebildet und ermöglicht Aussagen über dessen Zustand“³²⁴ für ein betrachtetes Kriterium. Mit Hilfe von Bewertungsmethoden wird die Prüfbarkeit für die jeweiligen Lebenszyklusphasen durchgeführt.³²⁵ Neben der Einhaltung der staatlich festgelegten Nachhaltigkeitskriterien, können Bewertungsmethoden ihre zusätzlichen Prinzipien in den einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit setzen.

Zur Bewertung von Umweltwirkungen, also die Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit, gibt es viele Indikatoren. Bei der Bewertung auf Baustoff-, Bauteil- oder Gebäudeebene gibt es nicht unbedingt eine einheitliche Methode. Auch bei einer Ökobilanz, welche eine quantitative und auf die Ökologie konzentrierte Bewertungsmöglichkeit darstellt, gibt es verschiedene Berechnungsmethoden für die einzelnen Indikatoren. Indikatoren decken jeweils nur Teilbereiche der Nachhaltigkeit ab. Im ökologischen Nachhaltigkeitsbereich bewerten Indikatoren Umweltwirkungen wie etwa den Treibhauseffekt oder den Ozonabbau. Ein Indikator ist nicht zwingend für nur eine Kategorie heranzuziehen. Der Indikator für den kumulierten Energieaufwand (KEA) fließt etwa in die Bewertung von Ressourcenverknappung, Klimawandel und Versauerung mit ein.

Indikatoren lassen sich konkret in Input- und Output-Indikatoren unterteilen. Während die Input-orientierten Indikatoren sich grundsätzlich auf die Ressourcenverknappung beziehen, bewerten Output-orientierte Indikatoren bzw. Output-orientierte Methoden die Emissionen aus den zu analysierenden Prozessen. Die wichtigsten Bewertungsmöglichkeiten im Ökologiebereich werden im Folgenden vorgestellt. Der Inhalt dieses Abschnitts soll als Übersicht der gegenwärtig in einer Ökobilanz oft angewendeten Umweltindikatoren bzw. Bewertungsmethoden dienen. Auf die Bilanzierung der ökologischen Nachhaltigkeit wird weiteres in Abschnitt 5 näher eingegangen.

4.4.1 Input-orientierte Bewertung in der Ökologie

4.4.1.1 Energetischer Ressourcenverbrauch

- PEI_e, PEI_{ne} Primärenergieinhalt [MJ]

Die Primärenergie beschreibt eine Energieform, die in der Umwelt natürlich vorkommt. Primärenergieträger sind etwa die Sonne, der Wind oder das Wasser. Primärenergie ist allerdings auch in natürlichen Ressourcen, wie Braunkohle, Erdöl oder Erdgas, in chemisch bzw. physikalisch gespeicherter Form aufzufinden.³²⁶ Durch mehrere Umwandlungsprozesse kann die Primärenergie in eine für den Menschen nutzbare Energie umgewandelt werden. Bei diesen Verfahren kommt es jedoch zu Verlusten. Gemäß dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik über die Energieerhaltung in thermodynamischen Systemen, kann in diesem Sinne Energie nicht verloren gehen. Energie wird nicht verbraucht, sondern umgewandelt oder entwertet. Durch die Umwandlungsprozesse in Kraftwerken geht Energie „verloren“, da ein Teil der Energie in den Prozessen als Abwärme entweicht und daher nicht weiterführend durch den Menschen genutzt werden.³²⁷

³²⁴ Vgl. Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse* (2013), S.47

³²⁵ Vgl. Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse* (2013), S.46

³²⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.18

³²⁷ Vgl. Günther M., *Primärenergie*, Felix Meiner Verlag GmbH Hamburg (2013), S.263-271

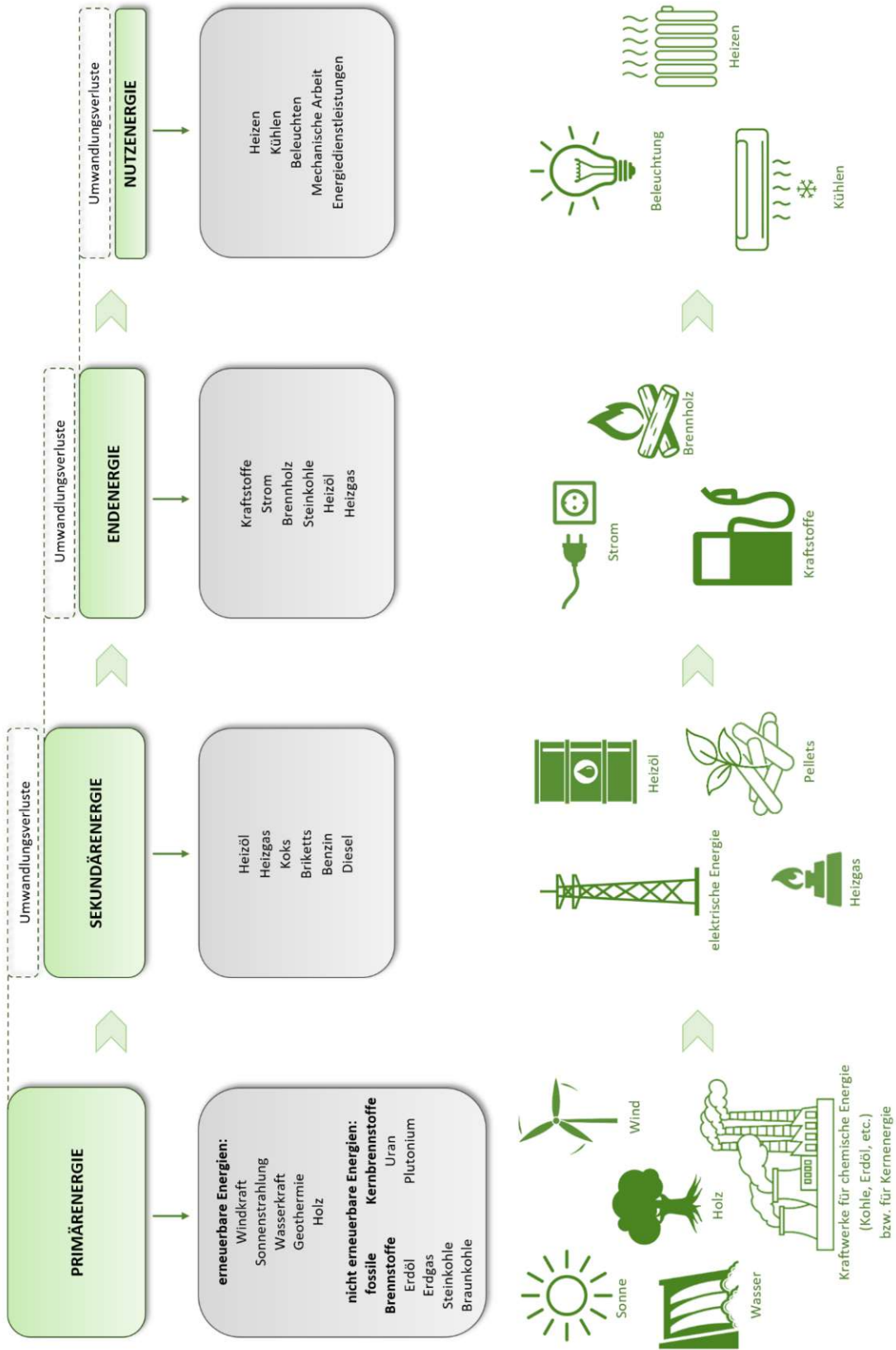


Abb. 4.6.: Energiewirtschaft: von der Primärenergie zur Nutzenergie³²⁸

³²⁸ eigene Darstellung, Text in Anlehnung an: Energiepfad Grabs, Primärenergie, online: <https://www.energiepfad.ch/wiki/primaerenergie/> (Zugriff 08.01.2023)

In der Ökobilanzierung zählt die Menge der verwendeten Primärenergie. In Abhängigkeit zur Art des Primärenergieträgers wird zwischen erneuerbarer Primärenergie (PEI_e) und nicht erneuerbarer Primärenergie (PEI_{ne}) unterschieden³²⁹. Im Bauwesen beschreibt der Primärenergieinhalt (PEI) die Summe der primärenergetisch bewerteten Energie für die Gewinnung und Herstellung eines Baustoffes. Berücksichtigt werden hierbei alle Anwendungen zur Gewinnung und Herstellung der erforderlichen Rohstoffe, Hilfsstoffe sowie Betriebsmittel.³³⁰ In weiterer Folge beschreibt der Primärenergieinhalt den Primärenergieverbrauch bei der Herstellung eines Bauproduktes bzw. bei der Errichtung eines Gebäudes.

Der Primärenergieinhalt wird in die normgerechte Einheit MJ angegeben. Gegenwärtig gibt es zahlreiche Datenbanken, die neben dem Primärenergiebedarf (MJ/kg Baustoff) auch weitere Eigenschaften von Baustoffen tabellarisch zusammenfassen. Diese, meist online bereitgestellten, Datenbanken verschaffen einen guten Überblick über die Auswirkungen eines Baustoffes auf die Umwelt und können somit als Stütze bei ökologisch nachhaltigen Entscheidungen dienen.

○ KEA_e, KEA_{ne} Kumulierter Energieaufwand [MJ]

Der Kumulierte Energieaufwand beschreibt gemäß VDI-Richtlinie 4600³³¹ die Gesamtheit des primärenergetisch bewerteten Aufwands, welcher zur Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines ökonomischen Gutes entsteht.³³² Grundsätzlich setzt sich der Kumulierte Energieaufwand demnach aus den folgenden Teilsummen zusammen.³³³

$$KEA = KEA_H + KEA_N + KEA_E \quad [3]$$

mit KEA_H Kumulierter Energieaufwand aus der Herstellung

mit KEA_N Kumulierter Energieaufwand aus der Nutzung

mit KEA_E Kumulierter Energieaufwand aus der Entsorgung

Der Kumulierte Energieaufwand stellt in der Ökobilanzierung die Grundlage für die Bewertung eines ökonomischen Gutes. Die VDI-Richtlinie 4600 gilt als Berechnungsvorschrift. Nachteilig ist hier allerdings, dass es für die Berechnung des Primärenergieaufwandes kein einheitliches Verfahren gibt³³⁴. Bei der Ermittlung des erneuerbaren Primärenergiebedarfes wird ein Wirkungsgrad (bzw. Nutzungsgrad) berücksichtigt, um die von Kraftwerken gelieferte Endenergie in Primärenergie umzurechnen. Während Primärenergieträger wie etwa Öl und Kohle zu 100% eingesetzt werden können, liegt bei der Nutzung von Windkraft der Wirkungsgrad bei 25-30% und die Nutzung von Wasserkraft wird zu 60-70% berücksichtigt.³³⁵ Das Globale Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) ist eine Bewertungsmethode, die durch die Einführung einer 100%-Regel alle Energieträger gleichbehandelt. Für die Ermittlung des Energieaufwandes werden alle Energieträger auf 100% gesetzt³³⁶. In diesem Sinne werden bei der Primärenergiegewinnung die Energieträger der Primärenergie gleichgesetzt.³³⁷ Die 100%-Regel ermöglicht nicht nur die Gleichbehandlung aller Energieträger, sondern gewährleistet zusätzlich eine bessere Vergleichbarkeit der Energieträger untereinander. Zusätzlich verschafft die GEMIS-Bewertungsmethode die Unterscheidung zwischen Energiebezüge aus erneuerbaren

³²⁹ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³³⁰ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.18

³³¹ Vgl. Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse* (2013), S.25

³³² Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.18

³³³ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.19

³³⁴ Vgl. Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse* (2013), S.25

³³⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.19

³³⁶ Vgl. Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse* (2013), S.25

³³⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.19

Energieträgern (KEA_e) und aus nicht erneuerbaren Energieträgern (KEA_{ne})³³⁸. Außerdem kann der Kumulierte Energieaufwand speziell den primärenergetisch bewerteten Aufwand aus thermisch recycelten Abfällen beschreiben.³³⁹ Auch für den Kumulierten Energieaufwand werden die Daten für einzelne Baustoffe bzw. Bauprodukte in Onlinedatenbanken bereitgestellt.

- Graue Energie [MJ]

Im Vergleich zum Kumulierten Energieaufwand beschreibt die Graue Energie den nicht erneuerbar primärenergetisch bewerteten Aufwand bei der Herstellung und Entsorgung eines Bewertungsgegenstandes. Der Begriff der grauen Energie ist in der Literatur des Schweizerischen Ingenieur und Architektenvereins nicht eindeutig definiert. Es können zusätzlich Transporteinheiten sowie energieaufwändige Lagerungsprozesse berücksichtigt werden. Die Nutzungsphase wird nicht in die Berechnung miteinbezogen.³⁴⁰ Mit dem Kauf eines Bauproduktes wird der indirekte Energiebedarf, also die graue Energie, angegeben. Eine Zusammenfassung der Teilbereiche, dem indirekten Energiebedarf und dem direkten Energiebedarf, aus der Nutzung eines Konsumgutes, ergibt den kumulierten Energieaufwand.

4.4.1.2 Materieller Ressourcenverbrauch

- Materialinput pro Serviceeinheit (MIPS)

Als Gegenstück zum Primärenergieinhalt und zum Kumulierten Energieaufwand beschreibt die MIPS-Methode (Materialinput pro Serviceeinheit) den materiellen Ressourcenverbrauch von Dienstleistungen und Produkten. Der Umweltforscher Friedrich Schmidt-Bleek entwickelt am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie entwickelt die MIPS-Methode mit dem Ziel den ökologischen Rucksack zu verkleinern und somit die Umweltbelastungen zu senken.³⁴¹ Alle für die Rohstoffgewinnung, Transportvorgänge und Bauproduktion benötigten Materialien und deren Masse werden für die Bewertung herangezogen. Zusammengefasst bilden diese Massen den Masseninput von Baustoffen bzw. Bauprodukten und werden in einzelne Rucksäcke unterteilt. Die Materialintensitätsanalyse gliedert die ökologischen Rucksäcke in fünf Kategorien:³⁴²

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| abiotische Rohstoffe | <i>Messung in kg</i> |
| biotische Rohstoffe | <i>Messung in kg</i> |
| Bodenbewegungen | <i>Messung in kg</i> |
| Wasser | <i>Messung in l</i> |
| Luft | <i>Messung in m³</i> |

Für die Berechnung der Materialintensität (MI) werden die Materialinputs gemeinsam mit dem Eigengewicht des betrachteten Gegenstandes und dem Rucksack der „Nutzererbringungsmaschine“ zusammengefasst. Letzteres beschreibt die Masse an Materialien, welche für die Nutzung, Erhaltung und Wartung erforderlich sind. Die MIPS-Methode beschreibt demnach einen lebenszyklusweiten Input der verwendeten Ressourcen, welcher für den Service (S) des Gegenstandes aufgebraucht werden. Die zusammengefassten Materialintensitäten (MI) geteilt durch den Nutzen (S) sind für eine Vielzahl von

³³⁸ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren (2014)*, S.30

³³⁹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.19

³⁴⁰ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren (2014)*, S.30

³⁴¹ Vgl. Schmidt-Bleek F. et al., *Grüne Wahrheiten (2021)*, S.62

³⁴² Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.20

Materialien in der Online-Datenbank vom Wuppertal-Institut dokumentiert.³⁴³ Das Institut definiert die Berechnung des Materialinputs pro Serviceeinheit wie folgt:³⁴⁴

$$\sum (M_i \cdot MIM_i) = MI = MIPS \cdot S \quad [4]$$

$$MIPS = MI/S \quad [5]$$

$$S = n \cdot p \quad [6]$$

| | |
|------------------------|---|
| M_i | <i>eingesetzte Materialien in t</i> |
| MIM_i | <i>Materialintensität der Materialien in t/t</i> |
| S | <i>Dienstleistung</i> |
| n | <i>Anzahl der Dienstleistungen</i> |
| p | <i>Anzahl der Personen, welche die Dienstleistung gleichzeitig nutzen</i> |

In die Berechnung fließen verwendete Energien in Form von Gewichtseinheiten der verwendeten Energieträger mit ein. Des Weiteren werden keine emissionsbedingten Umweltwirkungen berücksichtigt. Dennoch ist die MIPS-Methode ein aussagekräftiger Umweltindikator, um materialbezogene Optimierungen vorzunehmen und den Ressourcenverbrauch zu reduzieren.

- Ökologischer Fußabdruck (ÖFA) – Ecological Footprint (EF)

Die an der University of British-Columbia in Vancouver (Kanada) entwickelte Methode des Ökologischen Fußabdruckes (ÖFA) findet gegenwärtig weltweit Anwendung. Die Professoren Mathis Wackernagel und William E. Rees definieren mit dem Ökologischen Fußabdruck eine Methode, die es ermöglicht eine Übersicht über den Ressourcenbedarf einer Region darzustellen.³⁴⁵ Angewendet werden kann diese Methode auf Produkte aber auch auf Dienstleistungen und einzelne Betriebe. Zur Bewertung wird die Menge an Energie und Gütern erfasst und schließlich in Form von Flächeneinheiten wiedergegeben. Berücksichtigt werden Flächen für den Energiebedarf, bebaute Flächen, Weideflächen, Ackerflächen sowie Waldflächen und Fischereiflächen. Neben den Inputgütern fließen auch die CO₂-Emissionen in die Bewertung mit ein. Daher ist der Ökologische Fußabdruck keine rein input-orientierte Methode. Sonstige Schadstoffemissionen und Abfallbildung werden nicht berücksichtigt. Transporteinheiten und Wasserbedarf werden selten behandelt.³⁴⁶ Als Einheit bezieht man sich auf einen sogenannten Globalen Hektar (gha). Da die Fruchtbarkeit von Boden weltweit unterschiedlich ausgeprägt ist, beschreibt der Globale Hektar die weltweit durchschnittliche biologische Produktivität.³⁴⁷

Im Bauwesen findet diese Methode eher selten Anwendung. Dies liegt vor allem daran, dass die Nachhaltigkeit von Baustoffen, Bauprodukten oder Gebäude in erster Linie durch den Primärenergieinhalt bewertet wird.³⁴⁸

³⁴³ Vgl. Schmidt-Bleek F. et al., *Grüne Wahrheiten* (2021), S.62

³⁴⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.20

³⁴⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.21

³⁴⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.21

³⁴⁷ Vgl. Plattform Footprint, *Global Hektar*, online: <https://plattform-footprint.de/verstehen/global-hektar/> (Zugriff 14.01.2023)

³⁴⁸ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.21

4.4.2 Output-orientierte Bewertung in der Ökologie

4.4.2.1 Globale Umweltbelastung

- Treibhauseffekt (THE) – Global Warming Potential (GWP)

1988 gründet das Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP, engl. United Nations Environment Programme) in Zusammenarbeit mit der Weltorganisation für Meteorologie (WMO, engl. World Meteorological Organization) eine Institution, die vor allem den Entscheidungsträgern in der Regierung den Stand der wissenschaftlichen Forschung zum Klimawandel zusammenfassen soll.³⁴⁹ Das **Intergovernmental Panel on Climate Change** (IPCC, dt. Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen) veröffentlicht in regelmäßigen Abständen Informationen über die Klimawirksamkeit der verschiedenen Treibhausgase. Unter Treibhausgase werden Substanzen verstanden, welche langwellige (also infrarote) Wärmestrahlung absorbieren. Dieser Vorgang impliziert eine spürbare und messbare Erwärmung in der Troposphäre.³⁵⁰ In einem Sachstandsbericht werden nach einem mehrstufigen Begutachtungsverfahren durch Wissenschaftler und Politiker unter anderem das Treibhauspotential (GWP, engl. Greenhouse Warming Potential) der verschiedenen Treibhausgase veröffentlicht. Dieses Charakterisierungsmodell beschreibt für alle chemischen Substanzen der Treibhausgase eine Maßzahl, die den jeweiligen Beitrag zum Treibhauseffekt als CO₂-Äquivalent bekannt gibt.³⁵¹ Obwohl CO₂ in sehr großen Mengen emittiert und daher für den größten Beitrag zum Treibhauseffekt sorgt, hat CO₂ im Vergleich mit anderen Treibhausgasen das geringste Treibhauspotential. Aus diesem Grund wird jene Substanz als Bezugsmaterie herangezogen. Die veröffentlichten Werte vom IPCC beschreiben das Potential einer untersuchten Masse eines Treibhausgases, welches es im Vergleich zur gleichen Masse an CO₂ zum Treibhauseffekt beiträgt. Mit Hilfe des CO₂-Äquivalentes, auch als GWP-Wert angegeben, kann der Treibhauseffekt eines untersuchten Gegenstandes zu einer einzigen Wirkungskennzahl zusammengefasst werden.³⁵²

Das CO₂-Äquivalent entspricht einem sogenannten Charakterisierungsfaktor (näheres hierzu lesen Sie in Abschnitt 5.5.4) für die jeweiligen Substanzen bezogen auf die Umweltwirkungen von einem Kilogramm CO₂ in einem Integrationszeitraum von 100 Jahren. Zur Bestimmung der GWP-Werte wird die Verweilzeit einer Substanz in der Atmosphäre und dessen Strahlungsantrieb bestimmt. Der GWP₁₀₀-Wert (Treibhauspotential bezogen auf 100 Jahre) von einem Kilogramm Methan (CH₄) beträgt gemäß dem fünftem Sachstandsbericht des IPCC einen Wert von 28.³⁵³ Das bedeutet, dass ein Kilogramm Methan dieselbe klimaverändernde Auswirkung auf die Umwelt hat wie 28 Kilogramm CO₂. Der Einfluss der emittierten Gase auf den Treibhauseffekt wird demnach wie folgt ermittelt:³⁵⁴

$$GWP = \sum_i GWP_i \cdot m_i \quad [7]$$

| | |
|------------------------|--|
| GWP | <i>Treibhauspotential</i> |
| GWP_i | <i>Treibhauspotential einer Substanz</i> |
| m_i | <i>Masse einer Substanz</i> |

³⁴⁹ Vgl. Intergovernmental Panel on Climate Change (ipcc), *About*, online: <https://www.ipcc.ch/about/> (Zugriff 14.01.2023)

³⁵⁰ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁵¹ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, treeze GmbH Uster, Schweiz (2020), S.105

³⁵² Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.105

³⁵³ Vgl. Myhre G. et al., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, Cambridge University Press Cambridge (2013), S.731

³⁵⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.22

Anführend soll ein kurzes Rechenbeispiel die Ermittlung der Wirksamkeit einer Wirkungskategorie unter Nutzung eines Wirkungsindikators näher verdeutlichen:³⁵⁵

| | |
|--|--|
| <i>Analysiert wird das folgende Prozesssystem:</i> | Bauen von 1m ² Filterschicht einer Deponie |
| <i>Umweltauswirkungen, die aus diesem Prozesssystem hervorgehen:</i> | 9 kg CO ₂ (Kohlenstoffdioxid) 0,06 kg CH ₄ (Methan) |
| <i>Wirkungsindikator GWP₁₀₀-Wert für CO₂</i> | 1 CO ₂ -Äquivalent |
| <i>Wirkungsindikator GWP₁₀₀-Wert für CH₄</i> | 28 CO ₂ -Äquivalent |

Ermittlung des Beitrages zum Treibhauspotential:

$$9 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kg CO}_2\text{eq} + 0,06 \text{ kg} \cdot 28 \text{ kg CO}_2\text{eq} = 10,68 \text{ kg CO}_2\text{eq} \quad [8]$$

Der GWP-Wert wird vom IPCC auch auf eine Verweildauer von 20 und 500 Jahren³⁵⁶ bezogen. Letzteres ermöglicht vor allem bei der Zusammenstellung eines Charakterisierungsmodell das Einbeziehen von langfristigen Folgen der Treibhausgase.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der GWP_i-Koeffizienten der häufigsten Treibhausgase gemäß dem fünften Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change.

³⁵⁵ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.105

³⁵⁶ Vgl. Myhre G. et al., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing* (2013), S.731

| TREIBHAUSGASE | | GWP ₂₀ kg CO ₂ -Äquivalent | GWP ₁₀₀ kg CO ₂ -Äquivalent |
|--|------------------------------------|---|--|
| Kohlenstoffdioxid | CO ₂ | 1 | 1 |
| Methan | CH ₄ | 84 | 28 |
| Distickstoffoxid (Lachgas) | N ₂ O | 264 | 265 |
| Chlorfluorkohlenwasserstoffe (CFKW) | | | |
| Trichlorfluormethan CFC-11 | CCl ₃ F | 6900 | 4660 |
| Dichlordifluormethan CFC-12 | CCl ₂ F ₂ | 10800 | 10200 |
| Chlortrifluormethan CFC-13 | CClF ₃ | 10900 | 13900 |
| teilhalogenierte Chlorfluorkohlenwasserstoffe (HCFKW) | | | |
| Chlordifluormethan HCFC-22 | CHClF ₂ | 5280 | 1760 |
| 1,1-Dichlor-1-fluorethan HCFC-141b | CH ₃ CCl ₂ F | 2550 | 782 |
| 1-Chlor-1,1-difluorethan HCFC-142b | CH ₃ CClF ₂ | 5020 | 1980 |
| teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) | | | |
| Fluoroform HFC-23 | CHF ₃ | 10800 | 12400 |
| 1,1,1,2-Tetrafluorethan HFC-134a | CH ₂ FCF ₃ | 3710 | 1300 |
| Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) | | | |
| Chlormethan | CH ₃ Cl | 45 | 12 |
| Dichlormethan | CH ₂ Cl ₂ | 33 | 9 |
| Trichlormethan (Chloroform) | CHCl ₃ | 60 | 16 |
| Tetrachlormethan | CCl ₄ | 3480 | 1730 |
| Bromkohlenwasserstoffe | | | |
| Bromchlordifluormethan Halon-1211 | CB ₂ ClF ₂ | 4590 | 1750 |
| Bromtrifluormethan Halon-1301 | CB ₂ F ₃ | 7800 | 6290 |
| Fluorkohlenwasserstoffe (FKW) | | | |
| Stickstofftrifluorid | NF ₃ | 12800 | 16100 |
| Schwefelhexafluorid | SF ₆ | 17500 | 23500 |
| Trifluormethylschwefelpentafluorid | CF ₃ SF ₅ | 13500 | 17400 |
| Tetrafluormethan PFC-14 | CF ₄ | 4880 | 6630 |

Tab. 4.5.: Treibhausgas und ihre dazugehörigen GWPI-Koeffizienten für Zeithorizonte 20 und 100 gemäß dem fünften Sachstandsbericht des IPCC³⁵⁷

Die obige Tabelle listet Treibhausgas sowohl natürlichen Ursprungs, wie etwa Methan und Kohlenstoffdioxid, als auch jene, die künstlich hergestellt werden. Zu den künstlichen Treibhausgasen zählen vor allem die sogenannten F-Gase, also die fluorierten Treibhausgasen. Es handelt sich hierbei um

³⁵⁷ Werte der GWPI-Koeffizienten aus: Myhre G. et al., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing* (2013), Appendix 8, S.731 ff.

kürzere Kohlenwasserstoffe, welche Fluor enthalten. Die F-Gase lassen sich in teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW) sowie die Verbindungen Schwefelhexafluorid (SF₆) und Stickstofftrifluorid (NF₃) unterteilen³⁵⁸. Auch die internationale Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen beschreibt im Kyoto-Protokoll von 1997 eine Stabilisierung nicht nur der Emissionen Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O), sondern definiert auch eine Eingrenzung der Fluorierten Treibhausgase.³⁵⁹ Die wesentlichen Regelungen bzw. Eingrenzungen für die F-Gase finden sich in der EU-Verordnung Nr.517/2014 des Europäischen Parlaments, welche mit 1.Jänner 2015 in Kraft getreten ist.³⁶⁰ Die EU-F-Gase-Verordnung soll die Abstreben zur Erreichung der Klimaziele für 2050 unterstützen. Die Motivation hierfür liegt vor allem an den veröffentlichten Werten des vierten Sachstandsbericht des IPCC, die im Rahmen eines Ausschusses die Klimaänderungen zu Folge der Treibhausgase dokumentiert haben. Industrieländer müssten ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95% gegenüber den Werten von 1990 verringern, um den Klimawandel auf einen Temperaturanstieg von 2°C zu begrenzen.³⁶¹ National gilt in Österreich zusätzlich das Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009, welches zur Durchführung und Vollziehung der oben genannten EU-Verordnung dienen soll. Als zuständige Behörde obliegt der Vollzug dieser Gesetzmäßigkeiten dem Bundesminister für Umweltangelegenheiten.³⁶²

- Stratosphärischer Ozonabbau – Ozone Depletion Potential (ODP)

Das Ozonabbaupotenzial ist ein Indikator für die Ausdünnung der Ozonschicht in der Stratosphäre.³⁶³ Bei Ozon O₃ handelt es sich um ein starkes Oxidationsmittel, welches bei der Freisetzung in der Troposphäre bei Menschen und Tieren zu Reizungen der Atemwege und der Augen führen kann. In der Stratosphäre hingegen spielt Ozon eine schützende Rolle und gewährleistet über eine Ozonschicht einen Schutz für Lebewesen vor Schädigungen durch die ultraviolette Strahlung der Sonne. In einer Höhe von etwa 40 km hat Ozon seine höchste Volumenkonzentration.³⁶⁴ Rund 99% der UV-Strahlung³⁶⁵ der Sonne werden durch diese Ozonschicht gefiltert.

³⁵⁸ Vgl. Wirtschaftskammer Österreich (WKO), *Vermarktung und Verwendung von fluorierten Gasen. Spezielle Regeln für Wärmepumpen, Kühl- und Klimatechnik, den Brandschutz und elektrische Schaltanlagen*, Wirtschaftskammer Österreich Wien (2019), S.4

³⁵⁹ Vgl. Vereinte Nationen, *Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen* (1997)

³⁶⁰ Vgl. Wirtschaftskammer Österreich (WKO), *Vermarktung und Verwendung von fluorierten Gasen* (2019), S.3

³⁶¹ Vgl. Europäische Parlament, Verordnung Nr. 514/2014 vom 16. April 2014 zur Festlegung allgemeiner Bestimmungen für den Asyl-, Migrations- und Integrationsfonds und das Instrument für die finanzielle Unterstützung der polizeilichen Zusammenarbeit, der Kriminalprävention und Kriminalitätsbekämpfung und des Krisenmanagements

³⁶² Vgl. Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009, BGBl. Nr. 103/2009, Fassung vom 14.01.2023

³⁶³ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁶⁴ Öko-Recherche. Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, *Einleitung: Die Ozonschicht*, online: <https://www.oekorecherche.de/de/einleitung-die-ozonschicht> (Zugriff 14.01.2023)

³⁶⁵ Vgl. El Khouli S., et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

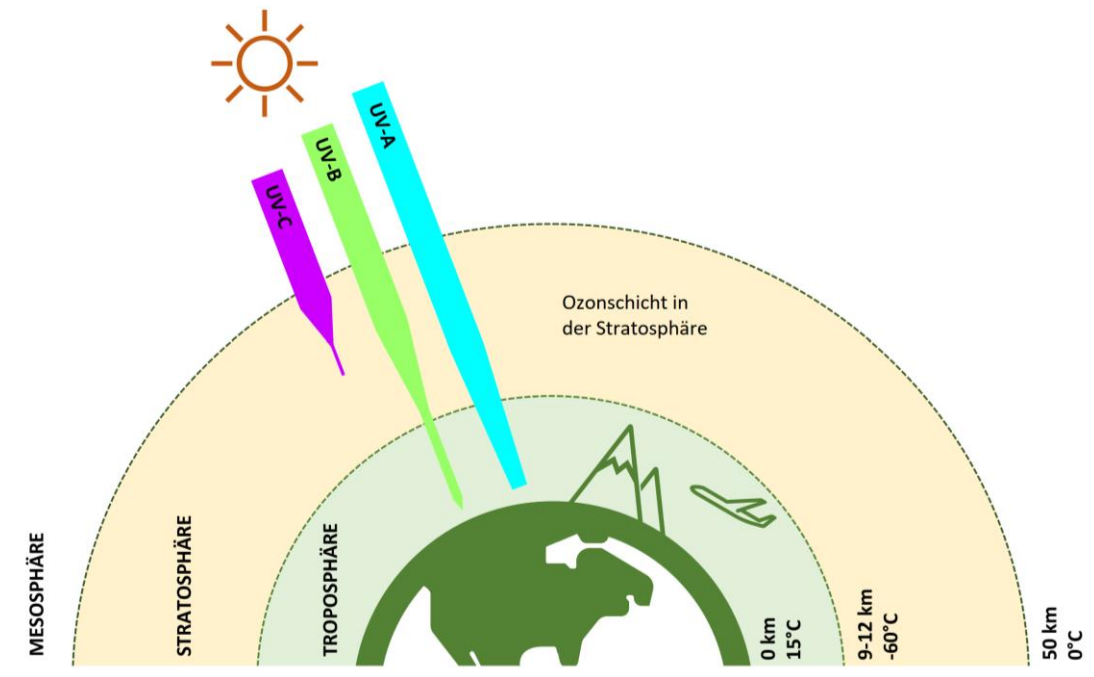


Abb. 4.7.: Absorption der UV-Strahlung durch die Ozonschicht³⁶⁶

Mit einem Abbau von Ozon in der Stratosphäre und daher einer Zerstörung der Ozonschicht kann die Schutzwirkung für die Lebewesen wegfallen. Schädlich für die Ozonschicht sind vor allem chlorierte oder bromhaltige Substanzen. Insbesondere verursachen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) ein sogenanntes Ozonloch in der Stratosphäre.³⁶⁷ Genauer erfolgt eine Ausdünnung der Ozonschicht, indem Chlor und Brom aus ihren molekularen Verbindungen gelöst werden und in weiterer Folge das Ozon katalytisch zerstören.³⁶⁸ Dies hat zur Folge, dass mehr UV-Strahlung in die Troposphäre und somit zu den Lebewesen gelangt.

Ähnlich wie beim Treibhauspotenzial werden zur Bestimmung des Ozonabbaupotenzial zufolge einer Dienstleistung bzw. der Herstellung und Nutzung eines Gegenstandes die Charakterisierungsfaktoren der einzelnen Stoffe ausgedrückt. Als Bezugsgröße dient hier eine Äquivalenzmenge von einem Kilogramm Trichlorfluormethan (CCl_3F ; auch als CFC-11 bekannt). Das Ozonabbaupotenzial wird also in der Einheit CFC-11 Äquivalente angegeben und beschreibt schließlich, wie stark ein Stoff in der Stratosphäre ozonabbauend ist.³⁶⁹

Am Centrum voor Milieukunde (CML) an der Universität Leiden (Niederlande) veröffentlicht der Universitätsprofessor R. Heijungs im Zuge seiner Forschungen und Entwicklung einer eigenen Ökobilanzmethode (CML-Methode) Berechnungsmöglichkeiten zur Bestimmung von Charakterisierungsfaktoren verschiedener Substanzen für unterschiedliche Wirkungskategorien. Unter anderem berücksichtigt die CML-Methode auch den Ozonabbau in der Stratosphäre.³⁷⁰ Der Universitätsprofessor R. Heijungs formuliert die Ermittlung eines einzelnen Charakterisierungsfaktors für das Ozonabbaupotenzial wie folgt:³⁷¹

³⁶⁶ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Von NASA, Gemeinfrei, bezogen unter <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12761806> (08.01.2023)

³⁶⁷ Vgl. El Khouli S., et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁶⁸ Vgl. Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW, *Ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe in Nordrhein-Westfalen. 2000-2002*, Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf (2004)

³⁶⁹ Vgl. El Khouli S., et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁷⁰ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science, Leiden (1992)

³⁷¹ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products* (1992), S.71

$$ODP_i = \frac{\delta[O_3]_i}{\delta[O_3]_{CFC-11}} \quad [9]$$

- ODP_i** *Ozonabbaupotenzial einer Substanz i*
- δ[O₃]_i** *Gesamtverlust an Ozon aufgrund einer Substanz i*
- δ[O₃]_{CFC-11}** *Gesamtverlust an Ozon aufgrund von CFC-11*

Analog zum Treibhauspotential kann das Ozonabbaupotenzial zufolge einer Dienstleistung oder eines Herstellungsprozesse auf Baustoff-, Bauprodukten- oder Gebäudeebene auf eine Wirkungszahl zusammengefasst werden.

$$ODP = \sum_i ODP_i \cdot m_i \quad [10]$$

- ODP** *Ozonabbaupotenzial*
- ODP_i** *Ozonabbaupotenzial einer Substanz*
- m_i** *Masse einer Substanz*

Mit dem Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht im Jahre 1985 verpflichteten sich 197 Staaten zum Schutz der Ozonschicht, aufgrund der Erkenntnis, dass weltweite Emissionen bestimmter Stoffe zu erheblichen Auswirkungen der menschlichen Gesundheit und zur Zerstörung der Umwelt führen können.³⁷² Eine Konkretisierung des Vertrages erfolgt 1987 über das Montreal-Protokoll, in welchem sich die unterzeichneten Staaten zur Durchführung geeigneter Maßnahmen zum Schutz der Ozonschicht verpflichteten. Das Montreal-Protokoll veröffentlicht in fünf Anhängen Charakterisierungsfaktoren für das Ozonabbaupotenzial potenzieller Substanzen. Dies ermöglicht die Ermittlung des Ozonabbaupotenzials einer Produktion oder etwa einer Dienstleistung. Es verschafft außerdem einen besseren Überblick über die stark schädlichen Substanzen und motiviert zur Reduktion und in weiterer Folge zu einer vollständigen Abschaffung von chlor- und bromhaltigen Chemikalien.³⁷³

Die Umweltschutzbehörde (EPA, engl. United States Environmental Protection Agency) aus Amerika unterteilt die Stoffe zusätzlich in zwei Klassen. Unter der Klasse I fallen Substanzen mit einem Ozonabbaupotenzial größer als 0,2. Die Klasse II umfasst alle Substanzen mit einem Ozonabbaupotenzial kleiner 0,2.³⁷⁴ Im Allgemeinen lässt sich zusammenfassen, dass Fluorkohlenwasserstoffe einen ODP-Wert nahe bei 1 haben. Bromierte Verbindungen hingegen weisen ein relativ hohes Ozonabbaupotenzial auf. Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht der relevanten Stoffe im Ozonabbau.³⁷⁵

³⁷² Vgl. Vertragsparteien des Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht, *Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen*, Wien (2020)

³⁷³ Vgl. Vertragsparteien des Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht, *Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen*, Wien (2020)

³⁷⁴ Environmental Protection Agency (EPA), *Ozone-Depleting Substances*, online: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/ozone-depleting-substances> (Zugriff 14.01.2023)

³⁷⁵ Vgl. Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW, *Ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe in Nordrhein-Westfalen* (2004)
Vgl. Vertragsparteien des Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht, *Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozonschicht führen*, Wien (2020)

| SUBSTANZ | | ODP kg CFC-11-Äq. | GWP ₁₀₀ kg CO ₂ -Äqu. |
|--|--|----------------------|--|
| KLASSE I | | | |
| GRUPPE I | | | |
| Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) | | | |
| Trichlorfluormethan CFC-11 | CCl ₃ F | 1 | 4660 |
| Dichlordifluormethan CFC-12 | CCl ₂ F ₂ | 1 | 10200 |
| 1,1,2-Trichlor-1,2,2-trifluoethan R 113 | C ₂ Cl ₃ F ₃ | 0,8 | 5820 |
| 1,2-Dichlor-1,1,2,2-tetrafluoethan R 114 | C ₂ Cl ₂ F ₄ | 1 | 8590 |
| 1-Chlor-1,1,2,2,2-pentafluoethan R115 | C ₂ ClF ₅ | 0,6 | 7670 |
| GRUPPE II | | | |
| Fluorbromkohlenwasserstoffe (FBKW) – Halogene | | | |
| Bromchlordifluormethan R 12B1 (Halon 1211) | CBrClF ₂ | 3 | 1750 |
| Bromtrifluormethan R 13B1 (Halon 1301) | CBrF ₃ | 10 | 6290 |
| 1,2-Dibromtetrafluoethan R 114B2 (Halon 2402) | C ₂ Br ₂ F ₄ | 6 | 1470 |
| GRUPPE III | | | |
| Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) | | | |
| Chlortrifluormethan CFC-13 | CClF ₃ | 1 | 13900 |
| GRUPPE IV | | | |
| Chlorkohlenwasserstoffe (CKW) | | | |
| Tetrachlormethan | CCl ₄ | 0,82 | 1730 |
| GRUPPE V | | | |
| teilhalogenierte Chlorkohlenwasserstoffe (HCKW) | | | |
| 1,1,1-Trichlorethan (Methylchloroform) | C ₂ H ₃ Cl ₃ | 0,16 | 160 |
| GRUPPE VI | | | |
| teilhalogenierte Bromkohlenwasserstoffe (HBKW) | | | |
| Methylbromid | CH ₃ Br | 0,66 | 2 |
| GRUPPE VII | | | |
| teilhalogenierte Fluorbromkohlenwasserstoffe (HFBKW) | | | |
| Bromdifluormethan R 22B1 (Halon 1201) | CHBrF ₂ | 0,74 | |
| Bromfluormethan R 31B1 | CH ₂ BrF | 0,73 | |
| GRUPPE VIII | | | |
| teilhalogenierte Chlorbromkohlenwasserstoffe (HCBKW) | | | |
| Bromchlormethan | CH ₂ BrCl | 0,12 | |
| KLASSE II | | | |
| teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (HFCKW) | | | |
| Dichlorfluormethan R 21 | CHCl ₂ F | 0,04 | 148 |
| Chlordifluormethan R 22 | CHClF ₂ | 0,04 | 1760 |
| 2,2-Dichlor-1,1,1-trifluoethan R 123 | C ₂ HCl ₂ F ₃ | 0,02 | |
| 1-Chlor-1,2,2,2-tetrafluoethan R 124 | C ₂ HClF ₄ | 0,022 | |

Tab. 4.6.: Auswahl chemischer Stoffe aus Klasse I und Klasse II und ihre dazugehörigen ODP_i- bzw. GWP₁₀₀-Werte³⁷⁶

³⁷⁶ Werte der GWP_i- und ODP_i-Koeffizienten aus: Environmental Protection Agency (EPA), Ozone-Depleting Substances, online: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/ozone-depleting-substances> (Zugriff 14.01.2023)

4.4.2.2 Regionale Umweltbelastung

○ Versäuerung – Acidification Potential (AP)

Eine Veränderung des pH-Wertes des Niederschlages kann sich negativ auf die Biosphäre auswirken. Schwefel- und Stickstoffverbindungen in der Luft können die Umwelt verunreinigen und sind mitunter Hauptverursacher von Waldschäden und Fischsterben. Das Phänomen des sogenannten sauren Regens ist, im Vergleich zum Treibhauseffekt, keine globale, sondern eine regionale Umweltbelastung. Hauptursache sind anthropogen freigesetzte Luftschadstoffe in die Atmosphäre.³⁷⁷ Auf natürliche Weise kann saurer Regen auch durch aktive Vulkane entstehen.³⁷⁸ Dennoch können Verbrennungsprozesse von schwefelhaltigen fossilen Brennstoffen, wie etwa Kohle oder Erdöl, Schwefeldioxid SO_2 in ausschlaggebenden Mengen freisetzen.³⁷⁹ Als primäres Produkt der Oxidation im Brennprozess wird also Schwefeldioxid SO_2 freigesetzt. Eine weitere Oxidation von Schwefeldioxid bildet Schwefeltrioxid SO_3 . Dies ist allerdings in geringerer Konzentration aufzufinden.³⁸⁰



In Verknüpfung mit Regenwasser reagieren diese zu schwefliger Säure (H_2SO_3) bzw. zu Schwefelsäure (H_2SO_4) und bilden somit einen „sauren Regen“.³⁸¹



Des Weiteren werden bei einem Brennprozess vor allem unter hohen Temperaturen Stickoxide NO_x freigesetzt. Auch die Stickoxide NO_x lösen sich in Wasser und bilden dabei Salpetrige Säure (HNO_2) bzw. Salpetersäure (HNO_3).³⁸²



Die Freisetzung dieser Abgase in die Atmosphäre verändern den pH-Wert des Niederschlags bis unter 5,5.³⁸³ Schwefel- und Salpetersäure können sich allerdings auch trocken als Gase in festen Bestandteilen absetzen und ebenso zu vehementen Umweltproblemen führen. Weitere Auswirkungen der Versäuerung sind noch in Forschung. Unübersehbare Folgen sind hauptsächlich die Bodenversäuerung sowie die Versäuerung der Meere.³⁸⁴ Oben beschriebene Vorgänge zur Versäuerung werden in folgender Abbildung schematisch erklärt.

³⁷⁷ Vgl. T Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.23

³⁷⁸ Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)

³⁷⁹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁸⁰ Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)

³⁸¹ Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)

³⁸² Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)

³⁸³ Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)

³⁸⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.23

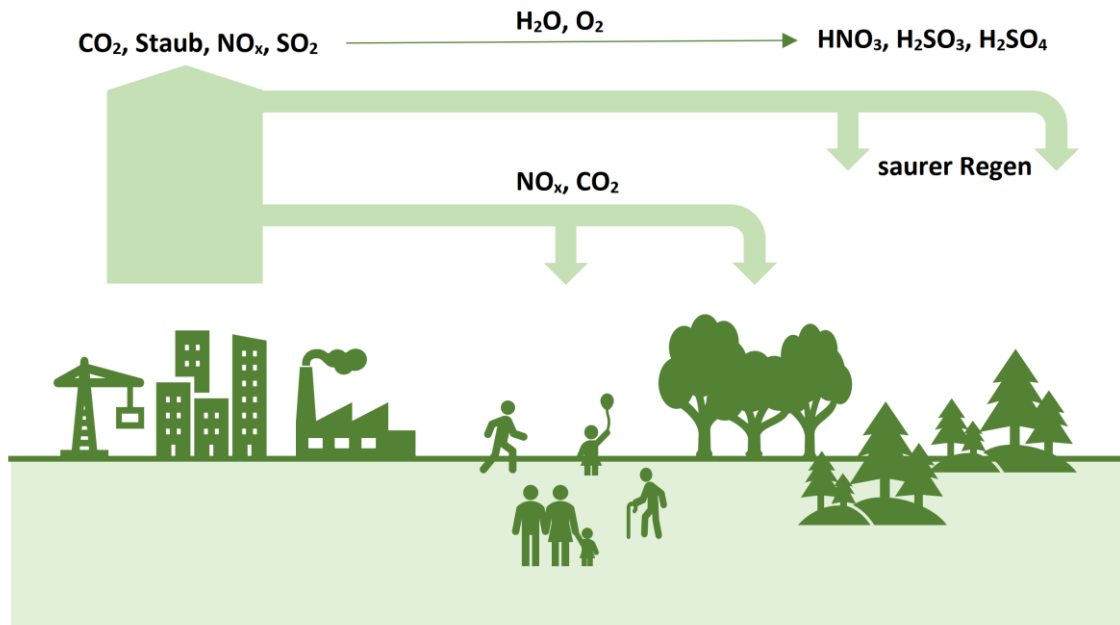


Abb. 4.8.: Entstehung von saurem Regen³⁸⁵

Zur Bewertung des Ausmaßes dieser Umweltbelastung dient die Versäuerung als Indikator.³⁸⁶ Das Säurebildungspotential (AP, engl. Acidification Potential) einer Substanz beschreibt, als Äquivalenzmenge zu einem Kilogramm Schwefeldioxid, die relative Wirkung einer säurewirksamen Substanz an der Versäuerung des Niederschlages. Analog zum Treibhauspotential kann das Säurebildungspotential zufolge Herstellungsprozesse auf Baustoff-, Bauprodukten- oder Gebäudeebene auf eine Wirkungszahl zusammengefasst werden.³⁸⁷

$$AP = \sum_i AP_i \cdot m_i \quad [16]$$

| | |
|-----------------------|--|
| AP | <i>Säurebildungspotential</i> |
| AP_i | <i>Säurebildungspotential einer Substanz</i> |
| m_i | <i>Masse einer Substanz</i> |

Das Centrum voor Milieukunde (CML) an der Universität Leiden veröffentlicht ebenso Charakterisierungsfaktoren für die grundlegenden Stoffe einer Versäuerung. Folgende Tabelle zeigt die Werte der ermittelten Säurebildungspotentiale von ausgewählten Substanzen gemäß den Bemessungen vom Universitätsprofessor R. Heijungs.³⁸⁸

³⁸⁵ Eigene Darstellung in Anlehnung an: klasseWasser.de, Der saure Regen, online: <https://klassewasser.de/content/language1/html/3628.php> (Zugriff 08.01.2023)

³⁸⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.23

³⁸⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.23

³⁸⁸ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.101

| SUBSTANZ | | VERSAUERUNGSPOTENZIAL kg SO ₂ -Äquivalent |
|-----------------------------------|------------------|---|
| Schwefeldioxid | SO ₂ | 1,00 |
| Stickstoffmonoxid | NO | 1,07 |
| Distickstoffmonoxid (Lachgas) | N ₂ O | 0,70 |
| Stickstoffdioxid | NO ₂ | 0,70 |
| Ammoniak | NH ₃ | 1,88 |
| Chlorwasserstoffsäure (Salzsäure) | HCl | 0,88 |
| Fluorwasserstoff | HF | 1,60 |

Tab. 4.7.: Auswahl chemischer Stoffe und ihre dazugehörigen AP_i-Werte³⁸⁹

○ Photochemisches Ozonbildungspotenzial – Photochemical Ozone Creation Potential (POCP)

Im Gegensatz zum Ozonabbaupotenzial beschreibt das Photochemische Ozonbildungspotenzial ein zufolge einer hohen Konzentration an Ozon in der Troposphäre entstehender Sommersmog (auch Photosmog oder Ozonsmog genannt).³⁹⁰ Durch die Freisetzung von Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen und Luftsauerstoff wird zufolge eines photochemischen Prozesses, also unter Einwirkung von UV-Strahlung, bodennahes Ozon gebildet. Der Sommersmog ist ein Gemisch bestehend aus chemisch aggressiven Photooxidantien.³⁹¹ Neben dem für diese Umweltauswirkung ausschlaggebendem Ozon besteht ein photochemischer Smog auch aus Wasserstoffperoxid, Salpetersäure, Peroxyacetylnitrat und weiterer Peroxynitrate. Eine hohe Konzentration erwähnter Substanzen hat eine Gefährdung der Gesundheit des Menschen zur Folge. Symptome wie „*Beeinträchtigung der Lungenfunktion, Verringerung des Atemvolumens, Müdigkeit, Beeinträchtigung der physischen Leistungsfähigkeit, Husten, Engegefühl der Brust, Lungenschmerzen, Kopfscherzen, Nasen- und Augenreizungen (...)*“³⁹² sowie die Tatsache, dass Ozon kanzerogen ist, zeigen das Gefahrenpotenzial dieser Substanz sowie die Dringlichkeit zur Emissionsreduktion ausschlaggebender Stoffe. Im Zuge von Bewertungsmethoden für das Bauwesen kann das Photochemische Ozonbildungspotenzial dementsprechend für baubiologische Zwecke herangezogen werden.³⁹³

Die Entstehung von bodennahem Ozon kann auf unterschiedliche Art erfolgen. Maßgeblich sind allerdings Stickstoffoxide (NO_x) aus anthropogenen Emissionen sowie flüchtige organische Verbindungen (VOC, eng. Volatile organic compounds) aus natürlichen Quellen.³⁹⁴ Weiterführend wird ein Beispiel für einen photochemischen Prozess zur Entstehung von Ozon vorgestellt.

³⁸⁹ Werte für Ai-Koeffizienten aus: Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.101

³⁹⁰ Vgl. El Khouli S., et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.30

³⁹¹ STANDORT, *Bodennahes Ozon und Sommersmog*, Springer Verlag (1997), S.5

³⁹² STANDORT im Gespräch mit Dieter Teufel (Leiter des Umwelt- und Prognose-Instituts Heidelberg e.V. (UPI), *Bodennahes Ozon und Sommersmog* (1997), S.6

³⁹³ STANDORT, *Bodennahes Ozon und Sommersmog*, Springer Verlag (1997), S.6

³⁹⁴ Barnes I. et al., *Organische Verbindungen und der Photosmog* (2014), S.201

Unter dem Einfluss von UV-Strahlung (Wellenlängen unter 420 nm) zerfällt Stickstoffdioxid (NO_2) zu Stickstoffmonoxid (NO) und Sauerstoff (O). Die Verbindung von Sauerstoff mit Luft-Sauerstoff (O_2) bildet schließlich Ozon (O_3). Eine Verbindung von Ozon mit Stickstoffmonoxid bildet Stickstoffdioxid, womit sich der Vorgang wiederholen kann.³⁹⁵



Die Rückreaktion von Ozon mit Stickstoffdioxid führt allerdings nur zu einer geringen Ozonbildung. Eine Reaktion von Stickstoffmonoxid mit Wasser hingegen, verbraucht kein Ozon zur Umwandlung und führt schließlich zu einer vermehrten Ozonbildung und zu einer erhöhten Ozonkonzentration in der Atmosphäre. Es entsteht ein Sommersmog.³⁹⁶



Erst durch eine Photolyse, also die Einwirkung von elektromagnetischer Strahlung (Licht), kommt es zur Spaltung der Moleküle. Das Licht wird in den vorgestellten chemischen Reaktionen als Stoßpartner (M) angegeben. Während in der Stratosphäre Sauerstoff-Atome (O) durch die Photolyse von O_2 entstehen, werden jene in der Troposphäre durch die Photolyse von Ozon (O_3) oder Stickstoffdioxid (NO_2) gebildet.³⁹⁷

Sauerstoff-Atome können auch aus vielen weiteren organischen Verbindungen (VOC) herausgelöst werden. Diese werden in der Regel mit „R“ gekennzeichnet. Die Freisetzung von weiteren Sauerstoffatomen begünstigt zum einen die Ozonbildung und zum anderen kann Stickstoffdioxid gebildet werden, welches wiederum zur Entstehung von Ozon beiträgt.³⁹⁸

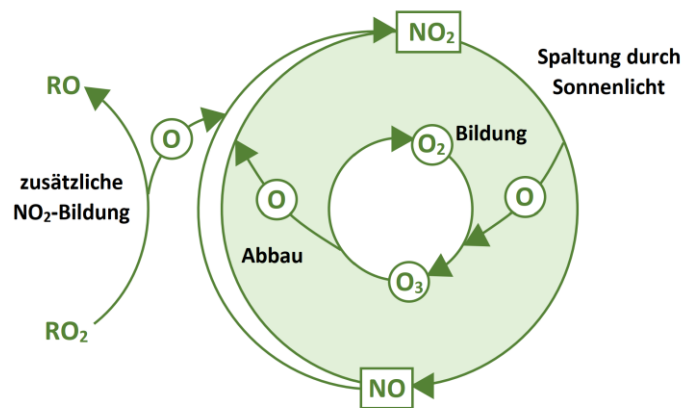


Abb. 4.9.: Entstehung von Ozon (R beschreibt den Rest = verschiedenste organische Verbindungen, aus denen ein Sauerstoffatom herausgelöst werden kann)³⁹⁹

Um die Auswirkung flüchtig organischer Verbindungen zu messen, wird das photochemische Ozonbildungspotenzial (POCP) berechnet. Als Referenzsubstanz wird in der Bemessung Ethylen (C_2H_4) herangezogen. Das POCP beschreibt das Verhältnis zwischen der Veränderung der Ozonkonzentration zufolge der Emissionen einer flüchtig organischen Verbindung und der Veränderung der

³⁹⁵ Vgl. Barnes I. et al., *Organische Verbindungen und der Photosmog* (2014), S.202

³⁹⁶ Vgl. Barnes I. et al., *Organische Verbindungen und der Photosmog* (2014), S.202

³⁹⁷ Vgl. Barnes I. et al., *Organische Verbindungen und der Photosmog* (2014), S.201

³⁹⁸ Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), *Bodennahes Ozon und Sommersmog*, Bayern (2020)

³⁹⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), *Bodennahes Ozon und Sommersmog* (2020)

Ozonkonzentration zufolge der Emissionen einer gleichwertigen Menge an Ethylen (C_2H_4).⁴⁰⁰ Als Formel lässt sich das Ozonbildungspotenzial einer Substanz wie folgt zusammenfassen.⁴⁰¹

$$POCP_i = \frac{a_i/b_i}{a_{C_2H_4}/b_{C_2H_4}} \quad [21]$$

- a_i** *Änderung der Bildung photochemischer Oxidantien auf Grund einer Änderung einer VOC-Emission*
- b_i** *Integrierte VOC-Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt*
- a_{C₂H₄}** *Änderung der Bildung photochemischer Oxidantien auf Grund einer Änderung der Ethylen-Emissionen*
- b_{C₂H₄}** *Integrierte Ethylen-Emissionen bis zu diesem Zeitpunkt*

Die einzelnen flüchtig organischen Verbindungen tragen einen unterschiedlichen Beitrag zur Ozonbildung bei. Mit dem Photochemischen Ozonbildungspotenzial kann die produzierte Ozonquantität ermittelt werden. Die Berechnung von POCP steht, im Vergleich zum Treibhauspotenzial und dem Ozonbildungspotenzial, nicht unbedingt in Abhängigkeit zu den geringfügigen Veränderungen durch die Emissionen.⁴⁰² Erst die chemische Wechselwirkung von flüchtig organischen Verbindungen und Stickoxiden bildet bei Sonneneinstrahlung O_3 .⁴⁰³ In diesem Fall wirken Vorläufersubstanzen, vor allem Stickstoffdioxid (NO_2), mit den weiteren Substanzen. Erhöhen sich die Emissionen einer Substanz hat dies demnach keine Auswirkungen auf die Ozonbildung. Im Gegensatz dazu, kann die Anwesenheit eines einzelnen NO_2 -Moleküls mehrfach zur Ozonbildung beitragen.⁴⁰⁴ Ein 1979 in Genf beschlossenes Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung ermöglicht die Erarbeitung von bisher acht Protokollen. Unter anderem wird 1991 das Genfer-Protokoll über flüchtige organische Verbindungen verabschiedet. Zur regionalen Bekämpfung flüchtiger organischer Verbindungen werden gesammelte Erkenntnisse im Protokoll zusammengefasst.⁴⁰⁵ Eine Tabelle der Charakterisierungsfaktoren einzelner Substanzen kann dem Protokoll entnommen werden.⁴⁰⁶ Der summierte Wert des Ozonbildungspotenzials für einen Bewertungsgegenstand oder eine Dienstleistung kann wie folgt ermittelt werden:⁴⁰⁷

$$POCP = \sum_i POCP_i \cdot m_i \quad [22]$$

- POCP** *Photochemisches Ozonbildungspotenzial*
- AP_i** *Photochemisches Ozonbildungspotenzial einer Substanz*
- m_i** *Masse einer Substanz*

⁴⁰⁰ Vgl. Altenstedt J. et al., *POCP for individual VOC under European conditions*, IVL Swedish Environmental Research Institute Göteborg (1998), S.4

⁴⁰¹ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.73

Vgl. Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung – Protokoll (P4), BGBl. III Nr. 164/1997, online:

<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR12141392/NOR12141392.html> (Zugriff: 08.06.2022)

⁴⁰² Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.73

⁴⁰³ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.204

⁴⁰⁴ Vgl. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), *Bodennahes Ozon und Sommersmog* (2020)

⁴⁰⁵ Vgl. UNECE, *Updated Handbook for the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution and its Protocols*, Geneva (2015)

⁴⁰⁶ Vgl. Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung – Protokoll (P4), BGBl. III Nr. 164/1997, online:

<https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR12141392/NOR12141392.html> (Zugriff: 08.06.2022)

⁴⁰⁷ Vgl. Heijungs R. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, Centre of Environmental Science (1992), S.74

4.4.3 Input-Output-Relation

Die folgenden Tabellen listen die wichtigsten Wirkungsindikatoren und Bewertungsmethoden im Bauwesen zuzüglich ihrer Zuordnung zu einer Wirkungskategorie.

| Input-orientierte Wirkungsindikatoren (Rohstoffe) | | Umweltwirkungen (Wirkungskategorie) |
|---|--------|--|
| PEI, PEI _{NE} Primärenergieinhalt (nicht erneuerbar) | MJ | Verbrauch an Energieressourcen |
| KEA Kumulierter Energieaufwand | MJ | Verbrauch an Energieressourcen |
| Graue Energie | MJ | Verbrauch an Energieressourcen |
| MIPS Materialintensität pro Serviceeinheit | kg | Verbrauch an Rohstoffen |
| ÖFA Ökologischer Fußabdruck | ha | Verbrauch an Bodenfläche |
| SPI Sustainable Process Index | ha | Verbrauch an Bodenfläche |
| Flächenverbrauch | ha | Verbrauch an Bodenfläche |
| Ressourcenverknappung | Faktor | Verknappung an nicht erneuerbaren Primärressourcen |

Tab. 4.8.: Zuordnung Input-orientierter Wirkungsindikatoren zu den Umweltwirkungen⁴⁰⁸

| Output-orientierte Wirkungsindikatoren (Abfälle, Emissionen) | | Umweltwirkungen (Wirkungskategorie) |
|---|--|--|
| GWP ₁₀₀ Treibhauseffekt | kg CO ₂ -Äquiv. | Klimawandel |
| AP Versauerung | kg SO ₂ -Äquiv. | Saurer Regen |
| NP Überdüngung | kg PO ₄ ⁻³ -Äquiv. | Eutrophierung |
| POCP Bildung von Photooxidantien | kg C ₂ H ₄ -Äquiv. | Bodennahes Ozon (Sommersmog) |
| ODP Ozonabbau | kg CFC-11-Äquiv. | Ozonabbau in der Stratosphäre (Ozonloch) |
| HC Humantoxizität | | Menschliche Gesundheit |
| EC Ökotoxizität | | Ökotoxikologische Belastung |
| UBP Umweltbelastungspunkte | | Belastungspotential aller Emissionen |
| Radioaktive Strahlung | Ci bzw. Bq | Strahlenbelastung |
| Feste Abfälle | Menge | Wirkung v. Müllverbrennung + Deponie |

Tab. 4.9.: Zuordnung Output-orientierter Wirkungsindikatoren zu den Umweltwirkungen⁴⁰⁹

⁴⁰⁸ Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.17

⁴⁰⁹ Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.17

5 Verfahren der Ökobilanzierung

Die Beurteilungsmethode der Ökobilanz, auch Lebenszyklusanalyse genannt, ist ein quantitatives Modell, das seinen Schwerpunkt der Bewertung in der Nachhaltigkeitsdimension der Ökologie hat. Mit Hilfe dieses Verfahrens können verschiedene Kriterien in der Bemessung berücksichtigt werden. Die Auswertung der Bewertung kann in Form von eindimensionalen oder auch mehrdimensionalen Ergebnissen erfolgen. Da die Ökobilanzierung, das am häufigsten angewendete Verfahren ist bzw. weil es für viele Bewertungsmethoden und Zertifizierungssysteme von Baustoffen, Bauprodukten und Gebäuden ein unverzichtbares Mittel bleibt, wird es für diese Arbeit herausgehoben und in diesem Abschnitt näher erläutert.

Die Lebenszyklusanalyse stellt gemeinsam mit den Lebenszykluskosten und der sozialen Lebenszyklusanalyse ein Teilgebiet des Lebenszyklusmanagements dar. Für ein besseres Verständnis wird zunächst auch auf diese Begriffe eingegangen. Im Anschluss an die Erläuterung zur Entwicklung einer Ökobilanz folgen zudem zwei kurzgefasste Anwendungsbeispiele für die Bewertung eines Baustoffes und für die Bewertung eines Gebäudes.

5.1 Lebenszyklusmanagement – Life Cycle Management (LCM)

Das Konzept des Lebenszyklusmanagements (LCM, engl. Life Cycle Management) hat ähnlich wie das in Abschnitt 4.2.2 behandelte Konzept des Blue Economy, im Sinne eines Cradle to Grave Prinzips, Systemgrenzen festgelegt. Durch die Anwendung von unterschiedlichen Innovationen können für die Analyse von Produkten individuelle Grenzen gesetzt werden.⁴¹⁰ Im Vergleich zur Kreislaufwirtschaft erfolgt eine spezifische Betrachtung der einzelnen Lebensphasen eines Produktes (bzw. eines Gebäudes). Daraufhin werden Maßnahmen zur Verbesserung des Ausmaßes an Umweltwirkungen gesetzt. Das Lebenszyklusmanagement befasst sich mit dem gesamten Lebensweg. Von der Rohstoffgewinnung und der Herstellung bis hin zur Nutzung und Entsorgung. Die Wiederverwertung wird hier allerdings nicht explizit behandelt.

Als Konzept zur Analyse der Umweltwirkungen, sind die Maßnahmen des Lebenszyklusmanagements nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch und soziokulturell adressiert. Eine Betrachtung auf alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit erweitert den Analysebereich und ermöglicht das Einbeziehen der Wertschöpfung nicht nur aus der Perspektive des Produktes, sondern auch aus der Zusammenarbeit der einzelnen kooperierenden Organisationen.⁴¹¹ Diese Strategie lässt aber insbesondere eine Kommunikation zwischen dem Anbieter und dem Konsumenten zu. Dadurch können optimale Lösungen im Sinne beider Parteien erreicht werden.⁴¹² Es ermöglicht vor allem Unternehmen die Auswirkungen aus ihren Handlungen leichter einzelnen Entscheidungen zuzuordnen.⁴¹³ Die Verknüpfung der Nachhaltigkeit mit allen Lebenszyklusphasen eines Produktes bzw. eines Gebäudes dient zur Erreichung einer umweltschonenden Ausführung, Nutzung bzw. Entsorgung unter Berücksichtigung der humanen Bedürfnisse. Das Konzept des Lebenszyklusmanagements, sowie auch anderer bereits erwähnter Umweltkonzepte, erweist sich grundsätzlich als simpel, denn die Strategien erfordern lediglich einer Überzeugung des menschlichen Verstandes zur dringlichen Verbesserung der Lebensweise. Doch die Umsetzung eines solchen Konzeptes erweist sich, aufgrund konservativer Strategien, in vielen

⁴¹⁰ Vgl. BML (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte* (2015), S.25-26

⁴¹¹ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management*, In: *LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment*, Springer Dordrecht (2015), S.4

⁴¹² Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.5

⁴¹³ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.11

Fällen als sehr aufwändig. Gegenwärtig besteht noch die Möglichkeit zur Verbesserung der Umwelt. Daher muss sich der Mensch von seinen Gewohnheiten trennen.

Als Leitfaden zur Nachhaltigkeit verfassen die dänischen Umweltforscher Arne Remmen und Marie Münster 2003 den Bericht „Business Guide to Sustainability“ an das dänische Umweltministerium. Darauf aufbauend und auf Basis eines fundamentalen Konzeptes zuzüglich einer nachhaltigen Entwicklung wird das Lebenszyklusmanagement 2004 entwickelt.⁴¹⁴ Das Konzept behandelt die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit, welche in der englischen Sprache auch als die drei Ps bezeichnet werden: people (dt. die Menschen), planet (dt. der Planet) und profit (dt. der Profit).

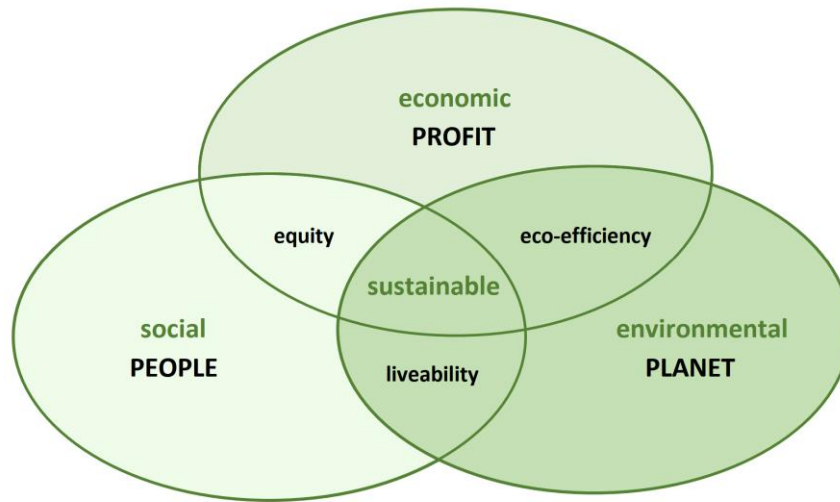


Abb. 5.1.: The three Ps: Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit⁴¹⁵

Zur Behandlung der einzelnen Dimensionen werden für das Lebenszyklusmanagement unterschiedliche Methoden zur Bewertung herangezogen. Das Ziel des Lebenszyklusmanagements ist die Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung eines Unternehmens durch Verringerung der ökologischen und sozioökonomischen Belastungen.⁴¹⁶ Das LCM Konzept besitzt zur präziseren Herangehensweise auf die Dimensionen abgestimmte Methoden. Je nachdem worauf der Fokus gelegt wird, bestehen hierfür variable Bezeichnungen. Für die ökonomischen Ziele des Konzeptes dient die Methode der Lebenszykluskosten (LCC, engl. Life Cycle Cost). Die Analyse der Umweltwirkungen wird über die Lebenszyklusanalyse (LCA, engl. Life Cycle Assessment), auch Umweltbilanz oder Ökobilanz, behandelt. Für die sozialen Aspekte der Nachhaltigkeit gibt es bisweilen keine genau definierten Methoden.⁴¹⁷ Die Soziale Lebenszyklusanalyse (Social LCA, engl. Social Life Cycle Assessment) ist ein Ansatz zur Integrierung gesellschaftlicher Aspekte. Sie lehnt sich stark an die Ökobilanz an, verwendet allerdings zur Bewertung keine Stoff- oder Energieflüsse, sondern vielmehr werden quantitative Bewertungsaspekte herangezogen.⁴¹⁸ Eine Kombinationen dieser Methoden bildet die integrierte Lebenszyklus-Nachhaltigkeitsanalyse (LCSA, engl. Life Cycle Sustainability Assessment).⁴¹⁹

$$LCA + LCC + SLCA = LCSA \quad [22]$$

⁴¹⁴ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.10

⁴¹⁵ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.11

⁴¹⁶ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.321

⁴¹⁷ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.12

⁴¹⁸ Vgl. Life Cycle Initiative, *Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*, online: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/social-lca/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴¹⁹ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.332

Die obige Summierung soll verdeutlichen, dass eine Nachhaltigkeitsstrategie erst unter Berücksichtigung aller Dimensionen der Nachhaltigkeit erfolgen kann. Durch eine Spezialisierung der Nachhaltigkeitsansätze auf die, für das Bauwesen relevanten Aspekte, entsteht eine eigene Strategie. Als Komponente des Lebenszyklusmanagement, managt die Lebenszyklus-Ingenieurwissenschaft (LCE, engl. Life Cycle Engineering) die Kontrolle sowie die Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Profils von Produkten. Untenstehende Abbildung veranschaulicht erneut den Zusammenhang des LCM zu den möglichen Bewertungsmethoden.

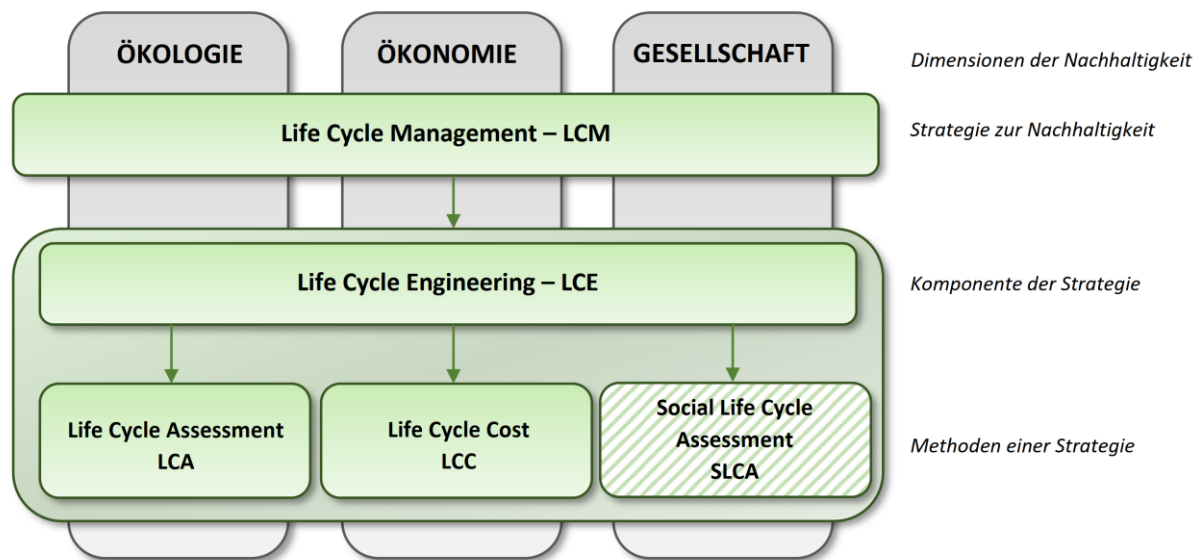


Abb. 5.2.: Strategie Lebenszyklusmanagement

Nachfolgend wird auf die einzelnen Methoden des Lebenszyklusmanagements analysierter eingegangen. Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit erfolgt folgend die Erwähnung der in diesem Abschnitt erwähnten Strategien und Methoden mittels der oben genannten Abkürzungen.

5.2 Lebenszyklusingenieurwissenschaften – Life Cycle Engineering (LCE)

LCE dient als spezialisierte Komponente des LCM. Hierbei handelt es sich in erster Linie um die Produktwahrnehmung.⁴²⁰ Der Artikel „Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing“ (Herrmann C. et al., 2014) beschreibt die Begriffe LCE und LCA wie folgt:

*“Life cycle engineering is the art of designing the product life cycle through choices about product concept, structure, materials and processes, and life cycle assessment (LCA) is the tool that visualizes the environmental and resource consequences of these choices.”*⁴²¹

Sonnemann G. und Margni M. formulieren in „Life Cycle Engineering“ (2015) folgende Definition:

*“The fundamental aim of life cycle engineering is the management and controlling of measures for the improvement of the environmental profiles of products.”*⁴²²

Aus diesen Aussagen lässt zusammenfassen, dass LCE den gesamten Lebenszyklus eines Produktes, von der Planung, Konstruktion und Produktion bis hin zum Gebrauch und der Entsorgung behandelt. Bereits in der Planungsphase müssen nachhaltig verantwortungsbewusste Entscheidungen für den

⁴²⁰ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.322

⁴²¹ Herrmann C. et al., *Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing* (2014)

⁴²² Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.323

weiteren Lebenslauf eines Produktes berücksichtigt werden. Hierbei ist es wesentlich jede Lebenszyklusphase des Produktes als Ganzes zu betrachten, um eine detaillierte Bewertung zu ermöglichen. LCE ist im Sinne des LCM das Management und die Kontrolle zur Verbesserung des ökologischen Wertes eines Produktes.

Für eine erfolgreiche Integration der LCE Strategie in einem Unternehmen sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

| | |
|----------------------|--|
| ORGANISATION | Für die Sicherstellung einer beständigen Ausführung des LCE Konzeptes ist ein engagierter Einsatz der Betriebsführung entscheidend. Eine konsequente Anwendung führt zu langfristigen Ergebnissen. ⁴²³ |
| ANALYSE | Die LCA Methode ermöglicht eine detaillierte Einsicht in die ökologischen Werte eines Produktes. Außerdem kann eine genaue Analyse auch ein mögliches Verbesserungspotenzial eines Produktprofils aufweisen. Dieses umfassende Tool versichert verlässliche Messungen und Ergebnisse. ⁴²⁴ |
| OPTIMIERUNG | Für eine Realisierung der gewünschten Verbesserungen ist es erforderlich die Ergebnisse der LCA Methode in technische Ziele zu formulieren. Hiermit sollen Maßnahmen zur Veränderung von technischen Daten der Produkte ermöglicht werden. ⁴²⁵ |
| KOMMUNIKATION | Ökologisch nachhaltige Fortschritte in der Produktion sind unbedingt den Konsumenten sowie den Stakeholdern mitzuteilen. Um stets eine Kommunikation zwischen Hersteller und Nutzer zu ermöglichen, müssen jegliche Aktivitäten bezüglich einer ökologisch freundlichen Technik veröffentlicht werden. Dies erlaubt vor allem auch Anstrengungen zu unternehmen, um die Bedürfnisse der Nutzer zu erfüllen. ⁴²⁶ |

Zur Integrierung des LCE in eine Unternehmensstrategie ist eine frühe Umsetzung ausschlaggebend. Je früher die Strategie aufgenommen wird, umso eher können Entscheidungen hinsichtlich nachhaltiger Gesichtspunkte unterstützt und beeinflusst werden. Viele Veränderungen zufolge des LCE können vor allem einen finanziell positiven Einfluss hervorrufen.

Für die LCM Strategie gibt es eine Vielzahl an Methoden, die verwendet werden können. Unter anderem sind das die Lebenszykluskosten (LCC) und die Ökobilanz (LCA). Weitere analytischen Methoden sind z.B.: soziale Lebenszyklusanalyse (S-LCA), organisatorische Lebenszyklusanalyse (O-LCA),

⁴²³ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.323

⁴²⁴ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.323

⁴²⁵ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.323

⁴²⁶ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.323

Fußabdruckmethoden (Wasserfußabdruck, CO₂-Fußabdruck), Stoffstromanalyse (MFA, engl. material flow analysis), Kostennutzenanalyse (CBA, engl. cost benefit analysis), Input-Output-Analyse (IOA), etc.⁴²⁷

5.3 Lebenszykluskosten – Life Cycle Cost (LCC)

Angelehnt an die Analyse der Umweltbilanz, wird in der LCE eine auf die Kosten basierte Methode angewendet. Die LCC Methode ermöglicht eine Analyse der Lebenszykluskosten eines Produkts, einem Service oder einer Dienstleistung.⁴²⁸ Für das Erwerben eines solchen Instrumentes spielt der finanzielle Faktor stets eine einflussreiche Rolle. Dieser bestimmt die Möglichkeiten, die einem für anstrebende Veränderungen zustehen. Für eine ausgiebige Analyse ist es erforderlich alle anfallenden Kosten aus dem gesamten Lebenslauf eines Produktes bzw. Prozesses zu summieren.⁴²⁹ Darunter fallen die Ausgaben aus den folgenden Lebensphasen:

- Rohstoffgewinnung: Materialkosten, Investitionskosten, Transportkosten
- Herstellung: Energiekosten, Qualitätskosten, Umweltkosten
- Anwendung: Installationskosten, Servicekosten (Instandhaltungskosten, Wartungskosten)
- Recycling: Entsorgungskosten, Recyclingkosten⁴³⁰

Im LCC können auch die Kosten für externe Umweltauswirkungen berücksichtigt werden. Diese Herangehensweise ermöglicht eine faire und transparente Analyse. Die überschaubare Darlegung der anfallenden Kosten für ein Produkt oder einen Prozess können zu ausschlaggebenden Ersparnissen führen. Trotz einer finanziellen Einsparung können „grünere“ Produkte/Prozesse erzielt werden. Diese Tatsache führt schließlich zu einer Win-Win-Situation⁴³¹, in welcher sowohl die Unternehmen also auch die Umwelt davon profitieren können. Die LCC Methode bietet eine Möglichkeit zur Verbindung der finanziellen Geschäfte mit den Angelegenheiten der Umwelt.⁴³²

Die Zahlungsströme insbesondere für die Errichtung, Nutzung und dem Abbruch eines Gebäudes können wie folgt unterteilt werden:⁴³³

⁴²⁷ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.14

⁴²⁸ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.5

⁴²⁹ Vgl. Europäische Kommission, *Life Cycle Costing*, online: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁰ Europäische Kommission, *Life Cycle Costing*, online: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³¹ Europäische Kommission, *Life Cycle Costing*, online: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³² Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.229

⁴³³ Vgl. TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)



Abb. 5.3.: Gliederung der Lebenszykluskosten⁴³⁴

VORKOSTEN
initial costs

Für Unternehmen spielen die Vorkosten eine relevante Rolle in der Einsparung von Ausgaben. In die Analyse fließen die Kosten folgender Prozesse bzw. Elemente mit ein: Konzept- und Entwurfsplanung, Ausführungsplanung, Versicherungen, Grundstück, Material, Konstruktion⁴³⁵

SERVICEKOSTEN
service costs

Eine Überprüfung der Langzeitwirkungen aus den erforderlichen Serviceprozessen kann zukunftsorientiert positive Auswirkungen auf das Unternehmen haben.⁴³⁶

**VORBEUGENDE
INSTANDHALTUNGSKOSTEN**
preventative maintenance costs

Wartungs- und Instandhaltungsdienstleistungen sind wichtige Faktoren zur längeren Erhaltung eines Gebäudes. Es müssen vorbeugende Maßnahmen auf Langzeitwirkung getroffen werden.⁴³⁷

BETRIEBSKOSTEN
operating costs

Unter die Betriebskosten fallen alle üblichen Kosten zur Inbetriebnahme eines Gebäudes.⁴³⁸

ENTSORGUNGSKOSTEN
disposal costs

Im Sinne einer Kreislaufwirtschaft kann der Gedanke einer vorausschauenden Planung für einen Entsorgungsprozess die Ausgaben in der letzten Phase eines Gebäudes mindern.⁴³⁹

⁴³⁴ Eigene Darstellung in Anlehnung an: TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁵ TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁶ TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁷ TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁸ TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

⁴³⁹ TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)

5.4 Soziale Lebenszyklusanalyse – Social Life Cycle Assessment (S-LCA)

Ähnlich wie die LCC entstammt auch die Soziale Lebenszyklusanalyse der Umweltbilanz. Sie verschafft einen Überblick über die möglichen Auswirkungen auf die Gesellschaft. Sowohl positive als auch negative Auswirkungen werden in der Analyse berücksichtigt.⁴⁴⁰ Die Auswirkungen aus dem Lebenszyklus eines Produktes bzw. aus der Erbringung einer Dienstleistung werden nun auf den Menschen bewertet. Die UNEP/SETAC Life Cycle Initiative definiert S-LCA als Methode, mit welcher die sozialen und soziologischen Aspekte eines Produktes bzw. Prozesses analysiert werden kann.⁴⁴¹ In die Analyse fließen sowohl die Abstammung und die Aufbereitung der verwendeten Rohstoffe als auch die Produktion, Nutzung, Verwertung und Recycling mit ein. Die flächenbezogene Analyse kann quantitativ, semi-quantitativ oder qualitativ erfolgen.⁴⁴²

Im Vergleich zu den anderen Methoden besitzt die S-LCA keine standardisierte Vorgehensweise. Vor allem hebt eine regionale Datenerhebung Unterschiede in den weltweit allgemeinen Anforderungen hervor. Die Identifizierung von aussagekräftigen Indikatoren zur Messung des menschlichen Wohlbefindens erweist sich als sehr komplex. Da die Bewertung gesellschaftlicher Aspekte immerzu eine subjektive Meinung bleiben wird, gibt es für die S-LCA bisweilen nur Ansätze bzw. keine vereinheitlichte Methode. Für die jüngste aller Lebenszyklusmethoden stellt UNEP/SETAC einen Leitfaden zur Unterstützung bei der Umsetzung. Dennoch herrscht unter den Forschern aus der Wissenschaftsgemeinde kein offizieller Konsens über die Wahl anzuwendender Indikatoren.⁴⁴³

Die S-LCA behandelt die folgenden Produkt-spezifischen Thematiken:

- Unternehmensführung
- Arbeitsbedingungen
- Gesundheit und Sicherheit
- Denkmalpflege
- fairer Arbeitslohn
- Menschenrechte
- Kinderarbeit
- Zwangsarbeit
- Koalitionsfreiheit
- Gesellschaft
- Infrastruktur⁴⁴⁴

5.5 Lebenszyklusanalyse – Life Cycle Assessment (LCA)

In der Erstellung eines nachhaltigen Konzeptes sei es für eine Unternehmensstrategie oder als Entwicklungsplan einer Regierung, müssen idealerweise sowohl die ökologischen, die ökonomischen als auch die sozial gesellschaftlichen Aspekte berücksichtigt werden. Die nun vorgestellte Methode zur Bemessung von Auswirkungen aus einem Prozess oder einer Dienstleistung wirkt als systematische Analyse und dient als Vorbild weiterer Lebenszyklusbewertungen. Die standardisierte Methode der Ökobilanz, auch Umweltbilanz oder Lebenszyklusanalyse genannt, findet bereits in vielen Konzepten Anwendung.

Die in Abschnitt 4.2.3 bereits behandelte Kreislaufwirtschaft bedient sich ebenso der Methode der Ökobilanz. Dieses Konzept dient zwar in erster Linie einer materiell nachhaltigen Strategie, ist jedoch

⁴⁴⁰ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.130

⁴⁴¹ Vgl. Sonnemann G. et al., *Life Cycle Management* (2015), S.336

⁴⁴² Vgl. Hermann C. et al., *Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing* (2014)

⁴⁴³ Vgl. Sonnemann Guido, Margni Manuele, *Life Cycle Management*, S.336

⁴⁴⁴ Sonnemann Guido, Margni Manuele, *Life Cycle Management*, S.162

vom ökologischen Zweig des Bauprozesses nicht auszuschließen. Es kann über das Konzept des Cradle to Cradle auch Dienstleistungen, Produkte und Gebäude im Sinne einer dreidimensionalen Nachhaltigkeit zertifizieren.⁴⁴⁵ Die materielle Kreislaufwirtschaft garantiert eine Recyclebarkeit durch vorausdenkendes Planen. Die Wiederverwendung und Verwertung stellen eine Vermeidung bzw. eine Verringerung von Abfall dar. Der Einbezug der ökonomischen Nachhaltigkeit verspricht eine florierende und wachsende Wirtschaft durch die Senkung kumulierter Kosten. Schließlich wird die ökologische Nachhaltigkeit durch die Ökobilanz berücksichtigt. Dies ermöglicht die Wiederherstellung von natürlichen Systemen aber vor allem eine Operationalisierung der Umweltwirkungen verwendeter Produkte bzw. Baustoffe. Das Konzept der Kreislaufwirtschaft bietet enorme Möglichkeiten für einen nachhaltigen Umgang mit der Umwelt in vielen Sektoren an. Gegenwärtig ist das Prinzip der Kreislaufwirtschaft noch nicht weitführend in Anwendung. Manche Bewertungsmethoden streben zwar eine geringere Abfallproduktion an, doch nähern sich jene Methoden eher einer Linearwirtschaft, also einer Wegwerfwirtschaft, an. Der Fokus jener Methoden liegt viel mehr im Herstellungs- und Nutzungsprozess. Dies ermöglicht insbesondere ein vorausschauendes Planen in der Entwurfsphase von Gebäuden. Auch die Ökobilanz behandelt viel mehr eine Analyse die früh Systemgrenzen setzt. Daher unterstützt diese Methode das Konzept der Kreislaufwirtschaft nur bedingt.

Nichtsdestotrotz ist die Methode der Umweltbilanz in vielen Konzepten als Bewertung der Ökologie nicht mehr wegzudenken. Auch im Konzept des Lebenszyklusmanagement gewinnt es die größte Aufmerksamkeit. Mit Hilfe von Ökobilanzen können umweltorientierte Entscheidungen getroffen werden. Vor allem im Bauwesen ist Ökobilanz eine Methode zur Abschätzung der Umweltwirkungen, welche durch den Herstellungsprozess von Produkten oder der Durchführung von Dienstleistungen, sowie einem Gebäudebauprozess hervorgerufen werden. Bei einzelnen Baustoffen kann die Ökobilanz die Input- und Output-Flüsse aus allen Lebenszyklusphasen beurteilen. Schließlich dient diese Methode einerseits einer Schwachstellenanalyse zur späteren Aufwertung der einzelnen Prozesse im Sinne der Umwelt. Andererseits ermöglicht sie einen Vergleich verschiedener Baustoffe, Produkte und Gebäude.⁴⁴⁶

Die ÖN EN ISO 14040 definiert fünf Arbeitsschritte für eine Ökobilanz, welche in den darauffolgend aufgelisteten Normen näher erläutert werden.⁴⁴⁷

⁴⁴⁵ Vgl. Sonnemann Guido, Margni Manuele, *Life Cycle Management*, S.118

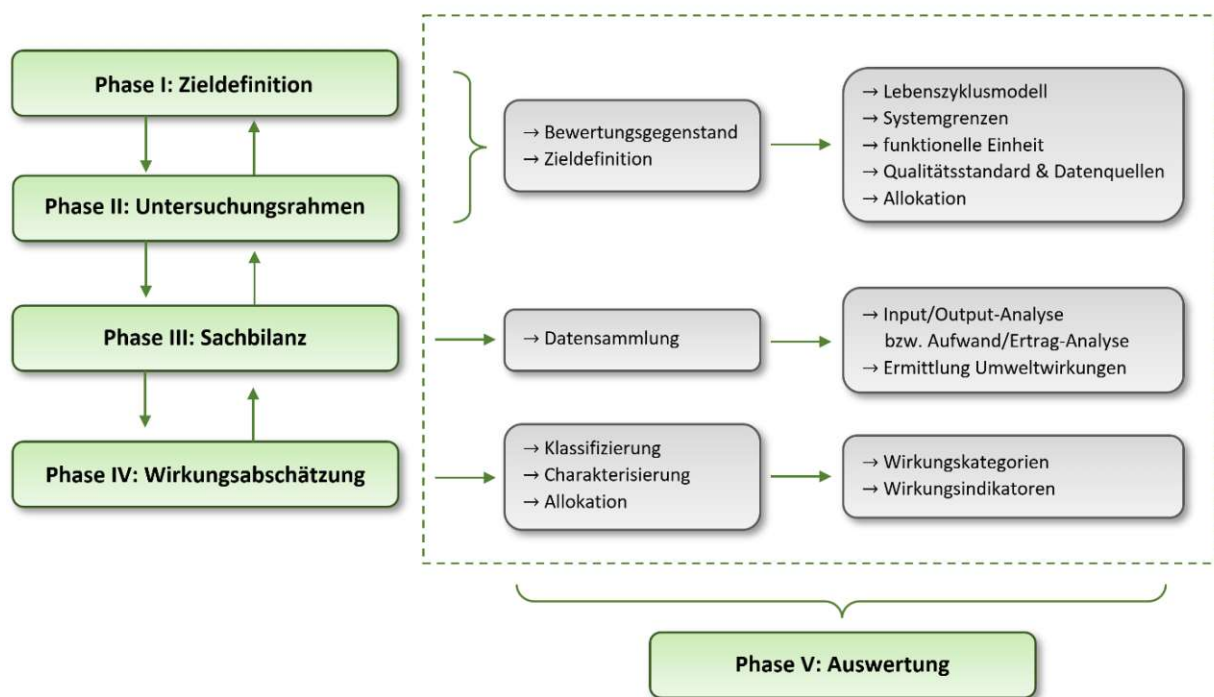
⁴⁴⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.12

⁴⁴⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.12

| NORM | | PHASE |
|--------------------|--|---|
| ÖNORM EN ISO 14040 | Produkt-Ökobilanz (Prinzipien und allgemeine Anforderungen) | 1. Zieldefinition 2. Systemgrenzen, Untersuchungsrahmen |
| ÖNORM EN ISO 14041 | Sachbilanz | 3. Sachbilanz, Input-/Output-Analyse |
| ÖNORM EN ISO 14042 | Wirkungsabschätzung | 4. Wirkungsabschätzung |
| ÖNORM EN ISO 14043 | Auswertung | 5. Auswertung & Interpretation |
| DIN EN 33926 | Standardberichtsbogen für Ökobilanz | |
| DIN EN 15978 | Ökobilanzierung von Gebäude | |

Tab. 5.1.: Normen und Phasen der Ökobilanz

Der heutige Standard für ein ISO-konformes Vorgehen bei einer Ökobilanzierung basiert auf die Normen DIN EN ISO 14040:2009-11 (Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen) sowie die 2006 herausgegebene DIN EN ISO 14044:2006.10 (Umweltmanagement – Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen). Letztere fasst die Normen ISO 14041 bis 14043 übersichtlich zusammen.

Abb. 5.4.: Aufbau einer Ökobilanz⁴⁴⁸

⁴⁴⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an: El Khoulis S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.25

5.5.1 Phase 1: Festlegung der Ziele

In Abhängigkeit davon welche Person die Ziele für eine Ökobilanz definieren möchte, können sich die Bedürfnisse etwa zwischen Bauherrn, Planer, Politiker und Wissenschaftler variieren. Grundsätzlich kann die Ökobilanz als Marketinginstrument verwendet werden, um ein Baustoff, ein Bauteil oder ein Gebäude unter einem grünen Image besser vermarkten zu können. Andererseits dient es als ein Optimierungsinstrument zur stetigen Verbesserung im Sinne der Umwelt. Außerdem kann die Ökobilanz auch als rechtliches Instrument eingesetzt werden, um gesetzliche Anforderungen zu setzen und die Formulierung von Richtlinien zu ermöglichen.⁴⁴⁹

○ Fragestellung und Zieldefinition

In der ersten Phase der Ökobilanz muss die Fragestellung und das Ziel festgelegt werden. Erst danach kann die Bestimmung der Systemgrenzen erfolgen. Diese Phase erfordert weit vorausschauende Überlegungen.⁴⁵⁰ Für die Festlegung der Ziele wird sowohl auf Baustoffebene als auch auf Gebäudeebene gezielt auf die folgenden Fragestellungen näher eingegangen:

- Wie kann die Baustoffwahl optimiert werden, um die Nutzungsdauer des Baustoffes bzw. des Gebäudes zu erhöhen?
- Wie kann die Nachnutzung bzw. die Rezyklierbarkeit von Baustoffen bzw. Bauteilen geplant werden?
- Für welche Anwendung im Gebäude ist ein bestimmter Baustoff besonders gut geeignet?
- Auf welche umweltschädlichen Baustoffe oder Bauteile kann verzichtet werden?
- In welcher Phase des Gebäudelebenszyklus bzw. Materiallebenszyklus besteht das größte Optimierungspotenzial?
- Welche Phase des Gebäudelebenszyklus bzw. Materiallebenszyklus verursacht die größten Umweltwirkungen?⁴⁵¹

Die Beantwortung der oben genannten Fragestellungen kann in Abhängigkeit von den folgenden Faktoren beeinflusst werden:

- Ansichten, Interessen, Motive und Ziele der am Bau Beteiligten (PlanerInnen, Bauherr, NutzerInnen, etc.)
- zeitliche Rahmenbedingungen
- räumliche Rahmenbedingungen
- Art des Bewertungsgegenstandes: Baustoff, Bauteil, Gebäude, Dienstleistung, etc.
- gegenwärtiger Wissensstand
- verfügbare Bewertungsmethoden⁴⁵²

Die Definition der Ziele dient als Grundlage zur Festlegung des Untersuchungsrahmens in Phase zwei. Diese Anfangsphase bestimmt die Art der Bewertungsstudie und dient zum Vergleich eines Bewertungsgegenstandes mit seinesgleichen. Die Ergebnisse unterschiedlicher Bewertungsstudien für ein Bewertungsgegenstand können aufgrund der verschiedenen Zieldefinitionen und verschiedenen Systemgrenzen nicht verglichen werden.⁴⁵³ Es sind daher immer die gleichen Systemgrenzen, die identischen funktionellen Einheiten sowie die dieselben Datengrundlagen für einen Vergleich zwischen Baustoffen, Bauteilen bzw. Gebäuden erforderlich.⁴⁵⁴

⁴⁴⁹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.13

⁴⁵⁰ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.24

⁴⁵¹ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.24

⁴⁵² Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.13

⁴⁵³ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.13

⁴⁵⁴ Vgl. El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.25

○ Lebenszyklusmodell

Die Ergebnisse einer Ökobilanz lassen sich vor allem in der Art der Analyse unterscheiden. In Abhängigkeit zur Zieldefinition kann entweder der gesamte Lebensweg oder etwa nur die Baustoffproduktion analysiert werden.

Cradle to Gate
*von der Wiege bis
zum Werkstor*

Mit dieser Analyse wird lediglich eine Produktions-Ökobilanz geführt. Es werden die folgenden Bereiche berücksichtigt: Rohstoffgewinnung, Produktion und damit verbundene Transporte.⁴⁵⁵ Diese Form der Analyse dient vor allem für Baustoffe und Bauteile. Die Ergebnisse aus einer Produktökobilanz werden in Datenbanken gesammelt und dienen als Entscheidungshilfe, da sie das Einbeziehen jener Produkte in die weiterführende Ökobilanzierung von Gebäuden erleichtern. Die Umweltwirkungen aus den Lebensphasen Nutzung, Erhaltung und Entsorgung können, aufgrund vielfältiger Einsatzmöglichkeiten, nur angenommen werden. Diese Vereinfachung kann jedoch zu fehlerhaften Ergebnissen führen.⁴⁵⁶

Cradle to Grave
*von der Wiege bis
zur Bahre*

Diese Analyse dient als Grundlage für relevante Entscheidungsfindungen in der Planungsphase. Im Vergleich zur Cradle-Gate Analyse wird hier auch die ausschlaggebende Phase der Nutzung berücksichtigt. Analysiert wird der gesamte Lebensweg. Dies kann sowohl auf Baustoffebene als auch auf Gebäudeebene erfolgen. Es werden die folgenden Lebenszyklusphasen behandelt: Rohstoffgewinnung, Transportmaßnahmen, Baustoff- und Bauteilproduktion, Bauwerkerrichtung, Nutzung, Erhaltung und Wartung, Entsorgung, Recycling.⁴⁵⁷

Cradle to Cradle
*von der Wiege bis
zur Wiege*

Diese Strategie beschreibt, die in dieser Arbeit bereits zuvor behandelte, Kreislaufwirtschaft. Die letzte Lebensphase eines Produktes ist mit seiner ersten Lebensphase gleichzusetzen. Wenn dieses Konzept angewendet wird, gibt die Ökobilanzierung Informationen über den Fortschritt zur Wiederverwendbarkeit und Verwertbarkeit von Produkten bekannt. Aufbauend auf die Cradle-Grave Analyse kann diese Betrachtung zu entscheidenden Veränderungen in der Nachhaltigkeitsentwicklung des Bauwesens motivieren.⁴⁵⁸

Welche Lebensphasen in einer Ökobilanzierung analysiert werden, hängt daher zum einem von der in der ersten Phase formulierten Zieldefinition als auch vom Bewertungsgegenstand ab. Je nachdem ob ein Baustoff, ein Bauteil oder ein Gebäude analysiert wird, kann sich der Betrachtungshorizont ausweiten.

⁴⁵⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.29

⁴⁵⁶ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.29

⁴⁵⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.29

⁴⁵⁸ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.29

| <i>Bewertungsgegenstand</i> | <i>berücksichtigte Lebensphasen</i> |
|-----------------------------|---|
| BAUSTOFF | Rohstoffgewinnung Baustoffproduktion Materialverwertung Entsorgung |
| BAUTEIL | Rohstoffgewinnung Baustoffproduktion Nutzung Instandhaltung Materialverwertung Entsorgung |
| GEBÄUDE | Rohstoffgewinnung Baustoffproduktion Gebäudeerstellung Nutzung Instandhaltung Materialverwertung Materialwiederverwendung Entsorgung |

Tab. 5.2.: ökologische Bewertungen im Baubereich – unterschiedliche Betrachtungsebene und Lebenszyklusgrenzen⁴⁵⁹

5.5.2 Phase 2: Festlegung des Untersuchungsrahmens

In gewisser Weise fließt hier das Konzept der gewählten Strategie mit ein. Der Bilanzraum der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung wird über eine nachvollziehbare und transparente Definition erläutert. Für eine bessere Überschaubarkeit werden die zu betrachtenden Bewertungsaspekte zur Festlegung der Systemgrenzen auf die relevanten Faktoren reduziert. Nachdem die zu betrachtenden Lebenszyklusphasen des gewählten Bewertungsgegenstandes bestimmt werden, kann die Wahl einer funktionellen Einheit geschehen. Damit ein Vergleich zwischen jeweils den Baustoffen, Bauteilen bzw. Gebäuden untereinander möglich ist, müssen diese auf ein bestimmtes Maß normiert werden. Des Weiteren müssen in dieser Phase die anzuwendenden Datenbanken und Qualitätsstandards gewählt werden.⁴⁶⁰Schließlich erfolgt eine genaue Dokumentation der Zieldefinition und Systemdefinition. Hierfür fungiert der Standardberichtsbogen nach DIN 33926 als Möglichkeit zur detaillierten Beschreibung der gewählten Bewertungsmethode.⁴⁶¹

Alle erwähnten Aspekte beeinflussen die Ergebnisse eine Umweltbilanz. Daher ist die Zieldefinition in der ersten Phase ausschlaggebend, da sie die Orientierung für die gewünschte Ökobilanzierung vorgibt. Folgend werden die wesentlichen Faktoren zur Festlegung des Untersuchungsrahmens näher erläutert.

- Systemgrenzen

Zu Beginn einer Planungsphase sind noch zu wenige Informationen über den möglichen Bedarf an Material, den erforderlichen Herstellungsprozessen oder etwa den notwendigen Prozessen für die Inbetriebnahme von Gebäuden vorhanden. Dennoch ist es sinnvoll gleich zu Beginn eine überschlägige Ökobilanz durchzuführen, die in den fortgeschrittenen Phasen der Planung sich positiv auf die

⁴⁵⁹ Tabelle in Anlehnung an: Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.31

⁴⁶⁰ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.36

⁴⁶¹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.13

Entwicklung des Projektes auswirken kann. Entsprechend der in der ersten Phase definierten Ziele können nun passende Systemgrenzen bestimmt werden. Hier gilt es daher eine möglichst genaue Analyse mit allen bereits vorhandenen Informationen zu tätigen, um eine sorgfältige Wahl der begrenzenden Bedingungen entscheiden zu können. Die in dieser Phase getroffenen Entscheidungen können später die Prozesse der Erstellung und Entsorgung beeinflussen. Des Weiteren können auch die Nutzungsprozesse bestimmt werden. Bei Gebäuden können in diesem Fall etwa die Gebäudetechnik oder der Energiebedarf für Heizung, Warmwasser und Strom berücksichtigt werden.⁴⁶² Es können ebenso sogar Anforderungen an die Baustelle festgelegt werden und somit der Energieverbrauch und die Handwerksarbeiten in den Systemgrenzen berücksichtigt werden. Der gewählte Detaillierungsgrad kann individuell tief in die Prozesse eingreifen. Daher ist es üblich auch einen gewissen Betrachtungsrahmen zu definieren. Materialien, die weniger als ein Prozent der Masse des Gesamtgebäudes ausmachen werden aus der Bilanz der Lebenszyklusanalyse ausgeschlossen. Vorsicht sei allerdings hierbei bei dem Ausschluss von gesundheitsschädlichen Lacken, Beschichtungen und Holzschutzmittel gegeben.⁴⁶³

- Allokationsmethode

Erfordert ein Herstellungsprozess mehrere Koppelprodukte, so ist eine Allokation, also Zuweisung, der Umweltwirkungen zwischen dem zu untersuchenden Produkt und den anderen Produkten notwendig.⁴⁶⁴ Mit Hilfe der Allokationsmethode können Input- und Output-Flüsse zugeordnet werden. Die ISO 14044 bietet einen guten Überblick über die vorhandenen Allokationsmethoden.⁴⁶⁵ Eine Allokation kann etwa nach Produktmenge oder nach Marktpreisen erfolgen. Es gibt auch die Sonderform, in welcher nur ein Produkt als Endprodukt geplant ist und Abfall in den Herstellungsprozess integriert wird. Da in diesem Fall zwei Erträge, also das Endprodukt und die Wiederverwertung von Abfall, entstehen, ähnelt es einem Kopplungsprozess. In diesem Fall kann das wiederverwendete Produkt, also der Abfall, nur zu einem geringen Anteil in die Ökobilanz eingehen. Die Emissionen werden dem eigentlichen Produkt zugeordnet.⁴⁶⁶

- Funktionelle Einheit

Für die Berechnung der Umweltwirkungen muss eine Vielzahl an Parametern zur Beurteilung gewählt werden. Die Wahl der Indikatoren erfolgt in Abhängigkeit des zu bewerteten Elementes. Je nachdem ob ein Baustoff, ein Bauteil, ein Gebäude oder eine Dienstleistung bewertet werden soll, werden die passenden Indikatoren gewählt. Der Bewertungsgegenstand wird auf ein bestimmtes Maß normiert, sodass ein Vergleich mit seinesgleichen möglich wird. Die Analyse beinhaltet sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte.⁴⁶⁷ Die Auswahl einer funktionellen Einheit ist vor allem auf der Bauteilebene für die Ökobilanzierung ausschlaggebend. Für etwa 1m² Decke eines bestimmten Materials können Eigenschaften wie die maximale Spannweite, Anforderungen an den Brandschutz und an den Schallschutz bestimmt werden.

Als qualitativen Aspekt einer funktionellen Einheit kann etwa die Nutzungsflexibilität analysiert werden. Indem vorrausschauend an eine mögliche Umnutzung des Baustoffes, Bauteils bzw. des Gebäudes gedacht wird, kann die Umbaufähigkeit optimiert werden. Diese sogenannte Nutzungsneutralität erhöht zwar das Potenzial einer Wiederverwendung, doch verlangt sie meist eine Überdimensionierung der Bauteile. Dies wiederum wirkt einer Einschränkung von Umweltwirkungen aus den Produkten

⁴⁶² Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.25

⁴⁶³ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.26

⁴⁶⁴ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.26

⁴⁶⁵ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.26

⁴⁶⁶ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint. Anleihen aus der Kostenrechnung*, WILEY-VCH, Weinheim (2011), S.6

⁴⁶⁷ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.27

entgegen. Daher müssen akzeptable Einschränkungen für die geplante Nutzung und Wiederverwendung gesetzt werden.⁴⁶⁸

Des Weiteren bieten qualitative Aspekte eine Möglichkeit zur Ausgleichsmaßnahme. Vor allem im Brand- und Schallschutz können gesetzliche Vorgaben durch Ausgleichsmaßnahmen eingehalten werden. Anstatt qualifizierte Bauteile zu verwenden, können etwa Sprinkleranlagen, zusätzliche Entrauchungen oder etwa Schalldämmmatten hier Aufgabe leisten. Die Berücksichtigung jener Zusatzmaßnahmen ist relativ früh in der Planung zu berücksichtigen, um eine Zuordnung der hierbei entstehenden Umweltwirkungen auf die richtigen Prozesse zu ermöglichen.⁴⁶⁹

Sinnvoll ist es alle verknüpften Prozesse und deren Abhängigkeit zueinander in einer Übersicht zusammenzufassen. Im Anschluss darauf können folgerichtige und plausible Systemgrenzen gesetzt und eine funktionelle Einheit für die jeweiligen Rahmenbedingungen bestimmt werden. Für ein besseres Verständnis folgen nun Beispiele zur Bestimmung einer funktionellen Einheit für die Ökobilanzierung von Baustoffen, Bauteilen bzw. Gebäuden.⁴⁷⁰

| Bewertungsgegenstand | Bewertungseinheit | Zieldefinition (Phase 1) | Funktion des Systems | funktionelle Einheit |
|----------------------|-------------------|----------------------------------|---|--|
| BAUSTOFF | Masse | Optimierung von Produktprozessen | Konditionierung einer definierten Menge Baustoff | kg Zement kg Baustahl |
| | | Produkt- und Qualitätskontrolle | Bereitstellung eines Bauteils mit definiertem U-Wert und g-Wert | m ² Fenster |
| BAUTEIL | Fläche | Bauteiloptimierung | Bereitstellung eines Bauteils mit definierter Statik und U-Wert | m ² Wand |
| | | strategische Entscheidungen | Wettbewerbsfähigkeit sichern | 1 m ² EBF (Energiebezugsfläche) |
| GEBÄUDE | Gesamtgebäude | | | |

Tab. 5.3.: Beispiele zur Bestimmung einer funktionellen Einheit⁴⁷¹

Es ist zwar möglich verschiedene funktionelle Einheiten für eine Zielsetzung zu verwenden, allerdings soll berücksichtigt werden, dass ein späterer Vergleich der Studie mit anderen Ökobilanzen dadurch erschwert werden kann. Die Wahl der funktionellen Einheit kann auch die numerischen Ergebnisse beeinflussen. Beziehen sich die Ökobilanz-Ergebnisse etwa auf 1m² Geschossfläche werden die Ergebnisse, im Vergleich zu den Ergebnissen bezogen auf 1m² Energiebezugsfläche, deutlich geringer ausfallen. Die geschickte Auswahl der funktionellen Einheit kann das Ausmaß der

⁴⁶⁸ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.28

⁴⁶⁹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.28

⁴⁷⁰ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.27

⁴⁷¹ Tabelle in Anlehnung an: El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.27

Umweltwirkungen numerisch klein halten und dadurch die Vermarktung des Bewertungsgegenstandes vereinfachen.⁴⁷²

○ Qualitätsstandard und Datenquellen

In dieser Phase der Ökobilanzierung wird auch der Detaillierungsgrad der Analyse bestimmt. In der Analyse der Treibhausgasemissionen hat sich in den letzten Jahrzehnten die Technik rasant weiterentwickelt. Früher erfolgte die Angabe der verursachten Emissionen über die sogenannte gate-to-gate-Bilanz, in welcher nur die direkten Emissionen bekannt gegeben wurden (scope1). Gegebenenfalls wurden auch die indirekten Emissionen zufolge erzeugtem oder eingekauftem Strom berücksichtigt (scope 2). Mittlerweile werden aufgrund der Forderung der Greenhouse Gas Protocol Initiative auch die indirekten Treibhausgasemissionen aus der Lieferkette, der Nutzungsphase sowie der Entsorgungsphase in die Berechnung miteingeschlossen (scope 3).⁴⁷³ Das Greenhouse Gas Protocol ist eine private Initiative, welche Forderungen an die Bilanzierung von Treibhausgasemissionen gibt. Insbesondere ist das Ziel jener Initiative vor allem die Einführung von Regelungen an die Unternehmen zur standardisierten Ermittlung von Treibhausgasbilanzen.⁴⁷⁴ Darauf aufbauend werden die folgenden Normen festgelegt:

| NORM | Inhalt |
|-----------------------------|---|
| ÖNORM EN ISO 14064-1 | Treibhausgase Teil 1: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung und Berichterstattung von Treibhausgasemissionen und Entzug von Treibhausgasen auf Organisationsebene |
| ÖNORM EN ISO 14064-2 | Treibhausgase Teil 2: Spezifikation mit Anleitung zur quantitativen Bestimmung, Überwachung und Berichterstattung von Reduktionen von Treibhausgasemissionen oder Steigerungen des Entzugs von Treibhausgasen auf Projektebene |
| ÖNORM EN ISO 14064-3 | Treibhausgase Teil 3: Spezifikation mit Anleitung zur Validierung und Verifizierung von Erklärungen über Treibhausgase |
| ÖNORM EN ISO 14065 | Treibhausgase – Anforderungen an Validierungs- und Verifizierungsstellen für Treibhausgase zur Anwendung bei der Akkreditierung und anderen Formen der Anerkennung |
| ISO 14066 | Greenhouse gases - Competence requirements for greenhouse gas validation teams and verification teams |

Tab. 5.4.: Normen zur quantitativen Bestimmung von Treibhausgasen⁴⁷⁵

⁴⁷² Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.28

⁴⁷³ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.1

⁴⁷⁴ Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), *About Us*, <https://ghgprotocol.org/about-us> (Zugriff 14.01.2023)

⁴⁷⁵ Tabelle in Anlehnung an: WiFi Unternehmerservice der Wirtschaftskammer Österreich, *Instrumente für das Umweltmanagement: Normen aus der Reihe ISO 1400*, In Broschüre: *Umweltinformationen für Produkte und Dienstleistungen*, Kapitel 9, WKO (2017)

Seit Einführung dieser Normen konnte der Qualitätsstandard einer Ökobilanzierung erhöht werden. Eine genauere Analyse des gesamten Lebenszyklus des Bewertungsgegenstandes (scope 3) kann vor allem auch zur Wahl geeigneterer Maßnahmen für eine Verbesserung der Umweltwirkungen verhelfen.⁴⁷⁶

Damit die Ergebnisse einer Ökobilanz nachvollziehbar sind, ist es ratsam die Daten aus einer vertrauenswürdigen und transparenten Datenquelle zu entnehmen. Die gewählte Datenquelle bestimmt gleichzeitig die Datenqualität für die Material- und Energieprozesse. Die Genauigkeit und die Detailtiefe der Ökobilanz hängen demnach von der Wahl der Datenquelle ab. Gegenwärtig stehen professionelle Sachbilanzdatenbanken zur Verfügung. Diese Datenbanken werden über Internetplattformen zur Verfügung gestellt.⁴⁷⁷ In Österreich werden die Sachbilanzdaten überwiegend aus der Ecoinvent-Datenbank bezogen.⁴⁷⁸ Weitere Daten können auch aus frei zugänglichen Informationsquellen und Umweltproduktdeklarationen nach Typ-III gemäß ISO 14025 bzw. 15804 bezogen werden. Einige Sachbilanzdatenbanken werden in Abschnitt 6.2 vorgestellt. Bei publizierten Ökobilanzergebnissen kommen dennoch die namenhaften Datenbanken in Verwendung.⁴⁷⁹ Annahmen, die im Zuge der Ökobilanzierung getroffen werden, sollten genauestens dokumentiert werden. Werte, die nur annähernd ermittelt werden können, werden zur besseren Nachvollziehbarkeit detailliert vermerkt. Da diese Annahmen mit einer großen Ungenauigkeit verbunden sind, muss deren Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanzierung über eine Sensitivitätsanalyse relativiert werden.⁴⁸⁰ Abschnitt 6.2 zeigt eine Übersicht ausgewählter zur Verfügung stehender Baustoffinformationsplattformen.

○ Wirkungskategorien und -indikatoren

Die Auswirkungen der Produkte und Prozesse auf die Umwelt, werden über die gewählten Wirkungskategorien und -indikatoren bestimmt. Eine Auswahl der wesentlichen Indikatoren wird in Abschnitt 4.4 vorgestellt. Die Auswahl der Wirkungsparameter wird in Abhängigkeit zu der in Phase 1 definierten Ziele getroffen.

5.5.3 Phase 3: Sachbilanz

Mit Hilfe der gewählten Indikatoren können die Ströme aus dem Input und dem Output ermittelt werden. Es wird das Ausmaß aller relevanten Material- und Energieflüsse aus den einzelnen Lebensphasen des Bewertungsgegenstandes ermittelt.⁴⁸¹ Vor allem erfolgt eine Quantifizierung der folgenden Faktoren⁴⁸²:

- Roh- und Betriebsstoffe
- Energie
- Produkte (auf Gebäudeebene) bzw. Materialien (auf Bauteilebene)
- Abfall
- Treibhausgasmissionen
- Lärmemissionen⁴⁸³
- Flächenverbrauch⁴⁸⁴
- Wassereinleitungen
- Bodenverunreinigung

⁴⁷⁶ Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), *About Us*, <https://ghgprotocol.org/about-us> (Zugriff 14.01.2023)

⁴⁷⁷ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.29

⁴⁷⁸ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.43

⁴⁷⁹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.29

⁴⁸⁰ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.29

⁴⁸¹ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.14

⁴⁸² VDI - Zentrum Ressourceneffizienz, *Ökobilanz – DIN EN ISO 14040/44*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nuklearer Sicherheit

⁴⁸³ Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.14

⁴⁸⁴ Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.14

In der Sachbilanz (LCI, engl. Life Cycle Inventory) werden die einzelnen Phasen aus dem Lebenslauf des zu bewerteten Betrachtungsgegenstandes in Module unterteilt. Diese Module werden über die Stoff- und Energieströme mit der Umwelt verbunden. Unterschieden wird hierbei zwischen dem erforderlichen Beitrag aus der Umwelt (Input) und dem Ertrag aus den Modulen (Output), welcher an die Umwelt weitergegeben wird.

○ Input – Output - Analyse

Für eine übersichtliche Gliederung werden diese Vorgänge oft in ein Flussdiagramm dargestellt.⁴⁸⁵ Für solch eine Darstellung konzentriert man sich gerne auf ein einzelnes Kriterium. Ein Schutzziel wird herangezogen und in diesem Sinne die Input- und Output-Flüsse analysiert. Da es der Ökobilanz bisweilen nicht gelungen ist die Ergebnisse auf eine einzige aussagekräftige Zahl zusammen zu fassen, kann durch den Verzicht auf eine „multikriterielle“ Bewertung die Konzentration auf die gewünschten Schutzziele erfolgen. Eine einzelne aussagekräftige Zahl (Single Score) ermöglicht somit effizientere Optimierungen. Erfolgt die Konzentration etwa auf die Emissionen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid wird die Ökobilanz häufig auch als „Carbon Footprint“ bezeichnet. Wird nur die Nutzung von Wasser, also dessen Entnahme und Verbrauch, betrachtet, so ist vom „Water Footprint“ die Rede.⁴⁸⁶ Der deutsche Umweltforscher und Direktor des Instituts für Industrial Ecology in Baden-Württemberg beschreibt die Analyse der Material- und Energieflüsse wie folgt:

„Die Material- und Energieflussanalyse bildet typischerweise die Struktur des Produktlebensweges in einer Abfolge von Prozessschritten ab, bei denen Energien und Materialien umgesetzt und dabei Emissionen freigesetzt werden. Bei den einzelnen Prozessen werden die relevanten Energien, Materialien und Emissionen in einer Input-Output-Orientierung dargestellt.“⁴⁸⁷

Bei einer Reduktionsbetrachtung auf die Treibhausgase kann das Schema einer Darstellung von Input- und Output-Flüssen aus einem Prozess wie folgt dargestellt werden.

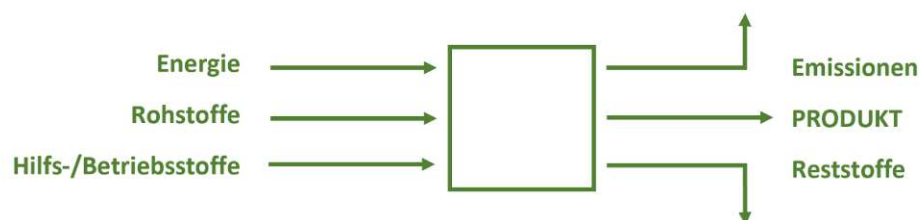


Abb. 5.5.: Input und Output eines Prozesses⁴⁸⁸

Eine Material- und Energieflussanalyse spiegelt den Lebensweg eines Produktes wider. Daher müssen alle für das Produkt erforderlichen Prozessschritte, in welchen Energien und/oder Materialien umgesetzt werden und hierbei Emissionen freigesetzt oder Abfall produziert werden, berücksichtigt werden. Bei der Erfassung des gesamten Lebensweges eines Produktes, muss demnach auch die Herstellung aller Vorprodukte in die Prozessstruktur involviert werden. In einigen Fällen können also sehr große Prozesssysteme entstehen.⁴⁸⁹ Üblich ist die Erstellung von mehreren Flussdiagrammen eines Prozesssystems, in welchen jeweils auf einen Faktor eingegangen wird. Möchte man etwa die bei einem gesamten Prozesssystem entstehenden Treibhausgasemissionen ermitteln, ist eine Summation der Emissionen aus allen Prozessen erforderlich. In einem Flussdiagramm ist es auch üblich, dass die

⁴⁸⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.14

⁴⁸⁶ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.2

⁴⁸⁷ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.2

⁴⁸⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.2

⁴⁸⁹ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.2

Treibhausgasemissionen von einem Zwischenprodukt zum nächsten Zwischenprodukt „weitergeleitet“, also dazu summiert, werden. Für ein besseres Verständnis folgt eine schematische Darstellung der Inputs und Outputs eines gesamten Prozesssystems als Beispiel für ein Product Carbon Footprint (PCF). Die angegebenen Werte in der folgenden Abbildung lehnen sich an einem Demonstrationsbeispiel des Umweltwissenschaftlers und Universitätsprofessors am Institut für Industrial Ecology an der Hochschule Pforzheim Prof. Dr. Schmidt Mario aus seinem Forschungsbericht „Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint – Anleihen aus der Kostenrechnung“. ⁴⁹⁰

⁴⁹⁰ Vgl Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011)

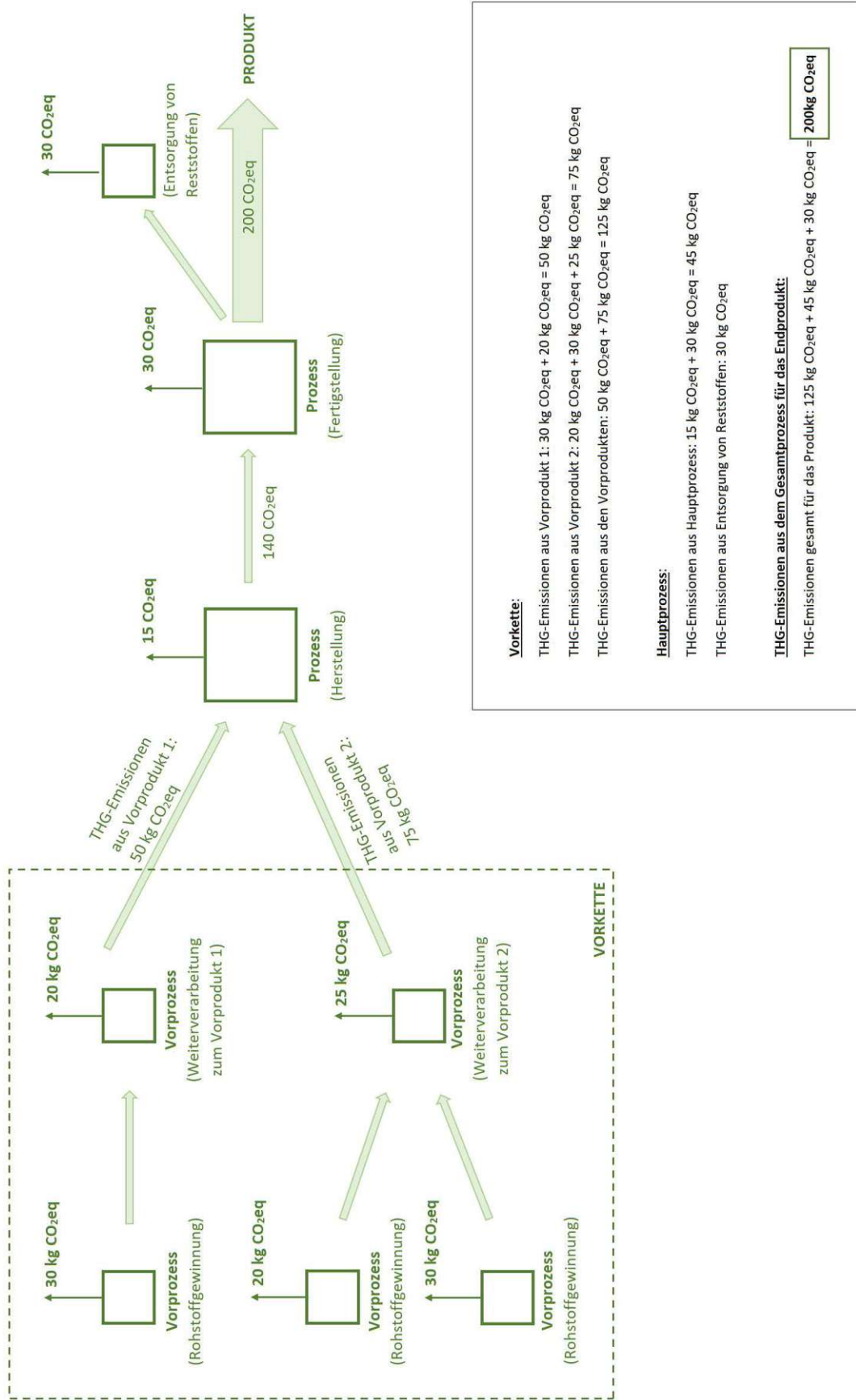


Abb. 5.6.: Prozessstruktur und Emissionsrechnung am Beispiel einer Product Carbon Footprint Ermittlung⁴⁹¹

⁴⁹¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Schmidt M., Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint (2011), S.3

Der Einfachheit halber können die Prozesse aus der Vorkette vor allem bei langen und komplexen Verrechnungsstrukturen zu einem Wert zusammengefasst werden. Dies kann in Datenbanken als spezifischer Wert (Einheit: kg CO_{2eq} pro kg Material) abgespeichert werden und bei Anfrage als „Emissionsfaktor“ jederzeit abgerufen werden.⁴⁹² Dies erleichtert sowohl die Berechnung als auch eine Flussdiagrammdarstellung.

Eine Flussdiagramm-Darstellung ist ebenso auf Gebäudeebene möglich, aber mit viel Aufwand verbunden. Da der Sinn dessen Anwendung eine bessere Überschaubarkeit über die einfließenden und austretenden Stoff- und Energieströme ist, finden daher eher Produkt- oder Produktionssysteme davon Gebrauch. Die Material- und Energieflussanalyse im Allgemeinen gewinnt aber dennoch bei Unternehmen immer mehr an Bedeutung. Auch hier wird gerne mit etwa einer Reduktion an TGH-Emissionen in der gesamten Unternehmensstruktur geworben. Üblich ist, vor allem auf Gebäudeebene, die Führung einer Tabellenkalkulation. Über das Produktsystem „Gebäude“ resultieren in der Phase der Sachbilanz lange Listen der Input- und Output-Flüsse⁴⁹³.

- Aufwand – Ertrag – Analyse

Bei der Analyse eines Prozesses gibt es unter den Input- und Output-Flüssen Faktoren, die erwünscht sind und deren Quantität gerne maximiert werden soll und jene, die unerwünscht sind, bei denen eine möglichst große Reduktion angestrebt ist.⁴⁹⁴ In der Flussdiagrammdarstellung bzw. bei einer Tabellenkalkulation gibt es weiters die Möglichkeit die erforderlichen Inputs und entstehenden Outputs in Aufwand und Erträge zu unterscheiden. Der Aufwand beschreibt meist den Verbrauch an den erforderlichen Elementen. Im ökologischen Sinne werden Emissionen und Rohstoffquantität unter Aufwand eingeteilt. Ist eine ökonomische Sichtweise erwünscht so sind auch die Kosten Teil des erforderlichen Aufwandes. Der Ertrag, oder auch function bzw. functional unit, ist meist das erwünschte Produkt. Eine Aufwands- und Ertragsdarstellung ermöglicht im Vergleich zur ursprünglichen Darstellung, eine Verdeutlichung des erwünschten Ergebnisses und hebt den erforderlichen Aufwand hervor. Ob ein Element ein Aufwand oder ein Ertrag ist, hängt davon, ob es im Flussobjekt als Input oder Output agiert.⁴⁹⁵ Wenn ein Produktionsprozess Energie erfordert (Input), so ist die Energie ein Aufwand und soll so gut es geht minimiert werden. Kann allerdings durch einen Prozess Energie erzeugt werden (Output), ist es ein erwünschter Ertrag. Grundsätzlich bedeutet dies demnach, dass die Produktion der Elemente auf der Ertragsseite erwünscht sind, während deren Aufwand geringgehalten werden soll. Dies kann seine Motivation in ökonomischer Sichtweise, aufgrund hoher Kosten, oder in ökologischer Sichtweise aufgrund von Umweltwirkungen haben. Egal aus welcher Perspektive man diese Darstellung nutzen möchte, sie dient einer Minimierung der unerwünschten Elemente.⁴⁹⁶

Es gibt allerdings Elemente, welche in dieses Schema nicht passen. Wird bei einem Prozess Abfall produziert, ist es ein unerwünschtes Output und landet auf der Seite des Aufwandes. Kann in einem Prozess jedoch Abfall als Input verwendet werden, so wird ein unerwünschtes Element effizient genutzt und ist ein Ertrag. Denn durch diesen Prozess können vor allem Kosten gespart werden.⁴⁹⁷

⁴⁹² Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.3

⁴⁹³ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.32

⁴⁹⁴ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

⁴⁹⁵ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

⁴⁹⁶ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

⁴⁹⁷ Vgl. Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

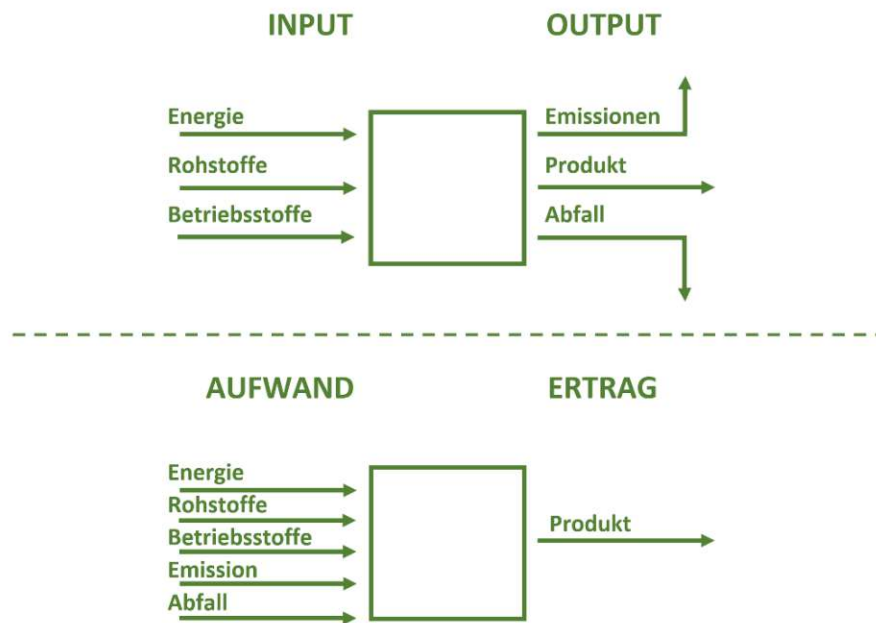


Abb. 5.7.: Input-/Output- und Aufwands-/Ertrags-Darstellung: Fall Abfall im Output/Aufwand⁴⁹⁸

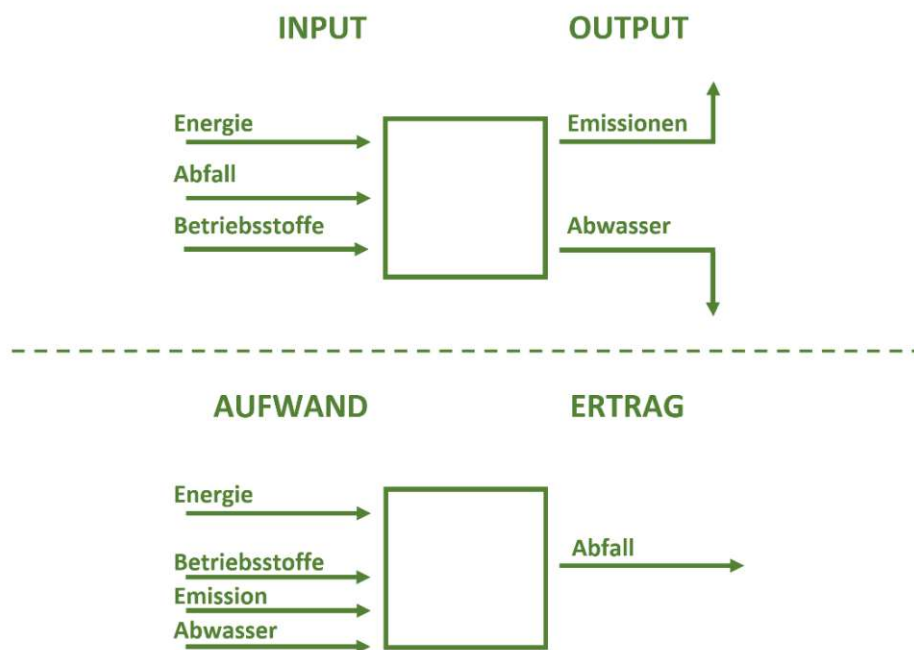


Abb. 5.8.: Input-/Output- und Aufwands-/Ertrags-Darstellung: Fall Abfall im Input/Ertrag⁴⁹⁹

o Ökobilanzsoftware

Die Flussdiagrammdarstellungen bzw. die Ergebnisse der Tabellenkalkulation können in der Sachbilanz zu neuen Erkenntnissen führen. Im Zuge dessen können neue Systemgrenzen durch erweiterte Einschränkungen und Datenanforderungen gesetzt werden.⁵⁰⁰ Die gesammelten Eindrücke der Flussdiagrammdarstellungen können auch in eine Ökobilanzsoftware aufgenommen werden, um

⁴⁹⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

⁴⁹⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint* (2011), S.5

⁵⁰⁰ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

detaillierte Ergebnisse zu erzielen. Indem der Lebenszyklus des Produktsystems modelliert wird, wird ein besserer Überblick über den Lebenszyklus eines Produktes und dessen Auswirkungen auf die Umwelt geschaffen.⁵⁰¹ Softwarelösungen, die zu Forschungszwecken herangezogen werden, bieten in der Modellierung des Prozesssystems einen großen Spielraum an. Es können unterschiedliche Szenarien genau erforscht werden. Die Modellierung einer Gebäude-Ökobilanzierung durch Praxis orientierte Softwarelösungen ist hingegen auf das zu untersuchende Prozesssystem, also dem Gebäude, und dessen Umfeld eingeschränkt. Eine Softwarelösung mit Forschungsmöglichkeit bieten etwa die Programme SimaPro oder GaBi an. Ersteres bedient sich der bereits erwähnten Sachbilanzdatenbank Ecoinvent, während zweiteres auf eine intern erstellte Datenbank zurückgreift.⁵⁰² Weitere Ökobilanzsoftwaremöglichkeiten werden in Abschnitt 6 angeführt.

Im Allgemeinen ermöglicht die Sachbilanz einen Überblick über die Umweltwirkungen aus den Bewegungen des Prozesssystems über den gesamten Lebenszyklus. Aus den Ergebnissen der Sachbilanz können einzelne Indikatoren, wie der Primärenergieinhalt, der kumulierte Energieaufwand sowie die Graue Energie ermittelt werden.⁵⁰³ Während der Phase der Sachbilanz können die Systemgrenzen neu bestimmt und die Anforderungen an das Prozesssystem umformuliert werden. Eine Sachbilanz führt einen iterativen Prozess⁵⁰⁴ bis zur Erreichung zufriedenstellender Ergebnisse. Mit Hilfe der Wirkungsabschätzung in der nächsten Phase der Ökobilanzierung können die Ergebnisse der Sachbilanz interpretiert und weiter behandelt werden.⁵⁰⁵

5.5.4 Phase 4: Wirkungsabschätzung

Das Ziel der Wirkungsabschätzung (LCIA, engl. Life Cycle Impact Assessment) ist es, die Informationen aus der Sachbilanz zu nutzen, um eine Entscheidungsunterstützung für auszuführende Maßnahmen zu ermöglichen. Die Ergebnisse aus Sachbilanz werden auf wenige oder zu einem einzelnen Umweltparameter, den Wirkungsindikatoren, verdichtet. Mittels einer Verdichtung kann ein Indikator in eine gewisse Richtung gelenkt werden. Die Wahl der Methode der Wirkungsabschätzung erfolgt im Wesentlichen bereits zu Beginn einer Ökobilanz.⁵⁰⁶ Aufbauend auf die Sachbilanz werden die einzelnen Prozessströme eines Prozesssystems verschiedenen Umweltauswirkungen zugeordnet. Grundsätzlich kann diese Phase der Ökobilanzierung in drei Arbeitsschritte erfolgen, wobei der letzte Schritt eher selten ausgeführt wird.⁵⁰⁷

- **Klassifizierung:** Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungskategorien

Nach einer Definition möglicher **Wirkungskategorien**, welche potentielle Umweltwirkungen repräsentieren, erfolgt die Zuordnung der einzelnen Sachbilanzwerte. Die Input- und Output-Flüsse aus einem Prozesssystem werden demnach in Kategorien aufgeteilt. Dies ermöglicht einen besseren Überblick über die Ursachen bestimmter Veränderungen in der Umwelt.⁵⁰⁸ Die Wirkungskategorien behandeln unterschiedliche Aspekte. Unter anderem decken sie den Ressourcenverbrauch, Klimaveränderungen, Ozonabbau, Versauerung sowie viele weitere Aspekte ab. Einige Sachbilanzwerte können mehrere Umweltwirkungen verursachen und werden daher auch weiteren Wirkungskategorien zugeordnet.⁵⁰⁹ Beispielsweise können alle Substanzen, die zu einem Klimawandel beitragen, zu einer Wirkungskategorie, nämlich die Gruppe der Treibhausgase, zusammengefasst werden. Darunter fällt auch

⁵⁰¹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.32

⁵⁰² Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.43

⁵⁰³ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.32

⁵⁰⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

⁵⁰⁵ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.32

⁵⁰⁶ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, treeze GmbH Uster, Schweiz (2020), S.101

⁵⁰⁷ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

⁵⁰⁸ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

⁵⁰⁹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), 34

die Substanz CH₄. Diese kann sowohl der Wirkungskategorie Klimawandel als auch, aufgrund ihrer Eigenschaft zur Bildung von Sommersmog, der photochemischen Oxidationsbildung zugeordnet werden.⁵¹⁰

Des Weiteren ist zwischen globalen und lokalen Umweltauswirkungen zu unterscheiden. Die unterschiedlichen Wirkungskategorien können Umweltwirkungen mit unterschiedlicher Reichweite beschreiben. Während der Treibhauseffekt und der Ozonschichtabbau globale Umweltveränderungen beschreiben, wirkt sich die Überdüngung einer Landschaft eher auf regionaler Ebene aus.⁵¹¹

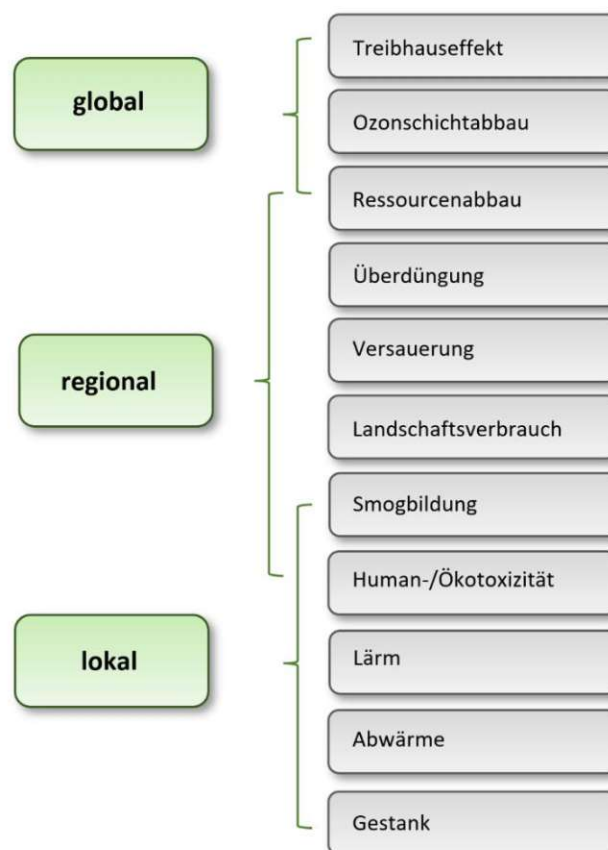


Abb. 5.9.: Reichweite von ausgewählten Umweltauswirkungen (Wirkungskategorien)⁵¹²

○ **Charakterisierung: Berechnung der Wirkungsindikatorwerte**

Nach erfolgter Zuordnung der Prozessströme können diese nun für jede einzelne Wirkungskategorie zusammengefasst werden. Mit Hilfe eines Charakterisierungsfaktors⁵¹³ bzw. eines Gewichtungsfaktors wird eine Multiplikation⁵¹⁴ durchgeführt. Ein Charakterisierungsfaktor setzt einen Bezug einer bestimmten Substanz zu einer Referenzeinheit her und berechnet einen **Wirkungsindikator**. Zum Beispiel kann die Wirkung der Substanz Methan (CH₄) in Bezug auf Kohlenstoffdioxid (CO₂) als Referenzeinheit für die Treibhausgase gesetzt werden. Nachdem die Sachbilanzergebnisse der einzelnen Treibhausgase mit dem Charakterisierungsfaktor multipliziert werden, können sie zusammenaddiert werden und ergeben als Ergebnis der Wirkungsabschätzung einen einzelnen Wirkungsindikatorwert für eine

⁵¹⁰ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.105

⁵¹¹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵¹² Eigene Darstellung in Anlehnung an: El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵¹³ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵¹⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

Wirkungskategorie.⁵¹⁵ Einer Wirkungskategorie zugeordneten Substanzen können unterschiedlich stark wirken. Sogenannte Charakterisierungsmodelle⁵¹⁶ beschreiben einen Zusammenhang zwischen den Sachbilanzergebnissen und deren Ausmaß an Umweltwirkungen. Der Indikator für Global Warming Potential (GWP) fasst über den Charakterisierungsfaktor GWP-Koeffizient die Auswirkung aller an der Herstellung sowie Nutzung und Entsorgung eines Bewertungsgegenstandes beteiligten Treibhausgase zusammen.

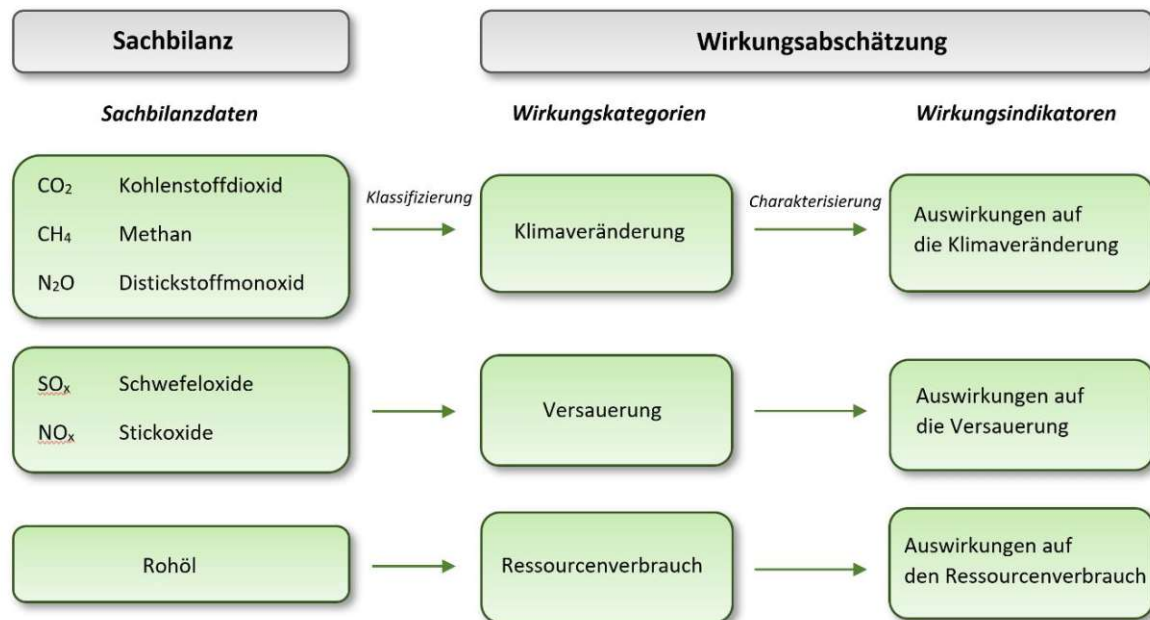


Abb. 5.10.: Zusammenhang zwischen Sachbilanz und Wirkungsabschätzung am Beispiel der Umweltwirkungen: Klimaveränderung, Versauerung und Ressourcenverbrauch⁵¹⁷

- **Aggregation: Zusammenfassung von Indikatorwerte**

Der letzte Arbeitsschritt ist optional und wird in der Praxis eher selten angewendet. Es werden die zuvor bestimmten Wirkungskategorien gewichtet und zu einer einzigen Zahl zusammengefasst. Hierbei spielen neben den naturwissenschaftlichen Grundlagen auch gesellschaftspolitische Aspekte eine Rolle. Das Ergebnis einer solchen Studie kann speziell für einzelne Fälle angewendet werden, wird aber aufgrund seiner auf die eigenen Bedürfnisse leicht anzupassenden Ergebnisse in vielen Fällen als nicht aussagekräftig genug eingeschätzt.⁵¹⁸ Ein Team, bestehend aus Experten- oder Nichtexperten-Panels⁵¹⁹, kann unterschiedliche Präferenzen und somit zu unterschiedlichen Gewichtungsergebnissen führen.⁵²⁰

Üblicherweise besitzt eine Wirkungskategorie mehrere Kennzahlen als Ergebnis. Bei dieser Methode der Bewertung werden jedoch die Indikatorergebnisse der jeweiligen Kategorien mit ausgewählten Gewichtungsfaktoren umgewandelt. Das Ziel ist es mit einer eindimensionalen Kennzahl Indikatorergebnisse vergleichbar und addierbar zu machen.⁵²¹ Über die Aggregation besteht die Möglichkeit mehrere Wirkungskategorien zu einem einzelnen Indikatorwert zu generieren.⁵²² In den meisten Fällen

⁵¹⁵ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵¹⁶ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.105

⁵¹⁷ Eigene Darstellung in Anlehnung an: El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵¹⁸ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.15

⁵¹⁹ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.107

⁵²⁰ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.106

⁵²¹ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.107

⁵²² Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

erfolgt dieser Vorgang gemäß vorgegebener Bewertungsmethoden. Spezifische Anforderungen einer Ökobilanzstudie können manuell verändert oder hinzugefügt werden.⁵²³

Zur besseren Verständlichkeit wird nun ein Beispiel für eine aggregierte Bewertungsmethode angeführt. Das hier näher erläuterte Beispiel für eine Bewertungsmethode verdeutlicht, wie anhand von Wirkungsindikatoren mehrere Wirkungskategorien zusammengefasst und gewichtet werden können.⁵²⁴

Eine gut verbreitete Methode ist das Schweizer Bewertungsinstrument der *Methode der ökologischen Knappheit*. Sachbilanzergebnisse der Emissionen aus Luft, Wasser und Boden sowie die Ergebnisse aus den Kategorien Ressource und Abfall werden zu einem einzigen Indikatorwert zusammengefasst.⁵²⁵ Folgende Abbildung zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung für das Vorgehensschema dieser Bewertungsmethode.⁵²⁶

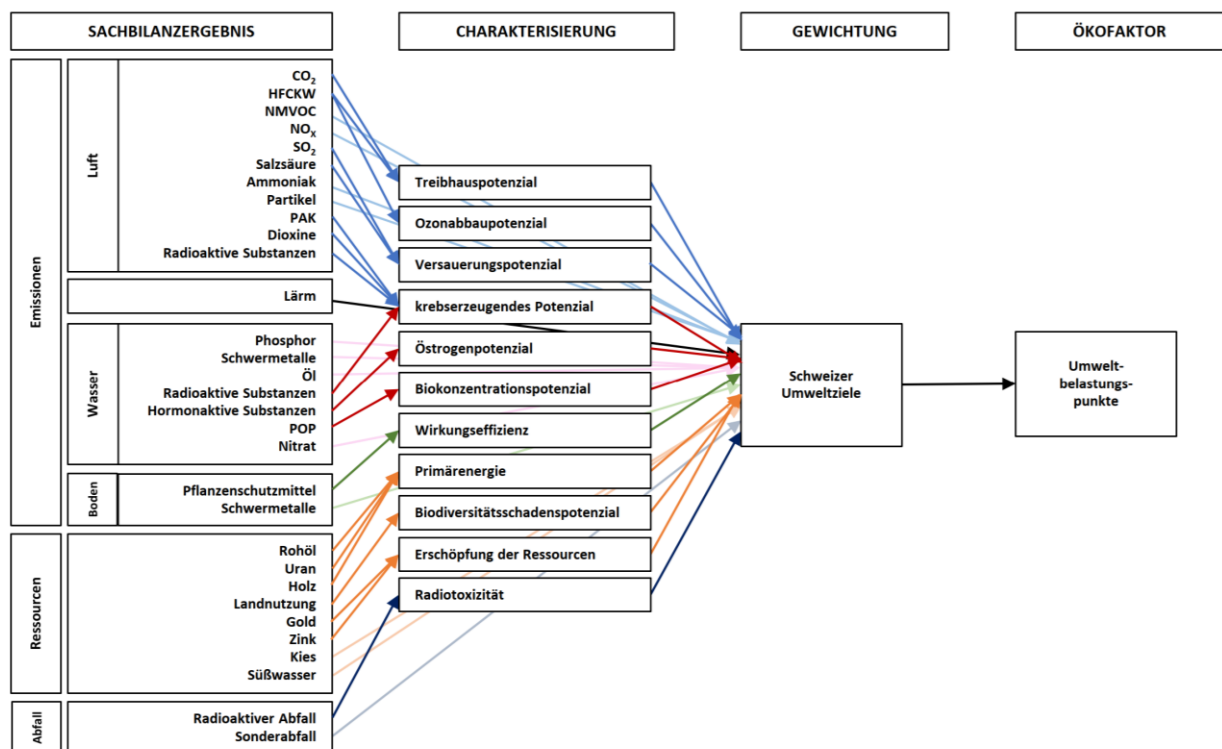


Abb. 5.11.: Vereinfachtes Vorgehensschema der Methode der ökologischen Knappheit⁵²⁷

Das Ergebnis wird in der dimensionslosen Einheit Umweltbelastungspunkte angegeben. Werden die Umweltbelastungspunkte von einzelnen Prozessen bzw. Prozesssystemen addiert, können Aussagen und Vergleiche vorgenommen werden. Um die Umweltbelastungspunkte zu ermitteln ist die Berechnung des Ökofaktors für die jeweiligen Stoffgruppen erforderlich. Diese Bewertungsmethode bezieht sich auf die räumlichen und zeitlichen Grenzen sowie die politischen Ziele der Schweiz. Aus diesem Grund unterscheiden sich die Werte des Ökofaktors in Abhängigkeit zur Region. Die Berechnung des Ökofaktors ist wie folgt definiert:⁵²⁸

⁵²³ Vgl. Frischknecht Rolf, *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, S.101

⁵²⁴ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.34

⁵²⁵ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.123

⁵²⁶ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.124

⁵²⁷ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.125

⁵²⁸ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.124

$$\text{Ökofaktor} = K \cdot \underbrace{\frac{1}{F_n}}_{\text{Normierung}} \cdot \underbrace{\left(\frac{F}{F_k}\right)^2}_{\text{Gewichtung}} \cdot c \cdot 1 \text{ UBP} \quad [23]$$

Wobei die erwähnten Variablen wie folgt definiert werden können:

| | |
|----------------------|---|
| K | <i>Charakterisierungsfaktor</i> → für Schadstoffes oder Ressourcen derselben Umweltwirkung (optional) |
| Fluss | <i>Menge einer charakteristischen Umwelteinwirkung</i> |
| F_n | <i>Normierungsfluss</i> → Anpassung der aktuellen Emissionen an die Region |
| F | <i>aktueller Fluss</i> → Istmenge; im Regelfall sind Istmenge und Normierung identisch; ein Unterschied erfolgt lediglich bei Unterschieden in der Region oder der Zeit ⁵²⁹ |
| F_k | <i>kritischer Fluss</i> → Toleranzmenge ⁵³⁰ bezogen auf das Referenzgebiet |
| c | <i>Konstante 10¹²</i> → für alle Ökofaktoren identisch; dient der besseren Handhabbarkeit |
| UBP | <i>Umweltbelastungspunkt</i> → Einheit des bewerteten Ergebnisses |

Der Ökofaktor ergibt die Umweltbelastungspunkte pro Umwelteinwirkungseinheit bezogen auf ein Referenzgebiet, eine Referenzzeit (i.d.R. pro Jahr) sowie eine Referenzeinheit (z.B. UBP pro Tonne). Anschließend kann eine Multiplikation der Sachbilanzergebnisse aus den Output-Flüssen mit dem Ökofaktor erfolgen. Werden die Umweltbelastungspunkte aller Sachbilanzergebnisse addiert, erhält man eine Kennzahl, die einen Vergleich mit gleichen bzw. ähnlichen Prozesssystemen, Unternehmen oder Dienstleistungen erlaubt.⁵³¹

$$\text{ÖkoUmweltbelastungspunkte}_{\text{Stoffgruppe}} = \text{Ökofaktor}_{\text{Stoffgruppe}} \cdot \text{Output}_{\text{Stoffgruppe}} \quad [24]$$

$$\text{Umweltbelastungspunkte}_{\text{Unternehmen}} = \sum \text{Ökofaktoren}_{\text{Stoffgruppen}} \quad [25]$$

Nach einer fertiggestellten Sachbilanzmodellierung kann eine Software die Phase der Wirkungsabschätzung vereinfachen. Die Software ermöglicht schnell ermittelte Ergebnisse einer Ökobilanz für eine beliebige Wirkungskategorie. Einige in Österreich angewendete Ökobilanzsoftware werden in Abschnitt 6 angeführt. Weitere Beispiele für ähnlich konzipierte Bewertungsmethoden werden folgend der Übersichtlichkeit halber nur erwähnt:

- Ökoindex
- Schadensorientierte ökologische Bewertung nach Eco-Indicator 99
- Schadensorientierte Bewertungsmethode ReCiPe 2016
- Wirkungskategorien des Product Environmental Footprints: ILCD 2011
- LCImpact⁵³²
- Impact World+⁵³³

⁵²⁹ Vgl. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.), *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*, Bern (2021), S.55 ff.

⁵³⁰ Vgl. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.), *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit* (2021), S.55 ff.

⁵³¹ Vgl. Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.), *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit* (2021), S.55 ff.

⁵³² Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.125-135

⁵³³ Vgl. Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung* (2020), S.125-135

5.5.5 Phase 5: Auswertung der Ergebnisse

○ Beitragsanalyse

In der letzten Phase der Ökobilanzierung werden, unter Berücksichtigung der in den ersten zwei Phasen festgelegten Ziele und Systemgrenzen, die Ergebnisse aus der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zusammengefasst. Es folgen eine genaue Auswertung und eine Interpretation der Daten mit anschließenden Handlungsempfehlungen bzw. Anleitungen zum Verbesserungspotential.⁵³⁴ Die Auswertung dient zur Beantwortung der Fragestellung aus der ersten Phase der Ökobilanzierung. Ist der Bewertungsgegenstand ein Bauteil oder ein Gebäude, so kann durch die Lebenszyklusanalyse herausgefunden werden, welche Lebenszyklusphasen den größten Einfluss auf die Umweltwirkungen haben. Zusätzlich kann bei der Analyse eines Gebäudes auf jene Bauteile rückgeschlossen werden, welche über ihren jeweiligen gesamten Lebenszyklus in Summe die größten Umweltwirkungen aufweisen. Diese Technik erlaubt es zum einen Verbesserungen durchzuführen und andererseits können Vergleiche mit denselben Bewertungsgegenständen getätigt werden.⁵³⁵

○ Sensitivitätsanalyse

Wenn die Ergebnisse noch unzufriedenstellend sind, können die Anfangsdaten angepasst und die Ökobilanz wiederholt werden. Über die Sensitivitätsanalyse können bestimmte Faktoren der Ökobilanz überarbeitet werden. Eine Anpassung des Untersuchungsrahmens, die Änderung der Systemgrenzen und die Wahl von Wirkungsindikatoren und Wirkungskategorien sind Maßnahmen, die zugunsten eines positiven Ergebnisses vorgenommen werden können. Nach dem die Ökobilanz vor allem aber die Schwachstellen des Bewertungsgegenstandes aufweist, kann schließlich, wenn ein völlig neues Ziel definiert ist, auch die Fragestellung aus Phase 1 angepasst werden. Wesentlich ist hierbei die Führung einer genauen Dokumentation, um eine Nachvollziehbarkeit stets zu ermöglichen. Dementsprechend ist die Ökobilanz eine Bewertungsmethode, die über einen iterativen Prozess den Optimalfall anstrebt.⁵³⁶

Für die Durchführung einer Ökobilanzierung von Baustoffen, Bauteilen oder Gebäuden gibt es gegenwärtig eine Vielzahl an Hilfsmitteln. Sie dienen dazu den Baubeteiligten eine einfachere und zeitsparendere Anwendung zu ermöglichen. Im folgenden Abschnitt werden einige Instrumente zur Umsetzung einer ökologischen Bewertung vorgestellt.

⁵³⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.18

⁵³⁵ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.35

⁵³⁶ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.36

6 Instrumente zur Umsetzung einer ökologischen Bewertung

Es wurden bereits viele Techniken zur Bewertung der Nachhaltigkeit im Bauwesen vorgestellt. Es existieren Jahrzehnte vertraute Techniken, welche einfach und überschaubar sind, wie etwa das integrierte Dreiecksdiagramm. In diesem Fall lässt sich allerdings über die Genauigkeit und die Umsetzbarkeit in jedem Gebiet diskutieren. Diese und ähnliche Techniken dienen in vielen Fällen einer Bewertung der Nachhaltigkeit zur ersten Einschätzung und zur Entscheidungsfindung für weitere Maßnahmen etwa im Herstellungsprozess eines Bauteils oder im Entwurfsprozess eines Gebäudes. Wirtschaftliche Ansätze mit ökonomischen Leitstrategien und nachhaltige Bewertungsmethoden definieren eine präzisere Herangehensweise der Nachhaltigkeitsbewertung. Aufgrund der unüberschaubaren Umweltauswirkungen ist das Interesse für Nachhaltigkeit vor allem im Bauwesen in den letzten Jahrzehnten stark gestiegen. Für eine Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit gibt es verschiedene Ansätze für die Umsetzung. Gesetzliche Regelungen geben Vorgaben für Umweltziele an, Bundesministerien fassen Leitfäden für Ökobilanzierungen zusammen und Sachbilanzdatenbanken verschaffen einen Überblick über ökologisch unbedenkliche Baustoffe. Gegenwärtig steht eine Vielzahl an Hilfsmitteln zur Verfügung. Auf Basis der definierten Ziele und Rahmenbedingungen erstellen Forschungsinstitute Zertifizierungssysteme und bestimmen die anzustrebende Qualität für einen Gebäudestandard.

In der Bewertung der Nachhaltigkeit kann im Bauwesen der Schwerpunkt auf die Baubiologie oder die Bauökologie gelegt werden. In Abhängigkeit der zu erreichenden Ziele in einer Bewertung werden Kriterien an die drei Säulen der Nachhaltigkeit gesetzt. Das *Joint Research Centre* (JRC, dt. Gemeinsame Forschungsstelle GFS) formuliert auf ihrer Website ausführliche Informationen zu den vorhandenen Hilfsmitteln einer ökologischen Nachhaltigkeitsbewertung. Als eine Generaldirektion der Europäischen Kommission liegt der Tätigkeitsbereich dieser Forschungsstelle im Umwelt- und Gesundheitsschutz. Sie bietet eine gute Übersicht der im europäischen Raum angewendeten Anleitungen und Softwaretools für eine Ökobilanzierung und listet wesentliche Sachbilanzdatenbanken auf.⁵³⁷

Folgend lesen Sie in diesem Abschnitt eine Erläuterung ausgewählter Hilfsmittel. Untenstehende Tabelle zeigt eine Übersicht der im deutschsprachigen Raum angewendeten Standards und Zertifizierungssysteme sowie genutzten Hilfsmitteln wie Datenbanken, Softwareprogrammen und Baustofftabellen. Baustoffinformationssysteme wie etwa WECOBIS oder GISCODE aus Deutschland können ebenso in Österreich für eine Lebenszyklusanalyse herangezogen werden.

⁵³⁷ Vgl. Europäische Kommission, *European Platform on Life Cycle Assessment*, online: <https://epca.jrc.ec.europa.eu> (Zugriff: 08.06.2022)

| | DEUTSCHLAND | ÖSTERREICH | SCHWEIZ |
|--|--|--|---|
| Normen | EN ISO 14040 und 14444 Ökobilanzen – Grundsätze und Rahmenbedingungen, Anforderungen und Anleitungen | | |
| | EN 15978 und 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden Berechnungsmethode und Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte | | |
| Gebäude-standards | BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude | | SNBS Schweizer Standard Nachhaltiges Bauen |
| Gebäudezertifizierung | BREEAM/LEED | | |
| | DGNB/ÖGNI/SGNI | | |
| | BNB Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude | TQB Total Quality Building | Minergie-ECO |
| | SHI-Gebäudepass | | GI Gutes Innenraumklima |
| Merkblätter und Handlungsvorgaben | Leitfaden Nachhaltiges Bauen Informationsportal Nachhaltiges Bauen des BMUB WECOBIS Fach-Informationssystem GISCODE Richtwerte der Ad-hoc-Arbeitsgruppe von UBA + Landesgesundheitsbehörden AGÖF-Orientierungswerte | Nutzungsdauerkatalog baulicher Anlagen O13-Indikator-Leitfaden Baubook ECOSOFT/Eco2Soft | 2000-Watt-Gesellschaft SIA12/1 Nachhaltiges Bauen (Hochbau) SIA 2032 Graue Energie im Lebenszyklus SIA 2039 Mobilität – Energiebedarf in Abhängigkeit vom Gebäudestandard SNARC Eco-BKP Merkblätter ökologisches Bauen Elektronischer Bauteilkatalog Lesosai |
| | | | |
| Planungswerkzeuge/Tools | | | |
| | | | |
| | | | |
| Sachbilanz-Datenbanken und EPDs (Praxis) | Datenbank Ökobau.dat | IBO Ökokennzahlen | KBOB-Empfehlungen 1/2009 Ökobilanzdaten im Baubereich |
| | European Reference Life Cycle Database | | |
| | Environmental Product Declarations (EPDs) Typ III | | |
| Sachbilanzdatenbanken (Forschung) | GaBi-Datenbank | Ecoinvent-Datenbank | |
| Ökobilanzsoftware Gebäude (Praxis) | LEGEP | | |
| | GaBi, SimaPro, Umberto, Open LCA | | |

Tab. 6.1.: Übersicht über relevante Hilfsmittel für eine baubiologische bzw. bauökologische Nachhaltigkeitsbewertung⁵³⁸

⁵³⁸ Tabelle in Anlehnung an: El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.43

6.1 Normung zum nachhaltigen Bauen

Um die Bauökologie in die Bewertung der Nachhaltigkeit im Bauwesen integrieren zu können, stehen eine Vielzahl an Merkblättern, bauökologischen Leitfäden sowie Normen zur Verfügung. Für eine vereinfachte Umsetzung nachhaltiger Empfehlungen aus Leitfäden oder die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben existieren Zertifizierungssysteme. Diese können Auskunft über die nachhaltige Qualität des zu bewerteten Elements geben und in Abhängigkeit davon ein Gütesiegel vergeben. Im deutschsprachigen Raum angewendete Zertifizierungssysteme werden in Abschnitt 6.3 vorgestellt. Es folgt zunächst ein näherer Überblick über gesetzliche Rahmenbedingungen im nachhaltigen Bauwesen.

Die Umweltauswirkungen zufolge Bautätigkeiten werden durch einen sehr hohen Ressourcenverbrauch und einem steigenden Energieaufwand hervorgerufen. Gesetzliche Vorgaben sollen Rahmendingungen für Ressourcen- und Energieeffizienz verpflichten. Mittels Normen können ausführliche und exakte Vorgaben für den Einsatz von Baustoffen bzw. die Errichtung eines Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus festgelegt werden. Auf europäischer Ebene festgelegte Maßnahmen in Form von Verordnungen, Richtlinien oder Leitlinien müssen zunächst auf das nationale Recht transformiert werden, um im jeweiligen Land Anwendung finden zu können. Folgende Abbildung zeigt einen chronologischen Zusammenhang zwischen den Regelungen durch Normen, Richtlinien, Gesetze und Verordnungen.

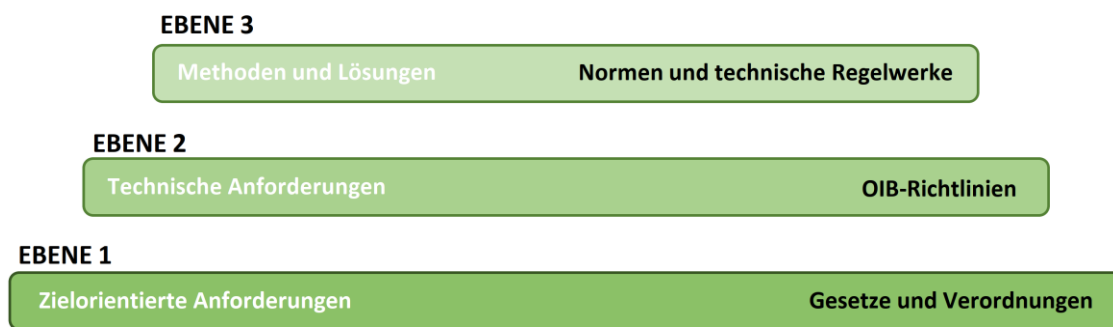


Abb. 6.1.: Stufenbau der leistungsorientierten und bautechnischen Vorschriften⁵³⁹

Aufgrund des umfangreichen Rahmens dieses Themengebietes wird in diesem Abschnitt lediglich auf die gesetzlichen und normierten Vorgaben für nachhaltiges Bauen in Österreich eingegangen.

6.1.1 Gesetzliche Vorgaben auf europäischer Ebene

Um einen internationalen Umweltschutz zu unterstützen, einigten sich die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union auf das gemeinsame Anstreben langfristiger auf die Nachhaltigkeit bezogenen Ziele. Vor allem muss im Bau- und Gebäudesektor der Energieverbrauch und der CO₂-Emissionsausstoß gesenkt werden. Durch gesetzliche Vorgaben in Form von Richtlinien und Verordnungen soll eine Energie- und Ressourceneffizienz gesteigert werden.

Die folgende Darstellung verschafft einen Überblick über die europäischen Gesetzgebungen und den national ausgeführten Rahmenbedingungen in Österreich. Im Bauwesen gibt es eine Vielzahl an rechtlichen Vorgaben, die es zu berücksichtigen gibt. Dieser Abschnitt behandelt die wesentlichen einzuhaltenden Grundsätze aus dem Bereich des umweltschonenden Bauens.

⁵³⁹ Eigene Darstellung in Anlehnung an: IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Leitfaden für ein kreislaufwirtschaftliches Planen und Konstruieren*, Wien (2020)

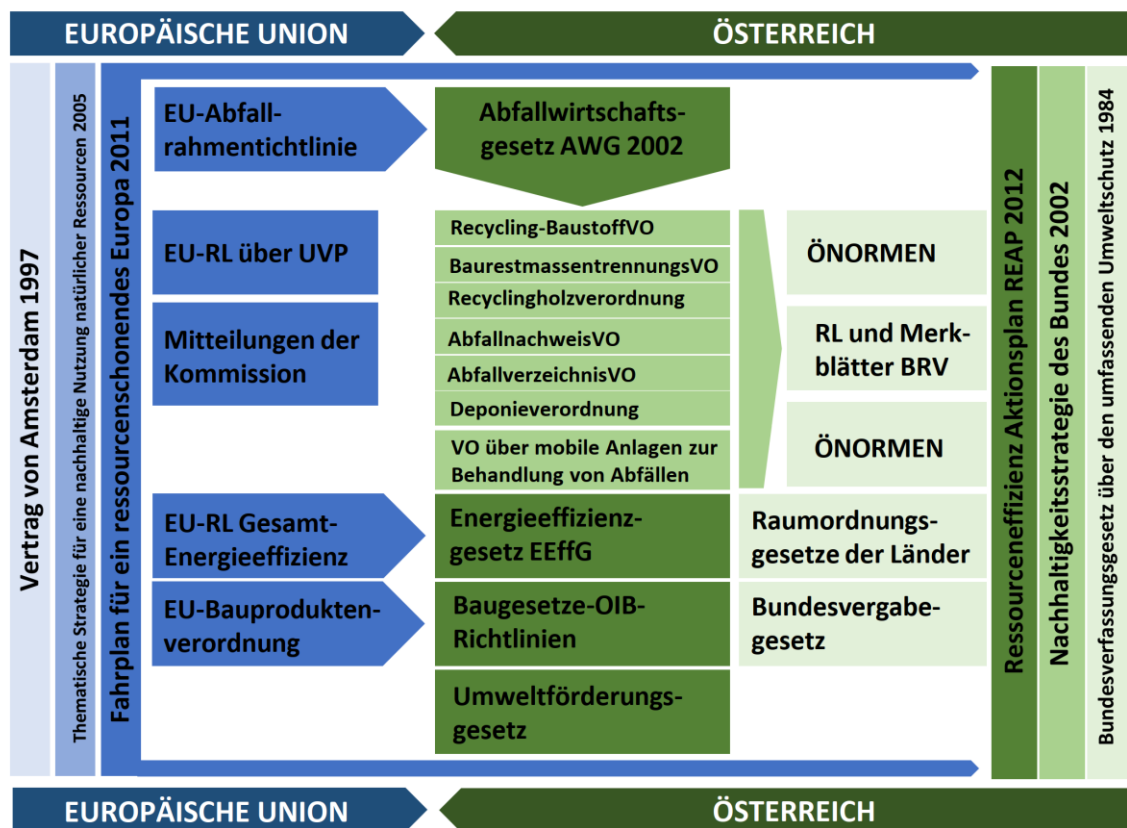


Abb. 6.2.: gesetzliche Vorgaben auf europäischer und nationaler Ebene für ein umweltgerechtes Bauen⁵⁴⁰

Die folgende Tabellenübersicht dient als Ergänzung zur obigen Darstellung und ist mit Erläuterungen zu den jeweiligen gesetzlichen Vorgaben auf europäischer und nationaler Ebene ergänzt.

⁵⁴⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Koppelhuber D., *Ressourceneffizienz im Bauwesen – Gesetzliche Rahmenbedingungen auf dem Europäischen Markt und Umsetzung in Österreich*, Masterprojekt an der Technischen Universität Graz (2015), S.23

| EUROPÄISCHE UNION | NATIONALE UMSETZUNG IN ÖSTERREICH |
|---|---|
| <p>EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden EPBD 2010/31/EU vom 15.12.2021</p> | <p>OIB Richtlinie 6 (2019 und 2015) Energieeinsparung und Wärmeschutz</p> |
| <p>Die EU-Richtlinie legt Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden fest, um Emissionen zu senken. Mit Beginn des Jahres 2021 müssen alle Neubauten in der EU als Niedrigstenergiegebäude ausgeführt werden. Darüber hinaus sollen bis 2030 Maßnahmen getroffen werden, um das Nullemissionsgebäude als neuen Standard für neue Gebäude einzuführen. Außerdem verlangt die Richtlinie eine regelmäßige Aktualisierung von Energieausweisen. Für Gebäude mit einer Gesamtenergieeffizienz der Klassen D bis G wird die Gültigkeit des Ausweises verkürzt, um die Aktualität der Informationen sicherzustellen.⁵⁴¹</p> | <p>Nationale Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU sowie der zusätzlichen Richtlinie 2018/844 zur Änderung der erstgenannten Richtlinie erfolgt in Österreich über die OIB Richtlinie 6. Diese wird durch Gesetze des Bundes und der Bundesländer umgesetzt.⁵⁴²</p> |
| <p>EU-Richtlinie über Energieeffizienz 2012/27/EU EU-Richtlinie über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen 2006/32/EG</p> | <p>Bundes-Energieeffizienzgesetz EEEffG BGBl. I Nr. 72/2014 vom 11.08.2014</p> |
| <p>Im Rahmen der Klimapolitik der Europäischen Union werden diese beiden Richtlinien beschlossen. Richtlinie 2006/32/EG schreibt allen EU-Mitgliedsstaaten eine Endenergieeinsparung von neun Prozent vor bis zum Jahr 2016.⁵⁴³ Sie wird schließlich 2012 durch die Richtlinie 2012/27/EU ergänzt und ersetzt. Hier wird neben der Reduktion der Abhängigkeit von Energieimporten auch eine maßgebliche Verringerung der Energieressourcen selbst vorgesehen.⁵⁴⁴</p> | <p>Das Bundes-Energieeffizienzgesetz setzt die Vorgaben der beiden Richtlinien 2012/27/EU und 2006/32/EG um. Das Gesetz sah vor, dass bis Ende des Jahres 2020 die Energieeffizienz von Gebäuden um 20% in Österreich gesteigert werden soll. Außerdem sollten der Anteil erneuerbarer Energien erhöht und die Treibhausgasemissionen reduziert werden.⁵⁴⁵ Gegenwärtig wird an einem neuen Gesetz gearbeitet. Bis dahin bleiben Teile dieses Gesetzes noch in Geltung. Die Ausführung und Abwicklung des EEEffG ist bis zum Ende der Verpflichtungsperiode 2020 bei der nationalen Energieeffizienz-Monitoringstelle (www.monitoringstelle.at) der Österreichischen Energieagentur angesiedelt.⁵⁴⁶</p> |

⁵⁴¹ Vgl. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

⁵⁴² Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-Richtlinie 6 (2019)

⁵⁴³ Vgl. Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 5. April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen

⁵⁴⁴ Vgl. Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz

⁵⁴⁵ Vgl. Bundesgesetz: Energieeffizienzpaket des Bundes, BGBl. Nr. 72/2014

⁵⁴⁶ Vgl. Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), *Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG)*, online: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/effizienz/recht/effizienzgesetz.html> (Zugriff: 05.04.2022)

| EU-Bauproduktenverordnung BPV Nr. 305/2011 | OIB Richtlinien 1 bis 6 |
|--|--|
| <p>Die seit 2013 gültige Bauproduktenverordnung legt harmonisierte Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten fest. Die europaweite Bereitstellung von Bauprodukten erfordert die Einhaltung von technischen Anforderungen, welche in sieben Grundanforderungen an Bauwerke zusammengefasst werden:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Mechanische Festigkeit und Standsicherheit 2. Brandschutz 3. Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz 4. Sicherheit und Barrierefreiheit bei der Nutzung 5. Schallschutz 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz 7. Nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen⁵⁴⁷ | <p>Diese Verordnungen werden in Österreich vom Österreichischen Institut für Bautechnik (OIB) in Form von sechs OIB-Richtlinien in Bezug auf die Harmonisierung der technischen Vorschriften herausgegeben. Alle neun Bundesländer haben die OIB-Richtlinien in ihren Bauordnungen für verbindlich erklärt. Gemäß den Bestimmungen der einzelnen Bundesländer kann allerdings davon abgewichen werden, wenn die Bauwerberin bzw. der Bauwerber ein gleichwertiges Schutzniveau nachweisen kann.⁵⁴⁸ Die aktuelle Fassung der OIB-Richtlinien von 2019 lautet wie folgt:⁵⁴⁹</p> <p>OIB RL 1: Mechanische Festigkeit und Standsicherheit</p> <p>OIB RL 2: Brandschutz</p> <p>OIB RL 2.1: Brandschutz bei Betriebsbauten</p> <p>OIB RL 2.2: Brandschutz bei Garagen, überdachten Stellplätzen und Parkdecks</p> <p>OIB RL 2.3: Brandschutz bei Gebäuden mit einem Fluchtniveau von mehr als 22 m</p> <p>OIB RL 3: Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz</p> <p>OIB RL 4: Nutzungssicherheit und Barrierefreiheit</p> <p>OIB RL 5: Schallschutz</p> <p>OIB RL 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz</p> <p>Eine OIB-Richtlinie 7 mit dem Thema „nachhaltige Nutzung natürlicher Ressourcen“ bzw. „Kreislaufwirtschaft“ ist gegenwärtig in Planung. Da die Bearbeitung und die Veröffentlichung einer Richtlinie mit einem hohen Zeitaufwand verbunden sind, ist eine Publikation allerdings erst im Jahr 2027 zu erwarten.⁵⁵⁰</p> |

⁵⁴⁷ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), Leitfaden für ein kreislaufwirtschaftliches Planen und Konstruieren (2020)

⁵⁴⁸ Vgl. Österreich.gv.at, *Baurecht und Bauordnung*, online: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/Seite.2260200.html (Zugriff: 18.08.2022)

⁵⁴⁹ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *OIB-Richtlinien 2019*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019> (Zugriff: 18.08.2022)

⁵⁵⁰ Experteninterview mit Vertretern des Österreichischen Instituts für Bautechnik vom 31.03.2022

| EU-Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG vom 19.11.2008 | Abfallwirtschaftsgesetz AWG Novelle 2010: BGBl. Nr. 9/2011 |
|--|--|
| <p>Über die Abfallrahmenrichtlinie wird seit November 2008 in EU Mitgliedstaaten der Rechtsrahmen für den Umgang mit Abfällen in der Gemeinschaft festgelegt. Es werden grundlegende Anforderungen an die Bewirtschaftung von Abfällen gelegt. Es werden auch zu treffende Maßnahmen für einen Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft bestimmt.⁵⁵¹</p> <p>Die EU-Abfallrahmenrichtlinie beschreibt eine fünfstufige EU Abfallhierarchie, welche nach Priorität wie folgt aufgelistet ist:⁵⁵²</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. VERMEIDUNG: Vermeidung von Abfall durch Verlängerung der Lebensdauer von Bauteilen und Materialien 2. WIEDERVERWENDUNG: (Re-Use) Verringerung des Ressourcen- und Energieverbrauchs durch Prüfung, Reinigung bzw. Reparatur von zu Abfall gewordenen Produkten zur weiteren Funktionstüchtigkeit 3. RECYCLING: stoffliche Verwertung zur Rückführung in den Wirtschaftskreislauf oder Mischform aus stofflicher und energetischer Verwertung 4. VERWERTUNG: Rückführung in den Stoffkreislauf – biologisch, mechanisch-biologisch, chemisch-physikalisch, thermisch 5. BESEITIGUNG: biologische, thermische, chemische, physikalische Behandlungsverfahren inkl. möglichst reaktionsarmer Ablagerung | <p>Die Umsetzung der EU-Abfallrahmenrichtlinie erfolgt in Österreich durch das Abfallwirtschaftsgesetz AWG mit dem Ziel eine nachhaltige Abfallwirtschaft zu erreichen und somit negativen und gesundheitsgefährdenden Auswirkungen auf die Menschen und Tiere sowie Umwelt zufolge Abfallwirtschaft zu reduzieren.</p> <p>Angelehnt an die EU-Abfallrahmenrichtlinie werden weitere folgende Bundesgesetzblätter verkündet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Recycling – Baustoffverordnung BGBl. II Nr. 181/2015 vom 29.06.2015: „<i>Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Pflichten bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten, die Trennung und die Behandlung von bei Bau- oder Abbruch Tätigkeiten anfallenden Abfällen, die Herstellung und das Abfallende von Recycling-Baustoffen</i>“⁵⁵³ • Recyclingholzverordnung BGBl. II Nr. 160/2012 vom 15.05.2012: „<i>Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie</i>“⁵⁵⁴ • Baurestmassentrennungsverordnung BGBl. II Nr. 259/1991 vom 05.06.1991: „<i>Verordnung des Bundesministers für Umwelt, Jugend und Familie über die Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien</i>“⁵⁵⁵ • Deponieverordnung BGBl. Nr. 39/2008 vom 01.03.2008: „<i>Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien</i>“⁵⁵⁶ • Umweltförderungsgesetz BGBl. Nr. 185/1993 vom 01.04.1993: „<i>Bundesgesetz über die Förderung von Maßnahmen in den Bereichen der Wasserwirtschaft, der Umwelt, der Altlastensanierung des Flächenrecyclings, der Biodiversität und zum Schutz der Umwelt im Ausland sowie über das österreichische J/CDM-Programm für den Klimaschutz</i>“⁵⁵⁷ |

Tab. 6.2.: Gesetzliche Vorgaben auf europäischer Ebene und ihre Umsetzung in Österreich

⁵⁵¹ Vgl. Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien

⁵⁵² Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), Leitfaden für ein kreislaufwirtschaftliches Planen und Konstruieren (2020)

⁵⁵³ Vgl. Bundesverordnung: Recycling-Baustoffverordnung, BGBl. II Nr. 181/2015

⁵⁵⁴ Vgl. Bundesgesetz: Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV), BGBl. III Nr. 160/2012

⁵⁵⁵ Vgl. Bundesgesetz: Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien, BGBl. Nr. 259/1991

⁵⁵⁶ Vgl. Bundesverordnung: Deponieverordnung 2008, BGBl. II Nr. 39/2008

⁵⁵⁷ Vgl. Bundesgesetz: Umweltförderungsgesetz, BGBl. Nr. 185/1993

Für ein besseres Verständnis wird folgend auf einige, in diesem Abschnitt erwähnte, Begriffe nochmal eingegangen.

○ Gebäuderichtlinie (Energy Performance of Buildings Directive)

Die EU-Gebäuderichtlinie über Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD engl. Energy Performance of Buildings Directive) ist einer der wichtigsten Rechtsinstrumente der EU zur Unterstützung der Energieeffizienz im Bau- und Gebäudesektor.⁵⁵⁸

Das **EPB-Normenpaket** (engl. Energy Performance of Buildings Standards) dient nach den Bestimmungen der Gebäuderichtlinie zur Berechnung und Förderung der Energieeffizienz von Gebäuden. Durch die Verwendung der europäischen Norm wird eine internationale Transparenz in der Energieeffizienzbewertung ermöglicht. Die einzelnen Nationen können die Richtlinie an individuelle Klimabedingungen, Bautraditionen oder rechtlichen Rahmenbedingungen anpassen. Die EPB-Hauptnorm stellt die EN ISO 52000-1 dar.⁵⁵⁹ Mit einer umfassenden Struktur und einer vorgegebenen Matrix, wird eine Vereinheitlichung der EPB-Normen erzielt. Die Berechnung der Gesamtenergieeffizienz nach EPB umfasst folgende Aspekte:

- Thermische Gebäudehülle
- Heizungsanlage
- Klimaanlage
- Belüftung
- Eingebaute Beleuchtung
- Lage und Ausrichtung des Gebäudes; Außenklima
- Passive Solarsysteme und Sonnenschutz
- Natürliche Bellüftung
- Innenraumklimabedingungen⁵⁶⁰

Ausgewiesen wird die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes durch den **Energieausweis**. Entsprechend der EU-Gebäuderichtlinie sowie den EU-Richtlinien über Energieeffizienz und jener über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen wird in Österreich das Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG) umgesetzt. Der Energieausweis gibt den Primärenergieverbrauch eines Gebäudes an und ordnet Gebäude in Energieverbrauchsklassen ein. Dadurch ist eine schnelle Beurteilung und gleichzeitig ein einfacher Vergleich mit anderen Gebäuden möglich.⁵⁶¹

Gemäß Gebäuderichtlinie wird seit 2021 für Neubauten mindestens eine Energieverbrauchsklasse auf Niveau von **Niedrigstenergiegebäude** vorgeschrieben. Für behördliche Gebäude gilt dies bereits seit 2019. Vor allem kann dieses Niveau durch eine intelligente Steuerung der Wärmeerzeuger erreicht werden, indem die Raumtemperaturen individuell an die Nutzung angepasst werden. Für den Energiebedarf wird zu mindestens ein Anteil aus erneuerbaren Quellen vorgeschrieben.⁵⁶²

○ Bauproduktenverordnung

Die Bauproduktenverordnung 305/2011 wird 2011 zur Festlegung harmonisierte Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten eingeführt. Ziel ist die Vereinheitlichung der Anforderungen für

⁵⁵⁸ Vgl. Europäische Kommission, *Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, Europäische Kommission Brüssel (2021)

⁵⁵⁹ Vgl. Bundesgesetz: Energieeffizienzpaket des Bundes, BGBl. Nr. 72/2014

⁵⁶⁰ Vgl. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

⁵⁶¹ Vgl. Mayer H., *Energieausweis – Die ÖNORM H 5055*, Wien (2003)

⁵⁶² Vgl. Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG), online: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/effizienz/recht/effizienzgesetz.html> (Zugriff: 05.04.2022)

Bauprodukte im EU-Bauproduktenmarkt. Im gesamten EU-Raum wird aufgrund gleicher Regelungen die Nutzung von Bauprodukten erleichtert.

Hersteller von Bauprodukten müssen zur Konformität der Anforderungen an die Bauprodukte, jedes Produkt mit einer Leistungserklärung erstellen. Dies erfolgt grundsätzlich für alle Produkte für die im Amtsblatt der EU eine **harmonisierte Norm (hEN)** kundgemacht wurde. Für jene Produkte, die in den hEN nicht oder nicht vollständig erfasst sind, kann eine Europäische Technische Bewertung (ETB), zur anschließenden Erstellung einer Leistungserklärung, durchgeführt werden. Bauprodukte, welche mit einer Leistungserklärung erstellt werden, müssen mit einer CE-Kennzeichnung versehen werden.⁵⁶³

Die Bauproduktenverordnung schreibt für die harmonisierten Normen Verfahren und Kriterien zur einheitlichen Leistungsbewertung von Bauprodukten vor. Gemäß Artikel vier und sechs der Bauproduktenverordnung⁵⁶⁴ sind Hersteller von Bauprodukten dazu verpflichtet, die Konformität ihrer Produkte durch eine Leistungserklärung zu erfassen. Artikel acht verpflichtet den Hersteller eines Bauproduktes zusätzlich zur Aufbringung der **CE-Kennzeichnung** auf das Produkt. Somit übernimmt der Hersteller die Verantwortung für die Konformität des Produktes mit der erklärten Leistung. Produkte, welche mit CE-Kennzeichnung erfasst sind, dürfen von den Mitgliedsstaaten der EU nicht vom Verkauf untersagt werden. Für ein nachhaltiges Gebäude müssen alle angewendeten Baustoffe die CE-Kennzeichnung tragen.⁵⁶⁵ Die CE-Kennzeichnung stellt allerdings kein Qualitätssiegel dar, sondern gibt lediglich Auskunft darüber, dass der Hersteller die Anforderungen an das von ihm betriebene Produkt erfüllt.

6.1.2 Gesetzliche Vorgaben auf nationaler Ebene

Für ein umweltschonendes Bauen und Planen werden auf nationaler Ebene folgende Gesetze bzw. Verordnungen genutzt.

- Recycling – Baustoffverordnung BGBl. II Nr. 181/2015 vom 29.06.2015
- Recyclingholzverordnung BGBl. II Nr. 160/2012
- Verordnung über die Trennung von Bautätigkeiten anfallenden Materialien – Baurestmassentrennungsverordnung – BGBl. II Nr. 259/1991
- Deponieverordnung BGBl. Nr. 39/2008
- Bundesvergabegesetz BGBl. Nr. I 17/2006
- Raumordnungsgesetz der einzelnen Bundesländer
- Baugesetze der einzelnen Bundesländer
- Umweltförderungsgesetz BGBl. Nr. 185/1993⁵⁶⁶

6.1.3 Technische Regelwerke auf europäischer Ebene

Grundsätzlich versteht man unter einer Norm eine Empfehlung, welche in Form einer Leitlinie formuliert werden kann. Eine Norm ist ein freiwillig anzuwendender Standard, der erst durch einen Gesetzgeber verpflichtet werden kann. Bund oder Bundesländer können Normen oder auch Teile von Normen sowie auch Richtlinien durch Gesetze oder auch Verordnungen für rechtlich verbindlich erklären.

⁵⁶³ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *Bauproduktenverordnung*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/node/150186> (Zugriff: 18.08.2022)

⁵⁶⁴ Vgl. Europäische Kommission, *Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, Europäische Kommission Brüssel (2021)

⁵⁶⁵ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *Bauproduktenverordnung*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/node/150186> (Zugriff: 18.08.2022)

⁵⁶⁶ Vgl. Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *OIB-Richtlinien 2019*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019> (Zugriff: 18.08.2022)

So wurden auch die OIB-Richtlinien, welche die bautechnischen Vorschriften in Österreich harmonisieren, in allen Bundesländern Österreichs in der jeweiligen Bauordnung für verbindlich erklärt.⁵⁶⁷

Der in Normen festgelegte Europäische Standards wird in den Technischen Komitees (TC) der Europäischen Normungsorganisation entwickelt. Neben dem Europäischen Komitee für elektrotechnische Normung (CENELEC frz. Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) und dem Europäischen Institut für Telekommunikationsnormen (ETSI engl. European Telecommunications Standards Institute) ist vor allem das Europäische Komitee für Normung (CEN frz. Comité Européen de Normalisation) für alle weiteren technischen Bereiche verantwortlich. Mit dem Auftrag standardisierte Methoden zur Bewertung von etwa Nachhaltigkeitsaspekten zu definieren, entwickelt die CEN basierend auf gesicherten Ergebnissen in der Wissenschaft und in der Technik die europäischen Normen. Diese werden vom österreichischen Normungsinstitut (Austrian Standards) unverändert übernommen und auf nationaler Ebene als ÖNORMEN EN bezeichnet.⁵⁶⁸ Es folgt eine Auflistung einiger, die Nachhaltigkeit im Bauwesen betreffenden, ÖNORMEN.

⁵⁶⁷ Vgl. IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Leitfaden für ein kreislaufwirtschaftliches Planen und Konstruieren* (2020)

⁵⁶⁸ Vgl. oesterreich.gv.at, Nationale/Europäische/Internationale Normen, online: https://www.oesterreich.gv.at/themen/dokumente_und_recht/normen/Seite.2560002.html (Zugriff 14.01.2023)

| Ökologische Qualität | |
|--|---|
| ÖNORM EN 15643 (2021-12-15) | Nachhaltigkeit von Bauwerken - Allgemeine Rahmenbedingungen zur Bewertung von Gebäuden und Ingenieurbauwerken |
| ÖNORM EN 15978-1 (2012-10-01) | Nachhaltigkeit von Bauwerken – Methodik zur Bewertung der Qualität von Gebäuden – Teil 1: Umweltqualität |
| Umweltzeichen und Umweltproduktdeklarationen | |
| ÖNORM EN 15804 (2022-02-15) | Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte |
| ÖNORM EN 15942 (2022-04-01) | Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Kommunikationsformate zwischen Unternehmen |
| ÖNORM EN ISO 14021 (2021-11-01) | Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltbezogene Anbietererklärungen (Umweltkennzeichnung Typ II) |
| ÖNORM EN ISO 14024 (2018-08-01) | Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltkennzeichnung Typ I - Grundsätze und Verfahren |
| ÖNORM EN ISO 14025 (2010-07-01) | Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Typ III Umweltdeklarationen - Grundsätze und Verfahren |
| DIN CEN/TR 15941 (2010-05) | Nachhaltigkeit von Bauwerken - Umweltproduktdeklarationen - Methoden für Auswahl und Verwendung von generischen Daten |
| Ökobilanzen | |
| ÖNORM EN ISO 14040 (2009-11-01) | Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen |
| ÖNORM EN ISO 14044 (2006-10-01) | Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen |

Tab. 6.3.: Liste ausgewählter ÖNORMEN auf europäischer Ebene

Für ein besseres Verständnis wird folgend auf einige, in diesem Abschnitt erwähnte, Begriffe nochmal eingegangen.

- Umweltkennzeichnungen

Eine Umweltkennzeichnung, auch Umweltzeichen, ist ein Gütesiegel (Qualitätssiegel), welches ein Produkt oder auch eine Dienstleistung kennzeichnet. Ein Umweltzeichen gibt bekannt, dass das markierte Produkt einem gesetzeskonformen und gleichzeitig einem durch eine Forschungsstelle abgestimmten Standard entspricht. Die Kennzeichnung durch ein Umweltzeichen erfolgt auf freiwilliger

Basis. Gegenwärtig wird die Vergabe von Gütesiegel durch verschiedene Prüfinstitute oder auch durch behördliche Institutionen angeboten. Die Symbolik eines Gütesiegels wird individuell durch das jeweilige Institut entwickelt. Einige Umweltzeichen haben durch ihr Gütesiegel bereits allgemeine Bekanntheit in der Gesellschaft erlangt und versprechen dem Kunden somit eine gewisse Qualität. Grundsätzlich wird zwischen den Umweltkennzeichen Typ-I, Typ-II und Typ-III unterschieden.⁵⁶⁹

Anforderungen an das **Umweltzeichen Typ-I** sind in der EN ISO 14024 festgelegt. Ein durch ein Umweltzeichen vom Typ I markiertes Produkt, Baustoff oder etwa auch eine Veranstaltung bzw. Tätigkeit, weist eine besonders gute Umweltleistung auf. Die Ansprüche an ein Typ-I Umweltzeichen wird durch charakteristische Grenzwerte und qualitative Anforderungen bestimmt. Indem die Anforderungen an das Umweltzeichen regelmäßig an den neuesten Stand der Technik und der Wissenschaft angepasst werden, wird dafür gesorgt, dass ein gewisser Prozentsatz der mit Typ-I gekennzeichneten Produkte auf dem Markt erhalten bleibt.⁵⁷⁰ Vergeben wird das Umweltzeichen in Form eines Gütesiegels durch eine dritte Institution. Ein bestimmtes Umweltzeichen vom Typ-I für ein Produkt oder eine Dienstleistung gibt Auskunft über die Prüfung zur Vergabe des Gütesiegels. Mit dieser Methode können innerhalb einer Produktgruppe jene Produkte hervorgehoben werden, welche umweltfreundlichere Merkmale als andere aufweisen. Typische Umweltzeichen im deutschsprachigen Raum sind der Blaue Engel, das natureplus-Qualitätszeichen, das IBO-Prüfzeichen oder das Österreichische Umweltzeichen. In Abschnitt 6.3 wird auf die erwähnten Umweltkennzeichen detaillierter eingegangen. In allen Fällen werden die Prüfkriterien zur Vergabe eines Qualitätssiegel genau definiert und als Orientierung werden bereits zertifizierte Produkte zur Unterstützung bekannt gegeben.⁵⁷¹ Ein großer Vorteil der Typ-I Umweltzeichen ist der direkte Vergleich verschiedener Produkte. Viel komplexer ist allerdings der Vergleich zwischen Baustoffen. Da für die Bewertung eines Baustoffes der gesamte Lebenszyklus betrachtet werden muss, können für die Nutzung, also nach Einbau in ein Gebäude, sowie für die Entsorgung, also in Form von bspw. einer Wiederverwendung oder Wiederverwertung, die Umweltauswirkungen nur abgeschätzt werden. Ein weiterer Kritikpunkt von Typ-I Umweltzeichen ist die beliebige Auswahl an Prüfkriterien und Prüfmethoden. Als Hersteller eines Produktes muss zunächst geprüft werden, welche Labels bzw. welche Gütesiegel die geeigneten Kriterien für ein bestimmtes Bauprodukt bewerten. Außerdem kann in Abhängigkeit des Bauproduktes, das für eine bessere Bewertung geeignetere Label ausgewählt werden. Auch wenn mehrere Labels für ein Bauprodukt in Frage kämen, kann es sein, dass der Hersteller aus Kostengründen sich auf ein Label begrenzt und somit das Produktportfolio stark einschränken muss.⁵⁷²

Ein **Typ-II Umweltzeichen** stellt eine sogenannte Selbstdeklaration dar. Hiermit kann ein Hersteller ein bestimmtes Produkt durch eine unabhängige Prüfung für gewisse umwelt- oder gesundheitsrelevante Eigenschaften hervorheben. Dennoch sind hierfür gewisse Regelungen durch die EN ISO 14021 festgelegt. In der Vermarktung möglich verwendete Begriffe wie „kompostierbar“, „recyclingfähig“ oder „reduzierter Energieverbrauch“ sind durch die Norm genau definiert. Einige Begriffe wie „umweltfreundlich“, „grün“ oder „nachhaltig“ sind im Zusammenhang mit dem Umweltzeichen Typ-II nicht gestattet. Auch die Symbolik für die Bestimmung des Umweltzeichens ist durch gewisse Regelungen begrenzt. So darf etwa das sogenannte Drei-Pfeile-Symbol nur bei nachweislich recycelten Produkten angewendet werden. Der Vorteil dieser Kennzeichnung von Produkten bleibt dennoch die individuelle Vermarktung in Abhängigkeit der Kundenwünsche sowie die Hervorhebung gewisser Produkteigenschaften. Mit dieser Technik kann der Hersteller allerdings von bestimmten Merkmalen des Produktes

⁵⁶⁹ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Umweltzeichen und Umweltdeklarationen*, online: <https://www.ibo.at/materialoekologie/umweltzeichen-fuer-bauprodukte/ibo-pruefzeichen/umweltzeichen-und-umweltdeklarationen> (Zugriff 14.01.2023)

⁵⁷⁰ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Umweltzeichen und Umweltdeklarationen*, online: <https://www.ibo.at/materialoekologie/umweltzeichen-fuer-bauprodukte/ibo-pruefzeichen/umweltzeichen-und-umweltdeklarationen> (Zugriff 14.01.2023)

⁵⁷¹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.21

⁵⁷² Vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), *Umweltzeichen*, online: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> (Zugriff 14.01.2023)

wiederum ablenken. Ein Umweltzeichen vom Typ-II hat im Vergleich zu den Umweltzeichen vom Typ-I oder Typ-III eine geringere Aussagefähigkeit.⁵⁷³

Regelungen für ein **Typ-III Umweltzeichen** sind in EN ISO 14025 festgelegt. Der wesentliche Unterschied zu den bereits definierten Typen an Umweltzeichen ist, dass hier nicht etwa bestimmte Produkteigenschaften bewertet werden oder ein Zertifikat vergeben wird. Für die auch als **Umweltproduktdeklarationen** (EPD engl. Environmental Product Declaration) bezeichnete dritte Form der Umweltzeichen, werden über ein Produkt quantitative Informationen zu Umweltindikatoren bekannt gegeben. Als Basis dieser Umweltdeklaration gelten Ökobilanzen eines Produktes, welche Auskunft über umweltrelevante Daten für ein Bauprodukt geben.⁵⁷⁴ Das Ziel ist es eine transparente Informationsbereitstellung zu gewährleisten. In der Bauproduktenverordnung werden Umweltproduktdeklarationen zur Bewertung der nachhaltigen Nutzung natürlicher Ressourcen auf Gebäudeebene genannt.⁵⁷⁵ Als Hersteller eines Bauproduktes müssen für eine Verifizierung zunächst ein Hintergrundbericht mit den erforderlichen Ökobilanzdaten sowie ein Prüfzeugnis durch ein unabhängiges externes Institut aufbereitet werden. Eine Deklaration dieser Art bleibt schließlich ohne Bewertung des Produktes aus. Ein Typ-III Umweltzeichen gibt demnach keine tatsächlichen Informationen über die Umweltfreundlichkeit des Produktes bekannt. Der Nutzer eines durch Typ-III Umweltzeichen verifizierten Produktes kann die Produktinformationen eigenständig bewerten indem eigene Bewertungsmaßstäbe angelegt werden. Der Fokus kann daher individuell auf für den Nutzer relevante Eigenschaften gelegt werden. Das Ziel ist es dem Kunden alle das Produkt betreffenden Informationen transparent wiederzugeben.⁵⁷⁶

Die ÖNORM EN 15804 dient als Grundlage für Umweltproduktdeklarationen für Bauprodukte, Bauleistung und Bauprozesse. Die Norm gibt Informationen über zu definierende Parameter. Umweltproduktdeklarationen unterscheiden sich grundsätzlich durch das Lebenszyklusmodell. Die Norm schreibt in Abhängigkeit zum gewählten Lebenszyklusmodell vor welche Phasen im Lebenszyklus eines Produktes und welche Prozesse in den einzelnen Lebenszyklusphasen zu berücksichtigen sind. Die Lebenszyklusphasen sind wie folgt aufgeteilt:

- A 1-3 Herstellungsphase
- A 4-5 Errichtungsphase
- B 1-7 Nutzungsphase
- C 1-4 Entsorgungsphase
- D Vorteile und Belastungen außerhalb der Systemgrenzen⁵⁷⁷

⁵⁷³ Vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), *Umweltzeichen*, online: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> (Zugriff 14.01.2023)

⁵⁷⁴ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.21

⁵⁷⁵ Vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), *Umweltzeichen*, online: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> (Zugriff 14.01.2023)

⁵⁷⁶ Vgl. Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), *Umweltzeichen*, online: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> (Zugriff 14.01.2023)

⁵⁷⁷ Vgl. Pech A. (Hrsg.) et al., *Ziegel im Hochbau. Theorie und Praxis*, Birkhäuser Basel, 2. Auflage, Wien (2015), S.366

| | | Informationen zur Beschreibung des Gebäudes | | | | | | | | | | | | | | | | ergänzende Informationen nach dem Lebensweg des Gebäudes | |
|-----|--|--|-----------|-------------|-----------------------|--------------|-----------------------|----------------|-----------|--------|--------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|-------------|--|-----------------------|
| | | Informationen zur Gebäudelebenszyklusphase - Stadium | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | A1-3 | | | A4-5 | | B1-7 | | | | | | | C1-4 | | | | | |
| | | PRODUKT | | | BAUPROZESS | | NUTZUNG | | | | | | | ENDE LEBENSWEG | | | | | |
| | | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | C1 | C2 | C3 | C4 | | |
| | | Rohstoff Bereitstellung | Transport | Herstellung | Transport | Bau / Einbau | Nutzung | Instandhaltung | Reparatur | Ersatz | Umbau / Erneuerung | betrieblicher Energieeinsatz | betrieblicher Wassereinsatz | Abbruch | Transport | Abfallbewirtschaftung | Deponierung | Wiederverwertungs-Rückgewinnung-Recycling-Potenzial | |
| EPD | von der Wiege bis zum Werkstor deklarierte Einheit | Pflicht | | | | | | | | | | | | | | | | kein RSL | |
| | Wiege bis Werkstor mit Optionen deklarierte Einheit / funktionelle Einheit | Pflicht | | | Einbeziehung optional | | Einbeziehung optional | | | | | | | Einbeziehung optional | | | | RSL wenn alle Szenarien gegeben sind | Einbeziehung optional |
| | von der Wiege bis zur Bahre Funktionelle Einheit | Pflicht | | | Pflicht | | Pflicht | | | | | | | Pflicht | | | | | Einbeziehung optional |

Abb. 6.3.: EPD-Arten, Lebenszyklusstadien und dazugehörige Module zur Beurteilung von Gebäuden⁵⁷⁸

Für Umweltproduktdeklarationen werden folgende Indikatoren für Umweltauswirkungen herangezogen:

- Potenzial für den abiotischen Ressourcenabbau als Faktor angegeben
- Versauerung von Boden- und Wasserressourcen in kg SO₂-Äquiv.
- Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht in kg CFC-11-Äquiv.
- Eutrophierung in kg PO₄-3-Äquiv.
- Bildung von bodennahem Ozon in kg C₂H₄-Äquiv.
- Treibhauspotenzial in kg CO₂-Äquiv.⁵⁷⁹

Weiteres werden die folgenden Indikatoren für den Einsatz von Ressourcen ermittelt:

- erneuerbare Primärenergie oder Energieträger als Rohstoffe in MJ
- erneuerbare Energieträger als Rohstoffe in MJ
- Gesamteinsatz erneuerbarer Primärenergie in MJ
- nicht erneuerbare Primärenergie oder Energieträger als Rohstoffe in MJ
- nicht erneuerbare Energieträger als Rohstoffe in MJ
- Gesamteinsatz nicht erneuerbarer Primärenergie in MJ
- Einsatz von Sekundärstoffen in kg
- Einsatz von erneuerbaren Sekundärbrennstoffen in kg
- Einsatz von nicht erneuerbaren Sekundärbrennstoffen in kg
- Einsatz von Süßwasserressourcen in l⁵⁸⁰

Schließlich können noch zusätzliche Informationen über Umweltaspekte gesammelt werden:

- gefährlicher Abfall zur Deponierung
- entsorgter nicht gefährlicher Abfall
- entsorgter radioaktiver Abfall
- Komponenten für die Weiterverwendung

⁵⁷⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Pech A. (Hrsg.) et al., *Ziegel im Hochbau* (2015), S.365

⁵⁷⁹ Vgl. Pech A. (Hrsg.) et al., *Ziegel im Hochbau* (2015), S.365

⁵⁸⁰ Vgl. Pech A. (Hrsg.) et al., *Ziegel im Hochbau* (2015), S.365

- Stoffe zum Recycling
- Stoffe für die Energierückgewinnung
- exportierte Energie⁵⁸¹

Die gesammelten Informationen dienen im Sinne der ÖNORM EN 15804 als quantifizierte Umweltdaten einem Vergleich mit anderen Bauwerken zur Beschreibung und Beurteilung von Gebäuden.

6.1.4 Technische Regelwerke auf nationaler Ebene

Das Österreichische Normungsinstitut entwickelt auch technische Regelwerke auf nationaler Ebene. Die folgenden Regelwerke definieren Bestimmungen zu Planung, Ausschreibung und Ausführung von Bauwerken.

| | |
|------------------------------------|---|
| ÖNORM B 1801-1 (2022-03-01) | Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 1: Objekterrichtung |
| ÖNORM B 1801-2 (2011-04-01) | Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 2: Objekt-Folgekosten |
| ÖNORM B 1801-4 (2014-04-01) | Bauprojekt- und Objektmanagement - Teil 4: Berechnung von Lebenszykluskosten |
| ÖNORM B 2251 (2020-09-01) | Abbrucharbeiten – Werkvertragsnorm |
| ÖNORM B 3151 (2022-05-15) | Rückbau von Bauwerken als Standardabbruchmethode |
| ÖNORM B 3140 (2020-11-01) | Rezyklierte Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Anwendungen sowie für Beton |
| ÖNORM S 2126 (2016-02-01) | Grundlegende Charakterisierung von Aushubmaterial vor Beginn der Aushub- oder Abräumtätigkeit |
| ÖNORM H 5056-1 (2019-01-15) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Heiztechnikenergiebedarf |
| ÖNORM H 5056-2 (2019-11-01) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 2: Heiztechnikenergiebedarf – Validierungsbeispiele |
| ÖNORM H 5057-1 (2019-01-15) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Raumluftechnikenergiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude |
| ÖNORM H 5057-2 (2019-11-01) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 2: (Validierungsbeispiel) Raumluftechnikenergiebedarf für Wohn- und Nichtwohngebäude |
| ÖNORM H 5058-1 (2019-01-15) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 1: Kühltechnikenergiebedarf |
| ÖNORM H 5058-2 (2019-11-01) | Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden - Teil 2: Kühltechnikenergiebedarf – Validierungsbeispiele |
| ÖNORM S 5280-2 (2021-07-15) | Radon - Teil 2: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden |
| ÖNORM S 5280-3 (2005-06-01) | Radon - Teil 3: Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden |

Tab. 6.4.: Liste ausgewählter ÖNORMEN auf nationaler Ebene

⁵⁸¹ Vgl. Pech A. (Hrsg.) et al., *Ziegel im Hochbau* (2015), S.365

6.2 Sachbilanzdatenbanken und Planungswerkzeuge

Die gesundheitlichen Auswirkungen von gewissen Baustoffen bzw. Materialien auf Mensch und Umwelt sind individuell. Die richtige Wahl zu treffen, erweist sich vor allem auf Grund der Vielfalt an ökologisch nachhaltigeren Baustoffen nicht sehr einfach. Um dieser Komplexität entgegenzuwirken, existieren gegenwärtig überschaubare Datenbanken, welche eine Vielzahl an Datensätzen zu ökologisch nachhaltigen Baustoffen zusammenfassen. Folgend werden einige im deutschsprachigen Raum relevante Datensammlungen für ausgewertete Lebenszyklusanalysen vorgestellt. Diese stehen als frei verfügbare Baustoffdatenbanken im Internet zur Verfügung. Gesammelte Kenndaten über Stoff- und Energiedaten aus einem Herstellungsprozess werden aus verschiedenen Fertigungsanlagen ermittelt und schließlich als Mittelwerte bzw. als repräsentative Einzelwerte in die Sachbilanzdatenbanken übernommen.⁵⁸² Sie dienen einer größeren Transparenz und besseren Nachvollziehbarkeit sowie Überschaubarkeit. Neben der präzisen Dokumentation von Bauprodukten werden schließlich auch qualitative Eigenschaften gefasst.

⁵⁸² Vgl. El Khouli Se. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.42

6.2.1 Sachbilanzdatenbanken in der Praxis

o ÖKOBAUDAT



Die deutsche Plattform ÖKOBAUDAT wird vom Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) für die Ökobilanzierung von Bauwerken zur Verfügung gestellt. Die Online-Datenbank fasst Ökobilanz-Datensätze zu Baumaterialien, Bau-, Transport-, Energie- und Entsorgungsprozessen zusammen. Ziel ist die Vereinheitlichung sowie Internationalisierung der Datenbasis. Hierfür werden internationale Ökobilanzdaten und deren Datenbestände aufgenommen.⁵⁸³

Gegenwärtig verfügt die ÖKOBAUDAT über 1400 Datensätze für Bauprodukte und wird laufend aktualisiert. Neben allgemeinen Datensätzen bietet ÖKOBAUDAT ebenso verbandspezifische Datensätze aus den sogenannten Umweltproduktdeklarationen (engl. Environmental Product Declaration EPD) an. Diese erfüllen neben den Anforderungen gemäß ÖNORM EN 15804 (Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltproduktdeklarationen) zusätzlich spezifische Anforderungen darüber hinaus. ÖKOBAUDAT Daten beruhen auf die Datenbasis der Hintergrunddatenbank GaBi, welche eine auf Forschung basierte Datensammlung darstellt.⁵⁸⁴

Die gesammelten Datensätze geben Informationen über verschiedene Indikatoren in den einzelnen Lebensphasen eines Bauproduktes. Berücksichtigt werden die Lebenszyklusphasen Herstellung, Transport, Einbau, Abfallbehandlung sowie Recyclingpotenzial. Es werden folgende Indikatoren zur Ökobilanzierung herangezogen.

Input:

- **PERE** Erneuerbare Primärenergie - als Energieträger
- **PERM** Erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff
- **PERT** Erneuerbare Primärenergie - total
- **PENRE** Nicht erneuerbare Primärenergie - als Energieträger
- **PENRM** Nicht erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff
- **PENRT** Nicht erneuerbare Primärenergie – total
- **SM** Einsatz von Sekundärstoffen
- **RSF** Erneuerbare Sekundärbrennstoffe
- **NRSF** Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe
- **FW** Einsatz von Süßwasserressourcen⁵⁸⁵

Output:

- **HWD** Gefährlicher Abfall zur Deponie
- **NHWD** Entsorgter nicht gefährlicher Abfall
- **RWD** Entsorgter radioaktiver Abfall
- **CRU** Komponenten für die Wiederverwendung
- **MFR** Stoffe zum Recycling
- **MER** Stoffe für die Energierückgewinnung
- **EEE** Exportierte elektrische Energie
- **EET** Exportierte thermische Energie⁵⁸⁶

⁵⁸³ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

⁵⁸⁴ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

⁵⁸⁵ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

⁵⁸⁶ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

Weitere Umweltindikatoren:

- **GWP** Globales Erwärmungspotenzial
- **ODP** Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht
- **POCP** Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon
- **AP** Versauerungspotenzial
- **EP** Eutrophierungspotenzial
- **ADPE** Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen
- **ADPF** Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe⁵⁸⁷

Datensätze (Gesamtanzahl: 1005 von 1085) (Seite 1 von 51)

Kategorienbrowser anzeigen Filter zurücksetzen

| Name | Verfügb. Sprachen | Kategorie | Land / Region | Gültig bis | Datensatztyp | Eigentümer |
|--|-------------------|--|---------------|------------|------------------------|-----------------------------------|
| Suche... | de | Suche... | auswi | auswi | auswählen | Suche... |
| 3- und 5-Schicht Massivholzplatte (Durchschnitt DE) | de | 3.2.01 Holz / Holzwerkstoffe / 3- und 5-Schichtplatten | DE | 2025 | representative dataset | Thünen-Institut für Holzforschung |
| Abschlüsse - clauss markisen Projekt GmbH - Feuerschutzvorhang | en, de | 7.11.03 Komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden / Zubehör für Fenster, Fassaden, Türen und Tore / Feuer-/Rauchschutzsysteme | RER | 2025 | specific dataset | clauss markisen Projekt GmbH |
| Abschlüsse - clauss markisen Projekt GmbH - Rauchschutzvorhang | en, de | 7.11.03 Komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden / Zubehör für Fenster, Fassaden, Türen und Tore / Feuer-/Rauchschutzsysteme | RER | 2025 | specific dataset | clauss markisen Projekt GmbH |
| Abstandhalter - Ensinger GmbH - Thermix Low Psi | de | 7.3.01 Komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden / Dichtungskomponenten / -materialien / Dichtprofile | DE | 2024 | specific dataset | Ensinger GmbH |
| Abstandhalter - Ensinger GmbH - Thermix Low Psi RE | de | 7.3.01 Komponenten von Fenstern und Vorhangfassaden / Dichtungskomponenten / -materialien / Dichtprofile | DE | 2024 | specific dataset | Ensinger GmbH |

Abb. 6.4.: Auszug aus der Datenbank ÖKOBAUDAT der gesammelten Datensätze gemäß EN 15804+A1⁵⁸⁸

Indikatoren für die Umweltwirkung

| Indikator | Einheit | Rohstoffbereitstellung A1 | Herstellung A1-A3 | Transport A2 | Herstellung A3 | Einbau A5 | Transport C2 | Abfallbehandlung C3 | Recyclingpotential D energetisch (Standard Szenario) | Recyclingpotential D stofflich |
|---|--------------------------|---------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------|--------------|---------------------|--|--------------------------------|
| Globales Erwärmungspotenzial (GWP) | kg CO ₂ -Äqv. | -764.1 | -647.4 | 24.73 | 91.92 | 0.8728 | 0.5356 | 810.1 | -261.1 | -11.13 |
| Abbau Potential der stratosphärischen Ozonschicht (ODP) | kg R11-Äqv. | 3.718E-13 | 1.229E-11 | 1.164E-14 | 1.191E-11 | 4.692E-16 | 8.92E-17 | 1.76E-13 | -1.224E-11 | -1.208E-13 |
| Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon (POCP) | kg Ethen-Äqv. | 0.02002 | 0.04861 | -0.0428 | 0.07138 | 0.00001456 | -0.0009442 | 0.0004147 | -0.02744 | -0.00007484 |
| Versauerungspotenzial von Boden und Wasser (AP) | kg SO ₂ -Äqv. | 0.14 | 0.5416 | 0.09959 | 0.302 | 0.0002558 | 0.002245 | 0.006878 | -0.3389 | -0.046 |
| Eutrophierungspotenzial (EP) | kg Phosphat-Äqv. | 0.04295 | 0.1299 | 0.02519 | 0.06179 | 0.00005365 | 0.0005648 | 0.001048 | -0.05841 | -0.01104 |

Abb. 6.5.: Auszug aus dem Prozess-Datensatz der ÖKOBAUDAT für eine 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Indikatoren für die Umweltwirkung⁵⁸⁹

⁵⁸⁷ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

⁵⁸⁸ Auszug aus der Datenbank ÖKOBAUDAT: Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Datenbanksuche*, online: https://www.oekobaudat.de/no_cache/datenbank/suche.html (Zugriff 15.01.2023)

⁵⁸⁹ Auszug aus der Datenbank ÖKOBAUDAT: Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Datenbanksuche*, online: https://www.oekobaudat.de/no_cache/datenbank/suche.html (Zugriff 15.01.2023)

○ IBO-Kennzahlen



Das Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) ist ein unabhängiger, gemeinnütziger und wissenschaftlicher Verein. Mit Hilfe der Ökobilanzierung sind bisher für mehr als 500 Baustoffe IBO-Richtwerte festgelegt worden. In die Ökobilanz werden alle Prozessschritte bis zur Auslieferung des Produktes berücksichtigt. Es werden Material-, Transport- und Energieinputs, Emission in Luft, Boden, Wasser sowie Abfälle ermittelt.⁵⁹⁰

Ähnlich wie beim ÖKOBAUDAT wird ebenso hier eine Hintergrunddatenbank genutzt. Mit dem Softwareprogramm SimaPro, welche auf Basis der Datenbank ecoinvent 2.2 sowie nach den Anforderungen von EN 15804 + A1: 2013 erstellt ist, werden die IBO-Richtwerte bilanziert. Die Bilanzdaten erfahren stetige Aktualisierungen. Des Weiteren werden demnächst die Richtwerte um weitere Lebenszyklusphasen erweitert.⁵⁹¹ Das Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie definiert in einer Veröffentlichung alle wesentlichen Annahmen zur Ermittlung der IBO-Richtwerte. Unter anderem wird darauf hingewiesen, dass die Ökobilanz idealerweise den gesamten Lebenszyklus des zu bewerteten Baustoffes berücksichtigen soll.⁵⁹² IBO-Richtwerte können im Zuge einer Lebenszyklusanalyse von Baustoffen herangezogen werden. Außerdem werden diese ermittelten Daten auch in der von IBO gemeinsam mit dem Energieinstitut Vorarlberg entwickelten Onlineplattform *baubook* gesammelt. Als kostenlose Datenbank bietet sie Informationen zu ökologischen Bauprodukten sowie Grundlagen zur Ökobilanzierung von Gebäuden.⁵⁹³

Zur Beurteilung ökologisch nachhaltiger Baustoffe, gibt die Ökobilanzierung der IBO-Richtwerte folgende Indikatoren an:

- **GWP-fossil** Globales Erwärmungspotenzial - fossil
- **GWP-biogenic** Globales Erwärmungspotenzial - biogen
- **GWP-total Globales** Erwärmungspotenzial - total
- **ODP** Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht
- **AP** Versauerungspotenzial
- **EP** Eutrophierungspotenzial
- **POCP** Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon
- **PERE** Erneuerbare Primärenergie - als Energieträger
- **PERM** Erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff
- **PERT** Erneuerbare Primärenergie - total
- **PENRE** Nicht erneuerbare Primärenergie - als Energieträger
- **PENRM** Nicht erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff
- **PENRT** Nicht erneuerbare Primärenergie - total⁵⁹⁴

⁵⁹⁰ Vgl. IBO – Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff: 21.10.2022)

⁵⁹¹ Vgl. IBO – Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff: 21.10.2022)

⁵⁹² Vgl. Boogman P. et al, *IBO-Richtwerte für Baumaterialien*, IBO- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien (2020)

⁵⁹³ Vgl. *baubook – Oekoindex*, bezogen unter: <https://www.baubook.at/oekoindex/> (Zugriff: 21.10.2022)

⁵⁹⁴ Vgl. IBO – Ökologisch Bauen Gesund Wohnen, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff: 21.10.2022)

AUSTROTHERM XPS TOP 50 SF

Link zu dieser Seite:
<http://www.baubook.at/m/PHP/Info.php?SI=2142706900&SW=5>

Hersteller

AUSTROTHERM
 A-2754 Wopfung
 Österreich

Zertifizierungs-, Ausschreibungs- und Förderkriterien

Österreichische baubook-Plattformen

- ✓ 2. 2. 2. Grenzwerte für KMR-Stoffe in Dämmstoffen
- ✓ 2. 2. 3a. Verbot von klimaschädlichen Substanzen (GWP >1 CO₂ äquivalent)
- ✓ 2. 2. 3b. Frei von klimaschädlichen Substanzen
- ✓ 2. 2. 3c. Verbot von klimaschädlichen Substanzen (synt. Dämmstoffe)
- ✓ 2. 2. 12. Verbot von akut toxischen Stoffen
- ✓ 2. 4. 2. Grenzwerte für halogenorganische Verbindungen
- ✓ 2. 4. 6. Grenzwert für flüchtige halogenorganische Verbindungen in Dämmstoffen
- 2. 4. 7. Vollständiger Ausschluss von halogenorganischen Stoffen
- ✓ 2. 7. 1. Verbot von kritischen Flammschutzmitteln
- ✓ 5. 1. 6. VOC- und SVOC-Grenzwerte für Dämmstoffe
- ✓ 6. 2. Produkte ohne Metallverbund
- ✓ 7. 1. Zertifizierte ökologische Produkte

✓ Das Kriterium ist relevant und erfüllt.
 – Das Kriterium ist relevant, die Erfüllung des Kriteriums ist aber nicht nachgewiesen.

Technische Eigenschaften

Verwendungsarten laut ÖNORM B 6000 (XPS): **XPS-G 50**: Druckfestigkeit = 500 kPa, Platte mit glatter Oberfläche, feuchtigkeitsbelastbar, zur Wärmedämmung von Wänden, Decken und Dächern; auch für Konstruktionen mit erhöhter und hoher Druckbelastbarkeit (zB Parkdecks für LKWs, Feuerwehr-Fahrzeuge) und Perimeterdämmung

Bauphysikalische Kennwerte

| | | |
|--|--------------|-------------------|
| λ_f Wärmeleitfähigkeit Bemessungswert _{AUT} : | 0,036 | W/(m·K) |
| λ_D Wärmeleitfähigkeit Nennwert: | 0,036 | W/(m·K) |
| ρ Rohdichte: | 34 | kg/m ³ |
| c Wärmespeicherkapazität: | 1500 | J/(kg·K) |

Ökologische Kennwerte

Hintergrunddatenbank Ecoinvent A1

A1-A3 Herstellungphase


| Indikator | Richtwert | Einheit |
|--|-----------------------|---|
| Kernindikatoren für die Umweltwirkung | | |
| GWP-fossil Globales Erwärmungspotenzial - fossil | 4,20 | kg CO ₂ Äq./kg |
| GWP-biogenic Globales Erwärmungspotenzial - biogen | 0,00 | kg CO ₂ Äq./kg |
| GWP-total Globales Erwärmungspotenzial - total | 4,20 | kg CO ₂ Äq./kg |
| ODP Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht | 6,13·10 ⁻⁸ | kg CFC-11 Äq./kg |
| AP Versauerungspotenzial von Boden und Wasser | 0,0155 | kg SO ₂ Äq./kg |
| EP Eutrophierungspotenzial | 0,00257 | kg PO ₄ ³⁻ Äq./kg |
| POCP Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon | 0,00684 | kg C ₂ H ₄ Äq./kg |
| ADPE Abiotischer Abbau nicht fossiler Ressourcen | keine Angabe | kg Sb Äq./kg |
| ADPF Abiotischer Abbau fossiler Brennstoffe | keine Angabe | MJ/kg |
| Indikatoren zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes | | |
| PERE Erneuerbare Primärenergie - als Energieträger | 0,879 | MJ/kg |
| PERM Erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff | 0,00 | MJ/kg |
| PERT Erneuerbare Primärenergie - total | 0,879 | MJ/kg |
| PENRE Nicht erneuerbare Primärenergie - als Energieträger | 53,6 | MJ/kg |
| PENRM Nicht erneuerbare Primärenergie - als Rohstoff | 40,0 | MJ/kg |
| PENRT Nicht erneuerbare Primärenergie - total | 93,6 | MJ/kg |

Servicebereich

CE-Kennzeichnung

CE-Kennzeichnung: **ja**
 CE-Leistungserklärung: **Leistungserklärung_XPS_TOP_50_AT.pdf** (156 KB)
 Ausgestellt am 1. 1. 2019

Umweltzeichen - Labels - Gütesiegel



PDF (224 KB)
 Gültig bis **August 2023**

Abb. 6.6.: Richtwerte aus der Ökobilanzierung am Beispiel des Baustoffes Austrotherm XPS TOP 50 SF aus der Onlineplattform baubook⁵⁹⁵

⁵⁹⁵ Auszug aus der Datenbank baubook: baubook, *Deklaration Zentrale*, online: <https://www.baubook.at/zentrale/> (Zugriff 15.01.2023)

○ KBOB-Liste

KBOB

Die schweizerische Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren (KBOB) besteht seit dem Jahr 1968 und arbeitet zielführend auf eine Ressourcenersparnis sowie eine Qualitätssteigerung hin. Diese Vereinigung der öffentlichen Bauherren der Schweiz steht vor allem in Fragen des Submissionswesens, der Teuerungsabgeltung auf Bauleistungen und der Architekten- und Ingenieurhonorare zur Verfügung⁵⁹⁶

Gemeinsam mit den Vereinen ecobau und IPB stellt KBOB im Auftrag von den Schweizer Bundesämtern Ökobilanzdaten im Baubereich zur Verfügung. In Form einer Excel-Liste können die gesammelten Daten auf der Website der Koordinationskonferenz heruntergeladen werden.⁵⁹⁷ Sie beinhaltet Ökobilanzdaten zu einzelnen Baumaterialien und Gebäudetechnikmaßnahmen. Des Weiteren dient eine Übersicht über die wesentlichen Energiebereitstellungsquellen für einen überschaubaren Vergleich zwischen Erdöl-, Erdgas-, Kernbrennstoff- und Strom-Bereitstellungen. Einzelne Listen zu Transport und Entsorgungsprozessen können die Entscheidungsfindung in den einzelnen Lebenszyklusphasen ökologisch nachhaltig beeinflussen.

Die von KBOB, ecobau und IPB zur Verfügung gestellte Übersicht an Ökobilanzdaten basiert auf die Hintergrunddatenbank UVEK Ökobilanzdatenstandard DQRv2:2022, welche wiederum auf Basis von ecoinvent Datenqualitätsrichtlinien v2 (DQRv2) aufgebaut ist.⁵⁹⁸ Die gesammelten Daten geben Werte zu folgenden Messfaktoren bekannt:

- **PEe** Primärenergie erneuerbar
 - Total
 - Herstellung Total
 - Herstellung energetisch genutzt
 - Herstellung stofflich genutzt
 - Entsorgung
- **PEne** Primärenergie nicht erneuerbar (graue Energie)
 - Total
 - Herstellung Total
 - Herstellung energetisch genutzt
 - Herstellung stofflich genutzt
 - Entsorgung
- **THG-E** Treibhausgasemissionen
 - Total
 - Herstellung
 - Entsorgung
- Biogener Kohlenstoffgehalt
 - im Produkt enthalten⁵⁹⁹

⁵⁹⁶ Vgl. KBOB -Koordinationsgremium der Bauorgane des Bundes, bezogen unter: <https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/die-kbob/kbob.html> (Zugriff: 21.10.2022)

⁵⁹⁷ Vgl. Schweizerische Eidgenossenschaft, *Die KBOB stellt sich vor*, online: <https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/die-kbob/kbob.html> (Zugriff 15.01.2023)

⁵⁹⁸ Vgl. KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themenleistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 08.01.2023)

⁵⁹⁹ KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themenleistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 08.01.2023)

In einer Gesamtbewertung werden die ermittelten Einzelwerte zu einer Kennzahl UBP'21 (Umweltbelastungspunkte 2021) zusammengefasst. Gemäß der bereits in Abschnitt 5.5 vorgestellten Methode der ökologischen Knappheit wird die Umweltbelastung durch die Nutzung von Energie und stofflichen Ressourcen durch Emissionen in Luft, Gewässer und Boden⁶⁰⁰ sowie durch die Ablagerungen von Rückständen aus der Abfallbehandlung ermittelt.

| Ökobilanzdaten im Baubereich | | KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---------------------------------|--------------------|--------|-------------|------------|-----------------------------------|----------------------|--|---|-------------|-----------------------------|----------------------|--|---|-------------|-------|----------------------|--|---|-------------|
| ID-Nummer No d'identification | BAUMATERIALIEN | Rohdichte/ Flächen- masse | Bezug Référence | UBP'21 | | | Primärenergie Energie primaire | | | | | Treibhausgas- emissionen | | | | | | | | | |
| | | | | UBP'21 | | | erneuerbar renouvelable | | nicht erneuerbar (Graue Energie) non renouvelable (énergie grise) | | | Emissionen | | Emissionen | | | | | | | |
| | | | | Total | Herstellung | Entsorgung | Total | Herstellung total | Herstellung energetisch genutzt | Herstellung stofflich genutzt | Entsorgung | Total | Herstellung total | Herstellung energetisch genutzt | Herstellung stofflich genutzt | Entsorgung | Total | Herstellung total | Herstellung energetisch genutzt | Herstellung stofflich genutzt | Entsorgung |
| | | | | UBP | UBP | UBP | Total | Total fabrication | Valorisé sous forme énergétique fabrication | Valorisé sous forme de matière fabrication | Elimination | Total | Total fabrication | Valorisé sous forme énergétique fabrication | Valorisé sous forme de matière fabrication | Elimination | Total | Total fabrication | Valorisé sous forme énergétique fabrication | Valorisé sous forme de matière fabrication | Elimination |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01 | Beton | kg/m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 01.001 | Magerbeton (ohne Bewehrung) | 2 150 | kg | 105 | 68,9 | 35,6 | 0,010 | 0,008 | 0,008 | 0 | 0,002 | 0,129 | 0,077 | 0,077 | 0 | 0,052 | | | | | |
| 01.002 | Hochbaubeton (ohne Bewehrung) | 2 300 | kg | 154 | 118 | 35,4 | 0,015 | 0,013 | 0,013 | 0 | 0,002 | 0,175 | 0,124 | 0,124 | 0 | 0,052 | | | | | |
| 01.003 | Tiefbaubeton (ohne Bewehrung) | 2 350 | kg | 164 | 128 | 35,4 | 0,016 | 0,014 | 0,014 | 0 | 0,002 | 0,189 | 0,138 | 0,138 | 0 | 0,052 | | | | | |
| 01.004 | Bohrpfahlbeton (ohne Bewehrung) | 2 325 | kg | 175 | 139 | 35,3 | 0,017 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0,002 | 0,198 | 0,148 | 0,148 | 0 | 0,051 | | | | | |
| 01.041 | Betonfertigteil, hochfester Beton, ab Werk | 2 770 | kg | 589 | 558 | 31,2 | 0,082 | 0,080 | 0,080 | 0 | 0,002 | 0,871 | 0,825 | 0,825 | 0 | 0,046 | | | | | |
| 01.042 | Betonfertigteil, Normalbeton, ab Werk | 2 500 | kg | 330 | 296 | 34,2 | 0,092 | 0,095 | 0,095 | 0 | 0,002 | 0,489 | 0,439 | 0,439 | 0 | 0,050 | | | | | |
| 01.043 | Hanfbeton | 600 | kg | 665 | 663 | 1,69 | 0,899 | 0,899 | 0,061 | 0,839 | 0,000 | 0,959 | 0,959 | 0,959 | 0 | 0,000 | | | | | |
| 01.043.01 | Hanfbeton, ARBIO | 600 | kg | 639 | 638 | 1,69 | 0,865 | 0,865 | 0,066 | 0,839 | 0,000 | 0,922 | 0,922 | 0,922 | 0 | 0,000 | | | | | |
| (Betonartenrechner: Mit dem Betonartenrechner (https://treeze.ch/de/rechner) können die Umweltkennwerte von spezifischen Betonen mit verschiedenen Zementtypen und Gesteinskörnungen berechnet werden. Calculatrice à béton: la calculatrice (https://treeze.ch/de/rechner) permet de calculer les données environnementales des différents types de béton fabriqués à partir de ciments et granulats divers. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02 | Mauersteine | kg/m³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 02.001 | Backstein | 900 | kg | 372 | 329 | 42,7 | 0,080 | 0,078 | 0,078 | 0 | 0,002 | 0,788 | 0,735 | 0,735 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.001.01 | Backstein, perlitgefüllt, zzwancor | 575 | kg | 421 | 378 | 42,7 | 0,105 | 0,103 | 0,103 | 0 | 0,002 | 0,914 | 0,861 | 0,861 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.002 | Kalksandstein | 1 400 | kg | 259 | 216 | 42,7 | 0,039 | 0,037 | 0,037 | 0 | 0,002 | 0,390 | 0,337 | 0,337 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.002.01 | Kalksandstein, FBB | 1200-2000 | kg | 196 | 153 | 42,7 | 0,035 | 0,033 | 0,033 | 0 | 0,002 | 0,315 | 0,263 | 0,263 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.002.02 | Kalksandstein, Hünziker Kalksandstein AG | 1200-2000 | kg | 191 | 148 | 42,7 | 0,017 | 0,015 | 0,015 | 0 | 0,002 | 0,288 | 0,235 | 0,235 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.003 | Leichtlehmstein | 700 | kg | 354 | 311 | 42,7 | 0,793 | 0,790 | 0,790 | 0 | 0,002 | 0,764 | 0,712 | 0,712 | 0 | 0,053 | | | | | |
| 02.004 | Leichtzementstein, Blähton | 1 200 | kg | 610 | 568 | 42,7 | 0,055 | 0,053 | 0,053 | 0 | 0,002 | 1,43 | 1,37 | 1,37 | 0 | 0,053 | | | | | |

Abb. 6.7.: Auszug aus der von KBOB, ecobau und IPB zur Verfügung gestellten Excel-Liste mit Ökobilanzdaten für Baumaterialien⁶⁰¹

| Ökobilanzdaten im Baubereich | | KBOB / ecobau / IPB 2009/1:2022 | | | | | | |
|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------|--------|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---|
| ID-Nummer No d'identification | ENERGIE | Bezug Référence | | UBP'21 | | Primärenergie Energie primaire | | Treibhausgas- emissionen Emissions de gaz à effet de serre kg CO ₂ -eq |
| | | Grösse | Einheit Unité | UBP'21 | | erneuerbar renouvelable | nicht erneuerbar non renouvelable | |
| | | | | UBP | | kWh oil-eq | kWh oil-eq | |
| 41 | Brennstoffe¹ | | | | | | | |
| 41.001 | Heizöl EL | Endenergie | kWh | 409 | | 0,014 | 1,25 | 0,324 |
| 41.002 | Erdgas | Endenergie | kWh | 274 | | 0,003 | 1,05 | 0,230 |
| 41.003 | Propan/Butan | Endenergie | kWh | 368 | | 0,006 | 1,21 | 0,293 |
| 41.004 | Kohle Koks | Endenergie | kWh | 597 | | 0,014 | 1,43 | 0,435 |
| 41.005 | Kohle Brikett | Endenergie | kWh | 726 | | 0,009 | 1,18 | 0,398 |
| 41.006 | Stückholz | Endenergie | kWh | 175 | | 1,01 | 0,044 | 0,023 |
| 41.007 | Holzschnitzel | Endenergie | kWh | 115 | | 1,03 | 0,031 | 0,011 |
| 41.008 | Pellets | Endenergie | kWh | 111 | | 1,05 | 0,128 | 0,028 |
| 41.009 | Biogas | Endenergie | kWh | 155 | | 0,028 | 0,293 | 0,124 |
| | ¹ Oberer Heizwert | | | | | | | |
| 42 | Fernwärme | | | | | | | |
| 42.018 | Atomkraftwerk | Endenergie | kWh | 13,7 | | 0,011 | 0,059 | 0,003 |
| 42.001 | Heizentrale Öl | Endenergie | kWh | 509 | | 0,021 | 1,56 | 0,402 |
| 42.002 | Heizentrale Gas | Endenergie | kWh | 365 | | 0,015 | 1,40 | 0,302 |
| 42.003 | Heizentrale Holz | Endenergie | kWh | 165 | | 1,46 | 0,145 | 0,025 |
| 42.004 | Heizkraftwerk Holz | Endenergie | kWh | 82,8 | | 1,19 | 0,111 | 0,022 |
| 42.006 | Heizentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4) | Endenergie | kWh | 176 | | 0,183 | 0,691 | 0,046 |

Abb. 6.8.: Auszug aus der von KBOB, ecobau und IPB zur Verfügung gestellten Excel-Liste mit Ökobilanzdaten für Energiequellen⁶⁰²

⁶⁰⁰ Vgl. KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 08.01.2023)

⁶⁰¹ Auszug aus Datenbank KBOB-Liste: KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 08.01.2023)

⁶⁰² Auszug aus Datenbank KBOB-Liste: KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 08.01.2023)

6.2.2 Sachbilanzdatenbanken in der Forschung

Die Ergebnisse infolge einer Datenerhebung werden als Sachbilanzdaten (LCI engl. Life Cycle Inventory) in eine Ökobilanzdatenbank (LCA-Datenbank) integriert. Grundsätzlich dienen diese Datensammlungen, um Unternehmen die Ausführung einer Lebenszyklusanalyse zu erleichtern. Übersichten verschaffen einen schnelleren Zugriff auf gewünschte Informationen, hinsichtlich ökologisch nachhaltiger Entscheidungen.

Derzeit wird eine Vereinheitlichung aller gesammelten Datenerhebungen angestrebt. Auch die Gemeinsame Forschungsstelle der Europäischen Kommission (JRC) fördert Initiativen, welche eine Standardisierung der Bilanzdaten anstreben. Unter anderem wird durch die JRC die Initiative ILCD (International Reference Life Cycle Data System) gegründet. Unter Einhaltung der ISO-Norm 14044 werden ILCD-Handbücher veröffentlicht, mit dem Ziel die Datenerhebung im Zuge einer Ökobilanzierung zu standardisieren.⁶⁰³

Im Vergleich zu den Sachbilanzdatenbanken, welche in der Praxis angewendet werden, führen jene für die Forschung ausführliche Validierungen durch und geben Hintergrunddaten bekannt. LCI-Datenbanken beinhalten nicht aggregierte Daten, sodass die Prozesskette eines Produktes in allen untergeordneten Einheiten nachvollzogen werden kann.⁶⁰⁴ Folgend werden zwei im deutschsprachigen Raum angewendete Sachbilanzdatenbanken der Forschung vorgestellt.

- GaBi – Ganzheitliche Bilanzierung

Als einer der umfangreichsten Ökobilanzdatenbanken gilt gegenwärtig die GaBi LCI-Datenbank (Ganzheitliche Bilanzierung). Etwa 13 500 Datensätze sind bisher gesammelt worden und werden regelmäßig jedes Jahr, in Anpassung an die neuesten Entwicklungen in der Wissenschaft und in der Technik, aktualisiert. Das Software-Unternehmen Sphera bietet die gesammelten Datensätze durch GaBi in Form einer Datenbank als Daten-Suche online (www.sphera.com) bzw. als Software mit einem regelmäßigem Upgrade-Programm an.⁶⁰⁵ Über 200 LI (Life Cycle) Experten von Sphera arbeiten an einer stetigen Weiterentwicklung von GaBi-Datenbanken. Die Datenerhebungen von GaBi begrenzen sich allerdings nicht nur auf die Branche des Bauwesens, sondern bieten Entscheidungsunterstützung in 15 weiteren Branchen an:⁶⁰⁶

Landwirtschaft, Bauwesen und Konstruktion, Chemikalien und Materialien, Konsumgüter, Bildung, Elektronik und IKT, Energie und Versorgungsunternehmen, Nahrungsmittel und erneuerbare Rohstoffe, Gesundheitswesen und Health Care, Industrielle Produkte, Metalle und Bergbau, Retail, Dienstleistungssektor, Textilien, Recycling⁶⁰⁷

GaBi-Datenbank dient als Datenbasis für Sachbilanzdatenbanken, die in der Praxis angewendet werden. Auch die Datenbank ÖKOBAUDAT nutzt GaBi als Hintergrunddatenbank für ihre Datenerhebung.⁶⁰⁸

⁶⁰³ Vgl. Europäische Kommission, European Platform on Life Cycle Assessment, online: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu> (Zugriff: 08.06.2022)

⁶⁰⁴ Vgl. ecoinvent, ecoinvent LCI-Datenbank in Umberto LCA+, online: <https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁰⁵ Vgl. sphera, Datenbanken zur Lebenszyklusbeurteilung (GaBi), online: <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-database/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁰⁶ Vgl. sphera, Datenbanken zur Lebenszyklusbeurteilung (GaBi), online: <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-database/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁰⁷ Vgl. sphera, Datenbanken zur Lebenszyklusbeurteilung (GaBi), online: <https://sphera.com/life-cycle-assessment-lca-database/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁰⁸ Vgl. Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, Ökobaudat, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)

- Ecoinvent

Die vom schweizerischen ecoinvent-Zentrum gegründete ecoinvent Datenbank ist derzeit weltweit das führende Datensystem für Ökobilanzdatenbanken. Die Veröffentlichung der ersten Version der ecoinvent (v1.0) erfolgte 2003. Die zweite Version (v2.2) umfasste 2010 bereits 4000 Datensätze.⁶⁰⁹ Die aktuelle ecoinvent Version 3 beinhaltet über 13 000 Datensätze und wird regelmäßig erweitert und aktualisiert. Nutzung findet ecoinvent in mehr als 40 Ländern.⁶¹⁰ Ecoinvent Sachbilanzdaten enthalten Informationen zu folgenden Bereichen:⁶¹¹

Energiebereitstellung, Chemikalien, Kunststoffe und Kunststoffherstellung, Metallherstellung und -verarbeitung, Transport & Mobilität (inkl. Personentransport), Entsorgung, Bauwesen, Landwirtschaft (einschl. Pestizide), Informations- und Kommunikationstechnologie, Elektronik, Biotreibstoffe und -materialien, Maschinenbauwesen, Papierindustrie, Recycling-Prozesse, Wasserdaten

Außerdem beinhaltet die ecoinvent Datenbank neben den Sachbilanzen zusätzlich mehrere Bewertungsmethoden. Unter anderem die CML-Methode, den Eco-Indikator 99, den ökologischen Fußabdruck sowie die Methode der ökologischen Knappheit.⁶¹²

Die Nutzung der ecoinvent Sachbilanzdatenbank erfolgt allerdings über eine Registrierung auf der Website www.ecoinvent.org. Für Gäste ist die Registrierung kostenlos. Ecoinvent wird sowohl für die IBO-Richtwerte als auch für die Ökobilanzdaten durch KBOB als Hintergrunddatenbank genutzt.

6.2.3 Planungswerkzeuge

- WECOBIS

Das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) entwickelt mit der Bayerischen Architektenkammer (ByAK) das Projekt WECOBIS. Gemeinsam fungieren sie als Betreiber des gleichnamigen Internetportals. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) ist als Geschäftsstelle tätig und führt in Zusammenarbeit mit der ByAK die Chefredaktion.⁶¹³

Das Webportal www.wecobis.de dient zur Übersicht von Baustoffinformationen. Das Ziel ist es ein gesundes und umweltgerechtes Bauen zu unterstützen und dessen Planung sowie Ausschreibung für Architekten, Fachplaner sowie Bauausführende zu erleichtern. WECOBIS bietet herstellernerneutrale Informationen zu Umwelt- und Gesundheitsrelevanz von Bauprodukten und Grundstoffen.⁶¹⁴

Die Informationen zu den einzelnen Material- und Bauproduktgruppen über Umwelteinflüsse und gesundheitliche Risiken sind in **Fachinformationen** und Informationen zu den einzelnen Lebenszyklusphasen unterteilt. Unter Fachinformationen werden neben allgemeinen Informationen zu Charakteristik und Anwendungsbereichen, Ausschreibungshilfen (Umweltproduktdeklarationen, Umweltzeichen), Bewertungssysteme (speziell wird auf die BNB-Bewertung eingegangen) und technische Daten (Qualität, DIN-Normen) angegeben. Unter dem Register **Lebenszyklusbetrachtung** werden zentrale Fragen zum Lebenszyklus des Materials beantwortet. WECOBIS berücksichtigt neben der Herstellung sowie der Nutzungsphase auch die Nachnutzung von Baumaterialien. Die Bekanntgabe der Verfügbarkeit der Rohstoffe lässt auf mögliche Auswirkungen auf Mensch und Umwelt schließen. Genaue

⁶⁰⁹ Vgl. Frischknecht R. et al., *The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework* (2005), S.3-9

⁶¹⁰ Vgl. ecoinvent, *ecoinvent LCI-Datenbank in Umberto LCA+*, online: <https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶¹¹ Vgl. ecoinvent, *ecoinvent LCI-Datenbank in Umberto LCA+*, online: <https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶¹² Vgl. ecoinvent, *ecoinvent LCI-Datenbank in Umberto LCA+*, online: <https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶¹³ Vgl. Figl H. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem*, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) (2016)

⁶¹⁴ Vgl. Figl H. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem* (2016)

Angaben zu Emissionen in der Nutzungsphase ermöglichen den Nutzer auf Reduktionsmaßnahmen zurückgreifen zu können. Wesentlich ist, dass die genutzten Baumaterialien in der Nachnutzung den biologischen und technischen Kreislauf nicht stören.⁶¹⁵ Dieses umfangreiche Online-Nachschlagwerk erleichtert Entscheidungsfindungen vor allem in der Planungsphase. Des Weiteren ermöglichen direkte **Verlinkungen** zu ÖKOBAUDAT, BNB Bewertungssystem, GISCODES, Umweltzeichen und baubook eine Überschaubarkeit und unterstützen die Planungsphase. Außerdem bietet WECOBIS sogenannte **Planungs- und Ausschreibungshilfen** an.⁶¹⁶ Diese werden vom IBO in Zusammenarbeit mit den Aidelsburger Kellner Architekten aus München sowie der Chefredaktion erstellt. Die Anforderungen in den Planungs- und Ausschreibungshilfen basieren auf den Kriteriensteckbrief 1.1.6 „Risiken für die Umwelt“ des BNB Bewertungssystems. Die Anforderungen an die Baustoffgruppe bzw. Bauproduktgruppe werden im Steckbrief in fünf Qualitätsniveaus (QN1 – QN5) unterteilt, wobei QN5 die höchste Qualitätsanforderungen darstellt. Für höhere Niveaus können freiwillige Produktkennzeichnungen etwa durch Gütesiegel angewendet werden.⁶¹⁷

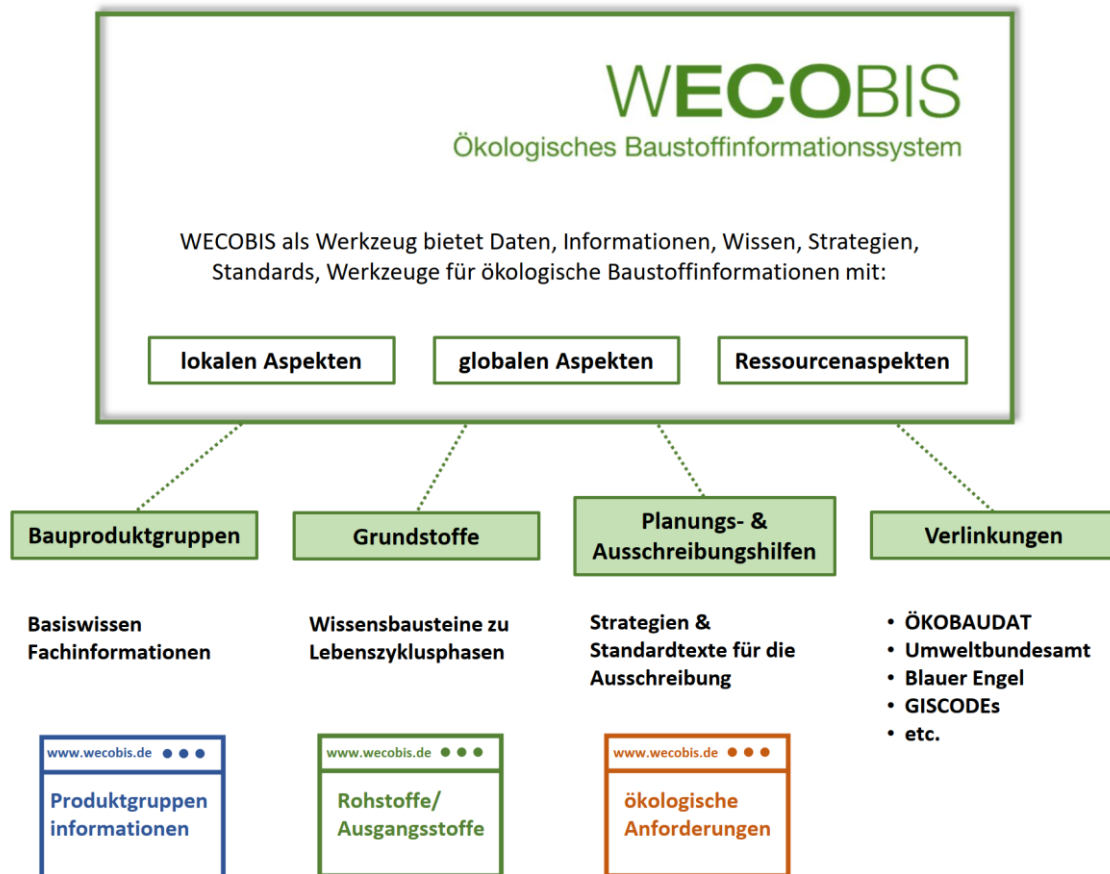


Abb. 6.9.: WECOBIS - ökologisches Baustoffinformationssystem: Übersicht der über die Website mywecobis zugänglichen Informationen⁶¹⁸

⁶¹⁵ Vgl. Figl H. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem* (2016)

⁶¹⁶ Vgl. Figl H. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem* (2016)

⁶¹⁷ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *WECOBIS*, online: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/wecobis-1> (Zugriff 15.01.2023)

⁶¹⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an: Figl H. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformationssystem* (2016), S.7

o GISCODE

Die Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (BG Bau) entwickeln den Gefahren-Informationssystem-Code (GISCODE). Hierbei handelt es sich um ein Kennzeichnungssystem des Gefahrstoff-Informationssystems der BG Bau (GISBAU). Produkten werden Codes zugeordnet, welche Informationen über chemisch gefährlichen Inhaltsstoffen bekannt geben. Produkte werden demnach in Produktgruppen unterteilt, für die wiederum Produktinformationen erstellt werden, welche für alle in einer Gruppe zusammengefassten Produkte gültig sind.⁶¹⁹ Die Unterteilung der Produkte erfolgt in folgende Produktgruppen:

- Verlegewerkstoffe
- Epoxidharz-Beschichtungsstoffe
- Oberflächenbehandlungsmittel für Parkett und andere Holzfußböden
- Kaltverarbeitbare Bitumenprodukte in der Bauwerksabdichtung
- Zementhaltige Produkte
- Methylmethacrylat-Beschichtungsstoffe
- Polyurethan-Systeme im Bauwesen
- Korrosionsschutz-Produkte⁶²⁰

Die Unterteilung in Produktgruppen erfolgt mittels einer Buchstaben-Zahlen-Kombination. Buchstaben in der Codierung verweisen auf das verwendete Bindemittel. Zahlen hingegen geben Informationen über den Lösungsmittelgehalt und die Lösemittelzusammensetzung.⁶²¹ Produktinformationen sind durch Auswahl der gewünschten Produktgruppe über die Website www.bgbau.de des GISBAU erhältlich. Folgend ist ein Auszug aus den Gefahrstoff-Informationen der GISBAU zu Chrom arme zementhaltige Produkte mit dem GISCODE ZP1 abgebildet. Unter den Produktinformationen werden zusätzlich Gefahrenhinweise (H-Sätze) und Sicherheitshinweise (P-Sätze) bekannt gegeben.⁶²²

⁶¹⁹ Vgl. WECOBIS, *GISCODE*, online: <https://www.wecobis.de/service/lexikon/giscode-lex.html> (Zugriff 15.01.2023)

⁶²⁰ Vgl. Baunet_Wissen, *GISCODE*, online: <https://www.baunetwissen.de/glossar/g/giscode-2432521> (Zugriff 15.01.2023)

⁶²¹ Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl* (2016), S.43

⁶²² Vgl. Haas S., *Ökologische Baustoffwahl* (2016), S.44

Vgl. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), *Produktgruppen*, online: <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/wingis/produktgruppen> (Zugriff 15.01.2023)

BG BAU
Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft

GISBAU | BG BAU

WINGIS online

Neue Suche

Zementhaltige Produkte, chromatarm
GISCODE: ZP1

Signalwort: Gefahr
Gefahrenhinweise:
Verursacht Hautreizungen. (H315)
Verursacht schwere Augenschäden. (H318)
Kann die Atemwege reizen. (H335)
Sicherheitshinweise:
Einatmen von Staub/Rauch/Gas/Nebel/Dampf/Aerosol vermeiden. (P261)
BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen. (P305+P351+P338)
BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT: Mit viel Wasser/... waschen. (P302+P352)
BEI EINATMEN: An die frische Luft bringen und in einer Position ruhigstellen, die das Atmen erleichtert. (P304+P340)
Unter Verschluss aufbewahren. (P405)
Inhalt/Behälter ... zuführen. (P501)

Charakterisierung
Unter zementhaltige Produkte werden Produkte wie Fliesenkleber, Fugenmörtel, Putze, Spachtel- und Ausgleichsmassen sowie Reparaturmörtel gefaßt. Es handelt sich dabei um weiße bis dunkelgraue Pulver, die mit Wasser angerührt die gebrauchsfertigen Produkte ergeben. Zum Teil besitzen sie bereits als Pulver, in jedem Fall aber als angemischte Masse einen Eigengeruch.
Sie werden aus Zement, gegebenenfalls unter Mitverwendung von Redispersions-Kunststoffpulver, mineralischen Füllstoffen und sonstigen Zusätzen hergestellt.
Gesundheitsgefahren gehen nach heutiger Kenntnis überwiegend von der alkalischen Lösung aus, die sich beim Mischen mit Wasser bildet (hoher pH-Wert). Diese stark alkalische Lösung verursacht Reizungen. Gefahr besteht auch, da das Pulver mit dem Schweiß auf der Haut eine alkalische Lösung bilden kann. Chromatarmer Produkte weisen einen Gehalt an wasserlöslichem Chromat von weniger als 2 ppm bezogen auf den Zement auf. Das Risiko an Mauerkrätze zu erkranken ist stark vermindert. Die folgenden Hinweise beziehen sich auf die händische Verarbeitung chromatarmer zementhaltiger Produkte.

Ersatzstoffe - Ersatzprodukte - Ersatzverfahren
Die Verwendung von chromatarmer zementhaltigen Produkten ist seit dem 17. Januar 2005 grundsätzlich vorgeschrieben.
Zement und zementhaltige Zubereitungen dürfen nicht verwendet werden, wenn in der gebrauchsfähigen Form der Gehalt an löslichen Chrom(VI) > 2 mg / kg beträgt. Ersatzprodukte für chromatarmer zementhaltige Produkte sind nicht bekannt!

Gesundheitsgefährdung
Einatmen staubförmiger Produkte kann zu Gesundheitsschäden führen.
Reizt die Atemwege, Augen und Haut; z.B. Husten, Atemnot, Augentränen, Brennen.
Kann Verätzungen verursachen, d.h. kann Atemwege, Augen und Haut bis zur Zerstörung schädigen.

Abb. 6.10.: Auszug aus den Gefahrenstoff-Informationen der GISBAU zu Chromat armen zementhaltigen Produkten⁶²³

○ OI3-Indikator

Das Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) entwickelt zur ökologischen Bewertung von Baustoffen, Bauprodukten und Gebäuden einen Ökoindikator, den sogenannten OI3-Index. Anders als die bereits vorgestellten Planungswerkzeuge, bei welchen die Bewertung verbal erfolgt, werden hier mittels einer Bewertungsmethode Baustoffe, Bauprodukte bzw. Gebäude über eine Zahl, dem OI3-Index, bewertet. Zur Ermittlung des Ökoindex werden baubook-Richtwerte herangezogen. Diese kombinieren die bereits bekannten IBO-Richtwerte mit den bauphysikalischen Daten aus baubook, wie etwa der Rohdichte oder der Wärmeleitfähigkeit.⁶²⁴ Die Sachbilanzdaten der IBO-Ökokennzahlen geben Auskunft über die Lebenszyklusphase der Herstellung und der Instandsetzungsphase. Die Entsorgung wird über einen Entsorgungsindikator (EI, bewertetes Abfallvolumen) dargestellt.⁶²⁵ Produktspezifische Werte können andererseits auch von unabhängigen Dritten verifiziert sein. In diesem Fall müssen die Produktwerte nach den Produktkategorie-Regeln der Bau EPD GmbH ermittelt werden und auf der Hintergrunddatenbank ecoinvent beruhen.⁶²⁶

Der OI3-Index soll die richtige Baustoffwahl und ein umweltgerechtes Bauen begünstigen. Der Ökoindikator gibt somit Auskunft über die Umweltwirkung eines Bauteils bzw. des gesamten Gebäudes.⁶²⁷ IBO bietet über ihre Website einen Leitfaden zur Ermittlung des OI3-Index für Bauteile und Gebäude. Für die Berechnung werden die folgenden drei Umweltindikatoren herangezogen:

⁶²³ Auszug aus dem Modul GISCODE: Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), *GISCODES & Produkt-Codes*, online: <https://www.wingisonline.de/giscodes.aspx> (Zugriff 15.01.2023)

⁶²⁴ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex OI3 für Bauteile und Gebäude*, Wien (2018)

⁶²⁵ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.41

⁶²⁶ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex OI3 für Bauteile und Gebäude*, Wien (2018)

⁶²⁷ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.41

- **GWP** – Beitrag zur Globalen Erwärmung bzw. Treibhauspotential
- **AP** – Versauerungspotenzial
- **PENRT** – Primärenergiegehalt an nicht erneuerbaren Ressourcen bzw. Graue Energie⁶²⁸

Bei der Ermittlung des OI3-Index wird zusätzlich zwischen folgenden Konstruktionen unterschieden:

- Ökoindex $\Delta OI3$ einer Baustoffschicht
- Ökoindex OI3KON einer Konstruktion
- Ökoindex OI3 eines Gebäudes (Bilanzgrenzen BG0, BG1: Herstellung)
- Ökoindex OI3 eines Gebäudes über den Lebenszyklus:
Bilanzgrenzen BG2– BG4: Herstellung, Austausch und Instandsetzung im definierten Bewertungszeitraum
Bilanzgrenzen BG5-BG6: zusätzlich werden noch die Entsorgungsprozesse mitbilanziert
- Ökoindex OI3S für sanierte Gebäude (Bilanzgrenzen BG0 und BG1)
- Ökoindex OI3S für sanierte Gebäude (Bilanzgrenzen BG2 - BG6)⁶²⁹

Beim OI3-Index wird demnach zwischen der ökologischen Bewertung eines einzelnen Baustoffes bzw. einer einzelnen Konstruktion und jener eines gesamten Gebäudes unterschieden. Grundsätzlich erfolgt die Ermittlung des Ökoindikators über die gewichteten Mittelwerte der einzelnen Umweltindikatoren. Da zu bewertende Gebäude aus einer Vielzahl an Konstruktionen bestehen, müssten sämtliche Bestandteile aller Konstruktionen eines Gebäudes berücksichtigt werden. Aus praktischer Sicht stellt diese Herangehensweise allerdings einen zeitaufwändigen Prozess dar. Für Gebäude werden daher sogenannte Bilanzgrenzen gesetzt. Unterschieden wird zwischen den Bilanzgrenzen BG0 bis BG6.⁶³⁰

⁶²⁸ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude*, Wien (2018)

⁶²⁹ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude* (2018)

⁶³⁰ Vgl. ArchiPHYSIK, *Ökoindex OI3 – Die ökologische Bewertung von Gebäuden*, online: <https://archiphysik.at/oekoindex-oi3-die-oekologische-bewertung-von-gebaeuden/> (Zugriff 15.01.2023)

| | |
|------------------|---|
| BG0 (TGH) | Bauteile der thermischen Gebäudehülle (TGH) bis zur Dämmebene (ohne Dacheindeckungen, hinterlüftete Fassaden, Abdichtungsfolien, etc.); inkl. alle Zwischendecken |
| BG1 | Bauteile der thermischen Gebäudehülle (Konstruktionen vollständig); inkl. Zwischendecken |
| BG2 | BG1 inkl. Innenwände (nur Trennbauteile) |
| BG3 | BG2 inkl. alle Innenwände inkl. 50% der nicht konditionierten Flächen (Keller, Pufferräume, etc.) |
| BG4 | BG3 inkl. Bauteile des Gebäudes außerhalb der thermischen Gebäudehülle (Balkone, Laubengänge, Stiegen, etc.) |
| BG5 | BG4 inkl. Haustechnik |
| BG6 | BG5 inkl. gesamte Erschließung des Grundstückes inkl. Nebengebäude |

Tab. 6.5.: Bilanzgrenzen⁶³¹

Mit den Bilanzgrenzen BG5 und BG6 kann ein Gebäude vollständig nach dem Ökoindikator bewertet werden. Für eine gute Bewertung muss vor allem auf den Lebenszyklus der Entsorgung (Wiederverwertung bzw. Wiederverwendung) geachtet werden. Bilanzgrenze BG6 eignet sich aufgrund der Inkludierung des Grundstückes vor allem zur Bewertung von Siedlungen. Ab Bilanzgrenze BG2 können und ab Bilanzgrenze BG3 müssen zusätzlich die Nutzungsdauern für die einzelnen Bauteilschichten bekannt gegeben werden. Neben Herstellung müssen auch Sanierungs- und Instandhaltungszyklen der Bauteilschichten im gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes berücksichtigt werden. Die Nutzungsdauern der einzelnen Bauteilschichten bzw. Baukonstruktionen sind aus einem eigenen Leitfaden für die Ermittlung des Entsorgungsindikators EI10 (Nutzungsdauerkatalog 2018) zu entnehmen. Üblicherweise beträgt die Nutzungsdauer 10, 20, 25, 35, 50 oder 100 Jahre.⁶³²

⁶³¹ Tabelle in Anlehnung an: Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude* (2018)

Vgl. ArchiPHYSIK, *Ökoindex OI3 – Die ökologische Bewertung von Gebäuden*, online: <https://archiphysik.at/oekoindex-oi3-die-oekologische-bewertung-von-gebaeuden/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶³² Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude* (2018)

Vgl. ArchiPHYSIK, *Ökoindex OI3 – Die ökologische Bewertung von Gebäuden*, online: <https://archiphysik.at/oekoindex-oi3-die-oekologische-bewertung-von-gebaeuden/> (Zugriff 15.01.2023)

| Konstruktion | Beschreibung | Nutzungsdauer |
|--|--|------------------|
| Primärkonstruktion | Tragkonstruktion | 100 Jahre |
| Sekundärkonstruktion | alle Konstruktionsschichten außer: Fenster, WDVS, Gebäudeabdichtungen/Folien, Bodenbeläge und Haustechnikkomponenten | 50 Jahre |
| Fenster | Verglasungen, Rahmen, Fensterkomponenten | 35 Jahre |
| Wärmedämmverbundsysteme (inkl. Putz, Klebspachtel, Armierungsgewebe) | Wärmedämmverbundsysteme aus MW-Putzträgerplatten, EPS-F, Mineralschaumplatten, Korkdämmplatten, Hanfdämmplatten, etc. | 35 Jahre |
| Putze | Putze inkl. Untergründe | 35 Jahre |
| Abdichtungen/Folien: 35a | Alu-Bitumendichtungsbahnen, Alu-Dampfsperre, Bitumen, Bitumenanstrich, Bitumenpappe, etc. | 35 Jahre |
| Abdichtungen/Folien: 25a | Baufolien aus Kautschuk (EPDM), PE- und PVC-Dichtungsbahnen, Baupapier, sonstige Abdichtungen ausgenommen bituminöse Abdichtungen, metallkaschierte Folien, etc. | 25 Jahre |
| Bodenbeläge: 50a | Vollholzböden, Massivparkett, keramische Fliesen, Naturstein, Kunststein, etc. | 50 Jahre |
| Bodenbeläge: 25a | Mehrschichtparkett, Laminatböden, Linoleum, PVC-Bodenbelag, Polyolefin-Bodenbelag auf Basis von PE und PU, Gummi-Bodenbelag, Gummi-Noppenbelag, etc. | 25 Jahre |
| Bodenbeläge: 10a | Kork, Korkment, textile Bodenbeläge, etc. | 10 Jahre |
| Boden- und Wandbeschichtungen | Estrichbeschichtungen, Lacke, Wandfarben, Tapeten, etc. | 10 Jahre |
| Tertiärkonstruktion | Technische Gebäudeausrüstung TGA (abhängig von Komponenten) | 20 bzw. 50 Jahre |

Tab. 6.6.: Nutzungsdauerkatalog 2018 gemäß Österreichischem Institut für Baubiologie und -ökologie⁶³³

⁶³³ Tabelle in Anlehnung an: Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude* (2018)

Zur Ermittlung des Ökoindex einer einzelnen Konstruktion wird der Indikator auf 1 m² Konstruktionsfläche bezogen. In die Berechnung fließen der Ökoindex oben genannter Umweltindikatoren jeweils zu einem Drittel mit ein. Für diese Teilindikatoren mit den Bezeichnungen OI_{PENRT} , OI_{GWP} , OI_{AP} werden die jeweiligen Kennwerte (IBO-Richtwerte) aller Bauteilschichten und Bauteile aufsummiert.⁶³⁴

$$OI3_{KON} = \frac{1}{3}OI_{PENRT} + \frac{1}{3}OI_{GWP} + \frac{1}{3}OI_{AP} \quad [26]$$

Wobei die verwendeten Variablen wie folgt definiert sind:

| | |
|--------------------------------|---|
| $OI3_{KON}$ | Ökoindex einer Konstruktion für Bilanzgrenze BG0 und BG1 |
| OI_{PENRT} | Ökoindex der Primärenergie nicht erneuerbar (Ressourcenverbrauch) |
| OI_{GWP} | Ökoindex des Treibhauspotenzials |
| OI_{AP} | Ökoindex der Versäuerung |

Für die Gebäudebilanzierung werden zunächst die Ökoindizes aller Bauteile des Gebäudes ermittelt. Schließlich wird ein über die Konstruktionsflächen gewichteter Mittelwert berechnet. Die Berechnung des Ökoindex für ein Gebäude ohne Berücksichtigung der Nutzungsdauer (BG0) wird wie folgt ausgeführt.⁶³⁵

$$OI3_{BGX} = \frac{\sum_{i=1}^N A_i \cdot OI3_{KON,i}}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad [27]$$

Die verwendeten Variablen sind wie folgt definiert:

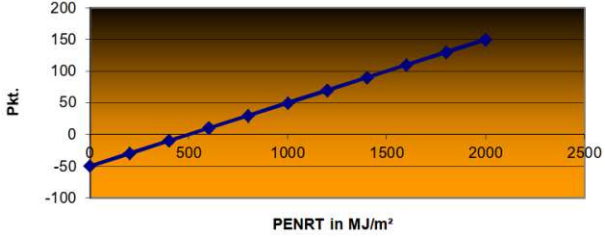
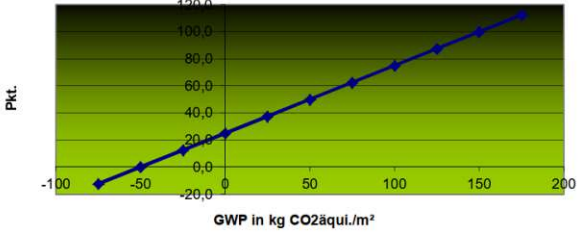
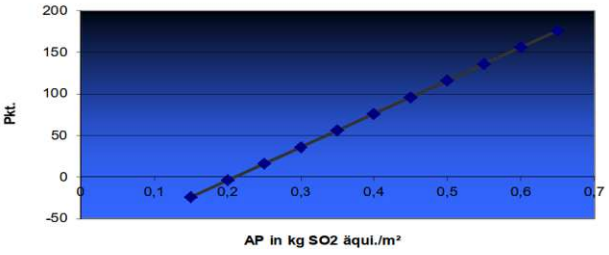
| | |
|--------------------------------------|--|
| $OI3_{BGX}$ | Ökoindex für ein Gebäude in Abhängigkeit von der gewählten Bilanzgrenze |
| $OI3_{KON,i}$ | Ökoindex der i-ten Konstruktion |
| A_i | Flächen der Konstruktionen in m ² |
| $\sum_{i=1}^N A_i$ | Konstruktionsfläche (KOF) in m ² Summe aller Bauteilflächen, die in die $OI3_{BGX}$ -Berechnung eingehen |

Bei einer Gebäudebewertung gibt es schließlich noch die Möglichkeit die Ergebnisse der einzelnen Wirkungskategorien über eine Punkteskala mit einem Wertebereich von 0 – 100 darzustellen. Hierfür werden zunächst alle drei Umweltindikatoren aller Bauteile eines Gebäudes ermittelt. Die Werte der drei Wirkungskategorien werden jeweils aufsummiert und schließlich über eine lineare Funktion auf 1 m² Konstruktionsfläche bezogen.⁶³⁶ Die Umrechnung der Werte der einzelnen Teilindikatoren in OI -Punkte erfolgt über entsprechende lineare Funktionen.

⁶³⁴ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex $OI3$ für Bauteile und Gebäude* (2018)

⁶³⁵ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex $OI3$ für Bauteile und Gebäude* (2018)

⁶³⁶ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.42

| | UMRECHNUNG | PUNKTESKALA |
|---|---|---|
| Ol_{PENRT} Ressourcenverbrauch | MJ pro 1 m ² Konstruktionsfläche in Ol _{PENRT} -Punkte: $f(x) = \frac{1}{10}(x - 500)$ [28] |  |
| Ol_{GWP} Treibhauspotenzial | kg CO ₂ Äqu. pro 1 m ² Konstruktionsfläche in Ol _{GWP} -Punkte: $f(x) = \frac{1}{2}(x + 50)$ [29] |  |
| OI_{AP} Versäuerung | kg SO ₂ Äqu. pro 1 m ² Konstruktionsfläche in OI _{AP} -Punkte: $f(x) = \frac{100}{0,25}(x - 0,21)$ [30] |  |

Tab. 6.7.: Ermittlung des Punktesystems von Ressourcenverbrauch, Treibhauspotenzial und Versäuerung⁶³⁷

o baubook

Die Online-Plattform baubook verfügt über mehr als 1000 Richtwerte für die gängigsten Baustoffe. Bauphysikalische und bauökologische Daten für Ökobilanzierungen stehen online nach einer Registrierung jedem Nutzer zur Verfügung. Für die Ermittlung der bauphysikalischen Richtwerte wird die ÖNORM 8110-7 (Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte) herangezogen. Diese Richtwerte ermöglichen eine nach baubehördlichen Verfahren (Energieausweis) konforme Nutzung von Baustoffen. Die bauökologischen Richtwerte werden den Ökobilanzdaten für Baumaterialien entnommen. Die Richtwerte aus baubook werden hauptsächlich zur Berechnung von Ökobilanzkennwerten von Gebäuden verwendet. Der Ökoindex OI3 sowie der Entsorgungsindikator EI bedienen sich für ihre Bewertungsmethode diesen Richtwerten. Auch Berechnungsprogramme wie etwa ArchiPhysik oder ETU Gebäudeprofi nutzen die Richtwerte über baubook zur Erstellung von Energieausweisen oder etwa der Nachweisführung zu Wärme-, Feuchte- und Schallschutz. Die über die Online-Plattform abrufbaren Richtwertkataloge werden regelmäßig vom Österreichischen Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) aktualisiert.⁶³⁸

Zusätzliche Werkzeuge wie etwa der baubook-Rechner für Bauteile erleichtern die Zusammenstellung von Bauteilen. Registrierten Nutzer wird ermöglicht eigene Bauteilzusammenstellungen Vorgefertigte Beispielbauteile ermöglichen einen Überblick zur Funktionsweise.⁶³⁹

⁶³⁷ Abbildungen in Tab. bezogen aus: Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Ökoindex OI3 für Bauteile und Gebäude* (2018)

⁶³⁸ Vgl. baubook, *Richtwerte*, online: <https://www.baubook.info/de/kennwerte/richtwerte> (Zugriff 15.01.2023)

⁶³⁹ Vgl. baubook, *Richtwerte*, online: <https://www.baubook.info/de/kennwerte/richtwerte> (Zugriff 15.01.2023)

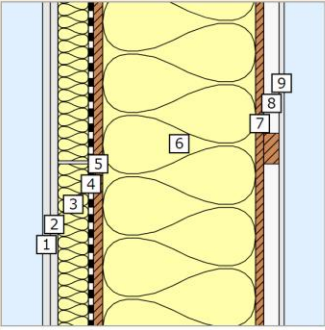
zur baubook-Zentrale
Plattform des Rechners wechseln
eco2soft - Gebäuderechner
NEW English

Rechner für Bauteile.

Home Informationen / Kontakt Anmelden

AWI 04 a Brettschichtholzständer-Außenwand, nicht hinterlüftet **Wand:** gegen Außenluft - nicht hinterlüftet (BG1) - IBO-Richtwerte 2012

Anmelden und Kopie dieses Bauteils bearbeiten



| Nr. | Typ | Schicht (von innen nach aussen) | d cm | λ W/mK | R m ² K/W | $\Delta OI3$ Pkt/m ² |
|----------------|--|---------------------------------|---|-------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 1 | Gipskartonplatte (900 kg/m ³) | | 1,50 | 0,250 | 0,06 | 4 |
| 2 | Gipskartonplatte (900 kg/m ³) | | 1,50 | 0,250 | 0,06 | 4 |
| 3 | Steinwolle zw. Schwingbügel | | 6,00 | | | |
| | 61,9 cm (99%) Steinwolle MW(SW)-W (30 kg/m ³) | | 6,00 | 0,042 | 1,43 | 5 |
| | 0,6 cm (1%) Stahl niedriglegiert (Legierungsanteil 1%) | | 6,00 | 50,000 | 0,00 | 1 7 |
| 4 | Dampfsperre PE (Dichtungsbahn Polyethylen (PE)) | | 0,02 | 0,500 | 0,00 | 1 1 |
| 5 | OSB-Platten (650 kg/m ³) | | 1,80 | 0,130 | 0,14 | 4 |
| 6 | Steinwolle zw. Brettschichtholz | | 30,00 | | | |
| | 56,3 cm (90%) Steinwolle MW(SW)-W (40 kg/m ³) | | 30,00 | 0,040 | 7,50 | 32 |
| | 6,3 cm (10%) Brettschichtholz, verleimt Innenanwendung (475 kg/m ³ - zb Fichte/Tanne) | | 30,00 | 0,120 | 2,50 | 5 |
| 7 | Holzfasern halbhart (MDF-Platten mitteldichte Faserplatte (600 kg/m ³)) | | 1,60 | 0,120 | 0,13 | 7 |
| 8 | Inhomogen (Elemente horizontal) | | 3,00 | | | |
| | 56,5 cm (90%) Luftschicht stehend, Wärmefluss horizontal 25 < d <= 30 mm | | 3,00 | 2 | 2 | 1 0 |
| | 6 cm (10%) Nutzholz (475 kg/m ³ - zB Fichte/Tanne) - rau, technisch getrocknet | | 3,00 | 2 | 2 | 1 0 |
| 9 | Faserzementplatten (2000 kg/m ³) | | 0,80 | 2 | 2 | 1 16 |
| | | | $R_{Si} / R_{Se} =$ | | 0,130 / 0,040 | |
| | | | R' / R'' (max. relativer Fehler: 10,3%) = | | 8,521 / 6,927 | |
| Bauteil | | | 46,22 | 7,724 | 85 | |

U-Wert ³ 0,129 W/m²K

OI-Klasse (BG1) ⁴ C

Masse 97,2 kg/m²

PENRT 1022 MJ/m²

GWP total 9,35 kg CO₂/m²

AP 0,371 kg SO₂/m²

Abb. 6.11.: baubook Rechner für Bauteile am Beispiel für eine Brettschichtholzständer-Außenwand über die Website www.baubook.at/BTR/⁶⁴⁰

Die Ökobilanzierung eines gesamten Gebäudes kann durch das Online-Werkzeug eco2soft unterstützt werden. Hierbei werden die Lebenszyklusphasen der Herstellung, Erneuerung und Entsorgung berücksichtigt. Wohnbauförderungen und Gebäudezertifizierungen fordern immer mehr positive und ökologisch nachhaltige Ökobilanzierungsergebnisse.⁶⁴¹

⁶⁴⁰ Auszug aus der Datenbank baubook: baubook, *Rechner für Bauteile*, online: <https://www.baubook.at/BTR/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁴¹ Vgl. baubook, *eco2soft - Ökobilanz für Gebäude*, online: <https://www.baubook.info/de/werkzeuge/eco2soft> (Zugriff 15.01.2023)

Projektnamen: Beispielgebäude

Gebäude gesamt

| | | |
|---|--|--|
| PENRT: 2.738 kWh / (m ² BZF _{OI}) | GWPT: 328 kg CO ₂ equ. / (m ² BZF _{OI}) | BGF: 158,24 m ² |
| PENRE: 2.426 kWh / (m ² BZF _{OI}) | GWPF: 595 kg CO ₂ equ. / (m ² BZF _{OI}) | BZF_{OI}: 158,24 m ² |
| PENRM: 312 kWh / (m ² BZF _{OI}) | GWPB: -268 kg CO ₂ equ. / (m ² BZF _{OI}) | I_e: 1,45 m |
| PERT: 2.000 kWh / (m ² BZF _{OI}) | AP: 2,32 kg SO ₂ equ. / (m ² BZF _{OI}) | Katalog der Ökokennzahlen: IBO-Richtwerte 2012 |
| PERE: 395 kWh / (m ² BZF _{OI}) | EP: 0,987 kg PO ₄ ³⁻ / (m ² BZF _{OI}) | Nutzungsdauer berücksichtigt: ganzzahlige Austauschzyklen im Betrachtungszeitraum lt. Norm EN 15804 |
| PERM: 1.605 kWh / (m ² BZF _{OI}) | POCP: 2,47 kg C ₂ H ₄ / (m ² BZF _{OI}) | Betrachtungszeitraum: 100 Jahre |
| | ODP: 4,76·10 ⁻⁵ kg CFC-11 / (m ² BZF _{OI}) | Nutzungsdauerkatalog: 2018 |

Abb. 6.12.: eco2soft Ökobilanz für Gebäude – Ergebnisse eines Beispielgebäudes über die Website www.baubook.at/ecosoft/⁶⁴²

6.2.4 Leitfäden

Neben Sammlungen zu Produkt- bzw. Baustoffinformationen existieren als Planungshilfe für das nachhaltige Bauen auch ausführliche Leitfäden. Diese dienen zur Unterstützung der im Baubereich tätigen Akteure zur besseren Übersicht über vorhandene Bewertungsmöglichkeiten. Dadurch wird der Komplexität des nachhaltigen Bauens und den vielzähligen Entscheidungsprozessen in der Nachhaltigkeitsbewertung entgegengewirkt. Folgend werden einige relevante Leitfäden aus Deutschland und der Schweiz vorgestellt. Auch in Österreich existieren einige differente Leitfäden, welche auf die Grundsätze des Nachhaltigen Bauens aufbauen sowie auf die Prinzipien der gesetzlichen Maßnahmen aufmerksamen machen. Grundsätzlich bieten Institute, welche Zertifizierungen verleihen, eine unterstützende Beratung im Laufe der gesamten Planungsphase an. Dies wird von Baubeteiligten in Österreich auch in Anspruch genommen.

○ Leitfaden Nachhaltiges Bauen

Herausgeber des Leitfadens für Nachhaltiges Bauen ist das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Dieser Leitfaden dient in erster Linie zur Unterstützung von am Bau beteiligten Akteure für die Nutzungs- und Betriebsphase eines Gebäudes. Verpflichtend ist dieser Leitfaden in der Ausführung jeglicher Hochbaukonstruktionen des Bundes. Für öffentliche Hochbauaufgaben der Länder dient er hingegen als Empfehlung.⁶⁴³ Die aktuelle Ausgabe des Leitfadens von 2016 steht über das Informationsportal www.nachhaltigesbauen.de als Pdf-Datei⁶⁴⁴ zum Download zur Verfügung.

⁶⁴² Auszug aus der Datenbank eco2soft: baubook, eco2soft Ökobilanz für Gebäude, online: <https://www.baubook.at/ecosoft/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁴³ Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), *Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, Berlin (2016)

⁶⁴⁴ Nachhaltiges Bauen, *Informationsportal. Eigene Publikationen*, online: <https://www.nachhaltigesbauen.de/publikationen/eigene-publikationen/> (Zugriff 15.01.2023)

Der Leitfaden ist in vier Bereiche aufgeteilt. Neben den Grundsätzen und Maßnahmen für nachhaltiges Bauen werden schließlich Empfehlungen für eine nachhaltige Nutzung und Instandhaltung angegeben. Der vierte Bereich behandelt nachhaltige Maßnahmen im Bestand. Ein wichtiges Element in dieser Literatur ist vor allem die Definition der Nachhaltigkeitsbewertung mit dem Bewertungssystem BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen). Berücksichtigt wird der gesamte Lebenszyklus von Gebäuden in allen drei Bereichen der Nachhaltigkeit.⁶⁴⁵

- 2000-Watt Gesellschaft

Das klima- und energiepolitische Modell „2000-Watt Gesellschaft“ wurde an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) zur Senkung des Energiebedarfs jedes Erdenbewohners entwickelt.⁶⁴⁶ Das Modell entsteht im Interesse zur Erfüllung verschiedener Zielsetzungen sowie aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse. Zum einen werden die Ziele für den Klimaschutzplan für 2050 sowie die Zielsetzungen des Pariser Übereinkommens von 2015 angestrebt. Und des Weiteren werden die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Forschungen des IPCC herangezogen. Ziel ist es die Energie und Ressourcen nachhaltig zu nutzen und demzufolge die Energie-Dauerleistung einer Person mit einem Maximum von 2000 Watt und den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß mit einer Tonne CO₂ festzulegen. Das Modell dient als Orientierung mit methodischen Konventionen, inhaltlichen Herleitungen sowie weiteren Details zur Einführung des Konzeptes der 2000-Watt Gesellschaft. Die Hauptziele des Leitkonzeptes werden wie folgt beschrieben:⁶⁴⁷

Ziel 1 – Energieeffizienz: 2000 Watt Primärenergie Dauerleistung pro Person

Ziel 2 – Klimaneutralität: Null energiebedingte Treibhausgasemissionen

Ziel 3 – Nachhaltigkeit: 100% erneuerbare Energieversorgung⁶⁴⁸

Über die Plattform des Programms EnergieSchweiz (www.local-energy.swiss) ist eine Lang- sowie Kurzfassung des Leitkonzeptes als Pdf-Datei zum Download zu finden. EnergieSchweiz ist ein vom schweizerischen Bundesrat zur Förderung der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energie eingeführtes Programm. Mit Hilfe dieses Programmes werden Städte, Gemeinden, Areale und weitere Regionen im Sinne einer Förderung zur Erreichung nachhaltiger Ziele unterstützt.⁶⁴⁹

Die zwei Leitindikatoren, Primärenergiebedarf und jährlicher energiebedingter Treibhausgasemissionen pro Einwohner, werden für die Bilanzierung herangezogen. Hierfür können auf Empfehlung des Leitkonzeptes die Werte der KBOB Sachbilanzdatenbank verwendet werden.⁶⁵⁰ Grundsätzlich bevorzugt dieses Konzept jede innovative Technologie, welche einen modernen Lebensstil mit einer Effizienz des Energieeinsatzes, einer Senkung des Energieverbrauches sowie die Nutzung erneuerbarer Energieträger ermöglicht. Obwohl die Realisierbarkeit des Programms stark umstritten ist, wird es bereits von einigen Städten angewendet. Obgleich das Ziel von 2000-Watt pro Einwohner aktuell vor allem in Industrieländern weit entfernt ist, wird stetig auf eine Minderung hingearbeitet.⁶⁵¹

- Eco-BKP Merkblätter ökologisches Bauen

Ecobau ist eine gemeinsame Plattform öffentlicher Bauherrschaften des Schweizer Bundes, von Kantonen und Städten und bietet über die sogenannten Eco-BKP Merkblätter Empfehlungen zum

⁶⁴⁵ Vgl. BMUB, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden (2016)

⁶⁴⁶ Vgl. Stadt Zürich Gesundheits- und Umweltdepartement, *Das 2000-Watt Konzept*, online: https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/2000-watt-gesellschaft/hintergrund/Konzept.html (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁴⁷ Vgl. EnergieSchweiz (Hrsg.), *Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz* (2020)

⁶⁴⁸ Vgl. EnergieSchweiz (Hrsg.), *Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft* (2020)

⁶⁴⁹ Vgl. EnergieSchweiz, *Programm für Städte, Gemeinden, Areale & Regionen*, online: <https://www.local-energy.swiss/#/> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁵⁰ Vgl. EnergieSchweiz (Hrsg.), *Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft* (2020)

⁶⁵¹ Vgl. EnergieSchweiz (Hrsg.), *Kurzfassung. Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz* (2020)

nachhaltigen Planen, Bauen und Bewirtschaften von Gebäuden und Anlagen. Die Merkblätter definieren Vorgaben für ökologische und gesunde Baumaterialien und beschreiben ökologisch nachhaltige Herstellungsprozesse. Die Vorgaben werden in 28 Baukostenpläne (BKP) gegliedert und sind dementsprechend eng mit der Ökonomie verbunden.⁶⁵² Diese Vorgaben stehen auch in einem Normpositionen-Katalog (NPK) über die Website www.ecobau.ch oder über die Ausschreibungssoftware *ecodevis* zur Verfügung.⁶⁵³

Die Merkblätter werden in drei Spalten gegliedert. Die erste Spalte beschreibt das Material oder den Prozess und kann durch eine Abbildung verständlicher gemacht werden. Die zweite Spalte der Tabelle beinhaltet empfohlene Maßnahmen zur Optimierung hinsichtlich einer nachhaltigen und gesunden Planung. Es kann auf Verstöße gegen Ausschlusskriterien des Zertifizierungssystems Minergie-Eco hingewiesen werden. Die letzte Spalte dient zur Angabe von einzuhaltenden Vorgaben, Verordnungen sowie weiteren Hinweisen.⁶⁵⁴

6.3 Gütesiegel und Zertifikate

Die Auswahl von baubiologisch und bauökologisch nachhaltigen Baustoffen oder Bauprodukten sowie die Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden kann durch normgemäße Zertifizierungen erleichtert werden. Grundsätzlich verfolgen Zertifizierungssysteme zwei Ziele. Zum einen dient eine Nachhaltigkeitszertifizierung in Form eines Gütesiegels allen Nutzern als Qualitätssymbol und versichert umweltfreundliche, bauökologisch und baubiologisch geprüfte Qualität. Andererseits dient ein Nachhaltigkeitszertifikat allen Baubeteiligten als Hilfsmittel zum nachhaltigen Bauen. Ein Zertifikat verschafft etwa eine überschaubare Auswahl zwischen allen am Markt vorhandenen zertifizierten Bauprodukten und ermöglicht den direkten Vergleich der Produkte untereinander.

Um sowohl den Konsumenten als auch den Planern Gewissheit zu verschaffen, werden Qualitätssymbole bzw. Gütesiegel von behördlichen Institutionen oder staatlich anerkannten Forschungsinstituten sowie Vereinen vergeben. Gegenwärtig anerkannte Gütesiegel werden in Form von Typ-I Umweltzeichen bzw. Typ-III Umweltzeichen ausgeführt. Die Vergabe von Gütesiegel und Zertifikaten erfolgt nach einem bestimmten Verfahren gemäß den hierfür bestimmten Normen (siehe Abschnitt 6.1). Für Interessenten gibt es in Abhängigkeit davon, ob ein Baustoff, ein Bauprodukt oder ein Gebäude bewertet werden soll eine Vielzahl an möglichen Gütesiegel und Zertifikaten. Produkte mit einem Typ-I Umweltzeichen müssen gewissen Anforderungen entsprechen, um als umweltfreundlich gekennzeichnet werden zu können. Bei einer Deklaration vom Typ-III hingegen werden die Umweltauswirkungen eines Produktes nicht bewertet. Auf eine Ökobilanz beruhend werden Daten zu Umweltauswirkungen systematisch erfasst. Der Planer kann anschließend eine eigene Methode mit eigenem Maßstab zur Bewertung heranziehen. Deklarationen in Form von Typ-III Umweltzeichen eignen sich vor allem zur Bewertung der umweltbezogenen Qualität von Gebäuden. Mit der Vergabe eines Umweltzeichens können Informationen zum erforderlichen Energie- und Ressourceneinsatzes gegeben sowie über das Ausmaß eines Produktes zu den jeweiligen Umweltindikatoren informiert werden. Ein Umweltzeichen vom Typ-III ermöglicht die Angabe von technischen Eigenschaften des Bewertungsgegenstandes. Das Einbeziehen der Gebäudelebensdauer oder die Berücksichtigung der Beeinflussung der Innenraumluftqualität auf die Nutzer sowie weiterer physikalischer Eigenschaften erlauben eine zusätzliche Einschätzung der Leistung eines Gebäudes im Gesamten.⁶⁵⁵

⁶⁵² Vgl. *ecobau, ecoBKP. Merkblätter ökologisches und gesundes Bauen nach Baukostenplan (BKP)*, Verein eco-bau (2021)

⁶⁵³ Vgl. *ecobau, ecoDevis 2022*, online: <https://www.ecobau.ch/de/instrumente/ecodevis> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁵⁴ Vgl. *ecobau, ecoBKP. Merkblätter* (2021)

⁶⁵⁵ Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Umweltzeichen und Umweltdeklarationen*, online: <https://www.ibo.at/materialoekologie/umweltzeichen-fuer-bauprodukte/ibo-pruefzeichen/umweltzeichen-und-umweltdeklarationen> (Zugriff 14.01.2023)

Das Klimaschutzministerium in Österreich bietet über die Online-Plattform www.bewusstkaufen.at eine Übersicht bzw. einen Vergleich einiger verschiedener Umweltzeichen. Für verschiedene Produktkategorien werden die angemessenen Qualitätssiegel aufgelistet. Dies kann als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung in der Auswahl zwischen den verfügbaren Labels dienen. Dieser Abschnitt soll einen Überblick über die relevanten Gütesiegel und Label im deutschsprachigen Raum ermöglichen.

6.3.1 Gütesiegel und Label für Baustoffe und Bauprodukte

| Blauer Engel | |
|--|--|
|  <p data-bbox="260 566 470 591">www.blauer-engel.de</p> | <p data-bbox="555 331 703 356">Organisation</p> <p data-bbox="555 389 1390 488">Der Blaue Engel ist ein zertifiziertes Umweltzeichen Typ-I nach DIN EN ISO 14024 und wird bereits seit 1978 bzw. nach normierten Verfahren seit etwa 2000 vergeben.</p> <p data-bbox="555 517 1390 651">Träger des Umweltzeichen ist das deutsche Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV). Weitere für das Vergabeverfahren relevante Institutionen sind das Umweltbundesamt, die RAL gemeinnützige GmbH und die Jury Umweltzeichen.⁶⁵⁶</p> <p data-bbox="555 689 738 714">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 757 1390 1070">Betonwaren mit rezyklierten Gesteinskörnungen für Bodenbelag im Freien, Bodenbelagsklebstoffe, Bodenbeläge elastisch/textil, Bodenbeläge aus Holz und Holzwerkstoffen, emissionsarme Dichtstoffe, emissionsarme Wärmedämmstoffe und Unterdecken für Innenanwendungen, Emissionsarme plattenförmige Werkstoffe (Bau- und Möbelplatten) für den Innenausbau, emissionsarme Innenputze, Lacke/Lasuren und Grundierungen, Tapete, Bodenverlegewerkstoffe, Wandfarben, Wärmedämmputzsysteme, Dämmstoffe aus Altpapier und Altglas, Holz und Holzwerkstoffe, Mauer- und Dachsteine, Wandfarben, Zemente/ Putze/ Mörtel⁶⁵⁷</p> <p data-bbox="555 1115 699 1140">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 1171 1390 1238">Als das längste existierende Umweltzeichen der Welt verspricht der Blaue Engel gesundheitsverträgliche und schadstofffreie Produkte.</p> <p data-bbox="555 1267 1390 1402">In Abhängigkeit der Baustoffgruppe existieren individuelle Prüfkriterien. Die jeweiligen Prüfkriterienkataloge sind über die Website des Blauen Engels abrufbar.⁶⁵⁸ Bei der Vergabe des Umweltzeichen wird grundsätzlich auf folgende Kriterien geachtet:</p> <ul data-bbox="635 1433 1390 1832" style="list-style-type: none"> • Ressourceneffizienz in der Herstellung (Wasser, Energie, rezykliertes Material) • Nachhaltige Produktion von Rohstoffen • Vermeidung von Schadstoffen im Produkt • Reduktion von Emissionen in Wasser, Boden, Luft und Innenraum • Reduktion von Lärm und elektromagnetischer Strahlung • Energieeffizienz und sparsame Nutzung von Wasser • Langlebigkeit, Reparatur- und Recyclingfähigkeit • gute Gebrauchstauglichkeit • Einhaltung von internationalen Arbeitsschutzstandards • Rücknahmesysteme und Dienstleistungen mit gemeinschaftlicher Nutzung, bspw. Carsharing⁶⁵⁹ |

⁶⁵⁶ Vgl. El Khoulis S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

Vgl. Blauer Engel, *Das deutsche Umweltzeichen*, online: <https://www.blauer-engel.de/de> (Zugriff: 18.08.2022)

⁶⁵⁷ El Khoulis S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

Blauer Engel, *Das deutsche Umweltzeichen*, online: <https://www.blauer-engel.de/de> (Zugriff: 18.08.2022)

⁶⁵⁸ Vgl. Blauer Engel, *Das deutsche Umweltzeichen*, online: <https://www.blauer-engel.de/de> (Zugriff: 18.08.2022)

⁶⁵⁹ Blauer Engel, *Das deutsche Umweltzeichen*, online: <https://www.blauer-engel.de/de> (Zugriff: 18.08.2022)

Je nach Labelbezeichnung kann auf die explizite Vermeidung gewisser Umweltauswirkungen zurückgeführt werden.

- „Schützt Umwelt und Gesundheit“
- „Schützt das Klima“
- „Schützt die Ressourcen“
- „Schützt das Wasser“⁶⁶⁰

Eco-Institut-Label



<https://www.eco-institut-label.de/de/>

Organisation

Das deutsche eco-Institut Germany GmbH ist ein unabhängiges und privatrechtliches Unternehmen. Das Institut beschäftigt sich seit vielen Jahren mit der Innenraumanalytik und gehört zu den führenden Anbietern für Emissionsprüfungen. Maßgeblich in der Prüfung ist die Messung der Emissionen in mehr als 120 unterschiedlich großen Prüfkammern aus Edelstahl und Glas.⁶⁶¹

Produktgruppen

Anstrich- und Beschichtungsstoffe, Dichtstoffe, Holzwerkstoffe/ Ausbauplatten, Klebstoffe, mineralische Bauprodukte, Holz- und Korkfußböden, Parkett, Laminat, Paneele, Teppich, elastische und Outdoor-Bodenbeläge⁶⁶²

Prüfkriterien

Über eine Emissionsprüfung werden die Mengen der Schadstoffgruppen Formaldehyd, VOC, TVOC, TSVOC und weitere analysiert. Außerdem werden die Produkte auf gefährliche Inhaltsstoffe wie Schwermetalle, Pestizide, Biozide oder Weichmacher untersucht.⁶⁶³

⁶⁶⁰ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁶¹ Vgl. eco-Institut, eco-INSTITUT-Label, online: <https://www.eco-institut-label.de/de/> (Zugriff 18.08.2022)

⁶⁶² El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁶³ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

| EMICODE | |
|--|---|
|  <p data-bbox="268 495 464 517">www.emicode.com</p> | <p data-bbox="555 259 703 288">Organisation</p> <p data-bbox="555 315 1394 488">Das Umweltzeichen EMICODE wird seit 1997 durch die GeV (Gemeinschaft Emissionskontrollierte Verlegewerkstoffe, Klebstoffe und Bauprodukte e. V.) an emissionsarme Verlegewerkstoffe und Bauprodukte vergeben. Ein EMICODE Siegel dient Verbrauchern, Planern und weiteren Baubeteiligten als Orientierungshilfe in der Auswahl bauchemischer Produkte.⁶⁶⁴</p> <p data-bbox="555 528 740 557">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 584 1394 651">Klebstoffe, Grundierungen, Voranstriche, Spachtelmassen, Unterlagen, Dämmmaterialien, Parkettlacke, Estriche etc.⁶⁶⁵</p> <p data-bbox="555 692 699 721">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 748 1394 853">Mittels hochempfindlicher Laboranalytik (Gas-Chromatographie, Massenspektrometrie) werden die Mengen flüchtig organischer Substanzen (VOC, TVOC, TSVOC) in der Luft in standardisierten Verfahren identifiziert.⁶⁶⁶</p> |
| EU-Ecolabel | |
|  <p data-bbox="220 1240 512 1301">http://eu.europa.eu/environment/ecolabel</p> | <p data-bbox="555 1008 703 1037">Organisation</p> <p data-bbox="555 1064 1394 1236">Das EU Ecolabel, auch Europäisches Umweltzeichen oder Euroblume, gilt als internationales Gütesiegel für Produkte und Dienstleistungen. Eingeführt wurde das Europäische Umweltzeichen 1992 durch die Europäische Kommission und wird heute durch nationale Institute in den teilnehmenden Mitgliedsstaaten der EU vergeben.⁶⁶⁷</p> <p data-bbox="555 1276 740 1305">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 1332 1054 1361">Lacke/ Lasuren, Wandfarben, Bodenbeläge⁶⁶⁸</p> <p data-bbox="555 1402 699 1431">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 1458 1394 1525">Für die einzelnen Baustoffgruppen existieren individuelle Prüfkriterien. Für die Bewertung von Produkten wird der gesamte Lebenszyklus herangezogen.</p> |

⁶⁶⁴ Vgl. EMICODE, EMICODE, online: <https://www.emicode.com> (Zugriff 18.08.2022)

⁶⁶⁵ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁶⁶ Vgl. EMICODE, EMICODE, online: <https://www.emicode.com> (Zugriff 18.08.2022)

⁶⁶⁷ Vgl. Europäische Kommission, *EU Ecolabel*, online: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/eu-ecolabel-home_en (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁶⁸ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

| FSC | |
|---|--|
|  <p data-bbox="284 510 443 539">www.fsc.org/en</p> | <p data-bbox="555 264 703 293">Organisation</p> <p data-bbox="555 322 1390 421">Der Forest Stewardship Council (FSC) ist eine internationale Non-Profit-Organisation, welche mit ihrem FSC-Siegel Holz und Holzwerkstoffe aus nachhaltiger Wirtschaft kennzeichnet.⁶⁶⁹</p> <p data-bbox="555 461 738 490">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 519 855 548">Holz und Holzwerkstoffe⁶⁷⁰</p> <p data-bbox="555 589 699 618">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 647 1390 786">Das Label durch FSC berücksichtigt neben ökologischen Kriterien auch die Arbeitsbedingungen und weitere soziale Merkmale. Für eine FSC-Zertifizierung müssen alle beteiligten Betriebe eine umweltgerechte, sozial verträgliche und ökonomisch sinnvolle Bewirtschaftung von Wäldern sicherstellen.⁶⁷¹</p> |
| Goldenes M | |
|  <p data-bbox="220 1153 512 1182">https://www.dgm-moebel.de</p> | <p data-bbox="555 913 703 943">Organisation</p> <p data-bbox="555 972 1390 1070">Das Gütezeichen Goldenes M wird von der Deutschen Gütegemeinschaft Möbel e.V. (DGM) vergeben. Das Gütesiegel dient den Verbrauchern als Orientierungshilfe beim Kauf von Möbel.⁶⁷²</p> <p data-bbox="555 1111 738 1140">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 1169 948 1198">Holz und Holzwerkstoffe (Möbel)⁶⁷³</p> <p data-bbox="555 1238 699 1267">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 1296 1390 1435">Das Gütezeichen Goldenes M vergibt Auszeichnungen für geprüfte Möbel, welche hinsichtlich ihrer Qualität, Sicherheit und Gesundheit sowie Umweltschutz den Anforderungen strenger Kriterien erfüllen.⁶⁷⁴ Des Weiteren wird auch auf die Schadstoffemissionsmenge eingegangen.⁶⁷⁵</p> |

⁶⁶⁹ Vgl. Forest Stewardship Council (FSC), *The future of forests is in our hands*, online: <https://fsc.org/en> (Zugriff 27.09.2022)

⁶⁷⁰ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁷¹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22


Vgl. Forest Stewardship Council (FSC), *The future of forests is in our hands*, online: <https://fsc.org/en> (Zugriff 27.09.2022)

⁶⁷² Vgl. Deutsche Gütegemeinschaft Möbel, *Ihr Portal für zertifizierte Möbel*, online: <https://www.das-goldene-m.de/de/> (Zugriff 27.09.2022)

⁶⁷³ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁷⁴ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁷⁵ Vgl. Deutsche Gütegemeinschaft Möbel, *Ihr Portal für zertifizierte Möbel*, online: <https://www.das-goldene-m.de/de/> (Zugriff 27.09.2022)

| | |
|---|---|
| <p style="text-align: center;">GoodWeave</p> | |
| <div style="text-align: center;">  <p>https://goodweave.org/de/</p> </div> | <p>Organisation</p> <p>Das Gütesiegel GoodWeave wird durch die Organisation GoodWeave International für Teppiche aus Nepal und Indien ausgestellt.⁶⁷⁶</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Bodenbeläge (Teppiche)⁶⁷⁷</p> <p>Prüfkriterien</p> <p>In der Bewertung und Vergabe des Gütesiegel spielt der soziokulturelle Faktor der Nachhaltigkeit eine ausschlaggebende Rolle. Die wesentlichen Prüfkriterien sind der Verzicht auf Kinderarbeit, die Gewährleistung angemessener Löhne sowie die Sicherheit am Arbeitsplatz. Des Weiteren wird die Einhaltung der Umwelt-Mindeststandards stetig kontrolliert.⁶⁷⁸</p> |
| <p style="text-align: center;">GUT-Teppich-Siegel</p> | |
| <div style="text-align: center;">  <p>https://gut-prodis.eu</p> </div> | <p>Organisation</p> <p>1990 wurde die Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (GUT) durch führende europäische Teppichbodenhersteller in Aachen (Deutschland) gegründet. Dieser Verein verfügt seitdem über die Vergabe des GUT-Labels und stellt eine kontinuierliche Weiterentwicklung von Umweltstandards in der textilen Bodenbelagsindustrie dar. Der vergebene Produktpass berücksichtigt vor allem aber auch die Anforderungen im Rahmen einer optimierten Kreislaufwirtschaft.⁶⁷⁹</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Bodenbeläge (Teppiche)⁶⁸⁰</p> <p>Prüfkriterien</p> <p>Eine GUT-Prüfung besteht aus einer Schadstoff-, Emissions- und einer sensorischen Geruchsprüfung. Berücksichtigt werden auch Emissionen während der Produktion.⁶⁸¹</p> |

⁶⁷⁶ Vgl. goodweave, *GoodWeave Deutschland*, online: <https://goodweave.org/de> (Zugriff 15.01.2023)



⁶⁷⁷ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁷⁸ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁷⁹ Vgl. Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (GUT), *Der neue Produktpass für Teppiche und Teppichböden*, online: <https://gut-prodis.eu> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁸⁰ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁸¹ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

| IBO | |
|--|--|
|  <p>https://www.ibo.at</p> | <p>Organisation</p> <p>Das Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie (IBO) ist ein unabhängiger, gemeinnütziger Verein. Für die Gewährleistung einer geschützten Umwelt und für die Sicherheit der menschlichen Gesundheit vergibt das Qualitätszeichen IBO-Prüfzeichen für Bauprodukte. Gegenwärtig stellt das IBO-Prüfzeichen ein anerkanntes und unabhängiges Siegel für baubiologisch und bauökologisch empfehlenswerte Produkte.⁶⁸²</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Betonfertigteile, Estriche, Gipshaltige Putze und Spachtelmassen, Gipsplatten, mineralische Schüttungen aus Blähglas/Blähton, zementgebundene und faserverstärkte Bauplatten, Transportbeton, etc.⁶⁸³</p> <p>Prüfkriterien</p> <p>Eine Prüfung durch das IBO berücksichtigt den gesamten Lebenszyklus eines Produktes. Die einzelnen Produktgruppen müssen toxikologische Stoffanforderungen und Anforderungen zum mineralischen Rohstoffabbau erfüllen.⁶⁸⁴</p> |
| IBR | |
|  <p>https://www.baubiologie-ibr.de</p> | <p>Organisation</p> <p>Das 1982 entwickelte Prüfsiegel „Geprüft und empfohlen vom Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH“ wird vom Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH (IBR) vergeben.⁶⁸⁵</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Dämmstoffe, Lacke/Lasuren, Wandfarbe, Tapeten, Bodenverlegewerkstoffe, Bodenbeläge, Holz/Holzwerkstoffe, Dichtstoffe/Folien, Zemente/Putze/Mörtel, Mauer-/Dachsteine⁶⁸⁶</p> <p>Prüfkriterien</p> <p>Indem für die Produktprüfung eine Schadstoff- und Emissionsanalyse durchgeführt wird, schützt das Prüfsiegelverfahren des IBR vor wohnumweltbedingten, gesundheitlichen Schäden.⁶⁸⁷</p> |

⁶⁸² Vgl. Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Ökologisch Bauen. Gesund Wohnen*, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff 15.01.2023)



⁶⁸³ IBO, *Ökologisch Bauen. Gesund Wohnen*, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁸⁴ Vgl. IBO, *Ökologisch Bauen. Gesund Wohnen*, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁸⁵ Vgl. Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH (IBR), *Institut für Baubiologie Rosenheim*, online: <https://www.baubiologie-ibr.de> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁸⁶ El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁸⁷ Vgl. Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH (IBR), *Institut für Baubiologie Rosenheim*, online: <https://www.baubiologie-ibr.de> (Zugriff 15.01.2023)

| Kork-Logo | |
|--|---|
|  <p>https://www.eco-institut.de/de/</p> | <p>Organisation</p> <p>Der deutsche Kork-Verband e.V. beauftragt das Kölner UL ECO INSTITUT 1997 das Qualitätskonzept für Kork-Bodenbeläge zu entwickeln. Der Standard des Sicherheitskonzeptes wird regelmäßig an den neuesten Stand der Technik und Wissenschaft angepasst.⁶⁸⁸</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Bodenbeläge⁶⁸⁹</p> <p>Prüfkriterien</p> <p>Das Kork-Logo wird an jene Produkte vergeben, welche die festgelegten Kriterien erfüllen. Über eine chemische Prüfung werden die Produkte auf flüchtige organische Verbindungen und Lösemittel (VOC) untersucht. Die Produkte werden auch auf weitere Schadstoffe wie Formaldehyd, Schwermetalle oder Pestizide untersucht.⁶⁹⁰</p> |
| Natureplus | |
|  <p>https://natureplus.org</p> | <p>Organisation</p> <p>Das internationale Gütezeichen natureplus wird von der NGO Internationaler Verein für zukünftiges Bauen und Wohnen vergeben. Entwickelt wurde dieses Umweltgütezeichen 1999 zur Standardisierung der Bauproduktenbewertung und wird nur an Bauprodukte vergeben. Der europäische Verein setzt sich hauptsächlich für den Ressourceneinsatz und den Klimaschutz bei der Herstellung von Bauprodukten ein.⁶⁹¹</p> <p>Produktgruppen</p> <p>Dämmstoffe, Lacke/Lasuren, Wandfarben, Holz und Holzwerkstoffe, Bodenbeläge, Zemente/Putze/Mörtel, Mauer-/Dachsteine⁶⁹²</p> |

⁶⁸⁸ Vgl. Deutscher Kork-Verband e.V. (Hrsg.), *Kork auf dem Boden...ein Leben lang Natur im Haus*, Bielefeld (2014)

⁶⁸⁹ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁹⁰ Vgl. Deutscher Kork-Verband e.V. (Hrsg.), *Kork auf dem Boden...ein Leben lang Natur im Haus* (2014)

⁶⁹¹ natureplus.org, *Gepüft Nachhaltig*, online: <https://natureplus.org/index.php?id=17&L=0> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁹² El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

Prüfkriterien

Das Gütezeichen natureplus verspricht Architekten, Baufirmen sowie weiteren Konsumenten gesundheitlich unbedenkliche, umweltgerecht hergestellte und funktionell einwandfreie Bauprodukte.⁶⁹³ Das Gütezeichen wird nur an Produkte vergeben, welche zu einem Großteil aus nachwachsenden und mineralischen Rohstoffen hergestellt werden. Für die einzelnen Produktgruppen gibt es eigene Basiskriterien.⁶⁹⁴ Die allgemeinen Anforderungen der Basiskriterien beziehen sich auf folgende Punkte:

- Gebrauchstauglichkeit
- Zusammensetzung: Stoffverbote und -beschränkungen
- Volldeklaration der Inhaltsstoffe
- Rohstoffgewinnung
- Produktverpackung (kein PVC; kein Papier/Karton aus Primärproduktion)
- Verarbeitung und Einbau: Vorlage von Produktinformation
- Nutzung: Emissionsbegrenzungen
- Entsorgung: Vorlage eines Rückbau-, Rücknahme- und Verwertungskonzept⁶⁹⁵

Naturland

<https://www.naturland.de/de/>

Organisation

Die deutsche Vereinigung Naturland – Verband für ökologischen Landbau e.V. fördert weltweit den ökologischen Landbau und engagiert sich in den Bereichen der ökologischen Waldnutzung, der Textilherstellung und der Kosmetik. Mit Hilfe von Zertifizierungen wird eine Qualitätssicherung und Transparenz sowie Sicherheit von Naturland Produkten gewährleistet.⁶⁹⁶

Produktgruppen

Holz und Holzwerkstoffe⁶⁹⁷

Prüfkriterien

Die Anforderungen an ein durch Naturland zertifiziertes Produkt sind in den Naturland-Richtlinien für die einzelnen Produktgruppen geregelt. Naturland untersagt bei der Verarbeitung von pflanzlichen und tierischen Produkten die Verwendung von Hilfs- und Zusatzstoffen. Außerdem berücksichtigt eine Zertifizierung durch Naturland die Menschenrechte gemäß UN Konvention.⁶⁹⁸ Die Naturland-Richtlinie definiert ein Verbot für die Verwendung bestimmter Inhaltsstoffe im Endprodukt. Außerdem ist die Nutzung schädliche Inhaltsstoffe eingeschränkt. Das Label versichert eine ökologische Waldbewirtschaftung.⁶⁹⁹

⁶⁹³ Vgl. natureplus.org, *Geprüft Nachhaltig*, online: <https://natureplus.org/index.php?id=17&L=0> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁹⁴ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.38

⁶⁹⁵ Vgl. Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept*, S.1.4.38

⁶⁹⁶ Vgl. naturland, *Wir sind öko. Wir sind Zukunft.*, online: <https://www.naturland.de/de> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁹⁷ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁶⁹⁸ Vgl. naturland, *Wir sind öko. Wir sind Zukunft.*, online: <https://www.naturland.de/de> (Zugriff 15.01.2023)

⁶⁹⁹ Vgl. bewusstkaufen.at, *Label Kompass. Naturland*, online: <https://www.bewusstkaufen.at/label-kompass/naturland/> (Zugriff 15.01.2023)

| ÖkoControl | |
|--|--|
|  <p data-bbox="240 465 488 495">https://oekocontrol.com</p> | <p data-bbox="555 264 703 293">Organisation</p> <p data-bbox="555 320 1390 456">Der europäische Verband ökologischer Einrichtungshäuser e.V. gründet die Tochtergesellschaft ÖkoControl Gesellschaft GmbH. Mit dem eingeführten Umweltlabel ÖkoControl werden Produkte nach ihrem ökologischen und gesundheitlichen Wert bewertet und ausgezeichnet.⁷⁰⁰</p> <p data-bbox="555 499 738 528">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 555 948 584">Holz und Holzwerkstoffe (Möbel)⁷⁰¹</p> <p data-bbox="555 627 699 656">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 683 1378 745">Produkte, welche mit einem ÖkoControl Gütesiegel versehen werden, müssen folgende Kriterien erfüllen:</p> <ul data-bbox="635 752 1390 987" style="list-style-type: none"> • Rohstoffe aus kontrolliert biologischem Anbau • Eingeschränkter Einsatz umweltschädlicher- und gesundheits-schädlicher Inhaltsstoffe • Holz aus nachhaltiger Waldbewirtschaftung • Emissionsgrenzwerte (VOC) • Umweltschonende Produktion / ressourcenschonend • Langlebigkeit⁷⁰² |
| PEFC | |
|  <p data-bbox="261 1384 467 1413">https://www.pefc.at</p> | <p data-bbox="555 1115 703 1144">Organisation</p> <p data-bbox="555 1171 1378 1308">Das deutsche Programm für die Anerkennung von Waldzertifizierungssystemen (PEFC engl. Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) ist eine unabhängige Organisation, welche sich für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung einsetzt.⁷⁰³</p> <p data-bbox="555 1350 738 1379">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 1406 1062 1435">Bodenbeläge aus Holz, Holz/Holzwerkstoffe⁷⁰⁴</p> <p data-bbox="555 1478 699 1507">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 1534 1378 1704">Der PEFC Standard legt Arbeitsbedingungen und soziale Kriterien für Unternehmen fest. Für die Vergabe eines PEFC-Labels muss neben einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung auch die umweltschonende Produktion sichergestellt sein. Des Weiteren muss eine hohe Arbeitssicherheit gewährleistet sein und die Arbeitnehmerrechte gewahrt werden.⁷⁰⁵</p> |

⁷⁰⁰ Vgl. bewusstkaufen.at, *Label Kompass. Naturland*, online: <https://www.bewusstkaufen.at/label-kompass/naturland/> (Zugriff 15.01.2023)


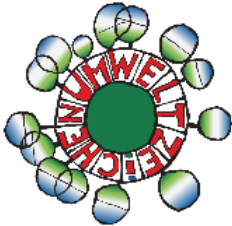
⁷⁰¹ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁷⁰² Vgl. ÖkoControl, *Willkommen beim ÖkoControl*, online: <https://oekocontrol.com> (Zugriff 15.01.2023)

⁷⁰³ Vgl. Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), *PEFC*, online: <https://www.pefc.at> (Zugriff 15.01.2023)

⁷⁰⁴ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁷⁰⁵ Vgl. Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), *PEFC*, online: <https://www.pefc.at> (Zugriff 15.01.2023)

| ToxProof | |
|--|---|
|  <p data-bbox="233 409 497 465">https://www.tuv.com/austria/de/</p> | <p data-bbox="555 259 703 288">Organisation</p> <p data-bbox="555 315 1385 416">Das Zertifikat TÜV-ToxProof wird durch TÜV Rheinland AG vergeben. Ein ToxProof-Zertifikat versichert Bauherrn, Planern und Architekten schadstoffarme und Allergiker-freundliche Produkte.⁷⁰⁶</p> <p data-bbox="555 456 738 486">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 512 1382 580">Dämmstoffe, Lacke/Lasuren, Wandfarben, Bodenverlegewerkstoffe, Bodenbeläge, Holzwerkstoffe, Dichstoffe/Folien Zemente/Putze/Mörtel⁷⁰⁷</p> <p data-bbox="555 620 699 649">Prüfkriterien</p> <p data-bbox="555 676 1390 813">Eine Zertifizierung durch ToxProof erfolgt nach einer strengen Emissionsanalyse für Formaldehyd, Diisocyanaten und flüchtig organischen Stoffen. Außerdem wird der Feststoffgehalt von organischen sowie chromathaltigen Holzschutzmitteln und bioziden Wirkstoffen untersucht.⁷⁰⁸</p> |
| Umweltzeichen | |
|  <p data-bbox="248 1234 480 1263">www.umweltzeichen.at</p> | <p data-bbox="555 943 703 972">Organisation</p> <p data-bbox="555 999 1374 1135">Das Österreichische Umweltzeichen wird seit 1990 durch das Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus an umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen vergeben. Unterteilt wird das Umweltzeichen in vier Sparten (Produkte, Tourismus, Green Marketing, Bildung).⁷⁰⁹</p> <p data-bbox="555 1196 738 1225">Produktgruppen</p> <p data-bbox="555 1252 1390 1424">Bauprodukte aus Kunststoff, Bodenpflegemittel, elastische Fußbodenbeläge, Hartschaum-Dämmstoffe aus polymeren Rohstoffen, Holz und Holzwerkstoffe, Fußbodenbeläge aus Holz, Lacke/Lasuren, Wandfarben, Wärmedämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen, Wärmedämmverbundsysteme, etc.⁷¹⁰</p> |

⁷⁰⁶ Vgl. Technischer Überwachungs-Verein (TÜV) Rheinland, *TÜV Austria*, online: <https://www.tuv.com/austria/de/> (Zugriff 15.01.2023)

⁷⁰⁷ El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁷⁰⁸ Vgl. El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁷⁰⁹ Vgl. Österreichisches Umweltzeichen, *Das Österreichische Umweltzeichen*, online: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (15.01.2023)

⁷¹⁰ Österreichisches Umweltzeichen, *Das Österreichische Umweltzeichen*, online: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (15.01.2023)

Prüfkriterien

Produkte, welche mit dem Österreichischen Umweltzeichen zertifiziert werden, müssen Kriterien hinsichtlich Umweltverträglichkeit und Gebrauchstauglichkeit erfüllen.⁷¹¹ Für die Bewertung werden folgende Punkte berücksichtigt:

- Rohstoff und Energieverbrauch
- Toxizität der Inhaltsstoffe
- Emissionen wie Abgase und Abwässer
- Recyclingfähigkeit
- Verpackung
- Vertrieb und Transport
- Qualität und Sicherheit
- Langlebigkeit
- Reparaturfreundlichkeit⁷¹²

Tab. 6.8.: Gütesiegel und Label für Baustoffe und Bauprodukte⁷¹³

6.3.2 Zertifizierungssysteme für Gebäude

Die ökologische Bewertung von Bauprodukten ist erst dann als vollständig zu verstehen, wenn auch die Lebenszyklusphasen nach Einbau in ein Gebäude berücksichtigt werden. Die Nutzung, Instandhaltung und Entsorgung von Bauprodukten als Teil eines Gebäudes stellen eine essenzielle Entscheidungsebene für die Nachhaltigkeitsbewertung dar. Mit Hilfe von Ökobilanzen (LCA Lebenszyklusanalyse) kann eine objektive Beurteilung über die Umweltauswirkungen von Baustoffen oder Gebäuden getroffen werden. Die Ökobilanz von Bauprodukten wird für die Beurteilung eines Gebäudes in den Gebäudepass berücksichtigt. Somit werden die Lebenszyklusphasen von der Herstellung bis zur Produktfertigstellung in die Beurteilung des Gebäudes integriert. Umweltrelevante Auswirkungen durch die Gebäudeerrichtung, Nutzung sowie den Abbruch und die Verwertung werden zu den gesammelten Produktökobilanzen ergänzt werden.

Die Zertifizierung von Gebäuden basiert auf freiwilliger Basis. Für ein Gebäude erstellter Gebäudepass dient Bauherrn und Immobilienmaklern als Marketing- und Qualitätsinstrument. Die darin enthaltenen Informationen zu Ökobilanzdaten ermöglichen eine objektive Beurteilung der Gebäudequalität nach ausgewähltem Maßstab. Als Planer oder Baubeteiligter oder Eigentümer kann zwischen verschiedenen Zertifizierungssystemen für nachhaltige Gebäude ein System ausgewählt werden. Die weltweit vorhandenen Gebäudezertifizierungssysteme weisen allerdings große Unterschiede auf.

Mit dem Ziel eine nachhaltig gebaute Umwelt zu schaffen gründen 1990 die Länder USA, Australien, Spanien, Großbritannien, Japan, Vereinte Arabische Emirate, Russland und Kanada sogenannte Green Building Councils. Als nichtstaatliche Organisationen gründen diese anschließend 2002 die Dachorganisation World Green Building Council (WGBC) mit einer gegenwärtigen Mitgliedszahl von über 70 Mitgliedern. Gemeinsam wird das Zertifizierungssystem Green Building Tool entwickelt. Diese kommt allerdings nur bedingt in einigen Ländern zum Einsatz.⁷¹⁴ Da ein Zertifizierungssystem auf die nationalen, rechtlichen und qualitativen Ansprüche der einzelnen Länder eingehen muss, entwickeln die länderspezifischen Green Building Councils eigene Gebäudezertifizierungssysteme. Dadurch können die individuellen lokalen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Da die einzelnen

⁷¹¹ Vgl. Österreichisches Umweltzeichen, *Das Österreichische Umweltzeichen*, online: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (15.01.2023)

⁷¹² Österreichisches Umweltzeichen, *Das Österreichische Umweltzeichen*, online: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (15.01.2023)

⁷¹³ Tabelle in Anlehnung an: El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.22

⁷¹⁴ Vgl. Friedrichsen S., *Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen. Kriterien für Neubau und Bauen im Bestand* (2011/2018), S.23

Gebäudezertifizierungssysteme unterschiedlich festgelegte Prüfkriterien aufweisen, erweist sich ein Vergleich der Zertifizierungen als schwierig. Es folgt eine Übersicht der relevanten im deutschsprachigen Raum angewendeten Gebäudezertifizierungssysteme.

| BREEAM (UK) | | |
|---|------------------------------------|--|
|  | Name des Systems | Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology |
| | Zertifizierungsorganisation | Building Research Establishment (BRE) www.breeam.org |
| | Zertifizierungsschwerpunkte | Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit. Schwerpunkt auf ökologischer Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. |
| | Anwendungsbereich | Neubauten und Bestandsgebäude aller Art |
| | Kosteneinschätzung | hoch |
| | Ökobilanzaspekte | Ökobilanzierung mit verschiedenen Tools, basierend auf EN ISO 14040 und 14044 für die Phasen Herstellung, Instandsetzung/ Nutzung und Entsorgung. Gebäudelebenszyklus: 60 Jahre Betrachtung von mindestens drei Umweltindikatoren erforderlich. |
| | LEED (USA) | |
|  | Name des Systems | Leadership in Energy & Environmental Design |
| | Zertifizierungsorganisation | US Green Building Council www.usgbc.org/leed |
| | Zertifizierungsschwerpunkte | Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit. Schwerpunkt auf ökologischer Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. |
| | Anwendungsbereich | Neubauten und Bestandsgebäude aller Art (außer Wohnbauten) |
| | Kosteneinschätzung | hoch |
| | Ökobilanzaspekte | Ökobilanz bisher nur testweise als Kriterium eingeführt für die Phasen der Herstellung, Transport, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung. Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Treibhauspotenzial (GWP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), Versauerungspotenzial (AP), Überdüngungspotenzial (EP), Einflusspotenzial auf Atemwege, Primärenergiebedarf |

| Minergie-ECO (CH) | | |
|---|------------------------------------|---|
|  | Name des Systems | Minergie |
| | Zertifizierungsorganisation | Verein Minergie www.minergie.ch |
| | Zertifizierungsschwerpunkte | Bewertung von Nutzerkomfort, Energieeffizienz sowie einer gesunden ökologischen Bauweise. |
| | Anwendungsbereich | Neubauten und Modernisierungen (Wohnbauten, Verwaltungsgebäude, Schulen) |
| | Kosteneinschätzung | mittel bis hoch |
| | Ökobilanzaspekte | Vereinfachte Ökobilanz: Bewertung mithilfe des SIA-Merkblatts 2032 "Graue Energie von Gebäude" für Herstellung, Instandhaltung und Entsorgung Gebäudelebenszyklus: 60 Jahre Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Graue Energie |
| SNBS (CH) | | |
|  | Name des Systems | Standard Nachhaltiges Bauen Schweiz Hochbau |
| | Zertifizierungsorganisation | Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz www.nnbs.ch/standard-snbs/ |
| | Zertifizierungsschwerpunkte | Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit |
| | Anwendungsbereich | Neubauten und Bestandsgebäude (jeweils Wohngebäude, Büro- und Verwaltungsgebäude) |
| | Kosteneinschätzung | hoch |
| | Ökobilanzaspekte | Vereinfachte Ökobilanz für Gebäudeerstellung, Betrieb und Mobilität. Gebäudelebenszyklus: 60 Jahre Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Treibhauspotenzial (GWP), nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE _{ne}) |

| DGNB (D) – ÖGNI (A) – SGNI (CH) | |
|---|---|
|    | <p>Name des Systems DGNB</p> |
| | <p>Zertifizierungsorganisation Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB)</p> <p>www.dgnb.de</p> |
| | <p>Name des Systems ÖGNI</p> |
| | <p>Zertifizierungsorganisation Österreichische Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (ÖGNI)</p> <p>www.ogni.at</p> |
| | <p>Name des Systems SGNI</p> |
| | <p>Zertifizierungsorganisation Schweizer Gesellschaft für Nachhaltige Immobilienwirtschaft (SGNI)</p> <p>www.sgni.ch</p> |
| <p>Zertifizierungsschwerpunkte</p> | <p>Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit.</p> <p>Alle drei Nachhaltigkeitsaspekte werden gleichwertig miteinbezogen.</p> |
| <p>Anwendungsbereich</p> | <p>Neubauten (Büro- und Verwaltungsgebäude, Handelsbauten, Industriebauten, Bildungsbauten, Wohngebäude, Hotels etc.) und Bestandsgebäude (Büro- und Verwaltungsgebäude, Handelsbauten, Industriebauten, Wohngebäude)</p> |
| <p>Kosteneinschätzung</p> | <p>hoch</p> |
| <p>Ökobilanzaspekte</p> | <p>Ökobilanzierung basierend auf EN ISO 14040 und 14044 für die Phasen Herstellung, Instandhaltung, Rückbau und Entsorgung.</p> <p>Gebäudelebenszyklus: 50 Jahre</p> <p>Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Treibhauspotenzial (GWP), Ozonschichtabbaupotenzial (ODP), Ozonbildungspotenzial (POCP), Versauerungspotenzial (AP), Überdüngungspotenzial (EP), nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf (PE_{ne}), Gesamtprimärenergiebedarf und Anteil erneuerbarer Primärenergie (PE_e)</p> |

| BNB (D) | | |
|---|--|--|
|  <p>Nachhaltiges Bauen</p> | <p>Name des Systems BNB</p> <p>Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude</p> <p>Zertifizierungsorganisation Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bauen und Reaktorsicherheit</p> <p>www.bnb-nachhaltigesbauen.de</p> <p>Zertifizierungsschwerpunkte Bewertungskriterien und Gewichtung analog zu DGNB.</p> <p>Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit.</p> <p>Anwendungsbereich Nur Neubauten (Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen).</p> <p>Kosteneinschätzung hoch</p> <p>Ökobilanzaspekte Ökobilanzierungsaspekte analog zu DGNB.</p> | |
| | ÖGNB (A) | |
| |  <p>ÖGNB Österreichische Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen</p> | <p>Name des Systems TQB</p> <p>Total Quality Building Assessment</p> <p>Zertifizierungsorganisation Österreichische Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (ÖGNB)</p> <p>www.oegnb.net/tqb.htm</p> <p>Zertifizierungsschwerpunkte Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit.</p> <p>Alle drei Nachhaltigkeitsaspekte werden gleichwertig miteinbezogen.</p> <p>Anwendungsbereich Neubauten und Bestandsgebäude (Wohn-, Büro- und Sonderbauten).</p> <p>Kosteneinschätzung vergleichsweise niedrig</p> <p>Ökobilanzaspekte Vereinfachte Ökobilanz: Bewertung mithilfe des OI3-Index für Herstellung und Instandhaltung. Die Entsorgung wird mithilfe des Indikators EI (bewertetes Abfallvolumen) bestimmt.</p> <p>Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI_{ne})</p> |

| klimaaktiv (A) | |
|---|--|
|  | Name des Systems klimaaktiv Bauen und Sanieren |
| | Zertifizierungsorganisation Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) www.oegut.at |
| | Zertifizierungsschwerpunkte Bewertung der ökologischen, sozialen und ökonomischen Nachhaltigkeit mit Hilfe von Kriterienkatalogen. Einstufung eines Projektes in zwei Stufen: Planungs- und Fertigstellungsdeklaration. |
| | Anwendungsbereich Neubauten und Bestandsgebäude. |
| | Kosteneinschätzung vergleichsweise niedrig |
| | Ökobilanzaspekte Vereinfachte Ökobilanz: Bewertung mit Hilfe des OI3-Index für Herstellung und Instandhaltung. Die Entsorgung wird mithilfe des Indikators EI (bewertetes Abfallvolumen) bestimmt. Zur Anwendung kommt die Software eco2soft für Gebäude. ⁷¹⁵ Verwendete Wirkungskategorien und -indikatoren: Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP), nicht erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI _{ne}) und erneuerbarer Primärenergieinhalt (PEI _e) ⁷¹⁶ |
| | |
| IBO-Ökopass (A) | |
|  | Name des Systems IBO-Ökopass |
| | Zertifizierungsorganisation Österreichische Institut für Baubiologie und -ökologie www.ibo.at |
| | Zertifizierungsschwerpunkte Um die Nutzungsqualität des Wohnraums bewerten zu können, liegt hier der Schwerpunkt der Bewertung auf der ökologischen Ebene der Nachhaltigkeit. |
| | Anwendungsbereich Bewertungssystem ist speziell auf den Wohnbau ausgerichtet. |
| | Kosteneinschätzung vergleichsweise niedrig |
| | Ökobilanzaspekte Vereinfachte Ökobilanz: Bewertung mit Hilfe des OI3-Index. Es werden die IBO-Richtwerte über bau-book herangezogen. Zur Bewertung werden Schall-, Feuchte-, Schadstoff-, Luftdichtmessungen etc. durchgeführt. |

Tab. 6.9.: Zertifizierungssysteme für nachhaltige Gebäude⁷¹⁷

Die folgende Tabelle zeigt einen Kriterienvergleich einiger obengenannter Gebäudezertifizierungssysteme.

⁷¹⁵ Vgl. Wulz C., *Nachhaltigkeit im Betriebswirtschaftsunterricht der Handelsakademie. Ganzheitliche Umrissplanung für das vierte Semester auf Basis des integrierenden Nachhaltigkeitsdreiecks*, Karl-Franzens- Universität Graz (2021)

⁷¹⁶ Vgl. Wulz C., *Nachhaltigkeit im Betriebswirtschaftsunterricht der Handelsakademie* (2021)

⁷¹⁷ Tabelle in Anlehnung an: El Khouli S. et.al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.39

| Kriterien | | BREEAM | LEED | MINERGIE -ECO | DGNB | TQB |
|---|--|--------|------|------------------|------|-----|
| <i>ökologische Aspekte</i> | Umweltbelastungen/ Verschmutzung | | | | | |
| | Materialien/ Ressourcen | | | | | |
| | Abfall | | | | | |
| | Wasser | | | | | |
| <i>ökonomische Aspekte</i> | Lebenszykluskosten | | | | | |
| | Wertstabilität | | | | | |
| <i>soziokulturelle Aspekte</i> | Sicherheit | | | | | |
| | Barrierefreiheit | | | | | |
| | regionale und soziale Aspekte | | | | | |
| <i>Energie</i> | CO ₂ -Emissionen | | | | | |
| | Energieeffizienz | | | | | |
| | erneuerbare Energien | | | | | |
| | energieeffiziente Gebäudehülle | | | | | |
| | technische Gebäudeausstat- tung | | | | | |
| | Energiemonitoring | | | | | |
| | Zwischenzähler und -messungen | | | | | |
| | elektrische Gebäudeausstattung | | | | | |
| <i>Behaglichkeit und Gesund- heit</i> | thermischer Komfort | | | | | |
| | Innenraumlufthqualität | | | | | |
| | akustische Komfort | | | | | |
| | visueller Komfort | | | | | |
| | Einflussnahme des Nutzers | | | | | |
| <i>funktionale Aspekte</i> | Flächeneffizienz | | | | | |
| | Umnutzungsfähigkeit | | | | | |
| <i>technische As- pekte</i> | Brandschutz | | | | | |
| | Haltbarkeit | | | | | |
| | Reinigungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit | | | | | |
| | Wetter- und Umweltresistenz | | | | | |
| <i>Design/ Inno- vation</i> | Architektur | | | | | |
| | Kunst am Bau | | | | | |
| | Innovation | | | | | |
| <i>Prozesse und Management</i> | Planungsprozesse | | | | | |
| | Baustellenabläufe | | | | | |
| | Inbetriebnahme | | | | | |
| | Betrieb | | | | | |
| <i>Standort</i> | Mikrostandort | | | | | |
| | Verkehrsanbindung | | | | | |
| | Fahrradkomfort | | | | | |
| | Nachbarschaft | | | | | |
| | Bauordnung | | | | | |
| | Erweiterungsmöglichkeiten | | | | | |
| | Flächenverbrauch | | | | | |
| | Natur- und Landschaftsschutz | | | | | |
| Biodiversität | | | | | | |

Tab. 6.10.: Kriterienvergleich von Gebäudezertifizierungssystemen⁷¹⁸⁷¹⁸ Tabelle in Anlehnung an: El Khouli S. et al., *Nachhaltig Konstruieren* (2014), S.40

7 Analyse

Im Laufe dieser Arbeit wurden viele verschiedene Formen an Bewertungsmöglichkeiten der Nachhaltigkeit und speziell des nachhaltigen Bauens vorgestellt. Einerseits existieren alternative Methoden (z.B. integriertes Nachhaltigkeitsdreieck) zur Einschätzung der Ausbreitung der einzelnen Dimensionen der Nachhaltigkeit, andererseits haben sich in den letzten Jahrzehnten einige Bewertungsmethoden (z.B. Ökobilanz) mit dem Ziel einer nachvollziehbaren Operationalisierung der Nachhaltigkeit in viele gegenwärtig angewendete Zertifizierungssysteme etabliert. Im Zuge der Vorstellung der gegenwärtig im deutschsprachigen Raum angewendeten Bewertungsmöglichkeiten wird schnell klar, viele Methoden sind noch ausbaufähig. Einige Kategorien der Nachhaltigkeitsdimensionen werden vernachlässigt bewertet oder gar ausgeschlossen. Viele Methoden begrenzen sich auf nur eine Dimension. Es ist Tatsache, dass die Etablierung aller drei Säulen der Nachhaltigkeit in ein einziges Bewertungssystem derzeit nur schwer realisierbar ist. Es mangelt an klaren Definitionen und Grenzen in den drei Bereichen.

Als Teil dieser Forschungsarbeit wurden Gespräche mit Experten aus diesem Fachgebiet geführt. In Form von Interviews wurden relevante Themen der Nachhaltigkeit im Bauwesen diskutiert. Vor allem wird auf einige Komplikationen bzw. Schwierigkeiten im ökologisch nachhaltigen Bauen eingegangen. Weitestgehend wird in diesem Abschnitt mehr auf die Gebäudebewertung als auf die Bewertung von Baustoffen oder Bauprodukten, eingegangen. Bei der Wahl der Gesprächspartner wurde darauf geachtet, verschiedene Baubeteiligte, Unternehmen bzw. Personen, zu kontaktieren. Für ein besseres Verständnis erfolgt eine kurze Vorstellung der kontaktierten Unternehmen bzw. Personen.

Dipl. -Ing. Inge Schrattenecker

Stellvertretende Generalsekretärin des ÖGUT (Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik) und Leiterin des Programmes klimaaktiv Bauen und Sanieren

OIB

Österreichisches Institut für Bautechnik

Die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik übernimmt die zentrale Organisation und Programmleitung des Programmes klimaaktiv Bauen und Sanieren. Als Teil der Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) zielt das Programm auf eine rasche Verbreitung klimafreundlicher Bauweisen und Sanierungen im Wohnbau und Dienstleistungssektor. Diplomingenieurin Schrattenecker übernimmt hier die zentrale Rolle der Leitung des Programmes.

Das Österreichische Institut für Bautechnik stellt harmonisierte bautechnische Vorschriften in Form von OIB-Richtlinien zusammen. Zur nachhaltigen Nutzung der natürlichen Ressourcen im Gebäudesektor ist die neue OIB-Richtlinie 7 gegenwärtig in Planung.

Dipl. -Ing. Gerhard Kopeinig

Geschäftsführer von Arch+More Ziviltechniker GmbH und Mitglied in der Leitung der Arbeitsgruppe für Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen des Vereins IG Lebenszyklus Bau

Dipl. -Ing. Sebastian Spaun

Geschäftsführung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrien (VÖZ)

Univ.-Prof. Arch. Dipl.-Ing. Christoph Achammer

Universitätsprofessor an der Fakultät für Integrale Bauplanung und Industriebau an der Technischen Universität Wien und CEO des Architektur- und Ingenieurbüros ATP architekten ingenieure

Ing. Günter Lang

Geschäftsführer von Lang Consulting und Vorstand und Leitung von Passivhaus Austria

Als führende Rolle in der Architekten- und Ziviltechniker-Kammer von Kärnten und Steiermark, hat der Architekt viele erfolgreiche Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen. Seine Projekte haben Auszeichnungen wie etwa den klimaaktiv Gold und Silber Standard erhalten. Seit über 20 Jahren beschäftigt sich Diplomingenieur Kopeinig mit hochqualitativen Sanierungen und beschreibt es als eine Neuorientierung von Gebäuden.

Die Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie versteht sich als Partner von Baugewerbe und Bauindustrie. Sie vertritt ebenso die Interessen von Behörden und Auftraggeber. Diplomingenieur Spaun hat sehr früh die Rolle des Umweltexperten übernommen und beschäftigt sich seit vielen Jahren mit den Umweltauswirkungen der Baustoffe. Angesichts seiner Erkenntnisse können realitätsgetreue Vergleiche zwischen den Umweltauswirkungen der Baustoffe gestellt werden.

Mit dem Ziel lebenszyklusorientierte und nachhaltige Gebäude zu schaffen, wendet das Architektur- und Ingenieurbüro ATP die integrale Planung an. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit sei diese Form der Planung die einzige Möglichkeit, um erfolgreich nachhaltig bauen zu können. In vielen Buchveröffentlichungen und Vorlesungen behandelt der Universitätsprofessor und Diplomingenieur Achammer die Bedeutung der integralen Planung.

Lang Consulting führt Forschungen und Beratungsarbeit rund um das Passivhaus. Als zertifizierter Passivhaus-Planer engagiert sich Ingenieur Lang intensiv für die richtige Ausführung von Passivhäusern. Durch sein Projekt passathon⁷¹⁹ ermöglicht er allen Interessenten einen Überblick über Österreichs sogenannte Leuchtturmprojekte. Vorbereitete (Rad-) Routen fassen nachhaltige Architektur und Klimaschutz-Vorzeigeprojekte zusammen.

⁷¹⁹ passathon – Race for Future, online: <https://passathon.at> (Zugriff 15.01.2023)

Im Zuge der geführten Gespräche werden unterschiedliche Meinungen zum derzeitigen Stand der Bewertungsmöglichkeiten aber auch Ansichten zur Umsetzung der Nachhaltigkeit im Allgemeinen eingeholt. Die einzelnen Gesprächspartner wurden außerdem über ihre persönlichen Motivationen zum nachhaltigen Bauen befragt. Auch werden zukunftsorientierte Ideen und Verbesserungsvorschläge diskutiert. In diesem Abschnitt werden relevante Kritikpunkte von Bewertungsmethoden analysiert. Anschließend wird die Bedeutung der Nachhaltigkeit im Bauwesen und die dringende Verbesserung von Bewertungssystemen nochmal hervorgehoben. Mit einem Ausblick auf die Zukunft werden schlussendlich mögliche Veränderungen in der Zukunft und ihre Auswirkungen auf die Umwelt erörtert. Im Laufe dieses Abschnittes werden ausgewählte Passagen aus der Transkription der geführten Interviews angeführt.⁷²⁰

7.1 Komplikationen im nachhaltigen Bauen

Nachhaltig Bauen mag zwar ein zukunftsorientierter Gedanke sein, allerdings zeigt sich in der Umsetzung, dass dies nicht von Einfachheit geprägt ist. Es beginnt bereits mit der vielfältigen Nutzung der Begrifflichkeit. Unterschiedliche Grenzen in den ökologischen Bewertungssystemen erschweren den Vergleich der Ausprägung der Nachhaltigkeit etwa in der Herstellung eines Bauproduktes. Es werden folgend einige Hindernisse und Schwierigkeiten im nachhaltigen Bauen bzw. in der Bewertung des nachhaltigen Bauens analysiert.

7.1.1 Ungleiche Aufteilung der Dimensionen in der Bewertung

Die Entwicklung und der Aufbau einer Bewertungsmethode werden in der Arbeit ausführlich erklärt. Demzufolge ist bereits bekannt, dass eine Bewertungsmethode bestimmt, wie stark auf eine Dimension eingegangen werden soll. In Abhängigkeit davon werden die den Interessen entsprechenden Bewertungsaspekte gewählt. Auch kann die Betrachtung der Lebenszyklen des Bewertungsgegenstandes eingeschränkt werden. Ein Gespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker zeigt diese Thematik am Beispiel des Gebäudestandards vom Programm klimaaktiv. Da dieses Programm vom Umweltministerium (Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie BMK) entwickelt wurde, liege der Schwerpunkt daher in der Energieeffizienz, den erneuerbaren Energien sowie der Ökologie und den Baustoffen. In die Bewertung werden auch Kriterien für die Wirtschaftlichkeit und für die soziokulturelle Dimension berücksichtigt, allerdings seien diese Bereiche noch ausbaufähig. DIⁱⁿ Schrattenecker begründet die ungleiche Aufteilung der Dimensionen zur Gebäudebewertung des Weiteren wie folgt:

Schrattenecker: Das ist, glaub ich, aus der Tradition heraus ein bisschen oder auch aus der (...) Sicht des Auftraggebers (...) zu sehen. Weil (...) wir (...) gesagt haben: Das ist ein Gebäudestandard. Da geht es ganz klar um klimaneutrales Bauen. „Wie kann das gehen?“ Das ist der Fokus des Gebäudebewertungssystems (...). Aber (...) in den letzten Jahren (...) ist es schon breiter geworden, (...) von der Ausrichtung her. Weniger von der Gewichtung, aber von der Vielfalt der Kriterien. (...). Also Standort war schon immer ein Thema und auch Mobilitätskriterien. Aber auch sowas wie Klimawandelanpassung, Begrünung etc. (...) Also soziale Kriterien, das ist sicher was, was wir wenig abbilden mit der Gebäudebewertung. #00:02:54#

⁷²⁰ Die im folgenden Abschnitt vorgestellten Passagen aus der Transkription der Experteninterviews können nachträgliche Korrekturen durch die jeweiligen Interviewpartner beinhalten. Dies soll ein besseres Verständnis des Inhaltes begünstigen. (Diesbezügliche Änderungen in der Transkription sind durch eckige Klammern hervorgehoben.)

Im Laufe des Gespräches betont die Leiterin des Programmes klimaaktiv mehrmals, dass sehr wohl Änderungen in den Kriterienkatalogen vorgesehen sind. Dimensionen, welche nicht ausgiebig in die Bewertung einfließen, erfahren immer mehr Aufmerksamkeit. Näheres dazu lesen Sie in Abschnitt 7.3.

7.1.2 Intransparenz der Bewertungssysteme

Aufgrund der hohen Anzahl an Bewertungsmöglichkeiten und den unterschiedlichen Herangehensweisen in der Bewertung mag die Nachhaltigkeit im Bauwesen für jeden Neueinsteiger sehr unübersichtlich erscheinen. Allein in der Gebaubewertung gestalten sich die Bewertungssysteme in den einzelnen Ländern, meist aufgrund rechtlicher Anforderungen, sehr unterschiedlich. Die Menge an vorhandenen Zertifizierungen und Gütesiegeln ist hoch und die Unterschiede sind meist nicht sofort ersichtlich. Aus diesem Grund ist es vor allem der Leitung des klimaaktiv Programms ein großes Anliegen alle Kriterien des klimaaktiv Gebäudestandards für alle Interessenten öffentlich zugänglich zu machen. Im Gespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker wird die Bedeutung dieser Transparenz noch einmal hervor gehoben.

Schrattenecker: Ich glaube, was die Energieeffizienz und (...) die Anforderungen im Energiebereich betrifft, ist es sicher das strengste Gebaubewertungssystem (...) im Vergleich mit anderen (...) und auch das klarste aus meiner Sicht. (...). Klar in dem Sinn, weil die Kriterienkataloge einfach veröffentlicht sind und es nachlesbar ist, welche Anforderungswerte die Gebäude bei uns einhalten müssen. (...) Und diese Transparenz, (...), ist aus meiner Sicht, ganz wichtig beim Bauen. Dass man Transparenz kommunizieren kann. (...). Dass wir nicht nur sagen: "Das ist ein klimaaktiv Gold-Gebäude." Sondern wir sagen: "Das ist ein klimaaktiv Gold-Gebäude und dieses Gebäude erfüllt den und den Wert in den Bereichen (...)." Dass wir das auch kommunizieren und veröffentlichen und dass das klar ersichtlich ist. #00:16:37#

Es ist demnach von großer Bedeutung einen hohen Grad an Transparenz in den Bewertungssystemen zu gewährleisten. Für ein besseres Verständnis müssen verwendete Kriterien und sonstige Grenzen klar definiert werden. Dies würde auch einen Vergleich von verschiedenen Bewertungssystemen ermöglichen bzw. die Unterschiede zwischen den Systemen begründen. Interessant wäre eine allgemein geregelte Herangehensweise für alle Bewertungssysteme. Allgemeine Grenzen und Kriterien an die sich alle richten müssen, um einen Vergleich untereinander zu ermöglichen. Zusätzliche Kriterien können das Interesse einzelner Gruppen nochmals bestärken.

Der Geschäftsführer der Vereinigung der Osterreichischen Zementindustrie (VÖZ) DI Sebastian Spaun erkannte früh (2005) Unregelmäßigkeiten in der Praxis der ökobilanziellen Bewertung (Öko-Index 3 [OI3]) von Bauweisen und Bauprodukten in Osterreich. Indem etwa bei der Bewertung von Baustoffen nur die Herstellungsphase (A1-A3) berücksichtigt wird, entstehen bei biogen-bürtigen Baustoffen unrealistische Bilanzwerte. Im gemeinsamen Gespräch erklärt er diese Situation am Beispiel des Global Warming Potenzials. Da keine vollständige Lebenszyklusbetrachtung erfolgt, seien die bilanziereten Teilergebnisse für einen Vergleich von Baustoffen und Bauweisen ungeeignet.

Spaun: Biogenen Baustoffen [- wie z.B. Holzwerkstoffen - wurden durch die ausschließliche Bilanzierung der reinen Herstellphase (A1–A3) negative CO₂-Emissionen zugesprochen, da man dem Werkstoff die CO₂-Entnahme des zuvor gewachsenen Baumes gutgeschrieben hat. Durch die ausschließliche Teil-Bilanzierung der Herstellphase wurde die End of Life-Phase C (Verbrennung oder Deponierung), in der die CO₂-Emissionen wieder freigesetzt werden, einfach weggelassen. Diese irreführende Teilbetrachtung ist über die Jahre in fast alle in Osterreich gebräuchlichen Bewertungssystemen (EcoSoft, ArchiPhysik u.a.) und sogar in die Bewertungsrundlagen für diverse

Wohnbauförderungsprogramme eingegangen. Argumente, wonach ein CO₂-negativer Fußabdruck besonders dicke und massive und somit nicht ressourceneffiziente Baukonstruktionen eher fördern würde, wurden lange nicht gehört. Zu verlockend schien die einfache und politische Botschaft: „Es gibt einen Baustoff mit einem negativen CO₂-Fußabdruck, der sich von allen anderen unterscheidet.“ #00:08:14#

Spaun: Ohne zu wissen, [wie man diese Teilergebnisse ökobilanziell einzuordnen hat, wurde das System des OI3-Indizes über die Anwenderprogramme von unzähligen] Planern [und Architekten angewandt. Der sich ergebende] Eindruck (...): Da gibt es Baustoffe, die bilanzieren mit einer negativen [CO₂-] Emission und da gibt es [alle] anderen Baustoffe (...) mit einer positiven. Also ist der eine gut und der andere schlecht. [Aus meiner Sicht ein gutes Beispiel, dass man mit Teilbetrachtungen der Ökobilanzierung vorsichtig umgehen muss. Im Zuge der europäischen Normung (CEN TC 350/EN 15804) wurde das Problem der „misleading information“ klar angesprochen und verbindlich beschlossen, dass sowohl EPDs als auch Gebäudebewertungssysteme nur auf Grundlage von Ökobilanzierungen, die alle Lebenszyklusphasen (A bis C) beinhalten, zu gründen sind.] #00:10:35#

Spaun: [Ich möchte nicht falsch verstanden werden. Natürlich soll es einen Wettbewerb um die nachhaltigste Bauweise geben. Aber es ist eben sehr wichtig, dass dieser Wettbewerb fair und mit klaren Spielregeln geführt wird.] (...) insofern bin ich (...) so richtig hineingeraten in dieses nachhaltige Bauen und habe mich sehr dafür eingesetzt, dass wir (...) Gebäude gesamthaft betrachten. Das heißt, dass wir (...) alle Randbedingungen mit einbeziehen, nicht nur CO₂ [allein bewerten, sondern auch andere wichtige Aspekte] (...) in seiner Gesamtheit. Also die Lage des Gebäudes, der öffentliche Verkehr, der Anschluss [an vorhandene Infrastruktur], das, was ich an Transport bei der Errichtung generiere. Wo kommen die Rohstoffe her? [etc., etc.] #00:12:15#

Die Gewährleistung einer Transparenz über die Ermittlung von Bilanzwerten oder die Bewertung von Baustoffen, Bauprodukten oder Gebäuden spielt demnach eine essenzielle Rolle. Erst wenn die Berechnungsmethoden bzw. die Messmethoden bekannt sind, ist es möglich Vergleiche von Bewertungsgegenständen untereinander zu tätigen. Dementsprechend können auch Unvollständigkeiten in der Beurteilung aufgedeckt werden.

7.1.3 Herausforderungen einer nachhaltigen Sanierung

Eine nachhaltige Sanierung von Bestandsgebäuden und vor allem von Denkmal geschützten Bauten erweist sich in vielen Fällen als sehr komplex. Um eine nachhaltige Sanierung zu gewährleisten sind viele Faktoren zu berücksichtigen. Neben rechtlichen Bestimmungen müssen auch die Interessen der Nutzer in der Entscheidungsfindung zu den erforderlichen Maßnahmen behandelt werden. Vor allem erreicht man bei Denkmal geschützten Bauten oft die Grenzen des nachhaltigen Bauens. In diesem Gebiet stehen nicht viele Möglichkeiten für eine Sanierung zur Verfügung. Daher obliegt es dem beauftragten Planer die Anwendung neuester Technologien vor allem auf bauphysikalischer Ebene zur Einhaltung der Anforderungen des Denkmalamts. Es ist ein stetig sich entwickelnder Prozess. Im Gespräch mit Architekten und Ziviltechniker DI Gerhard Kopeinig werden die erwähnten Hindernisse einer nachhaltigen Sanierung näher erläutert.

Kopeinig: Die (...) Nutzerinnen mitzunehmen (...) ist eine (...) Herausforderung, weil die kennen natürlich nur das, was sie über 40 Jahre im Haus gehabt haben und kennen nicht was in der Zukunft hier möglich wäre. Dann sind die rechtlichen Voraussetzungen vor allem im Wohnbau natürlich ein (...) großes Thema. Ich sag nur das

Wohnungseigentumsgesetz. (...). Und natürlich muss man technisch auch wissen, was man tut. (...). Auch dort muss man natürlich dem Denkmalamt die Kondensatfreiheit der Konstruktion nachweisen. Man muss nachweisen, dass es in den nächsten hundert Jahren keinen Schaden erleidet (...). Also da braucht es viel bauphysikalische Simulationen, (...) da braucht es gute Analysen. Da muss man die Konstruktion auch wirklich öffnen und schauen, wie schauen die Holzbalkendecken aus? Wie geht das im Zusammenhang mit einer Innendämmung? Welche Materialien sind in den letzten 50 Jahren dort aufgebracht worden? Was braucht man an Vorbereitungsarbeiten? #00:11:14#

Die Motivation für derartige Sanierungen hält sich im Baubereich allerdings in Grenzen. Die aufgezählten Komplikationen hindern viele Planer sich mit dieser Thematik zu beschäftigen. Dabei sind es gerade die Bestandsgebäude, welche vorrangig bearbeitet werden müssen. Im Gegensatz zu einem Neubau, welches von vornherein nachhaltig geplant und später nachhaltig renoviert oder restauriert werden kann, muss bei einem Bestandsgebäude zunächst der Aufbau und der Inhalt analysiert werden. Dennoch sollte die Sanierung von Bestandsgebäude den Neubauten vorangestellt werden, da sie bereits existieren und im nicht behandelten Zustand mehr Umweltauswirkungen verursachen würden. Eine Sanierung verschafft demnach nicht nur eine optische Verbesserung und optimalere Zustände für die Nutzer, sondern kann auch zur Reduktion der Umweltauswirkungen führen. In diesem Sinne kann etwa die Energiequelle gewechselt werden oder zumindest Techniken angewendet werden, um den Energiebedarf zu reduzieren. DI Kopeinig geht weiters auf die auftretenden Einschränkungen ein und betont das wesentliche Ziel einer Sanierung.

Autorin: Das heißt Ihre Ziele (...), zusammengefasst, bei einer Sanierung sind Energieeffizienz und Denkmalschutz berücksichtigen, die Innenraumqualität erhöhen, (...) natürlich die Schadstofffreiheit garantieren und dann (...) auch noch den Nutzen des Gebäudes (...) berücksichtigen. Können Sie immer nachhaltige Entscheidungen treffen oder sind sie durch diese Faktoren auch eingeschränkt? #00:14:45#

Kopeinig: Also man ist (...) eingeschränkt durch die Budgets, durch die NutzerInnen, durch die vorhandene Substanz, durch die Technik, durch die rechtlichen Rahmenbedingungen. Also Einschränkungen gibt es immer. Ich sag aber immer so, wir (...) starten gemeinsam: Entscheidungsträger, NutzerInnen, Planungsteam. Und wir starten mit einem Bestand und wir starten mit einem Ziel. Ziel ist immer (...) fast Plus Energie Gebäude, das wunderbar nutzbar ist und das möglichst dauerhaft schadensfrei am Ende (...) ankommt. Möglichst gesunde Räume, wie sie gerade erwähnt haben. So und dann (...), das erkläre ich auch in meiner Einleitungssitzung immer, dann begeben wir uns jetzt gemeinsam am Weg und schauen mal, wie weit wir kommen und bei einem Projekt kommt man weiter und beim anderen Projekt nicht mehr so weit. #00:15:18#

Es ist demnach wichtig eine Sanierung immer mit Bedacht anzugehen. Der noch unbekannt Zustand des Gebäudes zu Beginn eines Projektes kann geplante Sanierungsmaßnahmen verwerfen und erfordert mehr Überlegungen sowie in erster Linie auch ein Interesse für neue und innovative Lösungsansätze. Auch der Ing. Lang unterstützt diese Herangehensweise und berichtet von bereits erfolgreich abgeschlossenen Sanierungen von Altbauten.

Lang: In der Altbausanierung ist es natürlich entsprechend komplizierter (...). Es sind mehrere Herausforderungen zu beachten und anzugehen und vor allem zu analysieren und zu untersuchen, wie weit man eben gehen kann. Jeder Altbau ist für sich ein Unikat. Daher ist es sehr schwierig, immer generelle Vorschläge (...) zu entwickeln. Jedes Gebäude muss für sich speziell betrachtet werden. Aus unserer aber auch 18-jährigen Erfahrung mittlerweile in der Altbausanierung hin bis zum Passivhaus-Standard (...) hat

sich gezeigt, dass es (...) für alle (...) Bestandsgebäude Möglichkeiten gibt den Energieverbrauch dramatisch zu senken. Also mindestens um 50% bis, im besten Fall, zu 97%. Da haben wir gleich bei der ersten Sanierung eines Einfamilienhauses (...) den Energieverbrauch um 97% gesenkt.^[721] (...) Also wir haben 2005 Österreichs erste Altbauanierung auf Passivhaus-Standard durchgeführt. Das war zunächst in einem Einfamilienhaus in Pettenbach, wo eben gleichzeitig aufgestockt wurde. Dann ein Mehrfamilienhaus.^[722] Ein Mietwohnhaus, wo eigentlich nur Pensionistinnen mehr drinnen gewohnt haben (...). Trotzdem hat der Bauträger das umgesetzt und den Energieverbrauch ebenfalls um über 90% senken können, ohne irgendeiner Mehrbelastung für die Mieterinnen. Sie haben praktisch (...) von der Faktor 10 Energiekosteneinsparung profitiert. Und dann haben wir im gleichen Jahr auch noch Österreichs erstes öffentliche Gebäude, das Schulgebäude in Schwanenstadt^[723] (...) saniert, aus den 70er Jahren, das ebenfalls eine Energiereduktion um über 90% erzielt hat. Und bei dem von 55 Tausend Kubikmeter Erdgasverbrauch pro Jahr auf 47 Kubikmeter Pellets reduziert werden konnte. Und das bei gleichzeitiger Vergrößerung der Nutzfläche, um glaub ich, 20 oder 25%. (...) Also, es sind da immer dramatische Reduktionen (...) möglich. Ja, das waren jetzt alles Nachkriegsbauten. (...) Der Gebäudebestand besteht einmal zu etwa 80% aus Nachkriegsbauten und zu 15% aus Gründerzeitbauten, die natürlich schwieriger zu betrachten sind. Und dann gibt es auch 5%, die sozusagen ein neuer Standard sind, also 5 - 10% kann man sagen die, die nach 1980 oder 85 errichtet worden sind. Bei den Denkmal geschützten Gebäuden ist natürlich die Situation noch einmal schwieriger, aber nicht hoffnungslos, kann ich durchaus sagen. Bestes Beispiel ist die Machbarkeitsstudie, die wir letztes Jahr abgeschlossen haben und (...) wofür wir auch die Staatspreis Nominierung erhalten haben, für das Otto-Wagner Areal^[724], die Steinhofgründe. (...) Die Studie (...) hatte eben gezeigt, dass (...) selbst unter voller Einhaltung des Denkmalschutzes Reduktionen bis zu 90% möglich sind. Und dann praktisch am eigenen Grundstück sowohl die Wärmeversorgung als auch die Stromversorgung zur Gänze mit erneuerbaren Energien bereitgestellt werden können. #00:12:44#

Ing. Lang gelingt es mit seinen erfolgreich abgeschlossenen Projekten zu zeigen, dass selbst bei Sanierungsmaßnahmen erhebliche Reduktionen des Energieverbrauchs möglich sind. Er erklärt schließlich, dass die Sanierung von Bestandsbauten von großer Bedeutung ist und sieht grundsätzlich nur Einschränkungen aber keine Hindernisse in einer Sanierung. Dementsprechend stellt Ing. Lang die Problematik der derzeitig gering vorhandenen Motivation für Sanierungsmaßnahmen wie folgt fest.

*Lang: Das größte Hindernis für eine thermisch optimierte Sanierung ist im Kopf.
#00:20:19#*

7.1.4 Energieausweis

Das Gebäudeenergiegesetz verpflichtet bei fast allen Gebäuden die Ausweisung der Energieeffizienz in Form eines Energieausweises. Beim Kauf eines Nutzungsobjektes ist das Vorlegen eines Energieausweises obligatorisch. Aus diesem Grund ist es hoch angestrebt gute Ergebnisse in der Ermittlung der

⁷²¹ Lang Consulting, *Erstes Einfamilien-Passivhaus im Altbau*, online: <https://www.langconsulting.at/index.php/de/forschung/demonstrationsprojekte/30-lang-consulting-de/forschung/demonstrationsprojekte/71-erstes-einfamilien-passivhaus-im-altbau> (Zugriff 15.01.2023)

⁷²² Lang Consulting, *Erstes Mehrfamilien-Passivhaus im Altbau*, online: <https://www.langconsulting.at/index.php/de/forschung/demonstrationsprojekte/2-uncategorised/72-erstes-mehrfamilien-passivhaus-im-altbau> (Zugriff 15.01.2023)

⁷²³ Lang Consulting, *Erste Passivhaus-Schulsanierung*, online: <https://www.langconsulting.at/index.php/de/forschung/demonstrationsprojekte/30-lang-consulting-de/forschung/demonstrationsprojekte/75-erste-passivhaus-schulsanierung-demoprojekt> (Zugriff 15.01.2023)

⁷²⁴ Stadt der Zukunft, *OttoWagner-ArealPlus - Machbarkeitsanalyse zertifizierte Plus-Energie-Quartier-Sanierung des denkmalgeschützten Otto-Wagner-Areals*, online: <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/sdz/projekte/otto-wagner-areal-plus.php> (Zugriff 15.01.2023)

Energieeffizienz zu erzielen. Einerseits verschafft eine höhere Energiestandard-Kategorie ein größeres Interesse am Wohn- bzw. Nutzungsobjekt, da es eine bessere Innenraumqualität versichert. Andererseits ermöglicht es den Eigentümern höhere Preise für die Vermietung bzw. den Verkauf anzusetzen. Wie bereits aus Abschnitt 3.3.1 bekannt ist, wird die Ermittlung der Energieeffizienz in Kategorien A++ bis G unterteilt. Gemäß Gebäude richtlinie wird seit 2021 für Neubauten mindestens eine Energieverbrauchs klasse auf Niveau von Niedrigstenergiegebäude vorgeschrieben. Für behördliche Gebäude gilt dies bereits seit 2019. Im Gespräch mit Ing. Lang wird schnell klar, dass er die derzeitigen Umstände rund um den Energieausweis sehr kritisch betrachtet. Als Spezialist für Netzwerk-, Forschungs- und Beratungsarbeit rund um das Passivhaus sieht Ing. Lang eine verpflichtende Ausführung vom Passivhaus als Standard für alle Neubauten als eine relevante Maßnahme zur Erreichung der Klimaziele vor. Ing. Lang beschreibt die wesentlichen Vorteile von Passivhäusern wie folgt.

Lang: Der große Vorteil vom (...) Passivhaus, oder alles in diesem Umkreis, ist eben, dass ich sehr wohl jedes einzelne Detail mir sehr gut in der Planung vorher anschauen muss. Also ich hab den Nachteil sozusagen, dass ich eine aufwendigere, umfassendere Planung benötige. Auch eine Detail-gerechtere Ausschreibung benötige und eine höhere Baukontrolle dann habe. Aber das Ganze ist dem riesengroßen Vorteil geschuldet, dass ich dann ein viel besseres Ergebnis habe, (...) einen viel höheren Wohnkomfort und eine Wohnzufriedenheit damit dann schlussendlich eben auch erreiche. (...) Einer der größten Vorteile aus meiner Sicht ist, (...) wenn ich das wirklich konsequent mache, (...), obwohl viele einzelne Komponenten, wie eben von der Planung, wie eben von der besseren Dämmung (...) und der detaillierteren Ausführung, welche Mehrkosten verursachen, muss ich in Summe dann gar keine Mehrkosten haben. Also im Idealfall sogar, bei den (...) Baukosten, Errichtungskosten, bei Sanierungskosten ist es bisschen schwieriger, aber beim Neubau zumindest kann ich es zumindest oft zu den gleichen Baukosten machen. Auf jeden Fall ist es aber immer so, dass sich eben die Lebenszykluskosten (...) immer positiv für den (...) energetisch besten Standard ausgehen. (...). Und selbst das wird nach wie vor in breiten Kreisen von der Branche in Abrede gestellt und (...) völlig negiert. Und völlige Phantasiezahlen werden immer wieder groß in unzähligen Studienergebnissen dann hervorgebracht und veröffentlicht. #00:04:17#

Ing. Lang möchte die großen Vorteile des Passivhauses nochmal betonen und fügt folgendes hinzu.

Lang: Es ist gut für die Welt, es ist gut für das eigene Budget, es ist gut für den Wohnkomfort. Also es hat eigentlich rundum nur Vorteile. Und auch für die Gesundheit, Stichwort Corona, auch da hatte man sehr positive Eindrücke. (...). Und noch ein Aspekt: Natürlich auch die wirtschaftlichen Vorteile (...). Jetzt ist es so, dass wir den Großteil der Energie importieren und damit auch ein Handelsbilanzdefizit zum Beispiel in Österreich haben, was ausschließlich sich aus (...) der Summe der Importkosten errechnet, (...) für fossile Energien. Während eben mit (...) klimaneutralen Gebäuden könnten wir dieses Handelsbilanzdefizit komplett egalisieren und vielleicht sogar wieder positiv umkehren, weil eben dann auch die Leistungen im Land passieren, also regional passieren. Also da ist die Regionalität ein wichtiger Aspekt. #00:06:28#

Im weiteren Verlauf des Gespräches wird vor allem auf die unzufriedenstellenden Umstände in der Ausführung und Erstellung von Energieausweisen eingegangen. Ing. Lang kritisiert neben der unklar definierten Begrifflichkeit des Nearly Zero Energy Buildings zusätzlich die fehlgeleitete Bemessung des Energieverbrauches.

Autorin: Die EU-Gebäude richtlinie (...) hat über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden den Nearly-Zero-Energy-Building-Standard beschrieben, aber es obliegt (...) doch

jedem einzelnen EU-Staat selber zu entscheiden, was der Standard dann wirklich sein soll. Was sagen Sie dazu? # 00:38:19#

Lang: Ja, die EU hat sich eigentlich dazu schon im Dezember 2010 auf die EU-Gebäuderichtlinie festgelegt, wo eben das sogenannte Nearly-Zero-Energy-Building definiert wurde. Mein Englisch ist nicht so gut, aber ich hätte es mit „Nahe zu Null Energie-Gebäude“ übersetzt. Österreich (...) und Deutschland [haben es aber] als Niedrigstenergiehaus übersetzt. Was meines Erachtens schonmal etwas komplett anderes bedeutet als Nearly-Zero-Energy-Building. Auch die österreichischen Experten und Politiker waren dann ziemlich überrascht, wie ich dann eine Analyse in Abstimmung mit (...) einem belgischen Forschungsinstitut über die Umsetzung der Nearly-Zero-Energy-Building-Richtlinie, oder Gebäuderichtlinie eben, erstellt habe von den einzelnen EU-Nationen. Dass obwohl Österreich ja gerade im Passivhaus Standard und in hochenergieeffizienten Gebäuden Weltmeister über viele Jahre war, und Vorreiter war, eben da (...) in der neuen Richtlinie an vorletzter Stelle knapp vor Rumänien platziert war und (...) von Vorreiterrolle überhaupt keine Rede mehr sein konnte. Das hat dann immerhin dazu geführt, dass sie es noch einmal adaptiert haben. Sie haben allerdings nur die Berechnungsmethode ein bisschen verändert und Green-Washing damit betrieben. Im Endeffekt hat sich das Endergebnis, sprich die CO₂-Emissionen, die dadurch emittiert werden oder die Kilowattstunden, die verbraucht werden, nicht wirklich verändert. (...) Und das ist eben eine meiner Hauptkritiken, bis leider zum heutigen Tag (...). Dass eben die österreichische Richtlinie (...) bei weitem nicht dem (...) Sinn und unserer Idee der (...) EU-Gebäuderichtlinie von 2010 entsprechen und heute nach wie vor Gebäude zulässig sind, die einen bis zu 5 Mal so hohen Energieverbrauch als notwendig produzieren. Es ist nämlich so, dass ja die die OIB-Richtlinie 6 zwar grundsätzlich von der Gebäudehülle beinahe oder eigentlich einen Passivhaus-Standard vorschreibt [aber mittlerweile die meisten EAV nach der alternativen Berechnungsformel über den fGEE-Wert erstellt werden, der dann unter Einsatz von lediglich 10% erneuerbaren Energieanteil einen bis zu fünffach höheren Energieverbrauch zulässt. Und zusätzlich wird in der erstgenannten Berechnungsmethode] (...) dann nicht die Komfortlüftung oder (...) die Wärmerückgewinnung durch die Lüftung mitgerechnet. #00:38:41#

Für ein besseres Verständnis berichtet Ing. Lang als Beispiel vom Ausbildungszentrum in Pinkafeld. Obwohl die Bemessungen des Gesamtgebäudes einen erstaunlich guten u-Wert von 0,0045 W/m²K ergeben, erreiche die Berechnung nach Gebäuderichtlinie nicht das Niveau vom Passivhaus-Standard. Diese zunächst unglaubliche Erkenntnis sei dem Ausschluss der Lüftung in der Berechnung zu verschulden. Aufgrund fehlender Entlüftungsanlagen seien die Grenzwerte der Weltgesundheitsorganisation bei weitem überschritten. Demnach sei also nicht nur die Wahl der Dämmung für einen guten Energieverbrauchswert zu berücksichtigen. Es müssen viele weitere Aspekte in die Berechnung mit einfließen.

Die aktuellsten Veränderungen der Gebäuderichtlinie schließen die Berücksichtigung von Komfortlüftungen zur Wärmerückgewinnung aus. Seitdem seien die Berechnungen nicht mehr nachvollziehbar. Viele Neubauten bauen entsprechend ihrer Berechnungsergebnisse keine Komfortlüftungen mehr ein. Der Fokus in der Planung und Errichtung von Gebäuden werde stattdessen auf eine dichte Gebäudehülle gelegt. Dies ist zwar eine gute Voraussetzung für den Passivhaus-Standard, allerdings würde dies in den meisten Fällen durch mehrere und/oder große Wandöffnungen entgegenwirken. Durchbrüche in der Wand ließen im Sommer die heiße Luft und im Winter die kalte Luft in das Gebäude rein. Ein geregelter Lüftungsaustausch ist somit nicht gegeben.

Sowohl das Normungsinstitut als auch die Politiker seinen mehrmals darauf aufmerksam gemacht worden. Eine Kontaktaufnahme sei allerdings bisweilen erfolglos geblieben. Diese Thematik erfordert eine viel größere Aufmerksamkeit. Im Sinne einer wahrheitsgetreuen Nachhaltigkeit müssen die Berechnungen für die Energieverbrauchswerte aktualisiert werden. Ing. Lang engagiert sich zusätzlich für die Wissensausbreitung in der gesamten Gesellschaft. Über das Projekt passathon – Race For Future werden für alle Interessenten Routen vorbereitet, über welche man in ganz Österreich klimaschonende Architektur individuell mit dem Rad erkunden kann. Die sogenannten Leuchtturmobjekte stellen Plusenergiegebäude und Passivhäuser dar. Für dieses Projekt hat Ing. Lang und sein Team von der Boulevardzeitung den Heute for Future Award erhalten, welcher von der Klimaschutzministerin überreicht wurde. Dementsprechend blickt Ing. Lang positiv auf die Zukunft und plant mit großen Veränderungen in naher Zukunft.

Lang: Und was eben die (...) Bauordnungen betrifft, aber auch die Wohnbauförderungen liegt die Kompetenz praktisch für den gesamten Wärmebereich im Gebäudesektor zu 90 oder sogar 95% bei den Ländern und nicht beim Bund. Und daher ist es auch so schwierig, dass der Bund hier durchgreift und hier ist jetzt praktisch mit dem neuen Wärmegesetz, mit dem [Erneuerbaren-Wärme-Gesetz (EWG)], was (...) vorletzte Woche in Begutachtung gegangen ist, erstmals, und hier ein großes Danke an das Klimaschutzministerium und (...) an die Experten die das ausgearbeitet haben, wo eben wesentliche Kompetenzen von den Bundesländern an den Bund übertragen werden, und hier es zu einer Vereinheitlichung in vielen Bereichen kommen wird, damit eben die Wärmewende bis 2040 auch im Gebäudesektor passiert. (...). Das Wärmegesetz ist hier wirklich ein sehr Weitreichendes Thema und zeigt noch immer Schwächen. Da ist praktisch eh schon seit (...) 2020 der Einbau von Öl und Kohleheizungen in Neubauten verboten. Ab ersten Jänner wird es dann auch für Gasheizungen das Verbot geben von Neubauten oder von neu errichteten Gebäudeteilen, wo auch Zubauten und Umbauten darunter zu verstehen sind. Und im Gebäudebestand, der Austauschessel muss eben bei Öl und Kohle bis 2035 erledigt sein. Da darf dann kein Öl- und Kohle-Kessel mehr (...) in Betrieb sein. #00:51:10#

Bis 2040 müssten schließlich auch alle Gasheizungen auf erneuerbare Energien in ganz Österreich ausgewechselt worden sein. In einem zweiten Aufeinandertreffen im Frühjahr 2023 fügt Ing. Lang des Weiteren hinzu, dass bis zum Jahresende 2022 die Österreichische Volkspartei (ÖVP) von ihrem Koalitionspartner nicht für die Beschlussfassung für das EWG gewonnen werden konnte. Aus diesem Grund würde sich das Inkrafttreten des Gesetzes zeitlich noch um einige Monate verschieben.

7.2 Motivation

Trotz der einigen im vorherigen Kapitel aufgezählten Kritiken am nachhaltigen Bauen bzw. trotz der Hindernisse im nachhaltigen Bauen, ist es von großer Bedeutung die Wichtigkeit der ökologischen Nachhaltigkeit im Bauwesen hervorzugeben. Gegenwärtige Problematiken müssen angesprochen werden und die breite Masse erreichen, um stetig an Lösungsansätzen und Verbesserungen arbeiten zu können. Folgend werden einige Überlegungen zu den Vorteilen des Grünen Bauens erläutert.

7.2.1 Ideologie des nachhaltigen Bauens

In der Umsetzung der Nachhaltigkeit ist, wie bereits bekannt, die Berücksichtigung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit von großer Bedeutung. Erst dann kann von einer idealen Nachhaltigkeit die

Rede sein. Universitätsprofessor und Diplomingenieur Christoph Achammer beschreibt die Ideologie des nachhaltigen Bauens wie folgt.

Achammer: Nachhaltigkeit besteht aus 3 Säulen. Der ökonomischen Nachhaltigkeit, der ökologischen Nachhaltigkeit und der soziokulturellen Nachhaltigkeit. Ich bringe das immer in Verbindung mit der Jahrtausende alten Anforderung von Vitruv, der diese Dreierheit der Qualitäten eines guten Hauses definiert hat. Mit Utilitas, das könnte man mit der ökonomischen Nachhaltigkeit verbinden. Firmitas, mit der ökologischen und Venustas mit der soziokulturellen Nachhaltigkeit. Also, nicht wahnsinnig viel hat sich seitdem geändert. Was bewegt uns als integrales Büro von Architekt:innen und Ingenieur:innen uns mit dem Thema auseinanderzusetzen? Wir machen das schon sehr lange. Ich habe ihnen gesagt, wir haben vor 20 Jahren eine eigene Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft gegründet, die ATP Sustain, die sich wissenschaftlich, damals noch sehr theoretisch und in der Zwischenzeit maximal praktisch mit dem Thema auseinandersetzt. 2 Motivationen: Erstens. Meine ganz persönliche Motivation, ich hab 5 Kinder und weiß, welche Verantwortung das Bauen für die Welt hat. (...) Die ganzen Rahmenbedingungen sind verantwortlich, direkt oder indirekt, für quasi 50% des Energiekonsums, für 60% aller Ressourcen, für über 60% aller Abfälle. Also von diesem Hintergrund musst du einfach als Mensch, der baut, beginnen, diese Verantwortung wahrzunehmen. Die zweite Geschichte ist, dass (...) die nachhaltigste Lösung einer Bauaufgabe es ist, nichts zu bauen. Und das kannst du nur dann zu dem Ergebnis bringen, wenn du dich intensiv mit den zukünftigen Notwendigkeiten dieses Gebäudes auseinandersetzt. (...) Sie kennen meine Terminologie. Ich sage, wir müssen uns noch mit dem Kernprozess auseinandersetzen, den der oder die AuftraggeberIn mit diesem Haus unterstützen will. Und wenn wir den Kernprozess besonders gut verstanden haben, dann kann es schon ab und an sein, dass wir eine Lösung finden, wo man kein Haus bauen muss, dies ist die nachhaltigste Lösung. Und dann geht es aber weiter, wenn wir dann wirklich ein Haus bauen müssen, haben wir natürlich mit (...) mit der Funktion der planenden [Architekt:innen und Ingenieur:innen] den aller, aller größten Hebel, um diese Forderungen erfüllen zu können, was wir erfinden, ja, das wird dann gebaut und das belastet die Welt 50, 70, 100 Jahre lang. Und diese beiden Dinge sind Motivation genug. #00:00:38#

7.2.2 Nachhaltig Bauen für die nächsten Generationen

Nachhaltig Bauen bedeutet stetig zukunftsorientiert denken. Dementsprechend ist es von großer Notwendigkeit den gesamten Lebenszyklus des Bewertungsgegenstandes zu betrachten. Diese Bauweise erfordert eine dauernde Wissensaneignung sowie eine plausible und nachvollziehbare Einschätzung möglicher Änderungen in der Zukunft, um den Bau dem angepasst errichten zu können. Im Gespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker wird folgende Sichtweise über das Grüne Bauen definiert.

Schrattenecker: Ja, ich glaube, es ist einfach gut, diesen (...) Horizont zu haben. Dass ich als Bauträger weiß, wenn ich jetzt ein Gebäude baue, (...), und das sollte auch in 15 Jahren noch (...) eine gute Werthaltigkeit haben, (...), und ich weiß in 5 oder in 10 Jahren wird das und das verboten sein, dann kann ich mich jetzt schon dahingehend anders orientieren. Und dann sind auch mitunter (...) andere Investitionskosten argumentierbar, (...), also da sind wir wieder bei der Lebenszykluskostenbetrachtung. Weil wenn ich weiß, dass ich eben in 15 Jahren das System erneuern muss, weil es nicht mehr erlaubt ist, dann heißt das: Das sind zusätzliche Investitionskosten in 15 Jahren, die niemand machen will und jetzt kostet es weniger (...) als es in 10 Jahren umzubauen oder das System umzubauen. #00:33:50#

Für die Bedürfnisse der Gegenwart müssen Rohstoffe der Erde verwendet werden. Dabei soll ein Risiko für die Bedürfnisse künftiger Generationen größtmöglich verhindert werden. Nach dem forstwirtschaftlichen Prinzip, dass nicht mehr Holz gefällt werden darf, als jeweils nachwachsen kann, bewahrt man dadurch die natürliche Regenerationsfähigkeit von Ressourcen. Auf der anderen Seite sollen Gebäude möglichst so gebaut werden, dass sie wenig Sanierungsmaßnahmen erfordern. Eine höhere Investition in Qualität und somit in die Erstellung von Gebäuden, erzielt eine höhere Lebensdauer und ermöglicht den Aufwand und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen zufolge eines Um- oder Abbaus in der Zukunft zu minimieren. Auch im Gespräch mit DI Kopeinig wird auf diese Thematik eingegangen.

Autorin: Der Begriff, der Nachhaltigkeit gewinnt in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung. Die Nachhaltigkeit im Allgemeinen beschreibt ja eine umweltschonende und umweltbewusste, sagen wir, eine alternativ grüne Denkweise. Auch das Architekturbüro Arch+More hat sich eine sogenannte Neuorientierung als Maßnahme zur Erreichung der Nachhaltigkeit vorgenommen. Was sind denn Ihre Beweggründe hierfür? #00:00:05#

Kopeinig: Also einerseits natürlich der Beweggrund hier wirklich so zu planen und eine Arbeit zu hinterlassen, und wir alle hinterlassen ja etwas, das auch für die nächsten Generationen tauglich ist, (...). Wir haben es eigentlich in den letzten Jahrzehnten verlernt hier wirklich, auf längere Sicht zu denken. Wenn sie wahrscheinlich in den 1950er und 1960er oder sogar in den Zwischenkriegszeitjahren jemanden gefragt hätten „Für wie lange bauen Sie ihr Haus?“, oder „Wann (...) glauben Sie, dass Sie ihr Haus wieder sanieren müssen?“. Dann hätte die- oder derjenige gesagt „Ja in hundert Jahren. In 200 Jahren vielleicht“ oder hätte (...) gesagt „nein ich will eigentlich gar nicht sanieren, sondern ich wills eigentlich so bauen, dass es fast ewig hält“. Und diese Wertschätzung gegenüber dem Material, diese Wertschätzung gegenüber der Ausführungsqualität, diese Wertschätzung auch gegenüber dem Handwerk ist verloren gegangen. Es muss schnell, günstig, billig sein, war die Denkweise der letzten Jahrzehnte. Und dagegen zu wirken und zu schauen in Richtung einer Materialqualität zu gehen (...), in eine gesamtgesellschaftliche Qualität zu gehen, etwas wirklich auch als Büro von der Qualität her zu hinterlassen oder in die nächste Generation zu geben, das einfach wirklich auch tauglich ist auch dann wieder weiter getragen zu werden. Das ist der Einsatz und das ist auch der Grund, warum wir (...) das machen. Also keine kurzfristigen Gebäude bitte, ja!? #00:00:32#

DI Kopeinig hebt nochmals die Ungewissheit über die möglichen Veränderungen im zukünftigen Bauwesen hervor, mit der ein Planer bzw. ein Baubeauftragter stets zu kämpfen hat.

Kopeinig: Wir wissen nicht, wie die Welt in 50 Jahren ausschaut. Aber wir wissen, dass das Gebäude dastehen wird. Wir wissen, dass wir eine Struktur schaffen müssen, die variabel ist, die dann leicht umnutzbar ist, wo wir nicht abbrechen müssen, sondern wo wir (...) die Struktur gut weitertragen können, umnutzen können und das Ganze mit Materialien, die vielleicht in den Zyklus zurückzuführen sind, bitte die trennbar sind und die auch so wirklich nutzbar sind, dass ich eine Nutzung, die ich heute noch gar nicht kenne, dann in diesem Gebäude sozusagen gut machbar ist. (...). Wir wissen nicht, wie es in 50 Jahren ausschauen wird, und wie gesagt, unsere Gebäudestrukturen müssen das aber leisten können, weil sonst werden wir im Bauwesen, in der Bauwirtschaft einfach an diesen Materialressourcen an die Knappheit, an irgendwelche Engstellen kommen, wo es einfach nicht mehr gut weitergeht. Der Bau ist doch für einen wesentlichen

Teil des Ressourcenverbrauchs verantwortlich, so knapp 40% - entnimmt man immer wieder der Wissenschaft -, und das, glaub ich, muss nicht sein. Wenn man mit intelligenter Planung und etwas langfristigerem Denken da reagieren würde. Das gilt aber für Neubau und für die Sanierung. Also auch (...) für Gebäude, die wir derzeit sanieren, müssen wir denken was passiert mit den sanierten Gebäuden in 50 Jahren? Es ist wunderschön, dass sie jetzt saniert sind, aber wir müssen und wir haben die Verantwortung zu denken was passiert damit in 50 Jahren? #00:02:55#

7.2.3 Bedeutung der Sanierung von Bestandsbauten

Bei der Errichtung von Neubauten hat man den großen Vorteil, dass man von vornherein den Inhalt und den Aufbau des Gebäudes detailliert dokumentieren kann. Dieses Wissen kann für spätere Wartungen oder auch für den Umbau bzw. Abbruch genutzt werden, um die verwendeten Baustoffe und Bauprodukte ordnungsgemäß zu behandeln. Bei Altbestandsgebäuden hingegen sind die Informationen von verwendeten Materialien nicht immer gleich abrufbar oder nachvollziehbar. Aus diesem Grund kann eine Sanierung von Bestandsbauten erschwert werden. Daher erscheint die Sanierung im Vergleich zur Erstellung von Neubauten für viele Planer nicht gerade vorteilhaft. Nichtsdestotrotz dürfen Sanierungen nicht vernachlässigt werden. Warum dies so ist, erklärt DI Kopeinig im gemeinsamen Gespräch.

Autorin: In Anbetracht ihrer abgeschlossenen Projekte haben Sie sich ja auf die Sanierungen spezialisiert und sind eher weniger auf den Neubau eingegangen. Warum haben Sie sich denn für diesen Bereich entschieden? #00:05:30#

Kopeinig: Warum Sanierung? Bis auf gewisse urbanitäre Gebiete ist Österreich eigentlich gebaut. Der ländliche Bereich, vor allem aber auch die Bezirksstädte, stöhnen am Leerstand, haben ein Nutzungsproblem, haben den Wandel nicht immer geschafft mitzumachen. Und da ist schon unsere gemeinschaftliche kulturelle Aufgabe auch, hier wirklich gegenzuwirken. Und da muss man sich zumindest einmal zuerst darum kümmern, was ist da und nicht vordergründig darum kümmern was könnte ich jetzt geschwind einmal neu bauen? Dazu muss man sagen, dass unsere Projekte nie eine reine Sanierung sind, sondern immer eine Neuorientierung, wie sie auch schon gesagt haben. Das heißt, man schaut sich an was ist da, wie gut ist das verwendbar und was ist vielleicht noch notwendig, um die zeitgemäßen Rahmenbedingungen zu erfüllen (...). Ja, zum Beispiel in der Bildung, wie sie es erwähnt haben. Da ist es natürlich so, (...) vor hundert Jahren hatten wir Gangschulen, dann hatten wir in den Nachkriegsjahren Frontalunterricht und mittlerweile haben wir, Gott sei Dank, einen Unterricht, der von offenen Lernzonen, von Förder- und Förderunterricht, von einer Klassengemeinschaft geprägt ist, was alles wunderbar und gut ist, aber was neue Räume braucht einfach in der Bildung. Das haben wir gerade jetzt in Corona wieder deutlich gemerkt. Und ja, diese neuen Räume müssen wir mit unseren Bestandsgebäuden schaffen und da muss es nicht nur eine thermische Sanierung geben und eine Sicherheitstechnik usw., sondern natürlich auch ein pädagogisches System, welches hier greift, welches eine neue Offenheit einfach dokumentiert. Das versuchen wir in unseren Projekten zusammenzuführen und das macht eigentlich Spaß. "Warum sich nicht mehr Leute darum kümmern?", werde ich oft gefragt. Natürlich ist es manchmal anstrengender im Bestand. Natürlich braucht es viel Kommunikation, viele Begleitmaßnahmen, viele Analysen im Vorfeld. Natürlich sind die Haftungsfragen sehr groß. Natürlich ist der Planungsaufwand größer im Bestand, bei nicht so viel mehr Honorar dann am Ende des Tages. Also all das macht einfach die Sanierung nicht sonderlich attraktiv, weder für die Planenden noch für die

Ausführenden. Und solange die Kolleginnen, Kollegen und die Bauwirtschaft genug Neubauangebot haben, wird man nicht so sehr lieber in die Sanierung gehen, sondern macht lieber Neubau, weil auf der grünen Wiese die Planbarkeit und die Risiken einfach überschaubarer sind und daher gibt es einen gewissen Mangel in der Sanierung. #00:05:50#

Autorin: Verstehe. Das heißt, es benötigt, einfach ein Bewusstsein, dass man weiß: Das bereits Bestehende hat einfach Vorrang, weil wenn das so bleibt, wie es ist, dann verursacht das immer weiter noch Umweltauswirkungen und wir müssen dem später entgegenwirken. #00:09:02#

Kopeinig: So ist es. (...). Die Umweltauswirkungen sind ja nicht nur im ökologischen Bereich, sondern auch im kulturellen Bereich, im gesellschaftlichen Bereich. Es ist einfach nicht schön (...) durch eine unsanierte Stadt zu gehen. #00:09:19##

7.2.4 Erfolgreich nachhaltig Bauen

Um den Erfolg des nachhaltigen Bauens zu garantieren, bedarf es der Erfüllung vieler verschiedener Faktoren. Selbstverständlich spielt die Planung eine wesentliche Rolle. Hier werden zentrale Entscheidungen bezüglich Materialwahl, Herstellungsprozessen, Aufbau/Abbau vom Gebäude, etc. getroffen. Im Rahmen des geführten Experteninterviews betont DI Kopeinig zusätzlich die Bedeutung der Dauerbeobachtung eines Gebäudes in Form von Monitoring.

Autorin: Wie werten sie den Erfolg eines Projektes und wann ist ein Projekt für sie ein gelungenes Projekt? #00:19:02#

Kopeinig: Ja natürlich, wenn die Ziele erreicht sind. Und die Ziele sind Nutzerzufriedenheit, eine energieeffiziente Herangehensweise, in dem sozusagen die Planungsziele auch erreicht wurden, eine ökonomische Konstruktion, natürlich auch ein Zeitplan, der eingehalten wurde, das gehört genauso dazu, und natürlich auch eine (..) Abrechnung am Ende des Tages, wo es für alle passt. Wo es für die Ausführenden genauso passt wie für den Bauherrn beziehungsweise für die Behörden, die das genehmigen müssen. Also man steht ja immer zwischen der Behördenseite der Bauwirtschaft, der Bauherrseite und natürlich seinen Planungsteam, das man auch mitnehmen muss. Und wenn da nicht nur wenige, sondern die meisten zufrieden sind, alle werden wir wohl nie ganz schaffen, aber wenn die meisten zufrieden sind, dann kann man das schon als erfolgreich bezeichnen. #00:19:09#

Autorin: Und ist ein Projekt für Sie zu Ende, wenn die Sanierung abgeschlossen ist? #00:20:18#

Kopeinig: Nein. Also es ist vor allem so, dass dann erst sozusagen die Einführungsphase beginnt. Also wir machen ja mindestens 3 Jahre Monitoring an den meisten unserer Projekte. Es ist meistens eine Einführungsphase notwendig. Es dauert meistens 2, 3 Jahre, bis man mit den Förderstellen alles abgewickelt hat und selbstverständlich steht man auch danach noch mit Rat und Tat zur Seite zu den Projekten, die man bearbeitet hat. Also nein, leider oder Gott sei Dank, ist es (...) nicht zu Ende (...). Ein Gebäude, egal ob Neubau oder Sanierung, Neuorientierung ist wie ein Kind, das Laufen lernt. Und man kann nicht den Schalter umdrehen und dann funktioniert schon alles, sondern man muss dem Kind immer wieder bissl zur Seite stehen und helfen, oder? Und dann (...) wirds einfach besser und macht dann eigene Erfahrungen und dann funktioniert es wahrscheinlich irgendwann einmal ganz selbständig. #00:20:22#

Diese Herangehensweise erfordert eine umorientierte Denkweise. Gebäude werden nicht mehr nur als Projekte behandelt. Es ist eine Aufgabe und eine Verantwortung, dafür zu sorgen, dass die Gebäude über viele Jahre hinweg einwandfrei funktionieren.

7.2.5 Stufenbewertung im Bewertungssystem

Viele Zertifizierungssysteme verwenden für die Bewertung der Untersuchungsgegenstände ein Stufen-system. Bei Gebäudezertifizierungen kann dadurch zwischen Objekten mit, die Umwelt betreffend, ausgezeichneten Eigenschaften und jenen Objekten unterschieden werden, welche die Basiskriterien eines zuvor bestimmten Gebäudestandards erfüllen. Zwischen diesen beiden Auszeichnungen kann es weitere Bewertungsstufen geben. Mit dieser Technik ist es nicht nur möglich umweltschonende Eigenschaften eines Gebäudes zu kennzeichnen, sondern auch besonders umweltschonende und ideale Herangehensweisen hervorzuheben. Das Streben nach und die anschließende Erzielung der besten Bewertungsstufe eines Gebäudezertifizierungssystems unterstützt die Vermarktung des Objektes, in dem besonders vorbildhafte und ideale Eigenschaften des Gebäudes hervorgehoben werden. Nun hat diese Taktik den Vorteil, dass mehr Bauherren und Planer gute Bewertungen in den Bewertungssystemen anstreben, um schließlich ihr Gebäude für den Markt bestens vorbereiten zu können. Andererseits hat dieses Streben nach Erfolg auch positive Auswirkungen auf die Gesundheit von Mensch und Umwelt. Am Beispiel des klimaaktiv Kriterienkatalogs wird folgend die Stufenbewertung zufolge Auswertung der Kriterienkataloge erläutert. Im Gespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker wird diese Aufteilung wie folgt begründet.

Autorin: Die klimaaktiv Kriterien-Kataloge sind nach diesem, wie Sie bereits erwähnt hatten, 1000 Punktesystem aufgebaut. Die Bewertung der Gebäude erfolgt in den 3 Qualitätsstufen Bronze, Silber und Gold. Wie würden Sie diese 3-Stufen-Bewertung denn begründen? Also warum gibt es ausgerechnet diese 3 Stufen? Könnte damit, zum Beispiel ein größeres Interesse im Bausektor geweckt werden wollen? Oder etwa die Motivation zu einer Deklaration eines Gebäudes erhöht werden? Was ist genau die Begründung dafür? #00:09:04#

Schrattenecker: Wir haben 3 Stufen Bronze, Silber, Gold (...) 1000 Punkte. Gold ist 900 Punkte, Silber ist 750 Punkte und bei Bronze haben wir einen Katalog definiert, wo wir gesagt haben: Wenn (...) jemand noch nicht allzu ambitioniert ist oder noch nicht allzu viel Erfahrung hat mit dem nachhaltigen Bauen, dann schaffen wir mit den (...) Basiskriterien, das ist gleichzeitig der Bronzestatus, ein Kriterienset, wo man sagt, das ist das Minimum, was ein Gebäude einhalten muss, um als nachhaltiges ökologisches, energieeffizientes Gebäude zu gelten. Praktisch um den Stempel zu bekommen. Also das ist ein bisschen so die Einstiegsdroge, würde ich sagen für jemanden der (...) noch nicht allzu viel Erfahrung mitbringt in (...) dem Bereich. (...). Also es gibt viele Bauträger, die sagen: „Ok, wenn ich Bronze erreiche, bin ich eh schon sehr zufrieden.“ (...). Und die Ehrgeizigen gehen dann einfach auf Gold, also Silber lässt man dann ein bisschen aus, weil das nicht so attraktiv ist, hab ich das Gefühl. (...). Ich hör dann auch oft, dass jemand sagt: „Ok, aber beim nächsten Gebäude schauen wir das wir Gold erreichen.“ Ja weil das ist irgendwie so ein Wettbewerb, oder Ehrgeiz (...), der da geweckt wird. (...). Ja, das war, glaube ich, die Motivation, dass man sagt, man muss einen überschaubaren Kriterienkatalog schaffen und das sind die Basiskriterien, die muss jedes Gebäude einhalten, die sind relativ einfach zu kommunizieren und überschaubar. Das sind 12 Kriterien. (...). Und für alle, die besser werden wollen, bieten wir Silber oder Gold an. Und Gold ist schon tatsächlich sehr ambitioniert, also da muss man einfach in allen 4

Kategorien von klimaaktiv wirklich top sein. Also da kann man einfach kein Themenbereich außen vorlassen. #00:09:42#

Im Vergleich zu anderen Gebäudezertifizierungssystemen gibt es bei klimaaktiv viele Ausschlusskriterien, welche nicht durch die Erfüllung anderer Kriterien auszugleichen sind. So kann etwa ein Gebäude, bei welchem für die Energiebereitstellung Gas oder Öl verwendet wird, kein Label ausgestellt werden, auch wenn alle anderen Kriterien des klimaaktiv Kriterienkatalogs erfüllt sein sollten. Diese Bewertungstechnik erschwert zwar das Erreichen einer positiven Kriterienauswertung, andererseits verstärkt es die Authentizität der erreichten Erfolge für ein Objekt.

7.2.6 Kostenersparnis über den Lebenszyklus

Um ein Gebäude umweltschonend zu errichten bzw. für den Menschen ein gesundes Raumklima zu ermöglichen erfordert es höhere Investitionskosten. Diese Tatsache schreckt viele Bauherrn davon ab, nachhaltig bauen zu wollen. Allerdings ist stets zu betonen, dass die Lebenszykluskosten bei nachhaltig errichteten Gebäuden viel geringer sind als bei herkömmlichen Bauten. Daher erfordert diese Tatsache vor allem Überzeugung und ein Vertrauen in die neuorientierte Bauweise. DIⁱⁿ Schrattenecker begründet im gemeinsamen Gespräch die höheren Kosten mit einer höheren Qualität. Außerdem würden die hohen Investitionskosten, durch die über die Jahre in geringen Höhen aufkommenden Kosten kompensiert werden.

Schrattenecker: Also unsere (...) Aussage ist ja meistens: Wenn man die Investitionskosten über den Lebenszyklus sich anschaut, dann holt man die, mitunter erhöhten, Investitionskosten beim Bau. Diese rechnen sich (...) relativ schnell. Also das ist die Theorie, und wir bieten da auch ein Tool an, wo man die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Bauteilen oder des gesamten Baus sich ausrechnen kann. Also wir sagen: Es ist okay, wenn man ein bisschen erhöhte Investitionskosten hat, weil man einfach eine bessere Qualität baut. Weil es sich über sozusagen Energieeinsparung und sonstiges über den Lebenszyklus relativ rasch abrechnet (...), also wenn man das über 25, 30 Jahren betrachtet. #00:22:22#

Auch Passivhaus-Experte Ing. Lang verdeutlicht die großen Vorteile einer guten Lebenszykluskostenanalyse. Dass es gegenwärtig noch erlaubt ist in einem geringeren Gebäudestandard als ein Passivhaus-Standard zu bauen, wird vom Ingenieur stark kritisiert. Im Laufe des Gespräches erwähnt Ing. Lang mehrmals die Vorteile von Passivhaus-Gebäuden und berichtet auch von den Minderkosten über den Lebenszyklus. Im folgenden Ausschnitt geht er auch auf sein eigenes Heim ein, welches ebenfalls im Passivhaus-Standard errichtet ist.

Lang: Natürlich gilt es nicht nur im Neubau (...) im besten Standard zu bauen. (...). Ich finde es eine absolute Zumutung, dass heute noch Standards erlaubt werden, die schlechter sind, als dieses Haus^[725], wo ich gerade herinnen sitze, was wir vor einem knappen Vierteljahrhundert gebaut haben (...) ohne jegliche Mehrkosten. Und eigentlich wurde, bereits im Regierungsübereinkommen 2008 festgeschrieben, dass 2015 spätestens (...) in der Neubaupassivhausstandard als Mindeststandard vorgeschrieben ist. Wir sind natürlich weit davon entfernt. (...). Und es ist heute ein energetischer Standard in Österreich erlaubt, der bis zu 5 Mal so einen hohen Energieverbrauch erlaubt als dieses Gebäude verursacht. (...). Allein nur die Neubauten, die seit 2010 neu errichtet worden sind, das sind in Summe 130 Millionen Quadratmeter in

⁷²⁵ Lang Consulting, *Passivhaus Scheibe Salzkammergut*, online: <https://www.langconsulting.at/index.php/de/forschung/demonstrationsprojekte/30-lang-consulting-de/forschung/demonstrationsprojekte/108-passivhaus-scheibe-salzkammergut> (Zugriff 15.01.2023)

Österreich (...) in dem Zeitraum bis letztes Jahr, haben einen zusätzlichen Energieverbrauch, weil sie so gebaut worden sind, wie sie gebaut worden sind und nicht wie der beste Standard möglich wäre, von dreieinhalb Terawattstunden und das entspricht dem jährlichen Gasverbrauch des gesamten Burgenlandes und Vorarlbergs inklusive deren Industrien. Also obwohl wir nur von dieser kleinen Differenz sprechen zwischen BestPractice-Standard und das, was die Bauordnung zulässt. Ja, und daran sieht man wie wichtig es wäre den Neubau von Haus aus im Best-Practice-Standard zu bauen. #00:10:21#

7.2.7 Förderungen

Trifft der Bauherr die Wahl nachhaltig bauen zu wollen, bietet sich die Möglichkeit zur finanziellen Unterstützung in der Ausführung. Es wird unterschieden zwischen Förderprogrammen auf Bundesebene und jenen auf Bundesländerebene. Gefördert werden Dienstleistungen im Sinne des Klimaschutzes. DI Kopeinig gibt einen überschaubaren Überblick über die vorhandenen Förderungen für Wohnbau und Nichtwohnbau.

Kopeinig: Also, man muss ja den Wohnbau und den Nichtwohnbau, wie es in der Fachsprache heißt, unterscheiden. Wohnbau ist ja primär Sache der Länder, die Länder haben mit der Wohnbauförderung sozusagen ihre (...) Möglichkeiten hier den Wohnbau zu unterstützen. Und seit rund 10 Jahren gibt es eben auch die Wohnbauunterstützung auf der energetischen Seite bundesweit. Mit dem Sanierungsscheck hat das begonnen, seitens des Bundes (...). Da gibts seitens des Klimaschutzministeriums sehr, sehr gute Möglichkeiten. Und natürlich gibt es auch sehr gute Beratungsmöglichkeiten im Rahmen von klimaaktiv (...). Und im Nicht-Wohnbereich ist das natürlich einerseits in der Wirtschaftsförderung angesiedelt. Also sehr guter Partner ist der AWS, also der Austrian Wirtschaftsservice. Aber natürlich auch der Klimafonds. Der Klimafonds der österreichischen Bundesregierung bietet hier sehr schöne Programme. Und vor allem das Mustersanierungsprogramm ist ein Programm, (...) dass sich im Bereich bewegt zwischen der normalen Wirtschaftsförderung also, das was normal baurechtlich sowieso erforderlich ist - der OIB -, und einem Forschungsprojekt, das dann über „Stadt der Zukunft“ über die FFG, das auch sehr schöne Programme sind, aber wo sie eben eine höhere Innovationskraft braucht und wo es dann über die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft abgewickelt wird. (...). Und dazwischen bewegt sich der Klimafonds und das Mustersanierungsprogramm wirklich in einem sehr, sehr, sehr wichtigem Bereich. Weil hier man wirklich die Chance hat, in die Regionen hinaus Vorzeigeprojekte zu bringen, hier mehr zu machen als es standardmäßig möglich ist und hier wirklich einfach eine Qualität zu bringen, die sonst ohne diese Muster Sanierungsförderung durch den Klimafonds einfach nicht möglich wäre. (...). Das ist eben wirklich ein Programm, dass das Niveau hoch ansetzt, (...), was keinen Forschungsanteil um jeden Preis braucht, und das macht es natürlich angenehm für die Sanierung von Nichtwohngebäuden. #00:21:53#

Es existiert eine große Anzahl an Förderungen für das nachhaltige Bauen bzw. für nachhaltige Dienstleistungen. In dieser Arbeit wird allerdings nicht drauf eingegangen. Das E-Government der österreichischen Regierung bietet über die Webseite www.oesterreich.gv.at unter dem Register „Bauen, Wohnen und Umwelt“ eine Übersicht der relevanten Förderungen für Klima- und Umweltschutz.

7.3 Ausblick in die Zukunft

Zukunftsorientiert betont DIⁱⁿ Schrattenecker die Bedeutung des nachhaltigen Bauens in der Gesellschaft zu verbreiten. Ein nachhaltig gesunder Gebäudestandard muss entwickelt werden und weitestgehend angewendet werden. Folgend werden einige Herangehensweisen angeführt, welche eine erfolgreiche Ausführung der Nachhaltigkeit im Bauwesen ermöglichen sollen.

7.3.1 Gleichwertigkeit der drei Dimensionen der Nachhaltigkeit

Im Abschnitt 7.1 wurde bereits angemerkt, dass nicht alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit gleichwertig in die Bewertung von Zertifizierungssystemen einfließen. Die aktuellen Wünsche und Anforderungen der Gesellschaft sind allerdings bekannt. Um vor allem Vergleiche der Ergebnisse verschiedener Bewertungssysteme zu ermöglichen, müssen einerseits das Bewertungssystem transparent veröffentlicht werden und andererseits gleichwertig auf alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit eingegangen werden. Mal abgesehen davon ermöglicht diese Integration der drei Dimensionen eine wahrheitsgetreue und realistische Beurteilung der Nachhaltigkeit eines Beurteilungsgegenstandes bzw. -objektes. Am Beispiel des Programmes klimaaktiv Bauen und Sanieren wird im Gespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker über mögliche zukünftige Veränderungen im Kriterienkatalog gesprochen. In regelmäßigen Abständen werden die Kriterienkataloge aktualisiert und somit an den Stand der Technik und an die Interessen der daran beteiligten Gesellschaft angepasst. Strengere Anforderungen des Programmes erzwingen, für eine gute Bewertung, bessere Ausführungen bzw. Ergebnisse von den Planern. Dadurch können allgemein die Umweltauswirkungen stark eingeschränkt werden.

Schrattenecker: Aber sicher eine große Hürde ist, dass es bei klimaaktiv ein komplettes Verbot von fossilen Energien gibt. Das heißt für die Wärmeversorgung ist weder Gas, noch Öl, noch Kohle sowieso nicht, erlaubt. Und das ist tatsächlich auch teilweise für Neubauten eine große Hürde (...). (...). Also Öl ist jetzt kein Thema, so würd ich jetzt sagen, im Neubau. Aber mit Gas versorgte Gebäude werden einfach nach wie vor gebaut. Und da kriege ich immer ganz ungläubige Anrufe, ob wir das wirklich nicht erlauben und nicht einmal als Backup System und nicht einmal die Biogas Variante. (...). Und das gilt sowohl für den Neubau als auch für die Sanierung. (...). Für die Sanierung, natürlich, da gibt es nur eine Ausnahmegenehmigung, wenn das Heizungssystem (...) jünger als 12 Jahre ist. (...). Dann kann man das mit einem Sanierungsfahrplan machen, so dass man einen (...) zeitlichen Plan macht, wann der Ausstieg aus fossilen Energien stattfinden wird. Das ist sicher eine große Herausforderung. Insgesamt glaube ich schon, dass für viele (...) Neubauten die Energieeffizienzanforderungen schon auch eine Herausforderung sind. Also (...) es gibt einfach noch immer viele Gebäude, die nicht in dieser Qualität (...) bauen (...). Wir wollen nicht so viel dämmen. (...) Also auch im Neubau ist das durchaus noch immer ein Argument. Ja also, es scheitern einige an HWB-Anforderungen. (...) also unsere Anforderungen an die Raumluftqualität sind relativ anspruchsvoll (...). Also es ist jetzt die Komfortlüftung kein Musskriterium, aber trotzdem gibt es ziemlich strenge Anforderungen, wie man die Raumqualität nachweisen muss und das wollen einfach viele Bauträger auch nicht wirklich. Und dies sorgt für viel Diskussion. (...) in der Sanierung, im Denkmalschutz haben wir einen eigenen Katalog (...). Da kann man auch die Variante wählen, dass man -25% Reduktion im Energieverbrauch hat. Das ist in erster Linie eben (...), wenn man sehr gegliederte Fassaden hat und einfach straßenseitig (...) gar nicht dämmen kann. (...) Also insgesamt sind unsere Sanierungsanforderungen im Vergleich zu den Neubauanforderungen wesentlich strenger und schwieriger zu. #00:18:36#

Ein großer Vorteil der Gebäudebewertung klimaaktiv Bauen und Sanieren ist die regelmäßige Anpassung der Kriterien, nicht nur an den Stand der Technik, sondern auch an die Ziele des Umweltschutzes sowie den Interessen der Baubeteiligten und der Nutzer. Der soziokulturelle Aspekt der Nachhaltigkeit soll in Zukunft durch die Sicherstellung leistbarer Wohnungen gewährleistet werden. Die mögliche Berücksichtigung der Kreislaufwirtschaft würde den ökologisch-ökonomischen Faktor der Bewertung bestärken.

Schrattenecker: Da das Thema "leistbares Wohnen", "leistbares Bauen" einfach auch noch (...) stärker Abbildung finden sollte. (...) wir haben praktisch (...) alle 3 Jahre ungefähr einen Überarbeitungszyklus vom (...) Gebäudestandard, wo wir uns auch immer wieder bissel neu ausrichten, neue Kriterien dazu definieren, das System breiter aufstellen. (...) Da kommt nächstes Jahr der nächste Überarbeitungszyklus. Wo jetzt auch so Themen wie Kreislaufwirtschaft, dann vielleicht Biodiversität einfach stärker berücksichtigt werden. (...) Jeder Standard, den wir veröffentlichen (...) ab dem Moment fängt eigentlich schon die Diskussion für die nächste Überarbeitungsschleife an. #00:04:10#

Vor allem habe das Bewertungskriterium für Standortqualität gute Möglichkeiten in Zukunft in die Bewertung stärker berücksichtigt zu werden. Es sei von großer Relevanz nicht nur das Gebäude, sondern auch das Umfeld in die Systemgrenzen der Gebäudebewertung einzubeziehen. Während demnach einige Kategorien in den einzelnen Nachhaltigkeitsdimensionen bereits stark vertreten sind, sieht klimaaktiv zukünftig eine stärkere Ausprägung sozialer und ökonomischer Aspekte in der Bewertung vor. Andere Bewertungssysteme zeigen ähnliche Unregelmäßigkeiten auf. In vielen Fällen liegt der Fokus stets auf einer einzelnen Dimension. Dies ist grundsätzlich gut nachvollziehbar, da die Bewertungssysteme oftmals von gewissen Interessensgruppen vertreten sind. Für eine vollständige Bewertung der Nachhaltigkeit sollten allerdings gewisse Grenzen der anderen beiden Dimensionen einbezogen werden. Diese Vorgehensweise garantiert eine Vollständigkeit der Nachhaltigkeit und versichert somit den Schutz von Mensch und Umwelt.

Die Ausführung der Dimensionen bzw. der Säulen der Nachhaltigkeit müssen allerdings nicht erst in Bewertungssystemen beurteilt werden. Die Planung, Errichtung und der Abbruch von Gebäuden müssen stets alle drei Bereiche des nachhaltigen Bauens berücksichtigen. Im Gespräch mit DI Achammer wird ebenfalls diese Thematik angesprochen. Ob es möglich ist, die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit im Bauwesen zu 100% auszuführen beantwortet der Universitätsprofessor wie folgt.

Achammer: Man muss den (...) bestmöglichen Kompromiss dieser drei Dinge finden. Also natürlich ist es anzustreben, dass bei allen 3 Dingen das Beste herauskommt. Ja, aber das Ziel, da sag ich wieder Vitruv, (...) es muss von maximaler Nützlichkeit sein, es muss von maximaler Dauerhaftigkeit sein (...) mit minimalem Ressourceneinsatz und es muss schön sein. Also jetzt ganz verkürzt gesagt. #00:06:16#

Auch DI Spaun äußert sich über die Dringlichkeit der Berücksichtigung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit im Bauwesen aus.

Spaun: Ich bin 1998 zur Zementindustrie gekommen. Da hat man einen Umweltexperten gesucht. Und ich habe mich ziemlich bald danach, schon zu Beginn der 2000er Jahre, (...) mit dem Thema der Ökologisierung des Bauwesens befasst. Damals [waren die Kriterien (z.B. das 3 Säulenmodell) zum nachhaltigen Bauen noch nicht definiert; es ging um Ökologisierung. Seitens unseres Verbandes haben wir das Thema der Nachhaltigkeit pro aktiv aufgegriffen und] 2004 unseren ersten Geschäftsbericht als Nachhaltigkeitsbericht geschrieben und das seither auch durchgehalten. #00:04:19#

7.3.2 Integrale Planung

Anschließend an die Bedeutung der Ausführung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit führt DI Achammer den hierfür notwendigen Lösungsansatz durch die integrale Planung an. Das Architekturbüro ATP wendet seit vielen Jahren die integrale Planung in ihren Projekten an. Im gemeinsamen Gespräch wird diese Thematik ausführlich diskutiert.

Achammer: Das ist ja übrigens eine Geschichte, die mich sehr umtreibt, dass wir immer noch nur vom Haus reden, wenn wir über solche Dinge sprechen. Und es gibt kaum Unternehmungen, noch nicht, die sich integral auf städtebaulicher Ebene mit dem Thema beschäftigen, wobei das daher noch wesentlich wichtiger wäre. Also wenn sie eine Stadtentwicklung machen oder eine Quartiersentwicklung und sich überlegen, was dabei alles für Kompetenzen gefordert sind: Die soziale Kompetenz. Welche Durchmischung möchte ich haben? Die Verkehrskompetenz. Welche Mobilitätskonzepte möchte ich haben? Die energetische Kompetenz. Welche energetischen Netze? Und die ästhetische Kompetenz. (...). Und wenn sie es mal so vor Ihrem geistigen Auge vorbeigehen lassen, wer das macht... niemand. Vielleicht große Stadtentwicklungsgesellschaften (...). Dass die dann über die Jahre solche Kompetenzen aufbauen, aber wenn ich heute zu jemandem hingehe und sage, ich habe da einen Block von 500 mal 500 Meter und ich möchte jetzt eine Quartiersentwicklung machen, dann muss ich 10, 15 verschiedene Spezialisten zusammen holen, die dieses Thema sicher nicht integral behandeln können. #00:06:49#

Das Ziel der integralen Planung ist es die einzelnen Spezialisten der vielen Teilbereiche im Baubereich zu vereinen. Eine grundsätzliche Aufteilung der Tätigkeiten im Bauwesen sei kontraproduktiv. Für ein erfolgreiches Ergebnis müsse man von Beginn an eine Zusammenarbeit aller Baubeteiligten anstreben.

Autorin: Also Sie haben schon ein Stichwort gegeben. Die Spezialisten. Und ich würde gerne übergehen zum Thema Spezialist und Generalist. Und zwar hatten Sie auch in vielen Vorträgen erwähnt, dass über die letzten Jahrzehnte der Architekt (...) zu einem Spezialisten geworden ist und generell im Bauwesen die Tätigkeiten sehr stark unterteilt sind. ATP hingegen spezialisiert sich auf die integrale Planung. Was ist Ihre Meinung nach wichtig, um eine integrale Planung erfolgreich umsetzen zu können? #00:08:12#

Achammer: Eine kulturelle Veränderung. Also wir spezialisieren uns nicht, sondern wir kehren wieder dorthin zurück. Der Beruf des Architekten oder der, der sich eben mit einem Haus beschäftigt, (...) war ja bis Mitte des (...) 19. Jahrhunderts (...) eine umfassende Aufgabe. Der hat die (...) politische Dimension herbringen müssen, (...), der hat das Tragwerk gemacht. Er hat sich die haustechnischen, unter Anführungszeichen, Dinge überlegt. (...). Der war DER Baumeister. Und der Spezialist kam erst mit Aufkommen der Industriellen Revolution und der Erfindung des Ingenieurs. (...) als ein Gustav Eiffel den hinteren Teil der Bahnhöfe mit einer Glashalle überspannt hat, haben die Architekten gesagt: „Das ist eigentlich nicht unsere Aufgabe.“ Aber die Architekten haben im vorderen Teil sich damit beschäftigt, damit mit Backstein in einem Renaissancestil oder in einem neogotischen Stil ein Bahnhofsempfangsgebäude gemacht wurde. (...) und da im Hintergrund da ist dann einer der hat mit einer Stahlkonstruktion Gleise überdacht. Und dieses Auseinanderdividieren, das ist im Zuge des 20. Jahrhunderts immer mehr passiert. Heute gibt es lauter Fachingenieure und ein böser Ausdruck ist, dass die Architekten sich zu Fachingenieuren für Gestaltung selbst zurückgezogen haben. Ja,

die kümmern sich nicht um die Kosten, die kümmern sich nicht um die Haustechnik, die kümmern sich nicht um die Statik, die kümmern sich nicht um die Termine. Das ist jetzt sehr forciert formuliert, was ich sage. Ja. Aber es ist einer unter vielen Fachingenieuren und es gibt niemanden, der den Prozess gesamthaft führt. Und nachhaltig bauen kann man nur, wenn man gesamthaft führt. Alle KollegInnen, die erfolgreich sind, sind es, indem sie nachhaltig Häuser bauen, die kümmern sich um alles! #00:08:43#

Autorin: Gibt es gegenwärtig Herausforderungen in der Integralen Planung? #00:10:49#

Achammer: Ja natürlich, kontinuierlich. Wir üben das seit 40 Jahren. Die größte Herausforderung ist diese kulturelle Veränderung. Sie sind kurz davor, ihr Studium zu beenden und wurden geschult, nicht integral zu denken. Und das fängt an, mit der (...) Erwartungshaltung von jungen Menschen. (...). Diese disintegrale Haltung wird verstärkt. Dann gehen die Menschen in die Praxis hinaus und da wird sie noch einmal verstärkt. Weil da gibts die Haustechniker, (...), und die Architekten, die Bauleiter und die Tragwerksplaner etc. Und das ist unsere Herausforderung als ATP. Wir stellen im Jahr hundert Leute ein, weil wir wachsen um hundert Leute im Jahr (...) und wir müssen Menschen gewinnen, die diese Kultur im Kopf verändern wollen. #00:10:52#

Durch dieses Gespräch wird die Dringlichkeit einer Veränderung in der gegenwärtig üblichen Planungsform im Bauwesen verdeutlicht. Anschließend führt DI Achammer die Herangehensweise zur integralen Planung an. Erst durch Erfüllung der angeführten Voraussetzungen zur integralen Planung, könne etwa ein Programm wie das Building Information Modeling diese Art von Planung unterstützen.

Achammer: Der Ablauf ist: Zuerst ändert sich die Kultur. Dann musst du die Organisation anpassen, heißt „all in one“. Und nicht Abteilungsergebnis Architektur, Abteilungsergebnis Tragwerksplanung, Abteilungsergebnis Haustechnik (...). Dann musst du die Prozesse verändern, heißt Planungsbeginn: Da sitzt eine Architektin, eine Bauingenieurin, eine Haustechnikerin und eine Tragwerksplanerin am Tisch vor einem leeren Blatt Papier und diese entwerfen gemeinsam ein Haus. Und wenn die 3 Dinge so laufen, dann kann die Technologie Building Information Modeling helfen. Wenn die ersten 3 nicht da sind, ist es nur zusätzlicher Aufwand. #00:13:46#

7.3.3 Kreislaufwirtschaft

Dass die Kreislaufwirtschaft ein viel besprochenes Thema ist, ist der Wichtigkeit dieser Thematik zuzusprechen. Das Ziel ist es die Ressourceneffizienz zu steigern. Die verwendeten Materialien sollen nach Anwendung in einen biologischen oder technischen Kreislauf zurückgeführt werden. Die größten Schwierigkeiten liegen einerseits in der konservativen Denkweise der Baubeteiligten. Die Kreislaufwirtschaft erfordert nämlich eine weit in die Zukunft vorrausschauende Denkweise. Es muss noch vor der Herstellung von Baustoffen oder Bauprodukten bekannt sein, inwiefern diese wieder in einen Kreislauf rückgeführt werden können. Andererseits scheitert die Umsetzung noch an der Technologie. DI Kopeinig verdeutlicht diese derzeit noch vorhandene Unvollständigkeit.

Autorin: Ich hätte noch eine Frage an Sie, und zwar betrifft es die Kreislaufwirtschaft, da sie auch im Vorstand der Arbeitsgruppe für Klima, Neutralität und Kreislaufwirtschaft im Verein für IG Lebenszyklus Bau sind. (...). Wie kann die Entwicklung im Bauwesen vorangetrieben werden, damit die Kreislaufwirtschaft angewendet werden kann? Wo liegen momentan die Schwierigkeiten in der Umsetzung? #00:34:13#

Kopeinig: Die Schwierigkeiten sind hauptsächlich, dass wir nicht wissen, was in unseren Gebäuden drinnen ist (...). Und da wird uns die Digitalisierung helfen. Da wird uns der digitale Gebäudepass helfen. Es wird einfach ein "screening" gebrauchen, wie man das heute nennt, um zu wissen was ist in unseren Gebäuden drinnen, wie können wir (...) Ressourcen auch heben? Und in welchen Zeiträumen könnten diese Ressourcen anfallen? (...) Also ich weiß ja heute schon, wann ich bei einem Hotel zum Beispiel, eine Innensanierung mache, weil das passiert alle 7 bis 15 Jahre. Und wenn ich vorher weiß, welche Materialien derzeit in dem Hotel sind, wird das plötzlich planbar. Was kann ich wiederverwenden? Was ist also "reuse" möglich? Was kann ich wieder aufbereiten? Also was kann ich rezyklieren? Und was wird dann einer thermischen Verwertung wahrscheinlich zuzuführen sein? Und (...) wenn ich da eine Digitalisierung habe und diesen digitalen Gebäudepass mit einer Einschätzung, mit einer Lebensdauerbewertung noch dazu, dann werde ich (...) es schaffen, das wirklich in eine Kreislauffähigkeit zu bringen. Beim Neubau wird das zukünftig einfach so notwendig sein, dass man das (...), auch bei größeren Sanierungen, mit der Fertigstellung der Baubehörde einfach meldet. Nämlich wie viel Menge von welchem Material und mit welcher zu erwartenden Lebensdauer hier verbaut wurde. Und im Bestand, und das ist ja die größere Aufgabe, wird die öffentliche Hand natürlich ein "Screening" durchführen müssen. Und wird auch schauen müssen, wie kann man das, was derzeit da ist verwenden? Wann steht es zur Verfügung? In welcher Dimension? Natürlich wird es nie endgültig sein und immer sozusagen irgendwo eine (...) Annäherung sein, aber wenn ich gar nicht weiß, welchen Bestand ich habe, (...), dann wird es extrem schwieriger. #00:34:36#

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein persönliches Gespräch mit Vertretern des Österreichischen Instituts für Bautechnik (OIB) geführt. Das Anliegen dieses Interviews war es den gegenwärtigen Stand der Umsetzung einer OIB-Richtlinie 7 herauszufinden. Die OIB-Richtlinie 7 soll die Themen Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit im Bauwesen behandeln.

So sehr das allgemeine Bedürfnis nach einer Richtlinie für die Kreislaufwirtschaft bekannt ist, so fehlen allerdings die für die Erstellung und Zusammensetzung grundlegenden Informationen. Für die Erstellung einer OIB-Richtlinie im Allgemeinen existieren Sachverständigenbeiräte. Alle vier Jahre fasst der Sachverständigenbeirat gemeinsam mit Experten, welche die einzelnen Bundesländer vertreten, ein Konzept oder auch eine Neufassung der Richtlinien. Aktuell sind die Neufassungen der Richtlinien eins bis sechs in Arbeit. Nachdem eine Entwurfsarbeit bereits vor dem Sommer an Stakeholder weitergeleitet wird, erfolgt nach eventuell auftretenden Reaktionen oder Wünschen zu Veränderungen, schließlich die Veröffentlichung im Frühjahr 2023. Da dieser Arbeitsprozess alle vier Jahre wiederholt wird, ist eine Veröffentlichung der Richtlinie 7 nicht vor dem Jahr 2027 geplant. Mal abgesehen davon fehlt für die Erstellung dieser neuen Richtlinie der politische Auftrag mit klaren Vorgaben von der europäischen Ebene. Des Weiteren hat die Veröffentlichung des letzten Entwurfs für die Bauproduktenverordnung für Diskussionen gesorgt, da diese nicht sieben, sondern neuerdings acht Grundanforderungen beinhaltet. Zusammengefasst erfordert die Erstellung einer OIB-Richtlinie 7 in Hinblick auf den Klimaschutz eine strategische Neuorientierung.

Das Österreichische Institut für Bautechnik plant hingegen ein sogenanntes Grundlegendokument bis 2023 zu publizieren. Dieses soll den Inhalt der OIB-Richtlinie 7 wiedergegeben. Im Gegensatz zu den Richtlinien, wird dieses Dokument keine Anforderungen beinhalten, welche somit auch nicht von den Bundesländern in den jeweiligen Bauordnungen als verpflichtend eingeführt werden können.

Vorrausichtlich wird die OIB-Richtlinie 7 vor allem die Kreislaufwirtschaft behandeln. Biologische und technische Kreisläufe von Materialien, sowie die Langlebigkeit von Gebäude werden definiert. Des

Weiteren wird eine Baudokumentation einen wesentlichen Teil dieser Richtlinie darstellen. Diese Dokumentation soll alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes zusammenfassen und eine Kreislaufwirtschaft ermöglichen.

7.3.4 Baustoff der Zukunft

Die Forschungen untersuchen stets Prozesse der Baustoffanschaffung, der Herstellung, der Produktion und schließlich der Wiederverwertung bzw. Wiederverwendung von Bauprodukten auf Umweltauswirkungen. Neue Technologien sind bemüht diese Prozesse größtmöglich zu verbessern und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen, durch Änderungen in den einzelnen Prozessen, klein zu halten oder gar zu vermeiden. Die Meinungen über die häufig angewendeten Baustoffe sind in der Baubranche sehr unterschiedlich geprägt.

- Stahl

Im Gespräch mit DI Achammer wird festgestellt, dass die Umweltauswirkungen zufolge den Herstellungsprozessen schon bald mit der Hilfe von neuen Technologien verbessert werden können.

Autorin: Gibt es Ihrer Meinung nach einen Baustoff der Zukunft? #00:29:30#

Achammer: Ich glaube, dass (...) der Stahl vor einer großen Renaissance stehen wird. Weil (...) der Stahl ein Thema ist, das von der Montage und Demontage perfekt ist. Weil er über hundert Jahre und mehr verwendbar ist. Und da glaube ich (...) werden ganz neue Baustoffe kommen, deren Verhalten wir noch gar nicht kennen. #00:29:42#

Die Vorteile des Stahls sind vielfältig. Zwar mag es stimmen, dass die Umweltauswirkungen aus den Herstellungsprozessen sehr hoch seien, allerdings könnten diese, im Vergleich zu anderen Baustoffen, über den gesamten Lebenszyklus betrachtet wiederum vernachlässigt werden.

Achammer: Die Stahlherstellung steht ja auch vor (...) einer Revolution. (...).

Bei der Stahlherstellung könne man bald die Vorgänge CO₂-neutral lösen. Allerdings hänge es noch von der Technologie ab, um die Auswirkungen zufolge der chemischen Vorgänge zu reduzieren bzw. zu vermeiden.

- Holz

Als Geschäftsführer der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie wird im Gespräch mit DI Spaun speziell auf die Vor- und Nachteile von Baustoffen eingegangen. Er führt aus, dass in Österreich vor allem der so genannte Ökoindex 3 (OI3), der - wie erklärt - nur auf Teilabschnitten einer Ökobilanz beruht, den Eindruck vermittelt hat, dass es sehr große Unterschiede zwischen den Baustoffen und Bauweisen gäbe. In Abschnitt 7.1 werden bereits die Kritiken an der Beurteilung der Baustoffe untereinander angeführt. Im Laufe des Gespräches wird mehrmals erwähnt, wie wichtig es ist die Kohlenstoffemissionen radikal zu reduzieren. Und zwar sowohl die fossilen als auch die biogenen. Angesichts der erreichten hohen Konzentration von 418 ppm CO₂ in der Atmosphäre müssen wir alle CO₂-Emissionen rasch mindern und die Senken schützen bzw. ausbauen. DI Spaun betont die Wichtigkeit aller Baustoffe, wie Holz, Beton und Stahl, doch kritisiert er die Verbreitung von Fehlinformationen, welche ein unsachgemäßes Vorgehen im Bauwesen zur Folge hat. Unvollständige Ökobilanzen sind hier oft ein Mittel zum Zweck.

Anhand US-amerikanischer Daten, welche das Global Warming Potenzial einzelner Baustoffe bei der Herstellung wiedergeben, verdeutlicht DI Spaun den großen Unterschied zwischen dem OI3-Index und einer CO₂-neutralen Betrachtung von Holz.

Spaun: Da sehen Sie, je nachdem wieviel Leim im Holz drinnen ist, wie die Hersteller-rucksäcke [variieren]. (...). [Genau so, wie die Werte von Beton von Art und Menge des Bindemittels Zement abhängen. Der Vergleich macht klar, dass] österreichischer Beton, also Transportbeton (...) und Fertigteilbeton (...) [pro m³ ohne Berücksichtigung der Bewehrung in der gleichen Größenordnung wie Holzwerkstoffe liegt.] #00:34:41#

Am Beispiel einer Massivholzplatte können die hohen CO₂-Emissionen erklärt werden. Um die Werte zwischen den Baustoffen vergleichen zu können, müssten alle Inhaltsstoffe und Prozessschritte in die Ermittlung der Emissionen einbezogen werden. So betrage nach den von den Vereinigten Staaten Amerikas veröffentlichten Messdaten das Global Warming Potenzial für Furnierschichtholz 202 kg CO₂-Äqu. pro Kubikmeter. Für lamelliertes Brettschichtholz liege der Wert bereits bei 310 kg CO₂-Äqu. pro Kubikmeter. Im Vergleich dazu betrage der Wert für Beton 191 kg CO₂-Äqu. pro Kubikmeter. Für Beton-Fertigteile sind es 281 kg CO₂-Äqu. pro Kubikmeter. Diese Werte weichen eklatant von den GWP-Ergebnissen des OI3-Inices ab und machen deutlich, welchen Spielraum teil(!)-ökobilanzielle Betrachtungen ausschließlich der biogenen Baustoffe eingeräumt haben. In den letzten beiden Jahrzehnten habe der Holzbau in der öffentlichen Wahrnehmung ohne jeden Zweifel von der OI3-Berechnung profitiert. Die Begründungen hierfür seien allerdings nicht gerechtfertigt. Aus diesem Grund sei es wichtig, diese Erkenntnis mit der Öffentlichkeit zu teilen.

Spaun: [Bäume wachsen nicht in den Himmel, sondern nur gegen den Himmel. Auch wenn wir uns ersteres alle wünschen würden. Und auch der EU-Kommission ist mittlerweile klar geworden, dass Wälder als Kohlenstoffsенke und Wasserspeicher unsere stärksten Verbündeten im Klimaschutz und im Kampf gegen das Artensterben sind.] #00:37:15#

- Zement

Weltweit werden 15 Milliarden m³ Beton und etwa 4,1 Milliarden Tonnen Zement pro Jahr produziert. Im Vergleich dazu liegt die Jahresproduktion an Schnittholz bei 450 Millionen m³. Für Holzpaneele beträgt die Jahresproduktion 410 Millionen m³. Die im Vergleich höhere Produktionsmenge an Beton zeigt, dass die oft öffentlich geführte Diskussion über das Potenzial der Substitution von Beton völlig überwertet wird. Die Konzentration der wissenschaftlichen Forschung sollte sich daher viel mehr mit den Dekarbonisierungsmöglichkeiten der Grundwerkstoffe wie Zement, Stahl und Chemie, aber auch geklebten Holzwerkstoffen befassen. Da dieser eine breite Anwendung findet, müsse grundsätzlich der Fokus auf mögliche Verbesserungen in dessen Herstellungsprozess gelegt werden.

Spaun: Wenn wir das Bauen dekarbonisieren wollen, dann müssen wir uns zuallererst mit den klassischen, meist eingesetzten Baustoffen auseinandersetzen. Was kann man dort machen? Wir können wir die Zement- [und Beton - induzierten -] Emissionen nach unten bringen. [Dies umfasst die Herstellprozesse, aber natürlich auch die Konstruktionen. Können wir gleiche Funktionalitäten nicht mit deutlich weniger Materialeinsatz erfüllen? Wie können wir die Planer, Designer, Architekten und natürlich die Bauherren stärker einbinden.? Effizienter Umgang mit Baustoffen muss von Bauherren gewollt/eingefordert/bezahlt und dann von Planern umgesetzt werden. Die oft gehörte Antwort:] „Naja dann machen wir Holzbau.“ [ist aus meiner Sicht] eine Themaverfehlung, wenn sie wirklich dekarbonisieren wollen. Ich bin nicht gegen den Holzbau. Ich bin nur für eine richtige Einordnung. #00:33:46#

Spaun: [Also haben wir vor einigen Monaten] unsere Roadmap veröffentlicht, (...). Wir haben gesagt: [Wie sieht unser Weg für die kommenden drei Jahrzehnte aus? In der Roadmap weisen wir fünf Bereiche entlang der Wertschöpfungskette aus, die wir als

Zementindustrie mit beeinflussen können. Ausgewählte Potenziale zur CO₂-Reduktion sind:

- Verringerung des Klinkeranteils im Zement (bis 2040 von derzeit 70 % auf 52 %)
 - Erforschung und Entwicklung neuer Klinker
 - Neue Zemente
 - Entwicklung und Einführung neuer Zuzahlstoffe (z.B. getemperte Tone) sowie optimierter Mahlkonzepte
 - Versorgung mit CO₂-neutralem Strom ab 2030
 - Transportfahrzeuge mit CO₂-neutralem Antrieb
 - Betonbauwerke als CO₂-Senke (Carbonatisierung in der Nutzungsphase und von Betonbruch in der Recyclingphase sowie forcierte Carbonatisierung von Betonbruch mit Ofenabgas im Zementwerk)
 - CO₂-Abscheidung, -Nutzung bzw. -Speicherung (CCUS)
 - Betonbauweise für die Klimazukunft – materialeffizient, flächeneffizient und mit langer Nutzungsdauer im Straßenbau, für die Bereitstellung erneuerbarer Energie, öffentliche Verkehrsinfrastruktur sowie in Schutzbauwerken
 - Bauteilaktivierung nutzt die Speichermasse von Beton für Kühlung und Heizung
- Damit können wir den Anteil von erneuerbarer Energie im Wohnbau ganz erheblich steigern.] #00:38:27#

7.3.5 Ausblick

Der Bau- und Gebäudesektor ist gemäß einem Bericht des UN-Umweltprogramms („2020 Global Status Report for Building and Construction – Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector“) für 38% der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Andererseits ist bekannt, dass seit 1990 im Vergleich zu anderen Einflussbereichen, dem Bausektor die größte Reduktion der Treibhausgasemissionen gelungen ist. DIⁿ Schrattecker lobt im gemeinsamen Gespräch diese bereits erreichten Erfolge in Bauwesen. Andererseits fügt sie hinzu, was dem Bauwesen in Zukunft noch bevorsteht. Das Thema des nachhaltigen Bauens mag mittlerweile zwar in der breiten Masse angekommen sein, allerdings erfordere es nun umso schnellere Handlungen zu weiteren Verbesserungen bezüglich den resultierenden Umweltauswirkungen.

Schrattenecker: Ja, wenn man sich diese Balkendiagramme anschaut oder die jährlichen Auswertungen vom Umweltbundesamt, dann ist es natürlich so, dass der Gebäudebereich seit 1990 massiv CO₂ Emissionen eingespart hat. Das (...) finde ich auch umso bemerkenswerter, weil (...) es haben sich ja viele Parameter erhöht. Die Wohnfläche pro Kopf zum Beispiel. Man hat trotzdem (...) einen erhöhten Zuwachs insgesamt, mehr Wohnfläche pro Kopf. (...) Also trotz dem ist sozusagen eine Reduktion von fast 40% gewesen seit 1990. Jetzt im Vergleich zum Verkehr, da hat man, glaub ich, einen Einfluss von fast 50%. Ist natürlich beachtlich. Ich glaub, es ist (...) aber noch nicht die Fahnenstange erreicht. (...). Das wo es (...) schon einen relativ guten Standard gibt, ist Neubaubereich. Aber (...) in der Sanierung sind wir sowohl von der Qualität der Sanierungen, die aktuell umgesetzt werden, als auch von der Quantität einfach noch weit davon entfernt, wo wir hinhüben (...). Und man sagt immer „Der Gebäudebereich, der hat das größte Potenzial für CO₂ Neutralität“. Also, wenn man sagt, man will eigentlich bis 2040 dort auf 90 bis 95% Reduktion sein, dann ist es trotzdem noch ein Riesenschritt. Für beide Bereiche, also für den Neubau (...) und vor allem für die Sanierung. Ich denke mal, im Baubereich hat sich schon viel getan. (...). Also wir merken das sehr stark, dass auch in der Community ist das Thema nachhaltiges Bauen (...)

irgendwie angekommen. (...). Ich bin bei klimaaktiv schon ewig lang dabei (...) und das war lange Zeit ein Nischenthema auch. Also da hat man eher die Beseelten erwischt, die Planenden und die Bauträger, die einfach aus sicherer Aussicht sich dem Thema angenommen haben. Und jetzt hat man das Gefühl, die Idee, es ist irgendwie in der Breite angekommen, in der Baubranche. Und hängt sicher auch damit zusammen, dass einfach von vielen Seiten das auch gefordert wird. Da hat die EU-Taxonomie (...) den Immobilien Bereich ganz massiv aufgemischt, in Aufruhr versetzt (...). Also da ist durchaus noch Luft nach oben. (...) Sowohl was die Energieeffizienz betrifft (...). Und (...) natürlich der Umstieg auf erneuerbare Energien insgesamt ist ein großes Thema, und raus aus Gas ist natürlich die zweite Ebene. #00:06:03#

DI Kopeinig betont hier die Bedeutung einer stetigen Anpassung der Forschungen an die Veränderungen der Gesellschaft. Um die Klimaziele bis 2050 erreichen zu können, würde sich in Zukunft die Technologie noch stark weiterentwickeln.

Kopeinig: Es wird jedenfalls in eine Richtung gehen, wo wir für den Betrieb unseres Gebäudes aber auch für die Errichtung und Sanierung, zumindest bilanziell, eine Plus-Energie-Situation erreichen müssen. Es wird sicherlich eine Gegenströmung zur derzeitigen Urbanisierung geben. Auch die müssen wir steuern, planen und diskutieren. (...). Es gibt ja die neue Bewegung in Richtung ländlichen Bereich. Und dieses Stadt-Land-Verhältnis wird sich wahrscheinlich neu definieren. Und (...) aus dem heraus, werden sich da natürlich auch neue Strukturen entwickeln. Auch im Verkehrsbereich, der ja, (...), direkt damit zusammenhängt. Und natürlich auch im Leitungsbau und die Raumordnung als Gesamtes (...). Und der Gebäudesektor (...) selber, da wird jedes Gebäude energetisch was beitragen müssen. (...). Und im Bauen selbst wird es vielleicht eine neue Einfachheit brauchen. Das heißt, eine Abrüstung der vielen verschiedensten Materialien hin zu neuen Aufbauten. Das gibts ja sowohl im Massivbau (...) als auch im Holzbau. (...). Vor allem mit dem Holzmassivbau ist man in den letzten Jahrzehnten gute neue Wege gegangen, wo (...) ich auch eine (...) Hülle mit relativ wenig Aufbauschichten zusammenbringe. Und ich glaube, da geht technisch noch was. Und da wird sich (...) in der Materialdefinition und in der Materialforschung sicherlich noch einiges ergeben. Weil wenn man schaut, wie einfach eigentlich bis Ende (...) 1960er Jahre gebaut wurde und welche Komplexität der Materialien das bis in die 2010er Jahre genommen hat, kann das aus meiner Sicht (...) so nicht weitergehen, sondern wird das wahrscheinlich in eine neue (...) Einfachheit gehen. Und das ist leicht gesagt, aber schwergetan, weil da braucht es viel Forschungen. (...). Also zusammengefasst, es wird das Gebäude selber, was der Energiebedarf betrifft, (...) einiges leisten müssen und sich selber erhalten müssen, beziehungsweise noch einen Beitrag zum Verkehr leisten müssen. Es wird die Errichtung (...) in der Struktur eine längere Lebensdauer brauchen. Es wird in der Struktur, von der Materialität her, und von den Aufbauten her eine neue Einfachheit brauchen. Und es wird (...) in der Raumordnung der ländliche Bereich urbaner und der urbane Bereich ländlicher werden. Und aus dem heraus werden sich da auch neue Handlungsfelder und Definitionen ergeben müssen, weil sonst (...) die Energiewende einfach nicht machbar sein wird. #00:28:34#

DI Achammer sieht die bereits erreichten Erfolge der Vergangenheit als zu gering an und schätzt vehemente Veränderungen im Bauwesen in naher Zukunft ein.

Achammer: Verbessert hat es sich nicht wirklich. Wir sind weder produktiver geworden noch sonst irgendetwas. Aber wir sind wenigstens nicht dramatisch schlechter

geworden. Ich glaube, dass wir (...) in den nächsten 10, 15 Jahren dramatische Veränderungen, disruptive Veränderungen haben werden, die von der Kultur ausgehen, die über andere Organisationsformen passieren, (...), Design Build Operate etc., die zu anderen (...) Prozessen führen werden. (...). Welche andere Industrie lässt die Monteure die Produkte aussuchen? Welche andere Industrie beschafft ihre Produkte über den Großhandel? Keine. Und welche andere Industrie digitalisiert ohne Standards? Nur wir. Aber da wird sich dramatisch was ändern und da bin ich total optimistisch. #00:26:57#

Egal ob die Erfolge der Vergangenheit gelobt oder als gering angesehen werden, es ist mit großer Wahrscheinlichkeit mit bahnbrechenden Veränderungen in naher Zukunft zu rechnen. Sowohl werden die Bauprozesse als auch die Baustoffe Änderungen erfahren müssen. Die Dringlichkeit einer Veränderung hat bereits die breite Masse erreicht. Dementsprechend werden die Forschungen weitestgehend unterstützt. Auch haben uns die Gesundheits- und Wirtschaftskrisen der letzten Jahre die Bedeutung dieser Thematik nähergebracht. Während der aktuell noch vorherrschenden COVID-19-Pandemie haben Menschen im Zuge von Lockdown-Maßnahmen lernen müssen mehr Zeit als üblich in ihrem eigenen zu Hause zu verbringen. Dadurch traten Themen wie Baubiologie und gesunde Raumluftqualität immer mehr in den Vordergrund. Auf der anderen Seite sorgt der gegenwärtig stattfindende Ukraine-Konflikt für ein großes Umdenken, was die am häufigsten genutzte Energiequelle betrifft. Nachdem Russland vielen europäischen Staaten die Gaslieferungen abstellt, ist die Forschung dazu bemüht die Technologien für die Nutzung erneuerbarer Energien zu verbessern. Diese vielen Veränderungen in der Gesellschaft resultieren mit umso schnelleren Entwicklungen in der Technik. Im Sinne der Umweltgesundheit kann man in den nächsten Jahrzehnten von positiven Fortschritten in der Forschung ausgehen.

8 Resümee

Wenn man sich dazu entscheidet nachhaltig zu bauen, ist es erforderlich sich zunächst ausgiebig mit der Materie zu beschäftigen. Es ist von großer Bedeutung ein Verständnis für die Begrifflichkeit zu besitzen. Auf der einen Seite ist es relevant sich über die drei Säulen der Nachhaltigkeit bewusst zu sein, denn diese Dimensionen hängen miteinander zusammen und können grundsätzlich nicht getrennt beurteilt werden. Andererseits spielt auch die Lebenszyklusbetrachtung eine wichtige Rolle. Denn die Betrachtung einer einzelnen Lebensphase eines Baustoffes, eines Bauproduktes oder eines gesamten Gebäudes gibt nur wenig Auskunft über die nachhaltigen Eigenschaften des Beobachtungsobjektes. Hilfsmittel in Form von Sachbilanzdatenbanken, Planungswerkzeuge oder Leitfäden können das Verfahren einer nachhaltigen Bauweise unterstützen. Doch die große Anzahl an den unterschiedlichen Bewertungsinstrumenten kann dies wiederum erschweren. Daher ist es ratsam sich im Voraus über den historischen Hintergrund und die Entstehung sowie die Entwicklung der Hilfsmittel zu informieren. Vor allem haben etwa Gebäudezertifizierungen ihren Fokus auf unterschiedliche Schwerpunkte gelegt. Dementsprechend kann man als Interessent in Abhängigkeit der eigenen Ziele ein passendes Gütesiegel anstreben. In dieser Hinsicht ist es ebenso relevant mögliche Verbesserungen bzw. Veränderungen der jeweiligen Hilfsmittel einschätzen zu können. Gemäß dieser Einschätzung kann vorausschauend ein höherer Standard des nachhaltigen Bauens erreicht werden, indem zukunftsorientiert gesamtheitlich nachhaltig gebaut wird. In diesem letzten Abschnitt folgt nun ein Rückblick der in dieser Arbeit behandelten Themenstellungen

- Ganzheitlich nachhaltig Bauen

Die Nachhaltigkeit hat in den letzten Jahrzehnten vor allem im Bauwesen eine große Entwicklung erlebt. Da das Interesse in der Gesellschaft stetig wächst, findet sie auch mehr Anwendung. Ökologisch, ökonomisch und soziokulturell nachhaltig Bauen zeigt langfristig betrachtet vielfältige Vorteile. Die energie- und ressourceneffizienten Eigenschaften des Grünen Bauens erweisen sich vor allem in der heutigen Zeit, welche von gesundheitlichen und wirtschaftlichen Krisen geprägt ist, als nachweislich erfolgsversprechender im Vergleich zu einer herkömmlichen Bauweise. Um die Verbundenheit zur Umwelt und zur Erde hervorzuheben, werden nachhaltig errichtete Gebäude auch als Green Building (dt. Grünes Gebäude) bezeichnet. Die Farbe Grün hat sich grundsätzlich sehr stark in den Marketingstrategien nachhaltiger Zwecke etabliert. Grüne Gebäude symbolisieren eine effiziente Nutzung von Energien und Ressourcen und verbildlichen eine gesunde Beziehung zwischen Mensch und Umwelt. Aktuell stellt sich allerdings ein weiterer Begriff in den Vordergrund gegenwärtiger Nachrichten. Als Weiterentwicklung des Green Building berücksichtigt das sogenannte Blue Building (dt. Blaues Gebäude) neben der ökologischen Dimension, zusätzlich auch die ökonomische und die soziokulturelle Säule der Nachhaltigkeit. Im Vergleich zum Green Building liegt der Fokus beim Blue Building demnach nicht nur auf der Energieeffizienz, sondern auf eine ganzheitliche und über alle Lebenszyklusphasen eines Gebäudes betrachtete Nachhaltigkeit.⁷²⁶ In der Nutzung der Materialien wird daher nicht nur auf die Nutzung der Energie und der Rohstoffe geachtet. Vor allem kann hier auf die gesundheitsfördernden Eigenschaften der Materialien viel Wert gelegt werden, womit die Raumluftqualität gesteigert wird. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Blue Building ist die Förderung von leistbaren Wohnräumen.⁷²⁷ Somit schafft das Blue Building ein vollständig nachhaltiges Gebäude. Nicht nur die Gesundheit der Umwelt, sondern auch die des Menschen steht im Vordergrund und wird in der Planung berücksichtigt.

⁷²⁶ Der Standard, "BlueBuild" statt "Real Vienna" - eine Idee, Bericht 09.03.2012, online: <https://www.derstandard.at/story/1331206948016/bluebuild-statt-real-vienna-eine-idee> (Zugriff 09.01.2023)

⁷²⁷ Die Presse, *Blue Buildings: Die Zukunft ist blau!*, Bericht 17.12.2010, online: <https://www.diepresse.com/619544/blue-buildings-die-zukunft-ist-blau> (Zugriff 09.01.2023)

Die Gebäudezertifizierungssysteme haben grundsätzlich ihre Standards auf die Anforderungen des Green Building spezialisiert. Lediglich die Zertifizierungssysteme von DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen) und BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen), vollziehen ihr Zertifikat und vergeben ihr Siegel nach den Kriterien eines Blue Buildings.⁷²⁸ Das von DGNB entwickelte System wurde anschließend auch von der ÖGNI (Österreichischen Gesellschaft für nachhaltige Immobilienwirtschaft) adaptiert.⁷²⁹ Auch die Klimaschutzinitiative des österreichischen Klimaschutzministeriums klimaaktiv arbeitet regelmäßig an der Anpassung ihres Gebäudestandards. Vor allem werden aktuell die Themen wie Standortqualität, leistbares Wohnen und leistbares Bauen in der Bearbeitung behandelt.⁷³⁰

Nachdem das Interesse der Bevölkerung an der Nachhaltigkeit in jeglicher Hinsicht geweckt wurde, gilt es nun den Fokus auf eine Vereinheitlichung zu legen. Die Herangehensweise an eine nachhaltige Bauweise ist vielfältig. Egal in welcher Hinsicht, es ist von großer Bedeutung eine ganzheitliche Nachhaltigkeit anzugehen. Das bedeutet, dass die Nachhaltigkeit dreidimensional betrachtet werden soll. Erst dann, kann ein Erfolg garantiert sein. In diesem Sinne ist die Ausführung von Green Building Gebäuden zwar weiterhin essentiell für eine ökologisch nachhaltige Entwicklung, allerdings sollte in Zukunft die Erstellung von Blauen Gebäuden bzw. die Sanierung von Bestandsgebäuden auf ein Blue Building Niveau weitestgehend in der Ausführung gefördert werden. Die Erfüllung aller drei Dimensionen der Nachhaltigkeit sollte in jeder Bauausführung oberste Priorität haben. Daher ist davon auszugehen, dass die Bedeutung des blauen Bauens in den nächsten Jahren rapide zunehmen wird.

- Komplikationen im nachhaltigen Bauen

Grundsätzliche Baustelle im nachhaltigen Bauwesen wird einerseits durch die Verbreitung von Fehlinformationen verursacht. Vor allem besteht bei entsprechend ausgewähltem Marketing die Gefahr, dass Kunden bzw. Interessenten durch unvollständige Informationen in die Irre geführt werden können. Bauprodukte und Baustoffe, welche mit Qualitäts- und Prüfsiegel (Umweltzeichen) gekennzeichnet werden, geben bekannt, dass das Produkt gesetzeskonform ist und einem an einer Forschungsstelle bestimmten Standard entspricht. Derzeit besteht eine große Anzahl an Siegel und Label, unter denen etwa der Blaue Engel, das natureplus oder das IBO Prüfsymbol große Bekanntheit erlangt haben. Die aufgezählten Beispiele stellen Umweltzeichen vom Typ-I dar, welche strenge Bedingungen nach EN ISO 14024 erfüllen müssen. Im Vergleich dazu existieren ebenso die Umweltzeichen vom Typ-II, deren Regelungen in EN ISO 14021 festgelegt sind. Entwickler von Typ-II Umweltzeichen können aufgrund ihrer Selbstdeklaration unabhängige Prüfungen durchführen. Einzige Schwierigkeit ist die Einschränkung in der Bezeichnung, Darstellung sowie Vermarktung des Labels. Doch durch eine geschickte Wortwahl kann das Produkt gut vermarktet werden. Das Unwissen der Kunden, wird zu Nutzen gemacht, in dem die Aufmerksamkeit mit der richtigen Wortwahl auf die positiven Eigenschaften des Produktes gelenkt werden. Es erfordert demnach eine intensive Diskussion in der breiten Masse, um eine gesunde Entwicklung des nachhaltigen Bauens auch in Zukunft zu garantieren.

Doch auch für Baubeteiligte zeigt sich eine nachhaltige Herangehensweise nicht ohne Hindernisse. Die große Anzahl an Gütesiegel erschwert den Überblick und die Auswahl unter den ökologisch nachhaltigen Baustoffen und Bauprodukten. Ähnliche Produkte, welche mit unterschiedlichen Labels versehen sind, können nicht untereinander verglichen werden, da die einzelnen Labels verschiedenen Zertifizierungssystemen mit verschiedenen Zielen nachgehen. Auch hier werden ungeschlüssige Vergleiche zwischen Baustoffen geführt, welche einem Fehlwissen zuzuschreiben sind. Die Entscheidung über

⁷²⁸ WPW Beraten Planen Steuern, „Blue Buildings“ als neue Qualität des Bauens, online: <https://www.wpw.de/aktuelles/top-themen/blue-buildings> (Zugriff 09.01.2023)

⁷²⁹ ÖGNI, *Wie sehen nachhaltige Gebäude aus?*, Bericht 29.04.2021, online: <https://www.ogni.at/blog/wie-sehen-nachhaltige-gebäude-aus/> (Zugriff 09.01.2023)

⁷³⁰ Expertengespräch mit Vertreterin der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT)

die Vergabe von Gütesiegel und Labels muss viel transparenter dargestellt werden. Werden die Informationen über die einzelnen Zertifizierungssysteme offengelegt, erlaubt dies einen viel tieferen Einblick und auch ein größeres Verständnis für nachhaltig gekennzeichnete Gegenstände und Objekte. Einige Initiativen stellen ihr Bewertungssystem bereits offenkundig auf ihrer eigenen Website zu Verfügung. Um nachvollziehbare Entscheidungen treffen zu können, ist es erforderlich, dass alle Gesellschaften und Initiativen ihr Bewertungssystem transparent zur Verfügung stellen.

Diese Anforderungen beziehen sich allerdings nicht nur auf die Zertifizierungssysteme, sondern auch auf weitere, für das nachhaltige Bauen zur Verfügung stehende, Hilfsmittel in Form von etwa Planungswerkzeuge. Wichtig ist es die verwendeten Methoden zu verstehen. Man muss über den Aufbau und die verwendeten Informationsquellen Bescheid wissen, um ein Planungswerkzeug nutzen und gewissenhaft Beurteilungen festlegen zu können. Gegebenenfalls können die verwendeten Hilfsmittel durch eigene, die Situation betreffende, Plausibilitäten ergänzt werden. Es erfordert zu Beginn einen höheren Arbeitsaufwand, allerdings kann dies die Arbeitstechniken in Zukunft nachhaltig unterstützen.

Generell stellt sich von Anfang an die Frage, ob diese große Anzahl an vorhandenen Bewertungsmethoden und Gütesiegel überhaupt erforderlich ist. Allein aus Zeitmanagementgründen ist eine Vereinheitlichung der Bewertungssysteme mit Sicherheit eine Überlegung wert. Grundsätzlich unterscheiden sich etwa die Gütesiegel in Abhängigkeit ihrer Schwerpunkte auf die ausgewählten Dimensionen der Nachhaltigkeit sowie in Berücksichtigung der ausgewählten Lebenszyklusphasen des Bewertungsgegenstandes. Als Planerin bzw. Planer bleibt es einem selbst überlassen, welches Gebäudebewertungssystem gewählt werden soll. Je nach dem, mit welchen Schwerpunkten später geworben werden möchte, kann eine entsprechende Methode gewählt werden. In diesem Sinne ist es leicht zu behaupten, dass diese Vorgehensweise allgemein dafür sorgt, dass die Nachhaltigkeit im Bauwesen kein faires Bild widerspiegelt. Allerdings haben die Bewertungsmethoden dieselben Grundsätze und unterscheiden sich in groben Schwerpunkten. So legt beispielsweise die Klimaschutzinitiative klimaaktiv in der Bestimmung des Gebäudestandards den höchsten Wert im ökologischen Zweig der Nachhaltigkeit. Energie- und Rohstoffeffizienz spielen hier eine essentielle Rolle. Die Ausprägung der anderen zwei Dimensionen ist gegenwertig in Arbeit. Nichtsdestotrotz wird in Österreich die Gebäudebewertung von klimaaktiv am häufigsten angewendet.⁷³¹ Dies ist vor allem der offenen und transparenten Kommunikation der Initiative über ihre eigene Website zu verdanken.

- Zukunftsorientiert nachhaltig Bauen

Schließlich kann in Zukunft mit vehementen Änderungen in der Baubranche gerechnet werden. Neue Forschungen und Technologien werden bald eine völlig andere Herangehensweise im nachhaltigen Bauwesen ermöglichen. Eine Neuorientierung wird sich in die Denkweise der Gesellschaft etablieren. Und vor allem werden die großen Vorteile auf baubiologischer und bauökologischer Ebene nicht mehr zu übersehen sein. Dementsprechend kann mit einer bedeutenden Revolution der Nachhaltigkeit nicht nur im Bauwesen gerechnet werden.

Ein wesentliches Thema in der Zukunft ist die, in dieser Arbeit bereits mehrmals erwähnte, Kreislaufwirtschaft. Mit einer Veröffentlichung der hoch ersehnten OIB-Richtlinie 7 werden entscheidende Veränderungen im Bauwesen vorgenommen. Mit einer anschließenden rechtlichen Verpflichtung durch die Bundesländer in den jeweiligen Bauordnungen, werden maßgebliche Veränderungen bereits in der Planung vorgenommen werden müssen. Schon zu Beginn werden Überlegungen zur späteren Wiederverwertung, Wiederverwendung bzw. zum Recycling von allen in einem Bau verwendeten Materialien und Bauprodukten gemacht. Auch Produkthersteller werden, wenn erforderlich, den Verbund verschiedener Materialien genauer dokumentieren müssen. Relevant für diese Vorgehensweise ist die

⁷³¹ Expertengespräch mit DIⁱⁿ Schrattenecker (Stellvertretende Generalsekretärin des ÖGUT (Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik) und Leiterin des Programmes klimaaktiv Bauen und Sanieren)

Dokumentationen aller in einem Gebäude angewendeten Materialien. Für spätere Sanierungsmaßnahmen hat dies den Vorteil, dass der genaue Aufbau und Inhalt eines Gebäudes von vornherein und selbst nach vielen Jahren bekannt ist und entsprechend angepasst werden kann. Auch ein geplanter Abriss wird dadurch erleichtert, indem bereits in der Planungsphase des Gebäudes bekannt ist, inwiefern Baustoffe und Bauteile wiederverwertet werden können. Es kann vor allem aber auch passieren, dass zwischen Planungsphase und Abriss die Technologie Fortschritte in Bezug auf die Wiederverwendung von Materialien aufweist. Dies würde den Grundgedanken hinter diesem Konzept zusätzlich begünstigen.

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft würden sich neben der Planungsphase auch weitere Faktoren verändern. Auch die Bewertungsmethoden und Gebäudezertifizierungen würden eine Revolution erleben. Ressourceneffizienz würde in der Bewertung neben der Energieeffizienz viel stärker berücksichtigt werden. Dementsprechend würden Forschungen ihren Fokus eher auf die Wiedernutzung von Materialien als auf die ökologisch nachhaltige Herstellung legen. Die Verwendung des bereits Bestehenden soll Vorrang haben. Dies bezieht sich sowohl auf bereits vorhandene Baumaterialien als auch auf bestehende Gebäude.

Was den Baustoff der Zukunft angeht, kann aus den geführten Experteninterviews kein klarer Rückschluss gezogen werden. So unterschiedlich die Meinungen zu den Haupttragwerkstoffen auch sein mögen, so sind es auch die Zukunftsaussichten. Fakt ist, dass die zukünftigen Veränderungen eng mit den Fortschritten der Forschung zusammenhängen. Uns sind bereits die wesentlichen Vor- und Nachteile der grundlegenden Werkstoffe, wie Beton, Stahl und Holz, bekannt. Je nach dem inwiefern gewisse Vorteile verstärkt oder Nachteile in naher Zukunft geschwächt werden können, so kann die Weiterentwicklung des Bauwesens auch unerwartete Veränderungen mit sich bringen. Es mag sein, dass der Baustoff Holz gegenwärtig als grüner Baustoff vermarktet wird, allerdings ist davon auszugehen, dass sehr bald auch die in dessen Herstellung negativ auffallenden Zahlen bekannt werden würden. Die Anzahl der Baumstämme, die benötigt wird, um tatsächlich ein Bauteil produzieren zu können ist flächenweise ein Vielfaches des schließlich produzierten Endproduktes.⁷³² Davon ausgegangen, schlagen Holzwerkstoffe in den Ergebnissen einer Sachbilanz auffallend schlechter ab als etwa Zement und Stahl.⁷³³ Die beiden letzteren Werkstoffe weisen zwar eine große Menge an Schadstoffemissionen in ihrer Produktion auf, allerdings kann diese Eigenschaft auf die Lebensdauer betrachtet kompensiert werden. Wird der Horizont erweitert, ist von Schlagzeilen vieler weiterer Werkstoffe zu rechnen. Vor allem rückt Lehm immer mehr in den Vordergrund. Die vielseitigen Vorteile von Lehm zeigen, dass es nicht nur in warmen Ländern anwendbar ist.

Bezüglich Energiequellen sollte in Zukunft der Fokus nur auf erneuerbare Energieträger gelegt werden. Auf der Erde stehen uns viele verschiedene natürliche Quellen zur Verfügung, es scheitert lediglich an der Ausführung. Neben den bekannten natürlichen Energiequellen wie etwa die Windenergie, die Solarenergie, die Wasserkraft, die Geothermie und die Energie aus der Biomasse, steht nun eine neue Energiequelle im Gespräch, nämlich Wasserstoff. Doch im Vergleich zu den oben genannten Energieträgern, stellt Wasserstoff (H_2) keine Primärenergiequelle dar. Das allverbreitete Gas bildet in Verbindung mit Sauerstoff Energie. Allerdings erweist sich die Herstellung von Wasserstoff als ein sehr aufwendiger und kostspieliger Prozess. Der große Vorteil von H_2 ist jedoch das Speicherpotenzial. Im Vergleich zu den anderen Energieträgern kann H_2 Energie über einen längeren Zeitraum speichern.⁷³⁴

⁷³² Expertengespräch mit Di Spaun (Geschäftsführung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrien (VÖZ))

⁷³³ Expertengespräch mit Di Spaun (Geschäftsführung der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrien (VÖZ))

⁷³⁴ Klimafonds Dossier Wasstoff-Alt, *Hat Wasserstoff eine Zukunft?*, Jänner 2019, online: <https://www.klimafonds.gv.at/dossier/wasserstoff-dossier-x/hat-wasserstoff-eine-zukunft/#:~:text=Wie%20Strom%20ist%20Wasserstoff%20kein,Energie%20von%20außen%20zugeführt%20werden.> (Zugriff 09.01.2023)

Nun gilt es abzuwarten, in welche Richtung sich die Fortschritte der Forschungen entwickeln werden. In Abhängigkeit davon werden die angemessenen Energieträger zur Nutzung herangezogen.

○ Conclusio

Im Zuge dieser Diplomarbeit wird ein besserer Einblick in die Nachhaltigkeit im Bauwesen gewährleistet. In einem ersten Abschnitt erfolgt die Definition der wesentlichen und die Nachhaltigkeit betreffenden Begriffe. Es ist nun bekannt, dass sich die Nachhaltigkeit grundsätzlich in die drei Bereiche der Ökologie, der Ökonomie und der Soziokultur unterteilen lässt. Im Bauwesen liegt der größte Schwerpunkt auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit. Eine anschließend ausführliche Erzählung über die geschichtliche Entwicklung der Nachhaltigkeit im Bauwesen soll vor allem die unterschiedlichen Begriffsdefinitionen über die Jahrhunderte aufzeigen. Die Vorgeschichte und die gegenwärtige Nutzung der Begrifflichkeiten dieser Thematik zeigen, dass die Nachhaltigkeit gerade ein turbulentes Wachstum erfährt. So schnell die Entwicklung der Nachhaltigkeit im Bauwesen sowie sie auch in anderen Gebieten voranschreitet, so schnell wird auch die Begriffsdefinition immerwährend angepasst.

Da es im Fachgebiet des Gebäude- und Bausektors unumgänglich ist theoretische Begriffe messbar zu machen, wird im zweiten Abschnitt der Arbeit ein Überblick über mögliche Operationalisierungsmöglichkeiten geschaffen. Anfänglich werden kleine Tätigkeiten oder auch Bauprodukte durch das bekannte integrierte Nachhaltigkeitsdreieck beurteilt. Noch angelehnt an die drei Säulen der Nachhaltigkeit bezieht sich das integrierte Nachhaltigkeitsdreieck auf alle drei Dimensionen. Weiter geführte Bewertungsmethoden haben allerdings im Gegenzug dazu meist den Schwerpunkt auf nur eine Dimension verlagert. Am weitesten verbreitet ist das Lebenszyklusmanagement, welche für alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit eigene Systeme zur Analyse zusammenfasst. Als Beispiel für eine Bewertungsmethode der Ökologie kommt die Lebenszyklusanalyse, auch Ökobilanz bezeichnet, zum Einsatz. Diese Beurteilung der Nachhaltigkeit ermöglicht eine individuelle Anpassung an die jeweiligen Interessen und Ziele. Faktoren wie der Betrachtungszeitraum, die Art des Bewertungsgegenstandes (Baustoff, Bauprodukt, Gebäude) sowie die Wahl, ob alle oder nur ausgewählte Lebenszyklusphasen in der Analyse berücksichtigt werden, sind ausschlaggebend für die Ergebnisse über eine Ökobilanz. Da dieser Prozess allerdings sehr aufwendig ist, bieten Initiativen und Unternehmen ihre Sachbilanzdatensätze für Baubeteiligte zur Verfügung. Allein im deutsch sprachigen Raum existiert eine Vielzahl an namenhaften Bewertungsmethoden in Form von Sachbilanzdatenbanken und Planungswerkzeugen. Werden die Ergebnisse und Feststellungen dieser Methoden in eine Bewertung einbezogen, ist es von großer Bedeutung die Herangehensweise dieser Methodik zu verstehen. Für Baustoffe stehen in Österreich vor allem die vom Österreichischen Institut für Bauen und Ökologie (IBO) zur Verfügung gestellten IBO-Ökokennzahlen. Sehr zu befürworten ist der offene und unentgeltliche Zugang zu allen Informationen der IBO-Richtwerte. Auch in der Gebäudeplanung gibt es unterstützende Instanzen, die zur Methodik in der Nachhaltigkeitserzielung beitragen. Gesellschaften und Initiativen, welche Zertifizierungen verleihen, bieten gleichzeitig eine beratende Unterstützung zur Erreichung des jeweiligen Gebäudestandards an. Einen genauen Leitfaden zum nachhaltigen Bauen, wie es ihn in Deutschland vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nuklear Sicherheit (BMUV) angeboten wird, gibt es in Österreich allerdings nicht. Es existieren allerdings Leitfäden zur Hilfestellung in der Optimierung genutzter Technologien. Sie werden von den einzelnen Gesellschaften zur Verfügung gestellt. Über mehr als die Hälfte aller Gebäudestandardbewertungen in Österreich wird durch klimaaktiv geführt.⁷³⁵ Da die Anforderungen eines klimaaktiv Gebäudestandards im Vergleich zu den anderen sehr hoch sind, wird es auch von vielen Planern angestrebt, um den höchsten Rang zu erreichen. Denn ein Gütesiegel ist nicht gleich Gütesiegel. Eine Zertifizierung durch etwa BREEAM oder LEED ist nicht mit den in

⁷³⁵ Expertengespräch mit DIⁿ Schrattenecker (Stellvertretende Generalsekretärin des ÖGUT (Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik) und Leiterin des Programmes klimaaktiv Bauen und Sanieren)

Österreich entwickelten Gebäudestandards zu vergleichen. Zwar beweist eine Kennzeichnung durch ein Label, dass das Objekt nachhaltige Eigenschaften aufweist, allerdings ist in der Ausprägung der nachhaltigen Eigenschaften zu unterscheiden. Während beim amerikanischen und britischen System in der Bewertung des Objektes weniger gute Eigenschaften (z.B. Nutzung von Heizöl) durch eine stark ausgeprägte positive Eigenschaft (z.B. Nutzung von regional vorhandenen Baumaterialien) kompensiert werden kann, ist dies bei vielen neuen Gebäudestandards nicht mehr der Fall. Klimaaktiv ermöglicht keine Verbesserung des Punktestandes in der Bewertung. Außerdem gibt es Ausschlusskriterien (z.B. Nutzung von Öl und Gas), die die Verleihung des Gütesiegels gar nicht ermöglichen. Als Planer oder Bauherr kann entsprechend der eigenen Ziele ein passender Gebäudestandard gewählt werden, um das Objekt nachhaltig vermarkten zu können. Diese Tatsache ermöglicht es Kunden in die Irre zu führen. Solange der Unterschied zwischen den Standards nicht bekannt ist, wird die Bedeutung höherer Anforderungen und somit ausschlaggebenden Maßnahmen für eine nachhaltige Umwelt übersehen. Einerseits ist es maßgeblich so gut es geht die Unterschiede in der breiten Masse bekannt zu machen. Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, ob die unterschiedliche Bewertung von Gebäuden überhaupt sinnvoll ist. Nachhaltig bauen verfolgt immer ein Ziel, nämlich zukunftsorientiert und gesund bauen für Mensch und Umwelt. Die Bestrebungen der drei Dimensionen sind bekannt. Dementsprechend kann man einen idealen Gebäudestandard zusammenstellen. Allerdings scheitert das Erreichen der Ziele meist an der uns noch nicht zur Verfügung stehenden Technologie. Die vorhandenen Gebäudestandards berücksichtigen demnach die menschliche Entwicklung in der Technik, die Bereitschaft zur Veränderung sowie gesetzliche Vorgaben. Ideal wäre die Entwicklung eines einzelnen länderspezifischen Gebäudestandards. Somit können neben den bereits erwähnten Eigenschaften zusätzlich die regional vorhandenen Ressourcen, die Temperatur bedingten Einschränkungen und auch lokale Umweltauswirkungen berücksichtigt werden.

In einem letzten Abschnitt dieser Arbeit werden im Zuge von Gesprächen mit Experten der Ausblick der Nachhaltigkeit im Bauwesen diskutiert. Die bereits vorhandenen Komplikationen des nachhaltigen Bauens werden in der Arbeit ausführlich erläutert. Sie sind ausschlaggebend für die weitere Entwicklung. Vor allem steht dem Bauwesen eine große Veränderung bevor. Neben der Kreislaufwirtschaft wird auch das Konzept des digitalen Zwillinges eine wichtige Rolle spielen. Hierbei wird für ein Objekt, etwa ein Gebäude, ein digitaler Zwilling entwickelt. Dieses Objekt beinhaltet Informationen über die verwendeten Baumaterialien, den Standort, die Temperatureinflüsse, etc. Diese Technik soll einen Datenaustausch ermöglichen, in dem etwa die Eigenschaften des digitalen Objektes auf gewisse Einflüsse untersucht wird. Hierzu gibt es bereits einige Diskussionen mit der Fragestellung, ob denn ein digital erstellter Zwilling eines Objektes sich tatsächlich gleich oder ähnlich zum realen Objekt verhalten kann.⁷³⁶ Interessant ist hierbei die mögliche Integration dieser Technologie in die Bewertungssysteme. Inwiefern dies in einer Beurteilung Ausprägung finden wird, hängt womöglich mit der gesellschaftlichen Toleranz dieser Technik gegenüber zusammen. Ein weiterer wichtiger Aspekt, der zukünftig sich verändern wird, ist die Arbeitsweise. Vorrangig wendet sich das Bauwesen von einem in Spezialeinheiten aufgeteiltes Gebiet ab. Das Ziel ist es alle Spezialisten wieder zu vereinen, wie es vor gerade mal einem Jahrhundert noch der Fall war. Die Aufteilung in verschiedene Teilgebiete ist nicht nur mit einem höheren Kosten-, sondern auch Zeitaufwand verbunden. Die sogenannte integrale Planung verbindet die verschiedenen Experten der einzelnen Teilgebiete zusammen, um gemeinsam an einer nachhaltigen Lösung zu arbeiten.⁷³⁷ Diese Arbeitsweise erweist sich als eine bisher erfolgreich eingesetzte Taktik.

⁷³⁶ Gesellschaft für Informatik, *Digitaler Zwilling*, Lexikonbericht vom 02.11.2017, online: <https://gi.de/informatiklexikon/digitaler-zwilling/> (Zugriff 09.01.2023)

⁷³⁷ Expertengespräch mit Vertreter des Architekturbüros ATP

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Abb. 2.1.: die drei Säulen der Nachhaltigkeit..... | 12 |
| Abb. 2.2.: die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit bezogen auf das Nachhaltigkeitsdreieck | 14 |
| Abb. 2.3.: die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit bezogen auf das Schnittmengenmodell | 15 |
| Abb. 2.4.: integriertes Dreiecksdiagramm | 16 |
| Abb. 2.5.: integriertes Dreiecksdiagramm | 17 |
| Abb. 2.6.: idealtypische Koordinaten der Felder des integrierten Nachhaltigkeitsdreieck | 17 |
| Abb. 2.7.: 8 Millenniums-Entwicklungsziele..... | 21 |
| Abb. 2.8.: 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung | 22 |
| Abb. 2.9.: Leitlinien in der Baubiologie - Institut für Baubiologie und Nachhaltigkeit..... | 25 |
| Abb. 2.10.: Schutzziele der Baubiologie und Bauökologie | 26 |
| Abb. 3.1.: Energieausweis-Kategorien A++ bis G (Gebäudeklassen) mit dem jeweiligen Heizwärmebedarf (HWB) angegeben in Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr und dem jeweiligen Heizöläquivalent | 42 |
| Abb. 4.1.: Vorgänge zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit | 46 |
| Abb. 4.2.: Anwendung des Blue Economy Konzeptes zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG)..... | 64 |
| Abb. 4.3.: Anwendung des Blue Economy Konzeptes zur Erfüllung der Ziele für nachhaltige Entwicklung (SDG) unter Stakeholder Beteiligung | 65 |
| Abb. 4.4.: Modell der Kreislaufwirtschaft | 66 |
| Abb. 4.5.: Biologischer (re.) und technischer (li.) Kreislauf bei C2C..... | 67 |
| Abb. 4.6.: Energiewirtschaft: von der Primärenergie zur Nutzenergie | 76 |
| Abb. 4.7.: Absorption der UV-Strahlung durch die Ozonschicht..... | 84 |
| Abb. 4.8.: Entstehung von saurem Regen | 88 |
| Abb. 4.9.: Entstehung von Ozon (R beschreibt den Rest = verschiedenste organische Verbindungen, aus denen ein Sauerstoffatom herausgelöst werden kann)..... | 90 |
| Abb. 5.1.: The three Ps: Die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit..... | 94 |
| Abb. 5.2.: Strategie Lebenszyklusmanagement | 95 |
| Abb. 5.3.: Gliederung der Lebenszykluskosten | 98 |
| Abb. 5.4.: Aufbau einer Ökobilanz | 101 |
| Abb. 5.5.: Input und Output eines Prozesses | 109 |
| Abb. 5.6.: Prozessstruktur und Emissionsrechnung am Beispiel einer Product Carbon Footprint Ermittlung..... | 111 |
| Abb. 5.7.: Input-/Output- und Aufwands-/Ertrags-Darstellung: Fall Abfall im Output/Aufwand..... | 113 |
| Abb. 5.8.: Input-/Output- und Aufwands-/Ertrags-Darstellung: Fall Abfall im Input/Ertrag | 113 |
| Abb. 5.9.: Reichweite von ausgewählten Umweltauswirkungen (Wirkungskategorien)..... | 115 |
| Abb. 5.10.: Zusammenhang zwischen Sachbilanz und Wirkungsabschätzung am Beispiel der Umweltwirkungen: Klimaveränderung, Versauerung und Ressourcenverbrauch..... | 116 |

| | |
|---|-----|
| Abb. 5.11.: Vereinfachtes Vorgehensschema der Methode der ökologischen Knappheit | 117 |
| Abb. 6.1.: Stufenbau der leistungsorientierten und bautechnischen Vorschriften | 122 |
| Abb. 6.2.: gesetzliche Vorgaben auf europäischer und nationaler Ebene für ein umweltgerechtes Bauen | 123 |
| Abb. 6.3.: EPD-Arten, Lebenszyklusstadien und dazugehörige Module zur Beurteilung von Gebäuden | 133 |
| Abb. 6.4.: Auszug aus der Datenbank ÖKOBAUDAT der gesammelten Datensätze gemäß EN 15804+A1 | 137 |
| Abb. 6.5.: Auszug aus dem Prozess-Datensatz der ÖKOBAUDAT für eine 3- und 5-Schicht Massivholzplatte – Indikatoren für die Umweltwirkung..... | 137 |
| Abb. 6.6.: Richtwerte aus der Ökobilanzierung am Beispiel des Baustoffes Austrotherm XPS TOP 50 SF aus der Onlineplattform baubook..... | 139 |
| Abb. 6.7.: Auszug aus der von KBOB, ecobau und IPB zur Verfügung gestellten Excel-Liste mit Ökobilanzdaten für Baumaterialien | 141 |
| Abb. 6.8.: Auszug aus der von KBOB, ecobau und IPB zur Verfügung gestellten Excel-Liste mit Ökobilanzdaten für Energiequellen..... | 141 |
| Abb. 6.9.: WECOBIS - ökologisches Baustoffinformationssystem: Übersicht der über die Website mywecobis zugänglichen Informationen | 144 |
| Abb. 6.10.: Auszug aus den Gefahrenstoff-Informationen der GISBAU zu Chromat armen zementhaltigen Produkten..... | 146 |
| Abb. 6.11.: baubook Rechner für Bauteile am Beispiel für eine Brettschichtholzständer-Außenwand über die Website www.baubook.at/BTR/ | 152 |
| Abb. 6.12.: eco2soft Ökobilanz für Gebäude – Ergebnisse eines Beispielgebäudes über die Website www.baubook.at/ecosoft/ | 153 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|-----|
| Tab. 3.1.: Charta gegen Greenwashing vom Verein IG Lebenszyklus Bau | 36 |
| Tab. 4.1.: Möglichkeiten zur Ausübung der drei Leitstrategien (Effizienz, Konsistenz, Suffizienz) auf unterschiedlichen Maßstabsebenen | 61 |
| Tab. 4.2.: Kriterien ökologisch nachhaltiger Bewertungssysteme | 71 |
| Tab. 4.3.: Beurteilungskriterien für ein quantitatives Modell..... | 73 |
| Tab. 4.4.: Beurteilungskriterien für ein qualitatives Modell | 74 |
| Tab. 4.5.: Treibhause und ihre dazugehörigen GWPI-Koeffizienten für Zeithorizonte 20 und 100 gemäß dem fünften Sachstandbericht des IPPC | 82 |
| Tab. 4.6.: Auswahl chemischer Stoffe aus Klasse I und Klasse II und ihre dazugehörigen ODP _I - bzw. GWP ₁₀₀ -Werte | 86 |
| Tab. 4.8.: Zuordnung Input-orientierter Wirkungsindikatoren zu den Umweltwirkungen | 92 |
| Tab. 4.9.: Zuordnung Output-orientierter Wirkungsindikatoren zu den Umweltwirkungen | 92 |
| Tab. 5.1.: Normen und Phasen der Ökobilanz..... | 101 |
| Tab. 5.2.: ökologische Bewertungen im Baubereich – unterschiedliche Betrachtungsebene und Lebenszyklusgrenzen..... | 104 |
| Tab. 5.3.: Beispiele zur Bestimmung einer funktionellen Einheit | 106 |
| Tab. 5.4.: Normen zur quantitativen Bestimmung von Treibhausgasen | 107 |
| Tab. 6.1.: Übersicht über relevante Hilfsmittel für eine baubiologische bzw. bauökologische Nachhaltigkeitsbewertung | 121 |
| Tab. 6.2.: Gesetzliche Vorgaben auf europäischer Ebene und ihre Umsetzung in Österreich | 126 |
| Tab. 6.3.: Liste ausgewählter ÖNORMEN auf europäischer Ebene..... | 130 |
| Tab. 6.4.: Liste ausgewählter ÖNORMEN auf nationaler Ebene | 134 |
| Tab. 6.5.: Bilanzgrenzen | 148 |
| Tab. 6.6.: Nutzungsdauerkatalog 2018 gemäß Österreichischem Institut für Baubiologie und -ökologie | 149 |
| Tab. 6.7.: Ermittlung des Punktesystems von Ressourcenverbrauch, Treibhauspotenzial und Versäuerung | 151 |
| Tab. 6.8.: Gütesiegel und Label für Baustoffe und Bauprodukte..... | 167 |
| Tab. 6.9.: Zertifizierungssysteme für nachhaltige Gebäude..... | 173 |
| Tab. 6.10.: Kriterienvergleich von Gebäudezertifizierungssystemen | 174 |

Literaturverzeichnis

- United Nations Environment Programme, *2020 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector*, Nairobi (2020)
- Altenstedt J./Pleijel K., *POCP for individual VOC under European conditions*, IVL Swedish Environmental Research Institute Göteborg (1998)
- ArchiPHYSIK, *Ökoindex OI3 – Die ökologische Bewertung von Gebäuden*, online: <https://archiphysik.at/oekoindex-oi3-die-oekologische-bewertung-von-gebaeuden/> (Zugriff 15.01.2023)
- Arte.TV, *Die Betonmonster der Nachkriegszeit, Reportage*, online: <https://info.arte.tv/de/die-betonmonster-der-nachkriegszeit> (Zugriff: 05.04.2022)
- Bahrinipour M., *Fokus Entwicklungspolitik. Positionspapiere der KfW Entwicklungsbank. Umsetzungsstand der Millennium-Entwicklungsziele (MDGs)*, hrsg. KfW Entwicklungsbank (2008), bezogen unter: https://www.kfw-entwicklungsbank.de/Download-Center/PDF-Dokumente-Development-Research/2008_10_FE_Bahrinipor-MDGs_D.pdf (Zugriff 05.04.2022)
- Barash D., *Peace and Conflict*, SAGE Publications, London (2002), S.547, online: https://archive.org/details/peacean_bar_2002_00_3608/page/547/mode/1up (Zugriff 14.01.2023)
- Barnes I./Becker K. H./Wiesen P., *Organische Verbindungen und der Photosmog*, In: *Chemie in unserer Zeit*, Vol. 41, Issue 3 (2014), S.200-210
- baubook, *Deklaration Zentrale*, online: <https://www.baubook.at/zentrale/> (Zugriff 15.01.2023)
- baubook, *eco2soft - Ökobilanz für Gebäude*, online: <https://www.baubook.info/de/werkzeuge/eco2soft> (Zugriff 15.01.2023)
- baubook, *eco2soft Ökobilanz für Gebäude*, online: <https://www.baubook.at/eco2soft/> (Zugriff 15.01.2023)
- baubook, *Rechner für Bauteile*, online: <https://www.baubook.at/BTR/> (Zugriff 15.01.2023)
- baubook, *Richtwerte*, online: <https://www.baubook.info/de/kennwerte/richtwerte> (Zugriff 15.01.2023)
- Baunet_Wissen, *GISCODE*, online: <https://www.baunetzwissen.de/glossar/g/giscode-2432521> (Zugriff 15.01.2023)
- Baunet_Wissen, *Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF)*, online: <https://www.baunetzwissen.de/gesund-bauen/tipps/beratungsstellen/arbeitsgemeinschaft-oekologischer-forschungsinstitute-agoef-1539049> (Zugriff 19.09.2022)
- Baunet_Wissen, *Umweltzeichen, Labels und Umweltproduktdeklarationen*, online: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/richtlinien-verordnungen/umweltzeichen-labels-und-umweltproduktdeklarationen-152368> (19.09.2022)
- Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), *Bodennahes Ozon und Sommersmog, Bayern (2020)*, bezogen unter: https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_47_bodennahes_ozon.pdf (14.01.2023)
- Bayerl Günter, *Technik im Mittelalter und Früher Neuzeit*, Theiss, Stuttgart (2013)

- Beier R./Ecker A./Edel K./Ennagi A./Paireder B./Suschnig H. M., *Umweltgeschichte*, In: historisch-politische bildung. Themendossiers zur Didaktik von Geschichte, Sozialkunde und Politischer Bildung., hrsg. Fachdidaktikzentrum für Geschichte und Politische Bildung, Band N° 5, Wien (2013)
- Bemmann M., *Und ewig sterben die Wälder. Teilprojekt 1*, In: „Beschädigte Vegetation“ und „Sterbende Wälder“. Zur Entstehung eines Umweltproblems in Deutschland, 1893–1970, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (2010)
- Berger T./Prasser P./Reinke H. G., *Einsparung von Grauer Energie bei Hochhäusern. Beton- und Stahlbetonbau*, In: Beton- und Stahlbetonbau, Vol. 108, Issue 6 (2013), S. 395-403
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), *GISCODES & Produkt-Codes*, online: <https://www.wingisonline.de/giscodes.aspx> (Zugriff 15.01.2023)
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG Bau), *Produktgruppen*, online: <https://www.bgbau.de/themen/sicherheit-und-gesundheit/gefahrstoffe/wingis/produktgruppen> (Zugriff 15.01.2023)
- bewusstkaufen.at, *Label Kompass. Naturland*, online: <https://www.bewusstkaufen.at/label-kompass/naturland/> (Zugriff 15.01.2023)
- Blauer Engel, *Das deutsche Umweltzeichen*, online: <https://www.blauer-engel.de/de> (Zugriff: 18.08.2022)
- Boogman P./Figl H./Wurm M., *IBO-Richtwerte für Baumaterialien*, IBO- Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH, Wien (2020)
- Brandt C., *Die chemische Industrie auf dem Weg in eine grüne Zukunft? Sustainable Development und Responsible Care*, In: Chemie in unserer Zeit, Vol. 36 (2002), S.214-224
- Briest R., *Darf der Mensch denn alles? 3000 Jahre Umweltzerstörung*, In: Leseliste Certamen Rheno-Palatinum für Latein IV 2000, online: https://lw-alte-sprachen.bildung-rp.de/fileadmin/user_upload/lw-alte-sprachen.bildung-rp.de/Latein_IV/Leseliste_CRP_IV_2020.pdf (Zugriff 06.04.2022)
- Brüggemeier F. J., *Schranken der Natur. Umwelt, Gesellschaft, Experimente. 1750 bis heute*, In: Historische Zeitschrift, De Gruyter Oldenbourg (2015), S. 239-241
- Brüggemeier F. J., *Nachhaltigkeit – Ein historischer Überblick*, Vortrag an der Online-Akademie Friedrich Ebert Stiftung (2012), bezogen unter: <https://library.fes.de/pdf-files/akademie/online/09118.pdf> (Zugriff 06.04.2022)
- Buchmayr R., *Faktor 4 – Faktor 10 – Faktor 10 Rechenbeispiele mit der Natur*, In: Klagenfurter Beiträge zur Technikdiskussion, Heft 95 (2000)
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Hrsg.), *Ökofaktoren Schweiz 2021 gemäss der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz*, In: Umwelt-Wissen, Nr. 2121, Bern (2021)
- Bundesgesetz: Energieeffizienzpaket des Bundes, BGBl. Nr. 72/2014, bezogen unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2014_I_72/BGBLA_2014_I_72.pdfsig (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesgesetz: Recycling von Altholz in der Holzwerkstoffindustrie (RecyclingholzV), BGBl. III Nr. 160/2012, online: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2012/160> (Zugriff 14.01.2023)

- Bundesgesetz: Trennung von bei Bautätigkeiten anfallenden Materialien, BGBl. Nr. 259/1991, bezogen unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1991_259_0/1991_259_0.pdf (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesgesetz: Umweltförderungsgesetz, BGBl. Nr. 185/1993, bezogen unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblPdf/1993_185_0/1993_185_0.pdf (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesministerium des Inneren, für Bau und Heimat (Hrsg.), *Leitfaden Nachhaltiges Bauen. Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*, Berlin (2019)
- Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), *Trends der globalen Ressourcennutzung. UN-Report*, online: https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/nachhaltigkeit/ressourceneffizienz/un_report.html (Zugriff: 08.06.2022)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (Hrsg.), *Alternative Wirtschafts- und Gesellschaftskonzepte*, In: Zukunftsdossier, No.3a, 2.Auflage, Wien (2015)
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Ressourceneffizienz Aktionsplan (REAP), *Wegweiser zur Schonung natürlicher Ressourcen*, Wien (2012)
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hrsg.), *Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Zukunftsfähiges Planen, Bauen und Betreiben von Gebäuden*, Berlin (2016)
- Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), *Bundes-Energieeffizienzgesetz (EEffG)*, online: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/effizienz/recht/effizienzgesetz.html> (Zugriff: 05.04.2022)
- Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Bundes-Energieeffizienzgesetz, BGBl. Nr. 72/2014, Fassung vom 13.01.2023, online: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20008914> (Zugriff 13.01.2023)
- Bundesrecht: Gesamte Rechtsvorschrift für Fluorierte Treibhausgase-Gesetz 2009, BGBl. Nr. 103/2009, Fassung vom 14.01.2023, online: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20006451&ShowPrintPreview=True> (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesrecht: Gesamte Rechtsvorschrift für Wärmeschutzverordnung, BGBl. Nr. 550/1979, Fassung vom 31.12.2006, online: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10004312&FassungVom=2006-12-31> (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesrecht konsolidiert: Gesamte Rechtsvorschrift für Wärmeschutzverordnung, BGBl. Nr. 550/1979, Fassung vom 31.12.2006, online: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10004312&FassungVom=2006-12-31> (Zugriff 13.01.2023)
- Bundesverordnung: Deponieverordnung 2008, BGBl. II Nr. 39/2008, online: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2008/39> (Zugriff 14.01.2023)
- Bundesverordnung: Recycling-Baustoffverordnung, BGBl. II Nr. 181/2015, bezogen unter: https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2015_II_181/BGBLA_2015_II_181.pdf (Zugriff 14.01.2023)

- Climate Science Special Report (CSSR), *Executive Summary: Highlights of the Findings of the U.S. Global Change Research Program Climate Science Special Report*, online: <https://science2017.globalchange.gov/chapter/executive-summary/> (Zugriff 05.04.2022)
- Dalkmann H./Aßmann D./Kristof K./Petersen R./Do Valle Costa C./Wallbaum H./Welfens T./Hegel D., *Wege von der nachholenden zur nachhaltigen Entwicklung. Infrastrukturen und deren Transfer im Zeitalter der Globalisierung. Welche Globalisierung ist zukunftsfähig?* In: Wuppertal Papers, hrsg. Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen, No 140 (2004)
- Demmelhuber S., *Kohle, Stahl und Dampfmaschinen*, Homepage BR- Bayern Rundfunk (2014), online: <https://www.br.de/radio/bayern2/sendungen/radiowissen/geschichte/industrielle-revolution-stahl-kohle-dampfmaschine100.htm> (Zugriff: 19.05.2022)
- Deutsche Gütegemeinschaft Möbel, *Ihr Portal für zertifizierte Möbel*, online: <https://www.das-goldene-m.de/de/> (Zugriff 27.09.2022)
- Deutscher Kork-Verband e.V. (Hrsg.), *Kork auf dem Boden..ein Leben lang Natur im Haus*, Bielefeld (2014)
- Die Chemie Schule, *Saurer Regen*, online: https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Saurer_Regen (Zugriff 14.01.2023)
- Donath C./Fischer D./Hauke B., *Nachhaltige Gebäude – Planen, Bauen, Betreiben*, >>bauforum-stahl e.V. (Hg), Band Nr. B 105, Düsseldorf (2011)
- ecobau, *ecoBKP. Merkblätter ökologisches und gesundes Bauen nach Baukostenplan (BKP)*, Verein eco-bau (2021)
- ecobau, *ecoDevis 2022*, online: <https://www.ecobau.ch/de/instrumente/ecodevis> (Zugriff 15.01.2023)
- eco-Institut, *eco-INSTITUT-Label*, online: <https://www.eco-institut-label.de/de/> (Zugriff 18.08.2022)
- ecoinvent, *ecoinvent LCI-Datenbank in Umberto LCA+*, online: <https://www.ifu.com/de/umberto/ecoinvent-datenbank/> (Zugriff 15.01.2023)
- El Khouli S./Zeumer M./John V., *Nachhaltig Konstruieren: Vom Tragwerksentwurf bis zur Materialwahl: Gebäude ökologisch Bilanzieren und Optimieren*, München DETAIL (2014)
- EMICODE, *EMICODE*, online: <https://www.emicode.com> (Zugriff 18.08.2022)
- EnergieSchweiz (Hrsg.), *Kurzfassung. Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz (2020)*, bezogen unter: https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:5126840c-c16d-4019-aea0-c2e0f055329b/Leitkonzept-2000WG_vOkt2020_kurz_de.pdf (Zugriff 15.01.2023)
- EnergieSchweiz (Hrsg.), *Leitkonzept für die 2000-Watt-Gesellschaft. Beitrag zu einer klimaneutralen Schweiz (2020)*, bezogen unter: https://www.local-energy.swiss/dam/jcr:6717fce1-9586-44d7-9bc2-072308adaf9e/Leitkonzept_2000WG_vOkt2020_lang_de.pdf (Zugriff 15.01.2023)
- EnergieSchweiz, *Programm für Städte, Gemeinden, Areale & Regionen*, online: <https://www.local-energy.swiss/#/> (Zugriff 15.01.2023)
- Environmental Protection Agency (EPA), *Ozone-Depleting Substances*, online: <https://www.epa.gov/ozone-layer-protection/ozone-depleting-substances> (Zugriff 14.01.2023)

- Europäische Behörde für Lebensmittel (efsa), *Lebensmittel sind wichtigste BPA-Quelle für Verbraucher, auch Thermopapier kommt potenzielle Bedeutung zu*, online: <https://www.efsa.europa.eu/de/press/news/130725> (Zugriff 13.01.2023)
- Europäische Kommission, *EU Ecolabel*, online: https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/eu-ecolabel-home_en (Zugriff 15.01.2023)
- Europäische Kommission, *European Platform on Life Cycle Assessment*, online: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu> (Zugriff: 08.06.2022)
- Europäische Kommission, *Grünbuch. Europäische Rahmenbedingungen für die soziale Verantwortung der Unternehmen*, Brüssel (2001)
- Europäische Kommission, *Leitfaden für die Umsetzung der Produktvorschriften der EU 2022 („Blue Guide“)*, 2022/C 247/01, online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2022:247:TOC> (Zugriff 14.01.2023)
- Europäische Kommission, *Life Cycle Costing*, online: <https://ec.europa.eu/environment/gpp/lcc.htm> (Zugriff 14.01.2023)
- Europäische Kommission, *Vorschlag für eine Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden*, Europäische Kommission Brüssel (2021), bezogen unter: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:c51fe6d1-5da2-11ec-9c6c-01aa75ed71a1.0002.02/DOC_1&format=PDF (Zugriff 14.01.2023)
- Europäische Parlament, *Verordnung Nr. 514/2014 vom 16. April 2014 zur Festlegung allgemeiner Bestimmungen für den Asyl-, Migrations- und Integrationsfonds und das Instrument für die finanzielle Unterstützung der polizeilichen Zusammenarbeit, der Kriminalprävention und Kriminalitätsbekämpfung und des Krisenmanagements*, online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/de/ALL/?uri=CELEX%3A32014R0514> (Zugriff 14.01.2023)
- Europäische Union, *Richtlinie 70/220/EWG des Rates vom 20. März 1970*, online: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:31970L0220> (Zugriff 13.01.2023)
- Europäische Union, *Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP)*, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2008/1272/oj?locale=de> (Zugriff 13.01.2023)
- Europäische Union, *Verordnung (EU) 2020/852 (Taxonomieverordnung)*, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/852/oj?locale=de> (Zugriff 13.01.2023)
- Europäische Union, *Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH)*, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2006/1907/oj> (Zugriff 13.01.2023)
- Europäisches Parlament, *Kreislaufwirtschaft: Definition und Vorteile*, online: <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/economy/20151201STO05603/kreislaufwirtschaft-definition-und-vorteile> (Zugriff 14.01.2023)
- European Collaborative Action, *Indoor air quality & its impact on Man. Biological Particles in Indoor Environments*, In: *Environment and Quality of Life*, Report No.12, hrsg. durch Commission of the European Communities (1993)
- *Existential risks: threats to humanity's survival*, *Frequently Asked Questions*, online: <https://www.existential-risk.org/faq.html> (Zugriff: 21.10.2022)

- Figl H./Haas S./Klingler M./Savi D. et al., *WECOBIS. Webbasiertes ökologisches Baustoffinformati-
onssystem, Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwe-
sen und Raumordnung (BBR)*, In: *Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis*, Band 07 Bonn (2016)
- Fischer L., *Kulturlandschaft – naturtheoretische und kultursoziologische Anmerkungen zu einem
Konzept*, In: *Denkankstöße. Landschaftskult – Kulturlandschaft*, Hrsg. von der Stiftung Natur und
Umwelt Rheinland-Pfalz, Heft 6 (2007), S. 16–27
- Forest Stewardshop Council (FSC), *The future of forests is in our hands*, online: <https://fsc.org/en>
(Zugriff 27.09.2022)
- Forrester J. W., *Der teuflische Regelkreis. Das Globalmodell der Menschheitskrise*, Deutsche Ver-
lags-Anstalt, Stuttgart (1972)
- Friedrichsen S., *Nachhaltiges Planen, Bauen und Wohnen. Kriterien für Neubau und Bauen im Be-
stand*, 2.Auflage, SpringerVieweg, Wiesbaden (2011/2018)
- Frischknecht R., *Lehrbuch der Ökobilanzierung*, treeze GmbH Uster, Schweiz (2020)
- Frischknecht R./Jungbluth N./Althaus HJ. et al., *The ecoinvent Database: Overview and Methodo-
logical Framework*, In: *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Nr.10 (2005), S.3-9
- Fuhrmann Bernd, *Holzversorgung, Waldentwicklung, Umweltveränderungen und wirtschaftliche
Tendenzen in Spätmittelalter und beginnender Neuzeit*, In: *VSWG Vierteljahrschrift für Sozial-
und Wirtschaftsgeschichte*, Band 100, Heft 3, Franz Steiner, Stuttgart (2013)
- Gabler Wirtschaftslexikon, *Soziale Nachhaltigkeit*, online: [https://wirtschaftslexikon.gab-
ler.de/definition/soziale-nachhaltigkeit-53451/version-276540](https://wirtschaftslexikon.gab-
ler.de/definition/soziale-nachhaltigkeit-53451/version-276540) (Zugriff: 05.04.2022)
- Gardner D., *FUTURE BABBLE: Why Expert Predictions Fail-and Why We Believe Them Anyway*,
McClelland & Stewart (2010), S.228ff.
- Gemeinschaft umweltfreundlicher Teppichboden e.V. (GUT), *Der neue Produktpass für Teppiche
und Teppichböden*, online: <https://gut-prodis.eu> (Zugriff 15.01.2023)
- Goldsmith E., *Der Weg. Ein ökologisches Manifest*, Bettendorf, München (1996)
- goodweave, *GoodWeave Deutschland*, online: <https://goodweave.org/de> (Zugriff 15.01.2023)
- Gordon R. T., *Die Biologische Zeitbombe. Revolution der modernen Biologie*, G. B. Fischer, Frank-
furt am Main (1969)
- Görmer G., *Der Ursprung des Wagens*, GRIN, München (2008)
- Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), *About Us*, <https://ghgprotocol.org/about-us> (Zugriff
14.01.2023)
- Günther M., *Primärenergie*, In: *Archiv für Begriffsgeschichte*, Vol.55, Felix Meiner Verlag GmbH
Hamburg (2013), S.263-271
- Haas S., *Ökologische Baustoffwahl. Aspekte zur komplexen Planungsaufgabe „Schadstoffarmes
Bauen“*, In: *Zukunft Bauen. Forschung für die Praxis*. hrsg. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und
Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Band 04, Bonn
(2016)

- Von Carlowitz H. C., *Sylvicultura Oeconomica, Oder Haußwirthliche Nachricht und Naturmäßige Anweisung Zur Wilden Baum-Zucht*, Braun, Leipzig (1713), S.105-106, online: <https://digital.slub-dresden.de/werkansicht/df/85039/127> (Zugriff 09.01.2023)
- Hartwick J. M., *Investing returns from depleting renewable resource stocks and intergenerational equity*, In: *Economic Letters*, Vol. 1. Issue 1 (1978), S. 85-88
- Hay R./Ostertag C. P., *Life cycle assessment (LCA) of double-skin façade (DSF) system with fiber-reinforced concrete for sustainable and energy-efficient buildings in the tropics*, In: *Building and Environment*, Volume 142 (2018), S.327 – 341
- Hehenberger-Risse D., *Nachhaltigkeitsanalyse. Entwicklung verschiedener Nachhaltigkeitsindikatoren zur umwelttechnischen Analyse und Bewertung von Nahwärmeversorgungsnetzen auf Basis regenerativer Energien im Vergleich zu fossilen Energieträgern*, Dissertation an der Leuphana Universität Lüneberg, Fakultät für Umwelt und Technik (2013)
- Heijungs R./Guinée J./Huppes G./Lankreijr R.M., *Environmental Life Cycle Assessment of Products*, *Centre of Environmental Science*, Leiden (1992)
- Henze W. et al., *Umweltschutz bei Planung und Bau von Industrie- und Gewerbeanlagen*, In: *Berichte/Umweltbundesamt*, Berlin, Erich Schmidt Verlag, gr. 8°, 346 S., *Berichte 10/90* (1990), S.28
- Herdeg P./Martos R., *Nachhaltige Entwicklung. Modelle*, *Stiftung Umweltbildung Schweiz*, In: *Beilage Bulletin umweltbildung.ch*, Nr. 1/2012 (2012), bezogen unter: https://www.education21.ch/sites/default/files/uploads/pdf-d/BNE-Artikel_Umweltbildung-ch_2012-2.pdf (Zugriff 14.03.2022)
- Hermann C., *Nachhaltigkeit im Innovationsprozess*, Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswirtschaften (2010), S.29
- Hermann C./Hauschild M./Gutowski T./Lifset R., *Life Cycle Engineering and Sustainable Manufacturing*, In: *Journal of Industrial Ecology*, Vol.18 Nr.4, Yale University (2014)
- Hotz W., *Handbuch der Kunstdenkmäler im Elsass und in Lothringen*, *Wissenschaftliche Buchgesellschaft*, Darmstadt (1965)
- Huber J., *Nachhaltige Entwicklung : Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik*, Ed. Sigma, Berlin (1995)
- Huber J., *Nachhaltigkeit: ein Entwicklungskonzept entwickelt sich..*, In: *Gaia*, Vol. 5, Heftnr. 2 (1996), S.63-65
- Hunt R. G./Sellers J. D./Franklin W. E., *Resource and environmental profile analysis: A life cycle environmental assessment for products and procedures*, In: *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 12, Issue 3 (1992), S.245 – 269
- IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Nachhaltigkeitsrecht. Charta gegen Greenwashing. Mit Erläuterungen auf Basis von Erfahrungen aus Vergabeverfahren, Audits und der unternehmerischen Praxis*, Wien (2021)
- IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft im Bauwesen. Wien kann es gelingen, dass klimaneutrale Gebäude kreislauffähig werden?*, Wien (2021)
- IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Leitfaden für ein kreislaufwirtschaftliches Planen und Konstruieren*, Wien (2020)

- IG Lebenszyklus Bau (Hrsg.), *Strategisches Leitbild 2021*, Wien (2021)
- Institut Bauen und Umwelt e.V. (IBU), *Umweltzeichen*, online: <https://ibu-epd.com/umweltzeichen/> (Zugriff 14.01.2023)
- Institut für Baubiologie Rosenheim GmbH (IBR), *Institut für Baubiologie Rosenheim*, online: <https://www.baubiologie-ibr.de> (Zugriff 15.01.2023)
- Intergovernmental Panel on Climate Change (ipcc), *About*, online: <https://www.ipcc.ch/about/> (Zugriff 14.01.2023)
- Isenmann R./Ruth M./Ehrenfeld J. R./Sachs W./Von Gleich A., *Das Lernen von der Natur und die wissenschaftliche Einordnung und Dynamik der Industrial Ecology*, In: *Industrial Ecology*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2008), S.304-374
- Jänicke M., *Wir brauchen radikale Lösungen. Das „grüne Wachstum“ und seine Kritiker“*, In: *Ökologisches Wirtschaften*, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung, Oekom, Band 27, Nr. 4 (2012) S.20 – 22
- Jann O./Walker G./ Witten J., *Innenraumluftqualität und Bauprodukte: Emissionen - Bewertung, Minderung, Vermeidung*, Rm Rudolf Müller, Köln (2018)
- Jörissen J./Kopfmüller J. /Brandl V., *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung, Wissenschaftlicher Bericht am Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Autonomie intelligente Systeme (1999)*, bezogen unter: <https://www.itas.kit.edu/pub/v/1999/joua99a.pdf> (09.01.2023)
- Kaltschmitt M. (Hrsg.)/Streicher W., *Regenerative Energien in Österreich. Grundlagen, Systematik, Umweltaspekte, Kostenanalysen, Potenziale, Nutzung. Praxis*, Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2009)
- KBOB, *Excel-Datei mit Ökobilanzdaten im Baubereich (2009-1-2022)*, bezogen unter: https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (Zugriff 15.01.2023)
- Ki-Hoon L./Junsung N./Soeng K., *The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals: Challenges and opportunities*, In: *Environmental International*, Volume 137 (2020), bezogen unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412019338255> (Zugriff 08.01.2023)
- Koppelhuber D., *Ökologie als Planungsaufgabe im Geschößwohnbau – Vergleichende Betrachtung ökologischer Baustoffe unter Berücksichtigung von Bauherren- und Planungsaspekten*, Masterarbeit an der Technischen Universität Graz (2017)
- Koppelhuber, D., *Ressourceneffizienz im Bauwesen – Gesetzliche Rahmenbedingungen auf dem Europäischen Markt und Umsetzung in Österreich*, Masterprojekt an der Technischen Universität Graz (2015), S.23
- Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik NRW, *Ozonschichtschädigende und klimawirksame Stoffe in Nordrhein-Westfalen. 2000-2002*, Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf (2004)
- Landesrecht Tirol: Technische Bauvorschriften 2008 § 0, LGBl. Nr. 93/2007, Fassung vom 07.09.2015, online: <https://www.ris.bka.gv.at/NormDokument.wxe?Abfrage=LrT&Gesetzesnummer=10000286&FassungVom=2015-09-07&Artikel=&Paragraf=0&Anlage=&Uebergangsrecht=> (Zugriff 13.01.2023)

- Landrichterin, *Umweltbelastungen im Mittelalter – Luftverschmutzung und Gestank*, Website *Mittelaltergazette* (2014), online: <http://mittelaltergazette.de/10925/wissenswertes/umweltbelastungen-im-mittelalter-luftverschmutzung-und-gestank/> (Zugriff: 19.05.2022)
- Lehni M./Schmidheiny S./Stigson B., *Eco-efficiency: Creating More Value with Less Impact*, WBCSD (2000)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Agenda 21*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/agenda_21_744.htm (Zugriff 21.10.2023)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Club of Rome: Grenzen des Wachstums, wie alles begann*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/entstehung_des_berichtes_541.htm (Zugriff 09.11.2023)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Historischer Abriss über die Wachstumsdebatte 1823*, bezogen unter: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/historischer_abriss_ueber_die_wachstumsdebatte_1823.htm (Zugriff: 10.04.2022)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Lokale Agenda 21*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/aalborg_chartalokale_agenda_21_651.htm (Zugriff 12.01.2023)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Weltgipfel Rio +20, Rio 2012*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/weltgipfel_rio_20_rio_de_janeiro_2012_1419.htm (Zugriff 12.01.2023)
- Lexikon der Nachhaltigkeit, *Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland Bericht / Brundtland Report)*, online: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/brundtland_report_1987_728.htm (Zugriff: 10.04.2022)
- Life Cycle Initiative, *Social Life Cycle Assessment (S-LCA)*, online: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/life-cycle-approaches/social-lca/> (Zugriff 14.01.2023)
- Lingenhöhl D., *Pest machte die Luft bleifrei, Homepage Spektrum* (2017), online: <https://www.spektrum.de/news/umweltverschmutzung-pest-machte-die-luft-bleifrei/1481871> (Zugriff: 19.05.2022)
- Manomano, *Flüchtige organische Verbindungen: Alles was Sie wissen müssen*, online: <https://www.manomano.de/beratung/fluechtige-organische-verbindungen-alles-was-sie-wissen-muessen-9175> (Zugriff: 19.09.2022)
- Masius P./Sparenberg O./Sprenger J. (Hrsg.), *Umweltgeschichte und Umweltzukunft. Zur gesellschaftlichen Relevanz einer jungen Disziplin, Graduiertenkatalog Interdisziplinäre Umweltgeschichte*, Göttingen (2009)
- Maydl P., *Die langfristigen Belange haben keine politische Lobby*, Die Presse (2015), online: <https://www.diepresse.com/4678466/die-langfristigen-belange-haben-keine-politische-lobby> (Zugriff: 21.10.2022)
- Mayer H., *Energieausweis – Die ÖNORM H 5055*, Wien (2003)
- Mittelalterlexikon, *Baumaterialtransporte*, online: <https://www.mittelalter-lexikon.de/wiki/Baumaterialtransporte> (Zugriff 08.06.2022)
- Mittelalterlexikon, *Umweltprobleme*, online: <https://www.mittelalter-lexikon.de/wiki/Umweltprobleme> (Zugriff 19.05.2022)
- Mueller L. S./Strub L./Kurth A., *Ökonomische Nachhaltigkeit in der Weinwirtschaft*, In: forthcoming book chapter: in Ulrich et al. (2020) *Nachhaltigkeit*, Geisenheim University, online:

- https://www.researchgate.net/publication/343189775_Okonomische_Nachhaltigkeit_in_der_Weinwirtschaft (Zugriff: 05.04.2022)
- Myhre G./Shindell D., *Anthropogenic and Natural Radiative Forcing*, In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press Cambridge (2013), S.731
 - Nachhaltiges Bauen, *Informationsportal. Eigene Publikationen*, online: <https://www.nachhaltigesbauen.de/publikationen/eigene-publikationen/> (Zugriff 15.01.2023)
 - natureplus.org, *Geprüft Nachhaltig*, online: <https://natureplus.org/index.php?id=17&L=0> (Zugriff 15.01.2023)
 - naturland, *Wir sind öko. Wir sind Zukunft.*, online: <https://www.naturland.de/de> (Zugriff 15.01.2023)
 - oesterreich.gv.at, *Baurecht und Bauordnung*, online: https://www.oesterreich.gv.at/themen/bauen_wohnen_und_umwelt/bauen/Seite.2260200.html (Zugriff: 18.08.2022)
 - oesterreich.gv.at, *Nationale/Europäische/Internationale Normen*, online: https://www.oesterreich.gv.at/themen/dokumente_und_recht/normen/Seite.2560002.html (Zugriff 14.01.2023)
 - Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Datenbanksuche*, online: https://www.oeko-baudat.de/no_cache/datenbank/suche.html (Zugriff 15.01.2023)
 - Ökobaudat Informationsportal nachhaltiges Bauen, *Ökobaudat*, online: <https://www.oekobaudat.de> (Zugriff: 19.09.2022)
 - ÖkoControl, *Willkommen beim ÖkoControl*, online: <https://oekocontrol.com> (Zugriff 15.01.2023)
 - Öko-Recherche. Büro für Umweltforschung und -beratung GmbH, Einleitung: Die Ozonschicht, online: <https://www.oekorecherche.de/de/einleitung-die-ozonschicht> (Zugriff 14.01.2023)
 - Organisation der Vereinten Nationen (UNO), Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung (1992), bezogen unter: <https://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/rio.pdf> (Zugriff 06.04.2022)
 - Osnowski R., *Produktlinienanalyse: Bedürfnisse, Produkte und ihre Folgen [ein Diskussionsbeitrag aus dem Öko-Institut]*, Kölner Volksblatt-Verl. Köln (1987)
 - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO) (Hrsg.), *Leitfaden zur Berechnung des Oekoindex OI3 für Bauteile und Gebäude*, Wien (2018)
 - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Ökologisch Bauen. Gesund Wohnen*, online: <https://www.ibo.at> (Zugriff 15.01.2023)
 - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *Umweltzeichen und Umweltdeklarationen*, online: <https://www.ibo.at/materialoekologie/umweltzeichen-fuer-bauprodukte/ibo-pruefzeichen/umweltzeichen-und-umweltdeklarationen> (Zugriff 14.01.2023)
 - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie (IBO), *WECOBIS*, online: <https://www.ibo.at/forschung/referenzprojekte/data/wecobis-1> (Zugriff 15.01.2023)
 - Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *Bauproduktenverordnung*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/node/150186> (Zugriff: 18.08.2022)

- Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *OIB-Richtlinien 2019*, bezogen unter: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien/richtlinien/2019> (Zugriff: 18.08.2022)
- Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB), *OIB-Richtlinien*, online: <https://www.oib.or.at/de/oib-richtlinien> (Zugriff 14.01.2023)
- Österreichisches Institut für Bautechnik, *OIB-Richtlinie 6 (2019)*
- Österreichisches Umweltzeichen, *Das Österreichische Umweltzeichen*, online: <https://www.umweltzeichen.at/de/home/start> (15.01.2023)
- Palm H., *Das gesunde Haus. Unser naher Umweltschutz*, Berlin (1992)
- Pech A. (Hrsg.)/Gangoly H./Holzer P./Maydl P., *Ziegel im Hochbau. Theorie und Praxis*, Birkhäuser Basel, 2. Auflage, Wien (2015)
- Perlow J. H., *Rediscovering Ignaz Philipp Semmelweis: some additional thoughts*, In: *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, Vol. 220, Issue 6, S.606 (2019), bezogen unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002937819303667> (Zugriff 14.01.2023)
- Plattform Footprint, *Global Hektar*, online: <https://plattform-footprint.de/verstehen/global-hektar/> (Zugriff 14.01.2023)
- Polipedia, *Ökologische Nachhaltigkeit*, online: <http://www.polipedia.at/tiki-index.php?page=Ökologische+Nachhaltigkeit> (Zugriff: 08.06.2022)
- Pollerhof T., *Alles Handarbeit: Burgbau wie im Mittelalter, Homepage der Standard (2021)*, online: <https://www.derstandard.at/story/2000130644503/alles-handarbeit-burgbau-wie-im-mittelalter> (Zugriff: 08.06.2022)
- Prim R./Tilman H., *Grundlagen einer kritisch-rationalen Sozialwissenschaft. Studienbuch zur Wissenschaftstheorie Karl R. Poppers*, UTB Verlag, Stuttgart (2000)
- Prituzhalova O., *Analyse des Lebenszyklus einer Verpackung anhand der Ökobilanzen. Vergleichende Untersuchung eines Getränkekartons in der Bundesrepublik Deutschland und in der Russischen Föderation*, Dissertation an Universität Lüneberg, Institut für Ökologie und Umweltchemie (2005)
- Programme for the Endorsement of Forest Certification (PEFC), *PEFC*, online: <https://www.pefc.at> (Zugriff 15.01.2023)
- Pufé I., *Nachhaltigkeit*, UVK-Verl.-Ges.UVK/Lucius, 2. überarb. und erw. Auflage, München (2014)
- Retzmann T., *Förderung des ökologischen Verantwortungsbewusstseins mit der Produktlinienanalyse*, Universität Bielefeld, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften Bielefeld (2000)
- Richtlinie 2006/32/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 5.April 2006 über Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/32/oj?locale=de> (Zugriff 14.01.2023)
- Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/98/oj?locale=de> (Zugriff 14.01.2023)

- Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj?locale=de> (Zugriff 14.01.2023)
- Richtlinie 2012/18/EU des Europäischen Rates vom 4. Juli 2012 zur Beherrschung der Gefahren schwerer Unfälle mit gefährlichen Stoffen (2012)
- Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, online: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2012/27/oj?locale=de> (Zugriff 14.01.2023)
- Ritt T. (Hrsg.), *Soziale Nachhaltigkeit. Von der Umweltpolitik zur Nachhaltigkeit?*, Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte, Wien (2002), bezogen unter: https://www.arbeiterkammer.at/in-fopool/wien/Informationen_zur_Umweltpolitik_149.pdf (Zugriff: 09.01.2023)
- Rödel M., *Die Invasion der "Nachhaltigkeit": Eine linguistische Analyse eines politischen und ökonomischen Modeworts*, In: Zeitschrift für Theorie und Praxis, Dok. 2 (2013), S.115-141
- Schmidt M., *Von der Material- und Energieflussanalyse zum Carbon Footprint. Anleihen aus der Kostenrechnung*, In: Chemie Ingenieur Technik, Vol.10, WILEY-VCH, Weinheim (2011)
- Schmidt-Bleek F., *Wieviel Umwelt braucht der Mensch?: MIPS - das Maß für ökologisches Wirtschaften*, Birkhäuser, Berlin (1994)
- Schmidt-Bleek F./Zimmer M./Kühr H./Rhomberg H. (Hrsg.), *Grüne Wahrheiten. Das Buch zur Ressourcenwende*, Springer, Berlin (2021)
- Schüco International KG, *Cradle to Cradle. Nachhaltig von Anfang an*, Broschüre, online: https://www.schueco.com/resource/blob/2168158/3ce874205df43dee3e5b21e4b44fdd3c/Schueco_C2C_Broschuere_210119.pdf?domain=de-lu (Zugriff 21.04.2022)
- Schuhmacher E. F., *Small is beautiful. Die Rückkehr zum menschlichen Maß*, Rowohlt, Hamburg (1977)
- Schweizerische Eidgenossenschaft, *Die KBOB stellt sich vor*, online: <https://www.kbob.admin.ch/kbob/de/home/die-kbob/kbob.html> (Zugriff 15.01.2023)
- SDGwatch Austria, *Über die Sustainable Development Goals (SDGs)*, online: <https://www.sdgwatch.at/de/ueber-sdgs/> (Zugriff 12.01.2023)
- SecuPedia, *Bauproduktengesetz*, online: <https://www.secupedia.info/wiki/Bauproduktengesetz> (Zugriff 27.09.2022)
- SETAC, *About SETAC*, online: <https://www.setac.org/page/AboutSETAC?> (Zugriff 27.09.2022)
- SETAC, *SETAC's Mission, Vision, Principles and Values*, online: <https://www.setac.org/page/Mission> (Zugriff 27.09.2022)
- Simon J. L., *The Ultimate Resource 2*, Princeton Univ. Press (1998)
- Solarify, *Rekord-CO2-Ausstoß im Baubereich*, online: <https://www.solarify.eu/2020/12/17/331-0-rekord-co2-ausstoss-im-baubereich/> (19.09.2022)
- Sonnemann G./Margni M., *Life Cycle Management*, In: LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment, Springer Dordrecht (2015)

- sphaera, *Datenbanken zur Lebenszyklusbeurteilung (GaBi)*, online: <https://sphaera.com/life-cycle-assessment-lca-database/> (Zugriff 15.01.2023)
- SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen), *Umweltgutachten 2008. Umweltschutz im Zeichen des Klimawandels*, Berlin (2008) S. 56, bezogen unter: https://web.archive.org/web/20150402105704/http://www.umweltrat.de/cae/servlet/content-blob/463534/publicationFile/33876/2008_Umweltgutachten_BTD.pdf (Zugriff 09.01.2023)
- Stadt Zürich Gesundheits- und Umweltdepartment, *Das 2000-Watt Konzept*, online: https://www.stadt-zuerich.ch/gud/de/index/umwelt_energie/2000-watt-gesellschaft/hintergrund/Konzept.html (Zugriff 15.01.2023)
- STANDORT, *Bodennahes Ozon und Sommersmog*, In: Zeitschrift für Angewandte Geographie 21, Springer Verlag (1997)
- Technische Universität Graz, *Ökologisches Baustoffkonzept. Bewertungsmethodik, Zertifizierung, Anwendungsgebiete, Demonstrationsgebäude, Institut für Wärmetechnik*, LVA Integrierte und nachhaltige Hochbauplanung gefördert vom BMVIT
- Technischer Überwachungs-Verein (TÜV) Rheinland, *TÜV Austria*, online: <https://www.tuv.com/austria/de/> (Zugriff 15.01.2023)
- TGA (Technisch Gewerbliche Abendschule), *Warum das neue Gebäudeenergiegesetz auch die Gebäudeautomation betrifft (09.10.2020)*, online: <https://tga.at/betreiben/warum-das-neue-gebaeudeenergiegesetz-auch-die-gebaeudeautomation-betrifft/> (Zugriff: 19.09.2022)
- TruEst, *Life Cycle Costing*, online: <https://www.truestqs.com/quantity-surveying-services/life-cycle-costing-analysis/> (Zugriff 14.01.2023)
- Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung – Protokoll (P4), BGBl. III Nr. 164/1997, online: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/Bundesnormen/NOR12141392/NOR12141392.html> (Zugriff: 08.06.2022)
- Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt (Hrsg.), *Klimaänderung. Wichtige Erkenntnisse aus dem 4. Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen der Vereinten Nationen (IPCC)* (2009), bezogen unter: https://web.archive.org/web/20161106125826/https://www.esf.de/portal/Shared-Docs/PDFs/DE/Aktuelles/2009/2009_09_29_klimaaenderung_wichtige_erkenntnisse.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (Zugriff 13.01.2023)
- Umweltbundesamt, *Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von Bauprodukten*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-zur-gesundheitlichen-bewertung-von> (Zugriff 14.01.2023)
- Umweltbundesamt, *Faktor X*, online: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/ressourcenschonung-in-produktion-konsum/faktor-x> (Zugriff 14.01.2023)
- UNECE, *Updated Handbook for the 1979 Convention on Longrange Transboundary Air Pollution and its Protocols*, United Nations New York, Geneva (2015)
- Van der Voet E./Van Oers L./De Bruyn S./Sevenster M., *Wachstum ohne Umweltverbrauch? Entkopplung und Dematerialisierung als Trends*, In: Industrial Ecology, Vieweg+Teubner, Wiesbaden (2008) S.202 -217

- Verband Österreichischer Ziegelwerke, *Politische und rechtliche Rahmenbedingungen*, online: <https://www.ziegel.at/index.php/information/nachhaltigkeit/rahmenbedingungen-fuer-nachhaltiges-bauen> (Zugriff 15.01.2023)
- Vereinte Nationen, *Bericht der Vereinten Nationen über die Umwelt des Menschen*, Stockholm (1972), bezogen unter: <http://www.un-documents.net/aconf48-14r1.pdf> (Zugriff 09.01.2023)
- Vereinte Nationen, *Bericht der Weltkommission über Umwelt und Entwicklung. Our Common Future* (1987), bezogen unter: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (Zugriff 09.01.2023)
- Vereinte Nationen, *Das Protokoll von Kyoto zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen* (1997), bezogen unter: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpger.pdf> (09.01.2023)
- Vereinte Nationen, *Frequently asked questions relating to the Doha Amendment to the Kyoto Protocol*, bezogen unter: https://unfccc.int/files/kyoto_protocol/doha_amendment/application/pdf/frequently_asked_questions_doha_amendment_to_the_kp.pdf (Zugriff 12.01.2023)
- Vereinte Nationen, *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*, bezogen unter: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convger.pdf> (Zugriff 10.10.2022)
- Vereinte Nationen, *Sammlung völkerrechtlicher Verträge: Übereinkommen von Paris*, online: https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=IND&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=_en (Zugriff 12.01.2023)
- Vereinte Nationen, *UNFCCC: Historic Paris Agreement on Climate Change: 195 Nations Set Path to Keep Temperature Rise Well Below 2 Degrees Celsius, Presseerklärung vom 12.12.2015*, online: <https://web.archive.org/web/20160117141004/http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/finale-cop21/> (Zugriff 12.01.2023)
- Vertragsparteien des Wiener Übereinkommens zum Schutz der Ozonschicht, *Montrealer Protokoll über Stoffe, die zu einem Abbau der Ozon-schicht führen*, Wien (2020), bezogen unter: https://fedlex.data.admin.ch/filestore/fedlex.data.admin.ch/eli/cc/1989/477_477_477/20200527/de/pdf-a/fedlex-data-admin-ch-eli-cc-1989-477_477_477-20200527-de-pdf-a.pdf (Zugriff 14.01.2023)
- Viciano A., *Geld oder Leben, Süddeutsche (2020)*, online: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/seuchenschutz-cholera-pettenkofer-bayern-> (14.01.2023)
- von Hauff M., *Nachhaltige Entwicklung, Grundlagen und Umsetzung*, De Gruyter Oldenbourg, 1.Auflage, München (2014)
- von Hauff M./Kleine A., *Methodischer Ansatz zur Systematisierung von Handlungsfeldern und Indikatoren einer Nachhaltigkeitsstrategie – Das Integrierende Nachhaltigkeits-Dreieck-, Diskussionsbeitrag 19-05 an der Technische Universität Kaiserslautern (2005)*, bezogen unter: <https://dnb.info/1026821851/34> (Zugriff 09.01.2023)
- Wackernagel M./Beyers B., *Der Ecological Footprint. Die Welt neu vermessen*, EVA, 1.Auflage, Hamburg (2010)
- Web Archive, *Grenzwerte. MAK- und TRK-Werte*, online: <https://web.archive.org/web/20160419112025/http://www.arbeitsinspektion.gv.at/inspektorat/Arbeitsstoffe/Grenzwerte/> (Zugriff 27.09.2022)

- WECOBIS, *GISCODE*, online: <https://www.wecobis.de/service/lexikon/giscode-lex.html> (Zugriff 15.01.2023)
- Weltgesundheitsorganisation (WHO), *Total Volatile Organic Compounds*, online: <https://www.dccew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/total-volatile-organic-compounds> (Zugriff 13.01.2023)
- Wieland M., *Industrielle Revolution und Umweltverschmutzung*, planetwissen, online: <https://www.planet-wissen.de/natur/umwelt/umweltverschmutzung/pwieindustriellerevolutionundumweltverschmutzung100.html> (Zugriff 05.04.2022)
- WiFi Unternehmerservice der Wirtschaftskammer Österreich, *Instrumente für das Umweltmanagement: Normen aus der Reihe ISO 1400*, In Broschüre: Umweltinformationen für Produkte und Dienstleistungen, Kapitel 9, WKO (2017)
- Wirtschaftskammer Österreich (WKO), *Vermarktung und Verwendung von fluorierten Gasen. Spezielle Regeln für Wärmepumpen, Kühl- und Klimatechnik, den Brandschutz und elektrische Schaltanlagen*, Wirtschaftskammer Österreich Wien (2019)
- Wissenschaftliche Dienste des deutschen Bundestages, *Nachhaltigkeit*, In: Der aktuelle Begriff Nr. 6/2004, bezogen unter: http://webarchiv.bundestag.de/archive/2008/0506/wissen/analysen/2004/2004_04_06.pdf (Zugriff 09.01.2023)
- World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), *About us*, online: <https://www.wbcsd.org/Overview/About-us> (Zugriff 14.01.2023)
- Wulz C., *Nachhaltigkeit im Betriebswirtschaftsunterricht der Handelsakademie. Ganzheitliche Umrissplanung für das vierte Semester auf Basis des integrierenden Nachhaltigkeitsdreiecks*, Karl-Franzens-Universität Graz (2021)
- Zero Emission Research Initiatives (ZERI), *ZERI History*, online: <http://zeri.org/history.html> (Zugriff 14.01.2023)
- Zimmermann J./Reiser M., *Prognose des Verbrauchs grauer Energie über die Lebensdauer von Gebäuden*, In: Die Bautechnik, Vol. 98, Issue 1 (2020), S. 63-73, online unter: <https://doi.org/10.1002/bate.202000068> (Zugriff: 06.04.2022)
- Zwiener G./Lange F. M. (Hrsg.), *Handbuch Gebäude-Schadstoffe und Gesunde Innenraumluft*, Erich Schmidt, Berlin (2012)