Technische Universität München, Prof. Hermann Kaufmann

Bauen mit Holz –
Wege in die Zukunft

Abschlußbericht

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) - AZ: Nummer 29239

Autoren:

Teil 1 Kapitel 5-10, MSc. Christel Lubenau, PD Dr. Gabriele Weber-Blaschke und Prof. Dr. Klaus Richter, Holzforschung München, Technische Universität München

Teil 2 Kapitel 1-4, 11- 16, Dipl. Ing. Architekt Holger König Karlsfeld Ascona GbR, Moosweg 9, D- 85757 Karlsfeld

Tel. 08131-276983/ Fax 08131.27.69.85/mail@ascona-koenig.de

Teil 3 Kapitel 17 – Prof. Hermann Kaufmann, Dipl. Ing. Frank Lattke

München 25.03.2011

06/02

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	29239	Referat	Fördersumme

Antragstitel	Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft Antrag für Forschung im Bereich Holzbau und Ökobilanz
Stichworte	Bauen mit Holz, Orientierungswerte, Zielwerte, ökologische Gebäudebewertung

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
12 Monate	**07.03.2011**	**07.03.2012**	**1**

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Technische Universität München Prof. Hermann Kaufmann Arcisstraße 21, 80333 München	Tel 089 289 25492 Fax 089 289 25491
		Projektleitung Prof. Hermann Kaufmann
		Bearbeiter Dipl. Ing. Martin Kühfuß Dipl. Ing. Jürgen Wieß Dipl. Ing. Frank Lattke
Kooperationspartner	Technische Universität München Holzforschung München, PD Dr. Gabriele Weber-Blaschke Winzererstraße 45, 80797 München Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte König-Jama GbR Dipl. Ing. Holger König Moosweg 9, 85757 Karlsfeld b. München	

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Mit der Frage nach zukunftsfähigen Bauweisen rücken innovative Konzepte, die sowohl der zunehmenden Rohstoffverknappung als auch der Energieeffizienz und dem Klimaschutz gerecht werden, immer mehr in den Fokus des gesellschaftlichen Interesses. Dabei werden neben der Nutzungsphase zunehmend auch die Entstehung und Entsorgung von Gebäuden in die Bewertung von Alternativen einbezogen.
Im Zertifizierungssystem des Bundes (BNB) und der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB) wird im Kriterienblock “Ökologische Qualität“ die Durchführung einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) gefordert. Dabei sollen sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb des Gebäudes berechnet werden.

Es fehlt bisher ein Kriterium für die Ökobilanzierung, das den Vorteil der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Holz als regional nachwachsender Rohstoff quantifiziert herausstellt. Deshalb soll ein Kriterium "Nachwuchspotenzial" als neue Ökobilanzkategorie entwickelt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Forschungsprojekt gliedert sich in drei unterschiedliche Arbeitspakete:

- die Ermittlung des Nachwuchspotenzials
- die Berechnung der Ökobilanz und der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe in fünf Gebäuden
- die Dissemination der Ergebnisse in einer Ausstellung und Durchführung eines Symposiums.

Die Zuwächse der Hauptbaumarten wurden anhand der Inventurstudie 2008 (aktualisierte Bundeswaldinventur 2) (Oehmichen et al. 2011, Polley et al. 2009) ermittelt. Die Zuwächse der Hauptbaumarten wurden anhand der Inventurstudie 2008 (aktualisierte Bundeswaldinventur 2) (Oehmichen et al. 2011, Polley et al. 2009) ermittelt. Die anfallenden Holzsortimente wurden durch die Auswertung aktueller Zahlen aus dem Holzmarktbericht 2009 ermittelt (BMELV 2009). Das Nachwuchspotenzial wurde für Schnittholz, Brettschichtholz und vier Holzwerkstoffe anhand von Annahmen berechnet.

Um die komplexen Umwelteinflüsse bei der Baustoffproduktion und deren Verwendung zu erfassen, ist es notwendig, die in anderen Produktzweigen bekannte Methode der Lebenszyklusbetrachtung auf Bauprodukte anzuwenden. Die dabei zu berücksichtigenden Prozesse gliedern sich in drei Phasen

Stoffbildung (Gewinnung, Herstellung)
Stoffgebrauch (Verarbeitung, Nutzung)
Stoffauflösung (Abbruch, Beseitigung/Rückführung).

Die Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht die Folgen von Produktprozessen, auch wenn diese in der Dauer generationenübergreifend sind, das heißt in eine Zukunft von 50 oder 100 Jahren reichen. Die Gliederung in Baustoffe mit nicht erneuerbarem und erneuerbarem Kohlenstoff, der Zurichtungsgrad und die Lebenszyklusbetrachtung finden sich heute in der Ökobilanzierung wieder.

Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden fünf Gebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Das Ziel bestand darin, neben dem physischen Gebäudemodell auch ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung zu formulieren. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz.

Ergebnisse und Diskussion

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Das neu entwickelte und in dieser Studie vorgeschlagene Kriterium Nachwuchspotenzial kann quantitativ darstellen, wie viel Holz in derjenigen Zeit nachwächst, in der das genutzte Holz als Holz-Bauprodukte bzw. Bauteile in Gebäuden eingesetzt wird. Dadurch ist eine Verknüpfung der Kohlenstoffbindung im Wald durch nachwachsendes Holz mit der Kohlenstoffspeicherung des verwendeten Holzes in Gebäuden möglich.
- Mit dem neuen Kriterium kann in Ökobilanzen einer der entscheidenden Unterschiede des Baustoffes Holz im Vergleich zu anderen nicht nachwachsenden Baustoffen dargestellt werden.
- Die Berechnungsmethodik auf der Basis von statistisch erhobenen Daten der Hauptbaumarten Deutschlands und des Sortimentsanfalls, erlaubt eindeutige Quantifizierungen der benötigten Flächen und Baumarten je nach dem Anteil nachwachsender Rohstoffe für ein spezifisches Gebäude.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Die Ausstellung >Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft< wurde am 10.11.2011 in München in der Architektursammlung der Pinakothek der Moderne eröffnet und endete am 5.2.2012. Mit sehr vielen Besuchern wurde sie seitens der Ausstellungsleitung als großer Erfolg gewertet. Die Ergebnisse des Forschungsprojektes wurden in einem Katalogbeitrag von Holger König mit dem Titel >Bauen mit Holz als aktiver Klimaschutz< veröffentlicht. Zusätzlich fand am 26.1.2012 ein Symposium in München statt, bei dem das Forschungsprojekt und seine Ergebnisse mit weiteren Beiträgen und verschiedenen

Schwerpunkten dargestellt wurden.

Fazit

Eine verstärkte Nutzung von Holz und biogenen Baustoffen im Neubau und der Modernisierung bietet aufgrund der bekannten ökologischen Qualitäten eine wirksame Reduktion des Einsatzes an nicht erneuerbaren Ressourcen. Die Einsparung nicht erneuerbarer Ressourcen findet sowohl in der Herstellungsphase, als auch während des Gebäudeunterhalts und bei der Entsorgung am Ende des Lebenszyklus statt. Damit erbringen nachwachsende Rohstoffe einen aktiven Beitrag zur Reduktion der CO_2 -Emissionen zur Erreichung der globalen Klimaschutzziele.

Das vorliegende Forschungsprojekt schafft die Grundlagen einer materialgerechten Berechnung des ökologischen Potenzials nachwachsender Rohstoffe und liefert einen wichtigen Baustein für einen ganzheitlichen Ansatz bei der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Neubau- und Sanierungsvorhaben (Lebenszyklusbilanzierungen).

Deutsche Bundesstiftung Umwelt ○ An der Bornau 2 ○ 49090 Osnabrück ○ Tel 0541/9633-0 ○ Fax 0541/9633-190 ○ http://www.dbu.de

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt		**1-2**
1	**Verzeichnis von Begriffen und Definitionen**	**1-6**
1.1	Allgemeine Begriffe	1-6
1.2	Ökologische Begriffe	1-6
1.3	Ökobilanz	1-7
1.4	Deklarationen	1-12
1.5	Organisationen, Normen, Verordnungen, Institutionen	1-13
2	**Zusammenfassung**	**2-15**
3	**Veranlassung und Aufgabenstellung**	**3-17**
4	**Ausgangslage**	**4-19**
4.1	Die Baubranche	4-19
4.2	Bewertungs- und Zertifizierungssysteme	4-20
4.3	Metallische Rohstoffe als Baustoffe	4-20
4.4	Fossile Rohstoffe als Baustoffe	4-21
4.5	Nachwachsende Rohstoffe als Baustoffe	4-21
5	**Arbeitspakete**	**5-23**
5.1	Ziele der Arbeitspakete zum Nachwuchspotenzial	5-23
5.2	Ziele der Arbeitspakete zur Ökobilanzierung	5-23
5.3	Ziele des Arbeitspaketes zur Dissemination	5-23
6	**Nachwuchspotenzial - Vorgehensweise und Methodik**	**6-24**
6.1	Ermittlung der Grunddaten der Hauptbaumarten	6-24
6.2	Ermittlung des Sortimentanfalls	6-24
6.3	Berechnung der Nachwuchspotenziale für einzelne Produkte	6-25
7	**Ergebnisse**	**7-26**
7.1	Definition des Kriteriums Nachwuchspotenzial	7-26
7.2	Einflüsse auf das Nachwuchspotenzial	7-26
7.3	Grunddaten zur Berechnung des Nachwuchspotenzials	7-28

7.4	Ermittlung des Sortimentanfalls	7-29
7.4.1	Modellierung von Modellbeständen	7-29
7.4.2	Auswertung des Holzmarktberichts 2009	7-30
7.4.3	Vergleich des Sortenanfalls bei Modellbeständen und Holzmarktbericht	7-30
7.5	Nachwuchspotenzial für Holzprodukte	7-32
8	**Diskussion**	**8-33**
8.1	Berücksichtige Baumarten	8-33
8.2	Herleitung des Sortimentanfalls	8-34
8.3	Berechnung des Nachwuchspotenzials für Holzprodukte	8-34
9	**Schlussfolgerungen**	**9-35**
10	**Forschungsausblick**	**10-36**
11	**Literaturverzeichnis Teil 1**	**11-37**
12	**Die Baustoffe**	**12-39**
12.1	Baustoffe aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen	12-40
12.2	Zurichtungsgrad	12-41
12.3	Die Lebenszyklusbetrachtung	12-42
12.4	Die Ökobilanzierung	12-42
12.5	Energie und Entropie	12-43
12.6	Die Ökobilanz in der Gebäudebewertung	12-45
12.7	Die Behandlung der „End of Life“-Phase	12-46
13	**Fünf Gebäude als Untersuchungsobjekte**	**13-49**
13.1	Kubatur und Fläche	13-49
13.2	Die Materialwahl	13-57
13.3	Ökobilanz	13-58
13.3.1	Primärenergie nicht erneuerbar	13-58
13.3.2	Primärenergie erneuerbar	13-59
13.3.3	Treibhauspotenzial	13-61
13.3.4	Sommersmogpotenzial	13-61
13.3.5	Versauerungspotenzial	13-62
14	**Die Verknappung der Ressourcen und das Nachwuchspotenzial des Waldes**	**14-64**
14.1	Substitution als Einsparpotenzial	14-65

14.2	Objektbezogenes Nachwuchspotenzial	14-66
15	**Fazit**	**15-69**
16	**Dissemination**	**16-70**
16.1	Ausstellung	16-70
16.2	Begleitprogramm	16-70
16.3	Symposium zu Ausstellung am 26.1.2012	16-71
16.4	Publikation	16-71
16.5	Weitere Verwendung	16-71
17	**Quellen Teil 2**	**17-73**

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3-1: ProgRess Inhaltssturktur 3-18
Abb. 7-1: Integration des neu zu entwickelnden Kriteriums Nachwuchspotenzial in eine Ökobilanzierung (LCA) für Bauen mit Holz 7-26
Abb. 7-2: Vergleich der anfallenden Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche für die Forstwirtschaftsjahre 1982/1985 und 2006 bis 2009 (BMELV 2009, eigene Berechnung) 7-31
Abb. 8-1: Baumartenanteil am Vorrat (modifiziert nach Oehmichen et al. 2011). 8-33
Abb. 12-1: Ökologische Baustoffeinteilung 12-39
Abb. 12-2: Kohlenstoff und Photosynthese 12-40
Abb. 12-3: Vom Baum zum Baustoff bis zum End of Life 12-41
Abb. 12-4: von der Wiege bis zur Bahre 12-43
Abb. 12-5: Fossile Rohstoff-Chemie, unterbrochener Kreislauf 12-44
Abb. 12-6: Pflanzen-Chemie, geschlossener Kreislauf 12-45
Abb. 12-7: Struktur des Bewertungssystems BNB 12-46
Abb. 12-8: Erfassung der Lebenszyklusphasen in der Ökobilanz 12-47
Abb. 12-9: Materialbezogene End of Life-Regeln 12-48
Abb. 13-1: Kubatur und Fläche der 5 Gebäude 13-50
Abb. 13-2: Ausführung reales Gebäude - Standardvariante 13-51
Abb. 13-3: Projekte und Architekten 13-51
Abb. 13-4: Lebenshilfe Lindenberg Schnitt, Detail 13-52
Abb. 13-5: Lebenshilfe Lindenberg Ansicht, Innenraum Kantine 13-52
Abb. 13-6: Finanzamt Garmisch – Partenkirchen Grundriss, Detailschnitt 13-53
Abb. 13-7: Finanzamt Garmisch-Partenkirchen Ansicht Innenhof, Eingangshalle Rohbau 13-53
Abb. 13-8: Gemeindezentrum Ludesch Grundriss EG, Detailschnitt 13-54
Abb. 13-9: Gemeindezentrum Ludesch Ansicht Eingangsbereich, Seminarraum 13-54
Abb. 13-10: Wohnungsbau Samer Mösl, Grundriß, Detailschnitt 13-55
Abb. 13-11: Wohnungsbau Samer Mösl, Ansicht, Innenraum 13-55
Abb. 13-12: Fachhochschule Kuchl, Grundriss, Detailschnitt 13-56
Abb. 13-13: Fachhochschule Kuchl, Ansicht 13-56
Abb. 13-14: Materialkonzepte Gebäude, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend 13-57
Abb. 13-15: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar 13-59
Abb. 13-16: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar 13-60
Abb. 13-17: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar mit Heizwert 13-60
Abb. 13-18: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial 13-61
Abb. 13-19: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Sommersmogpotenzial 13-62
Abb. 13-20: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Versauerungspotenzial 13-63
Abb. 14-1: Bauen mit Baustoffen aus nicht erneuerbaren Rohstoffquellen 14-64

Abb. 14-2: Bauen mit Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffquellen 14-65
Abb. 14-3: Kohlenstoff im Wald und im Kohlenstoffspeicher-Zunahme der Einsparung 14-66
Abb. 14-4: Nachwuchspotenzial durch Holznutzung in den Objekten, absolute Menge 14-68
Abb. 14-5: Nachwuchspotenzial in kg CO_2/m²BGF durch Holznutzung in den Objekten, relative Menge 14-68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: Annahmen zur Ermittlung der Nachwuchspotenziale für einzelne Produkte 6-25
Tabelle 7-1: Überblick zu Effekten von Einflussfaktoren auf das Nachwuchspotenzial (++: starke Erhöhung, +: Erhöhung, o: keine Änderung, -: Verringerung, --: starke Verringerung) 7-28
Tabelle 7-2: Zuwächse, Rohdichten und C-Bindung der Hauptbaumarten ([1] Polley et al. 2009; [2] Oehmichen et al. 2011; [3] eigene Berechnung) 7-29
Tabelle 7-3: Grenzen für die Umtriebszeiten der Hauptbaumarten (nach Bundesministerium der Finanzen 1956) 7-29
Tabelle 7-4: Anfallende Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche bei der Modellierung von Modelbeständen (Eigene Berechnung) 7-30
Tabelle 7-5: Anfallende Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche für die Forstwirtschaftsjahre 2006 bis 2009 (BMELV 2009) 7-30
Tabelle 7-6: Nachwuchspotenziale für wesentliche Holzprodukte aus den Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche (Eigene Berechnung) 7-32
Tabelle 13-1: Flächen und Kubaturwerte, Holzverbrauch 5 Gebäude 13-49
Tabelle 14-1: Einsparung durch Materialwechsel der Primärkonstruktion 14-67

1 Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

1.1 Allgemeine Begriffe

Baustoff
Für das Bauen bestimmter Stoff, dessen Abmessungen für das daraus herzustellende Bauhalbzeug, Bauteil, Bauwerksteil oder Bauwerk nicht maßgebend sind. Baustoffe sind Zement, Sand, Kies, Wasser, nicht zugeschnittenes Holz und dgl.

Bauhalbzeug
Aus der Verarbeitung von Baustoffen entstandenes Erzeugnis, dessen Abmessungen in seiner weiteren Verwendung in einer oder zwei Richtungen unverändert bleiben. Bauhalbzeuge sind Profile, nicht abgelängter Baustahl, Kabel, Bretter und dgl.

Bauprodukt
Ein Baustoff oder Bauhalbzeug, dessen Gebrauchseigenschaften durch Normung oder Bauzulassung genau bestimmt sind. Ein Hersteller übernimmt die Garantie für die definierten Gebrauchseigenschaften. Die europäische Bauprodukten-Richtlinie fasst den Begriff unter dem juristischen Aspekt weiter und versteht unter dem Bauprodukt Erzeugnisse vom Stoff über das Bauteil bis hin zum Fertighaus, d.h. alles was als Bauprodukt in den Handel kommen kann.

Bauteil
Bauprodukt, das als bestimmte Einheit ausgebildet ist und in allen diesen Dimensionen festgelegte Größen hat. Bauteile sind Fenster, Türen, Geräte und dgl.

Konstruktionsprodukt
Ein Konstruktionsprodukt ist die Bezeichnung für einen Baustoff, ein Bauhalbzeug oder ein Bauteil, der in einer konkreten Konstruktion eingesetzt wird, z.B. eine Betonplatte als Fertigteil in einem bestimmten Gebäude.

Bauelement
Bauteil eines Bauwerks mit einer bestimmen Funktion. Bauelemente sind Dächer, Decken, Außenwände, Innenwände, Heizungsanlagen und dgl.. Je nach Komplexität der Zusammensetzung werden unterschieden: Makroelemente, Grobelemente, Feinelemente. Bauelemente werden im eingebauten Zustand betrachtet und repräsentieren neben der stofflich-konstruktiven bzw. systemtechnischen Lösung auch die Herstellungs- und Einbautechnologie.

1.2 Ökologische Begriffe

Ökologie/ökologisch
Ökologie ist die Lehre von den Beziehungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt.

Bauökologie/bauökologisch
Die Bauökologie untersucht und bewertet die Wechselwirkungen zwischen Bauprodukten, Bauwerken sowie/oder Siedlungen und der Umwelt mit dem Ziel, das Umweltgleichgewicht aufrechtzuerhalten. Teilaspekte sind die Vermeidung, Verringerung und/oder Kompensation von Ressourceninanspruchnahme, der Einträge von Abfällen oder Gefahrstoffen in die

Umwelt sowie die Vermeidung oder Verringerung unerwünschter Folgen für die Umwelt, die Flora und Fauna sowie die Gesundheit und die Lebensqualität der Menschen.
I.d.R. werden Energie- und Stoffströme aggregiert und bewertet, die typische Betrachtungsebene ist der Lebenszyklus von Bauwerken.

Baubiologie/baubiologisch
Die Baubiologie untersucht die Wechselwirkung zwischen der gebauten Umwelt und dem Menschen (i.d.R. als Einzelindividuum im Sinne von Bewohner, Nutzer, Bauarbeiter). Ziel ist der Schutz der Gesundheit und Behaglichkeit der Einzelpersonen sowie von kulturellen Werten.
I.d.R. werden Risiken für die Umwelt und Gesundheit lokalisiert, die typische Betrachtungsebene ist der Arbeitsplatz bzw. der Arbeitsraum.

Nachhaltigkeit
Nachhaltigkeit im Sinne der deutschen Übersetzung für das Leitbild „sustainable development“ bedeutet die Sicherung der dauerhaften und zukunftsverträglichen Entwicklung, die einerseits die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt ohne andererseits zu riskieren, dass künftige Generationen ihre Bedürfnisse nicht befriedigen können (Verteilungsgerechtigkeit). Nachhaltigkeit besitzt neben der ökologischen auch eine ökonomische und eine soziale Dimension.

nachhaltiges Wachstum
Wirtschaftliches Wachstum, welches auf Industrien und industrielle Arbeitsweisen aufbaut, die erneuerbare Ressourcen einsetzen und die irreversible Nachteile für die Umwelt gering halten bzw. vollständig zu vermeiden versuchen.

Umwelteinwirkung
Durch Menschen (antropogene) oder anderweitige (z.B. geogene) verursachte Einflüsse auf die Umwelt.

1.3 Ökobilanz

Lebenszyklus
Lebenszyklus oder Lebensweg eines Produktes bezeichnet ein Konzept bei LCA und Stoffstromanalyse, das für Produkte oder Dienstleistungen alle Umwelteffekte von der „Wiege“ (Rohstoff- oder Primärenergiegewinnung) bis zur „Bahre“ (Entsorgung oder Recycling) ermittelt, inkl. der aus der Herstellung notwendiger Materialien, Transporten und der Nutzungsphase stammenden Umwelteffekten. Die Verknüpfungen aller Module/Prozesse, die einen Lebensweg bilden, werden als Prozessketten bezeichnet.

Basisdatensatz
Basisdatensätze stellen in Datenbanken zur Ermittlung kumulierter Sachbilanzen die Grundlage für eine Verknüpfung von prozessbezogenen Energie- und Stoffströmen mit Basisdaten dar. Typische Basisdatensätze liegen für Grundstoffe sowie für Energie- und Transportdienstleistungen vor.

Sachbilanz
Die Sachbilanz umfasst die Energie- und Stoffflüsse in der Ökosphäre (Ressourcen- und Energieverbrauch, alle Emissionen in Luft, Wasser und Boden sowie alle Abfälle) innerhalb eines gewählten und sowohl zeitlich als auch räumlich zu definierenden Bilanzrahmens und für eine exakt zu beschreibende funktionelle Einheit (Produkt oder Dienstleistung). Die in einer Matrix sachgerecht systematisierten Daten geben Auskunft über die

Ressourceninanspruchnahme (inputseitig) sowie über Abfälle und Emissionen (outputseitig), nicht aber über deren Auswirkung auf die Umwelt.
Sachbilanzen umfassen Datensammlungen und Berechnungsverfahren zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse eines Produktsystems. Die Inputs und Outputs können sich auf die Beanspruchung von zum System gehörenden Ressourcen sowie auf die Emissionen in Luft, Wasser und Boden beziehen.

LCI, Life Cycle Inventory Analysis
Englische Bezeichnung für Sachbilanz, Inventarisierung der Stoffströme, Auflistung der Sachbilanz

Kumulierte Sachbilanz
Die kumulierte Sachbilanz stellt die (i.d.R. rückschauende) Summe der Energie- und Stoffströme zu einem gewählten Betrachtungszeitpunkt einschließlich der bis zu diesem Zeitpunkt erforderlichen energetischen und stofflichen Vorstufen dar. Typische Zeitpunkte für Bauprodukte sind
- Werktor aufgeladen
- Im Bauwerk eingebaut
- Aus Bauwerk ausgebaut und entsorgt

Bewertete Sachbilanz = Wirkungsbilanz
Sachbilanz, die unter Verwendung einer Bewertungsmethode unter Nutzung der von dieser vorgegebenen Bewertungsdaten in eine Wirkungsbilanz transformiert wird, um die Folgen von Energie- und Stoffströmen für die Umwelt und die Gesundheit darzustellen und zu bewerten. Die Ausführlichkeit, die Auswahl der zu beurteilenden Wirkungen und die anzuwendenden Methoden hängen vom Ziel und Untersuchungsrahmen ab.

Funktionelle Einheit
Quantifizierter Nutzen eines Produktsystems als Vergleichseinheit in einer Ökobilanz. Auf die Funktionelle Einheit werden alle Daten einer Ökobilanz bezogen.

Allokation
Verfahren bekannt aus der Betriebswirtschaft zur Zuordnung und quantitativen Aufteilung der Input- und Outputflüsse eines Prozesses mit mehreren Produkten auf die einzelnen Produkte. Erforderlich bei Mehrproduktsystemen, um auch zu einzelnen (freigeschnittenen) Produkten Ökobilanzen erstellen zu können. Die Allokation kann erfolgen nach z.B. Masse, Inhaltstoffen, technischen Zusammenhängen oder Preisen. Die Allokation ist eine wichtige Methode um sinnvolle Aussagen aus Prozesskettenanalysen für einzelne Produkte generieren zu können

(ökologische) Bewertungsmethode
Methode zur Bewertung von Sachbilanzen, welche die Umwelteinwirkungen beschreibt und bewertet (ggf. auch gewichtet und aggregiert). Es existieren verschiedene Bewertungsmethoden, die auf unterschiedlichen Grundlagen basieren (politischen, naturwissenschaftlichen, ökonomischen).

LCA, Life Cycle Assessment [PE2005]

Life Cycle Assessment; im deutschen Sprachraum Lebensweganalyse oder Lebenswegbewertung oder allgemein Ökobilanz. Erlaubt, die Lebenszyklen von Produkten und Dienstleistungen auf ihre ökologischen Auswirkungen hin zu untersuchen und transparent darzustellen.
LCA ist die Zusammenstellung der Stoff- und Energieflüsse, die für ein Produkt entlang seines gesamten Lebensweges verursacht werden (Sachbilanz, Life Cycle Inventory

Analysis (LCI)); Zusammenführung der Belastungen nach Wirkungen (Wirkungsanalyse, Life Cycle Impact Assessment (LCIA)) und Bewertung mit unterschiedlicher Aggregierung. Standardisierte Vorgehensweise nach ISO 14040 ff.

LCIA, Life Cycle Impact Assessment, Wirkungsabschätzung
Phase einer LCA, die die Sachbilanzdaten zu ökologische Wirkungen aggregiert Damit werden die Ergebnisse aus der Sachbilanz in ihrer Wirkung auf die Umwelt beurteilt.

Klassifizierung [PE2005]
Element innerhalb einer Sachbilanz. Bei dem Sachbilanzdaten den verschiedenen Wirkkategorien zugeordnet werden.

Input
Stoffe oder Energien, die einem Prozess oder einem System zugeführt werden. Ein Stoff kann sowohl Rohstoff als auch Produkt sein.

Primärenergie, PE [PE2005]
Der Energieinhalt der Energieträger in ihrer Ursprungsform. Die durch die Gewinnung, Umwandlung und Bereitstellung der Nutzenergie notwendigen Aufwände werden in Ökobilanzen auf die dafür notwendige Menge an Primärenergieträgern zurückgerechnet. Beispiele hierzu sind Erdöl, Erdgas, Kohle, Wasserkraft, Windkraft und Uran. Unterschieden wird in erneuerbare PE (Wind, Wasser, nachwachsende Rohstoffe) und nicht erneuerbare PE.

Output
Stoff oder Energie, der/die von einem Prozess oder einem System abgegeben wird. Kann sowohl Produkt, als auch Schadstoff, Emission oder Abfall sein.

CML, Charakterisierungsansatz, problemorientiert [PE2005]
Etablierte Methode der Wirkungsabschätzung, die eine Liste an Wirkungskategorien beschreibt, die u.a. von der SETAC Europe Arbeitgruppe „Impact Assessment“ erarbeitet wurde. Die Wirkungen fokussieren auf die so genannten „Midpoints“ der „Ursache-Wirkungs-Kette“

Treibhauseffekt [PE2005]
Die von der Sonne auf die Erdoberfläche abgestrahlte Energie wird zum Teil reflektiert, zum Teil absorbiert. Der absorbierte Anteil führt zur Erwärmung von Boden, Wasser und Luft. Relativ kurzwellige UV/VIS-Strahlung trifft auf den Boden auf und wird, zu größeren Wellenlängen hin verschoben, als Wärmestrahlung (IR-Wellenlängenbereich) in die Atmosphäre abgestrahlt. Bestimmte Spurengase der Erdatmosphäre tragen nun dazu bei, die Troposphäre aufzuheizen, indem sie die einfallende Sonnenstrahlung nahezu ungehindert durchlassen, aber einen großen Teil der von der Erde wieder ausgesandten Infrarotstrahlung absorbieren und so die Wärme nicht wieder in den Weltraum abgestrahlt werden kann (analog Gewächshaus [Treibhaus], Wintergarten). Damit findet eine zusätzliche Wärmespeicherung in der Atmosphäre statt. Beispiele für solche klimarelevanten Spurengase sind Wasserdampf (H2O) und Kohlendioxid (CO_2). Zurzeit beträgt die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. +15°C. Ohne den bereits von FOURIER und ARRHENIUS beschriebenen „natürlichen Treibhauseffekt“ läge diese durchschnittliche Temperatur der Erdoberfläche um 33K niedriger; bei ca. -18°C. Kein Lebewesen wäre dann überlebensfähig. Der Wasserdampf in der Troposphäre hat den größten Anteil am natürlichen Treibhauseffekt. Von den genannten 33°C Temperaturdifferenz rechnet man dem Wasserdampf etwa 21°C und dem Kohlendioxid etwa 7°C zu. Durch die aufgrund menschlicher Aktivitäten freigesetzten so genannten anthropogenen Treibhausgase wie

Kohlendioxid, Methan, FCKWs usw. findet Konzentrationszunahme der treibhausrelevanten Spurenemissionen statt. Diese verursachen einen zusätzlichen Treibhauseffekt.

GWP, Global Warming Potential, CO_2-Äquivalent
Ökologische Bewertungsmethode, welche alle treibhausrelevanten Emissionen ihrer Wirkung gemäß summiert. Andere Gase als CO_2 (z. B. CH_4 und N_2O sowie SF6, PFC und HFC) werden so auf CO_2 umgerechnet (Äquivalenzfaktoren).

Versauerungspotenzial, Schwefeldioxid-Äquivalent, SO_2, AP, Acidification Potential
Das quantitative Versauerungspotenzial wird in SO_2-Äquivalenten angegeben. Orientierungsstoff für die Bildung des Versauerungspotenzials ist SO_2 (Schwefeldioxid) mit AP=1,0 auf das die Wirkung der anderen versauernd Neben SO_2 werden auch die Luftschadstoffe NOx, HCl, HF, NH_3 und H_2S mit ihrer auf SO_2 bezogenen Wirkung berücksichtigt.

CSB [PE2005]
Chemischer Sauerstoffbedarf, Kenngröße für die Gesamtbelastung des Abwassers mit organischen Stoffen. Der CSB-Wert gibt die benötigte Menge an Sauerstoff an, die für den chemischen Abbau dieser Stoffe nötig ist (Oxidation).

Eutrophierung [PE2005]
Als Eutrophierung wird der Vorgang bezeichnet, bei dem an einem Standort eine Nahrungs- und Nährstoffanreicherung erfolgt. Dieser Begriff wird für den Vorgang der Überdüngung durch natürliche und anthropogen bedingte Anreicherung und die dadurch auftretende Störung des biologischen Gleichgewichtes verwandt. Man unterscheidet hierbei zwischen aquatischer und terrestrischer Eutrophierung in Abhängigkeit davon, ob der Schadstoffeintrag in Gewässer oder in Form luftgetragener Emissionen in Böden erfolgt. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird als Eutrophierung nur eine Überdüngung von Oberflächengewässern und Meeren verstanden. In der Natur läuft dieser Prozess zum Beispiel während des langsamen Alterns von Seen ab, aber er kann durch aus der Landwirtschaft stammendes abfließendes Wasser (Einträge von Stickstoff (N) und Phosphor (P)) und durch Einleitung häuslicher und industrieller Abwässer beschleunigt werden.

Eutrophierungs- Überdüngungspotenzial, NP, Nutriphication Potential [PE2005]
auch Überdüngungspotenzial. Die Bezugsgröße für das Eutrophierungspotenzial ist Phosphat (PO4 3-) mit einem EP von 1,0 in kg PO4- Äquivalent. Andere eutrophierende Emissionen werden auf die wirkungsäquivalente Phosphatmenge bezogen.

Ozonabbaupotenzial ODP, Ozone Depletion Potential [PE2005]
in kg R11-Äquivalent, Stratosphärischer Ozonabbau, Beitrag der Emissionen zum Ozonabbau. Ozon bildet in der Stratosphäre eine Schicht (Ozonschicht), die Pflanzen und Tiere vor einem Großteil der schädlichen UV-Strahlung der Sonne schützt. Die Ozonmenge ist bedingt durch CFCs und halogenierte Kohlenwasserstoffe, die in die Atmosphäre abgegeben wurden, zurückgegangen. Ein Abbau der Ozonschicht wird die UV-Strahlung auf der Erdoberfläche erhöhen.

POCP Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial [PE2005]
Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial in kg C2H4- Äquivalent, auch Sommersmog, Ozonbildungspotenzial, bodennahe Ozonbildung (engl. Photochemical Ozone Creation Potential). Ozonbildungspotenzial ist das massebezogenes Äquivalent der Bildung von bodennahem (troposphärischen) Ozon durch Vorläufersubstanzen, die für die bodennahe O3- Bildung verantwortlich sind und so zum Sommersmog beitragen

Emissionen [PE2005]
Abgabe von industriellen Anlagen, Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren, Haushaltsheizungen oder bei sonstigen technischen Vorgängen in die Umwelt abgegebene feste, flüssige und gasförmige Stoffe oder Verbindungen sowie Geräusche, Strahlen, Wärme, Erschütterungen und ähnliche Erscheinungen.

Auswertung
Bestandteil einer Ökobilanz, bei dem die Ergebnisse der Sachbilanz und/oder der Wirkungsabschätzung mit dem festgelegten Ziel und Untersuchungsrahmen zusammengeführt werden, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen, Optimierungsansätze zu erkennen, Schwachstellen zu identifizieren und Empfehlungen geben zu können.

Normalisierung [PE2005]
Die Ergebnisse der Sachbilanz oder der Wirkungsabschätzung können in verschiedenen Einheiten und vor allem in stark unterschiedlichen Größenordnungen vorliegen. Um die Relevanz der einzelnen Beiträge zu einem Umweltproblemfeld darstellen und ermitteln zu können und um die differierenden Einheiten der Wirkungsabschätzung zu einander in Beziehung setzten zu können, ist eine Normalisierung sinnvoll. Die Normalisierung verdeutlicht den Anteil einer Umweltwirkung (GWP, ODP, AP, und andere) der durch einen Prozess, Produkt oder Lebenszyklus in Bezug auf einen Gesamtbetrag einer übergeordneten Bezugseinheit (Land, Kontinent, Welt) verursacht wird. Die Normalisierung ist ein wichtiger Schritt ohne den eine Gewichtung unterschiedlicher Umweltwirkungen (aufgrund der verschieden Bezugsgrößen und Einheiten) keinen Sinn macht.

Gewichtung [PE2005]

Die Gewichtung der einzelnen Umweltwirkungen untereinander ist ein Aspekt der ökologischen Bewertung im Rahmen von Life Cycle Engineering und Life Cycle Assessment, falls die unterschiedlichen Umweltwirkungen auf eine gemeinsame Kennzahl verdichtet werden sollen. Dieser Teil der Bewertung ist nicht naturwissenschaftlich begründbar. Es erfordert daher einen sorgsamen Umgang mit wertgetragenen Entscheidungen und Wertesystemen. Grundlage einer solchen Gewichtung können unterschiedliche Wertesysteme sein, die politisch oder gesellschaftlich gewonnen werden können, oder einer Unternehmenspolitik entsprechen. Durch eine Gewichtung erhält man keine neuen Erkenntnisse, sondern verdichtet lediglich Informationen. In der Praxis der industriellen Produktentwicklung und –optimierung wird daher oftmals auf eine explizite Gewichtung verzichtet.

Vollaggregation
Ökologische Bewertungsmethode, welche alle Umwelteinwirkungen durch eine Gewichtung und Aggregation zu einer Kenngröße zusammenfasst.

Kritische Volumina (Buwal SRU 132)
Ökologische Bewertungsmethode, welche die Umwelteinwirkungen nach Emissionsgrenzwerten gewichtet.

Umweltbelastungspunkte UPB (Buwal, SRU 133)
Ökologische Bewertungsmethode, welche die Umwelteinwirkungen nach Zielmengen (Maßzahl) von bestimmten Schadstoffen nach dem Konzept der ökologischen Knappheit gewichtet. Die Methode errechnet die durch Emissionen bis zum gesetzlichen Grenzwert belastete Menge an Luft und Wasser.

Eco-Indicator-Points (Buwal, SRU 250 b Draft)
Ökologische Bewertungsmethode, welche das Schadensausmaß der wirkungsorientierten Klassifikation nach CML auf die Beeinträchtigung des Ökosystems, die Gesundheit und der Anzahl Todesfälle betrachtet.

Eco-Indicator 95 [PE2005]
Methode aus den Niederlanden zur Wirkungsabschätzung. Für die Bestimmung der Faktoren wird der so genannte „Distance-to-target“ Ansatz verwendet. Die zugrunde liegende Annahme ist, dass es eine Wechselbeziehung zwischen der Bedeutung eines Umwelteffektes und dem Abstand zwischen dem gegenwärtigen Niveau und dem Zielniveau gibt. Wenn also eine bestimmte Auswirkung auf die Umwelt im Zukunft um 20 % verringert werden muss und eine andere um 10 %, dann wird die erste als doppelt so schädigend angesehen.

Eco-Indikator 99 [PE2005]
Wurde in den Niederlanden für DesignerInnen und ProduktmanagerInnen entwickelt. Schadstoffemissionen werden Wirkungskategorien (Midpoints) zugewiesen und mittels Division durch nationale Gesamtwirkungspotenziale normiert. Die Umwelteffekte werden sog. Schadenskategorien (Endpoints) (Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Qualität des Ökosystems, fossile und mineralische Ressourcen) zugeordnet.

EPS [PE2005]
Environmental Priority System, Das in Schweden für den Produktentwicklungsprozess entwickelte EPS- Modell erfasst die Auswirkungen auf die Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“, „Biodiversität“, „Produktionskapazität des Ökosystems“, „abiotische Ressourcen“ und „ästhetische Werte“. Es drückt diese als monetarisierte Werte von Marktpreisen, der Zahlungsbereitschaft (willingness to pay) (z.B. für die Erhaltung von Arten oder Naturräumen), sowie der Kosten für eine nachhaltige Nutzung von Energie und Ressourcen aus.

IMPACT 2002+ [PE2005]
Methode der Wirkungsabschätzung, die einen kombinierten „Midpoint-/Damage“ Ansatz vorschlägt und alle elementaren Sachbilanzdaten über 14 Midpoint- Kategorien auf vier Schadens-Kategorien abbildet.

1.4 Deklarationen

Produktumweltdeklaration (UBP/EPD) [PE2005]
Systematische Darstellung von ökobilanzierten Umweltkennzahlen innerhalb eines definierten Rahmens. ISO/TR 14025 regelt die Anforderungen an ein Umweltdeklarationssystem (ISO Typ III). Umweltdeklarationen eignen sich in besonderem Maße für Halbfertigprodukte, die in unterschiedlichen Produktsystemen eingesetzt werden und für die daher ein Teil des Lebenszyklus noch nicht feststeht.

Betriebliche Umweltbilanz
Zusammenfassende Bilanzierung der in ein Unternehmen ein- und ausgehenden Stoff- und Energieströme über einen bestimmten Zeitraum (in der Regel ein Jahr). Den eingehenden Strömen (Input) an Material, Energie und Wasser werden die ausgehenden Ströme (Output) wie Produkte, Abfall, Abluft, Abwasser und Energieabgabe gegenübergestellt. Kann als Teilaspekt einer Lebenszyklus-Umweltbilanz verstanden werden, berücksichtigt jedoch alle im Betrieb produzierten Produkte.

Materialbezeichner
Begriffe für Materialien, die auf die Material-Terminologie der Edition AUM abgestimmt sind und den Inhalt eines Datensatzes charakterisieren.

Energie- und Stofffluss-Komponente (E+S-Komponente)

Energie- und stoffflussrelevante Material-, Inventar- und Fremdleistungsdatensätze der Vorkalkulationsgrundlagen, die in die analogen Begriffe und Einheiten der Sachbilanzen transformiert worden sind. Die Kennzeichnung ist der Materialbezeichner.

Materialzuordnungsdatei
Zuordnungstabelle über die Materialbezeichner für die E+S-Komponenten, zu den Sachbilanzen bzw. den bewerteten Sachbilanzen.

Energie- und Stofffluss-Inventar (E+S-Inventar)
Kumulierte Energie- und Stoffflüsse aller relevanten Material-, Inventar- und Fremdleistungsdatensätze (E+S-Komponenten) einer Ausschreibungsposition.

Energie- und Stofffluss-Position (E+S-Position/Element)
Ergebnis der Bewertung der kumulierten Energie- und Stoffflüsse (E+S-Inventars) aller zugehörigen Ausschreibungspositionen für ein Element.

Energie- und Stofffluss-Katalog
Sammlung der E+S-Positionen zu den einzelnen Elementen. Sie sind entsprechend dem Elementkatalog gegliedert.

Öko-Kennwerte
Auf Makro-, Grob- und Feinelemente aggregierte Energie- und Stoffflüsse eines Objektes.

Stofffluss-Kennwerte-Katalog
Sammlung von bilanzierten Objekten mit Öko-Kennwerten. Der Stofffluss-Kennwerte-Katalog ist nach Bauwerksarten gegliedert. Die bilanzierten Objekte werden mit Ausführungsbeschreibung, Kostenkennwerten, Energiekennwerten, Öko-Kennwerten und Komfort-Kennwerten abgelegt.

1.5 Organisationen, Normen, Verordnungen, Institutionen

CEN
Europäische Standardisierungsorganisation, vergleichbar zu ISO (international) und DIN (national)

Technical Commitee (TC)
Technisches Komitee ist der Normenausschuss bei CEN

Working Group (WG)
Arbeitsgruppe im Normenausschuss für Teilbereiche im Normenausschuß.

Task Group (TG)
Untergruppen für spezielle Aufgabenbereiche im Normenausschuß.

ISO

Internationale Organisation für Normung. Ist die internationale Dachorganisation der nationalen Normungseinrichtungen aus 140 Ländern. Deutschland ist in der ISO durch das Deutsche Institut für Normung DIN repräsentiert. Die ISO bietet das weitverbreitetste Qualitätsmanagementmodell an und damit auch eine weltweit akzeptierte Definition von Qualität.

DIN
Deutsches Institut für Normung, ist die nationale Normungsorganisation in Deutschland.

ISO 14000
Die Internationale Organisation für Standardisierung (ISO) hat im TC 207 (Technical Commitee) unter den auf 14000 folgenden Ziffern eine Serie von Normen für Umweltmanagement (u.a. zu Umweltmanagementsystemen, LCA und Umweltkennzahlen) und damit zusammenhängende Methoden erstellt. ISO-Normen generell dienen dem grenzüberschreitenden Handel mit Gütern und Dienstleistungen, indem sie unabhängig überprüfte Standards der beteiligten Vertragspartner offen legen. ISO 14001 ist beispielsweise eine internationale Norm zur Implementierung eines systematischen Umweltmanagements.

DGNB
Deutsche Gesellschaft Nachhaltiges Bauen

BNB
Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen

BMVBS
Bauministerium für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung

2 Zusammenfassung

Mit der Frage nach zukunftsfähigen Bauweisen rücken innovative Konzepte, die sowohl der zunehmenden Rohstoffverknappung als auch der Energieeffizienz und dem Klimaschutz gerecht werden, immer mehr in den Fokus des gesellschaftlichen Interesses. Dabei werden neben der Nutzungsphase zunehmend auch die Entstehung und Entsorgung von Gebäuden in die Bewertung von Alternativen einbezogen.

Im Zertifizierungssystem des Bundes (BNB) und der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB) wird im Kriterienblock “Ökologische Qualität“ die Durchführung einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment - LCA) gefordert. Dabei sollen sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb des Gebäudes berechnet werden.

Es fehlt bisher ein Kriterium für die Ökobilanzierung, das den Vorteil der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Holz als regional nachwachsender Rohstoff quantifiziert herausstellt. Deshalb soll ein Kriterium "Nachwuchspotenzial" als neue Ökobilanzkategorie entwickelt werden.

Das Forschungsprojekt gliedert sich in drei unterschiedliche Arbeitspakete:

- die Ermittlung des Nachwuchspotenzials
- die Berechnung der Ökobilanz und der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe in fünf Gebäuden
- die Dissemination der Ergebnisse in einer Ausstellung und Durchführung eines Symposiums.

Die Zuwächse der Hauptbaumarten wurden anhand der Inventurstudie 2008 (aktualisierte Bundeswaldinventur 2) (Oehmichen et al. 2011, Polley et al. 2009) ermittelt. Die Zuwächse der Hauptbaumarten wurden anhand der Inventurstudie 2008 (aktualisierte Bundeswaldinventur 2) (Oehmichen et al. 2011, Polley et al. 2009) ermittelt. Die anfallenden Holzsortimente wurden durch die Auswertung aktueller Zahlen aus dem Holzmarktbericht 2009 ermittelt (BMELV 2009). Das Nachwuchspotenzial wurde für Schnittholz, Brettschichtholz und vier Holzwerkstoffe anhand von Annahmen berechnet.

Um die komplexen Umwelteinflüsse bei der Baustoffproduktion und deren Verwendung zu erfassen, ist es notwendig, die in anderen Produktzweigen bekannte Methode der Lebenszyklusbetrachtung auf

Bauprodukte anzuwenden. Die dabei zu berücksichtigenden Prozesse gliedern sich in drei Phasen

- Stoffbildung (Gewinnung, Herstellung)
- Stoffgebrauch (Verarbeitung, Nutzung)
- Stoffauflösung (Abbruch, Beseitigung/Rückführung).

Die Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht die Folgen von Produktprozessen, auch wenn diese in der Dauer generationenübergreifend sind, das heißt in eine Zukunft von 50 oder 100 Jahren reichen. Die Gliederung in Baustoffe mit nicht erneuerbarem und erneuerbarem

Kohlenstoff, der Zurichtungsgrad und die Lebenszyklusbetrachtung finden sich heute in der Ökobilan-zierung wieder.
Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden fünf Gebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Das Ziel bestand darin, neben dem physischen Gebäudemodell auch ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung zu formulieren. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz.

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Das neu entwickelte und in dieser Studie vorgeschlagene Kriterium Nachwuchspotenzial kann quantitativ darstellen, wie viel Holz in derjenigen Zeit nachwächst, in der das genutzte Holz als Holz-Bauprodukte bzw. Bauteile in Gebäuden eingesetzt wird. Dadurch ist eine Verknüpfung der Kohlenstoffbindung im Wald durch nachwachsendes Holz mit der Kohlenstoffspeicherung des verwendeten Holzes in Gebäuden möglich.

- Mit dem neuen Kriterium kann in Ökobilanzen einer der entscheidenden Unterschiede des Baustoffes Holz im Vergleich zu anderen nicht nachwachsenden Baustoffen dargestellt werden.

Die Berechnungsmethodik auf der Basis von statistisch erhobenen Daten der Hauptbaumarten Deutschlands und des Sortimentsanfalls, erlaubt eindeutige Quantifizierungen der benötigten Flächen und Baumarten je nach dem Anteil nachwachsender Rohstoffe für ein spezifisches Gebäude.
Eine verstärkte Nutzung von Holz und biogenen Baustoffen im Neubau und der Modernisierung bietet aufgrund der bekannten ökologischen Qualitäten eine wirksame Reduktion des Einsatzes an nicht erneuerbaren Ressourcen. Die Einsparung nicht erneuerbarer Ressourcen findet sowohl in der Herstellungsphase, als auch während des Gebäudeunterhalts und bei der Entsorgung am Ende des Lebenszyklus statt. Damit erbringen nachwachsende Rohstoffe einen aktiven Beitrag zur Reduktion der CO_2 -Emissionen zur Erreichung der globalen Klimaschutzziele.
Das vorliegende Forschungsprojekt schafft die Grundlagen einer materialgerechten Berechnung des ökologischen Potenzials nachwachsender Rohstoffe und liefert einen wichtigen Baustein für einen ganzheitlichen Ansatz bei der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Neubau- und Sanierungsvorhaben (Lebenszyklusbilanzierungen).

3 Veranlassung und Aufgabenstellung

Neben seiner ressourcenschonenden und energieeffizienten Bauweise rückt der materialgerechte Einsatz von Holz zunehmend in den Vordergrund von Planern und Fachleuten. Die zunehmende Technologisierung und Vorfertigung im handwerklich geprägten Holzbau erlaubt in Zusammenspiel mit innovativen Bauprodukten und Verbindungsmitteln nicht nur vielfältige Gestaltungsmöglichkeiten, sondern liefert auch einen Beitrag zur Steigerung der Wertschöpfung gerade im ländlichen Raum.

Mit der Frage nach zukunftsfähigen Bauweisen rücken innovative Konzepte, die sowohl der zunehmenden Rohstoffverknappung als auch der Energieeffizienz und dem Klimaschutz gerecht werden, immer mehr in den Fokus des gesellschaftlichen Interesses. Dabei werden neben der Nutzungsphase zunehmend auch die Entstehung und Entsorgung von Gebäuden in die Bewertung von Alternativen einbezogen.

Holz ist aufgrund seiner positiven Umwelteigenschaften (insb. Ressourcenschonung als nachwachsender Rohstoff, Beitrag zum Klimaschutz durch Bindung und Speicherung von Kohlenstoff) ein besonders wichtiger Roh- und Baustoff im Kontext des nachhaltigen Bauens. Allerdings wird dieser Stellenwert in deutschen Zertifizierungssystemen bisher nicht angemessen dargestellt.

Es fehlt bisher ein Kriterium für die Ökobilanzierung, das den Vorteil der räumlichen und zeitlichen Verfügbarkeit von Holz als regional nachwachsender Rohstoff quantifiziert herausstellt. Die bisher bestehende Gleichbehandlung von Bauprodukten mit fossilem mineralischen oder metallischen Rohstoffhintergrund und nachwachsendem Rohstoffkonzept in der Ökobilanzierung soll durch die Untersuchung des Nachwuchspotenzials ergänzt werden. Deshalb soll ein Kriterium "Nachwuchspotenzial" als neue Ökobilanzkategorie entwickelt werden.

Die Ergebnisse dieser komplexen Untersuchung sollen grafisch leicht verständlich aufbereitet und im Rahmen der Architekturausstellung der Öffentlichkeit vorgestellt werden. In diesem Kontext wird im Architekturmuseum der Pinakothek der Moderne, Deutschlands erster Adresse für Architekturausstellungen, die Ausstellung „BAUEN MIT HOLZ – WEGE IN DIE ZUKUNFT“ stattfinden. Die Ausstellung soll sich vom üblichen Schema der Architekturdarstellung lösen und der Lern- und Erkenntniseffekt der Präsentation von wissenschaftlich aufgearbeiteten Fakten das Spektrum gewöhnlicher Architekturwahrnehmung gesteigert werden.

Das vom Kabinett der Bundesregierung Anfang 2012 beschlossene Programm für Ressourceneffizienz (ProgRess) hat deutlich gemacht, dass die Thematik der schwindenden Ressourcen nach dem Energiedesektor nun auch die materialverarbeitenden Branchen, vor allem die Baubranche, erreicht hat. In der folgenden Abbidlung der Inhaltsstruktur des Programms wird bei den biotischen Rohstoffen die stoffliche Nutzung explizit angesprochen. Die vorliegende

Forschungsarbeit widmet sich diesem Thema mit der Frage nach dem Substitutionspotenzial für nachwachsende Rohstoffe.

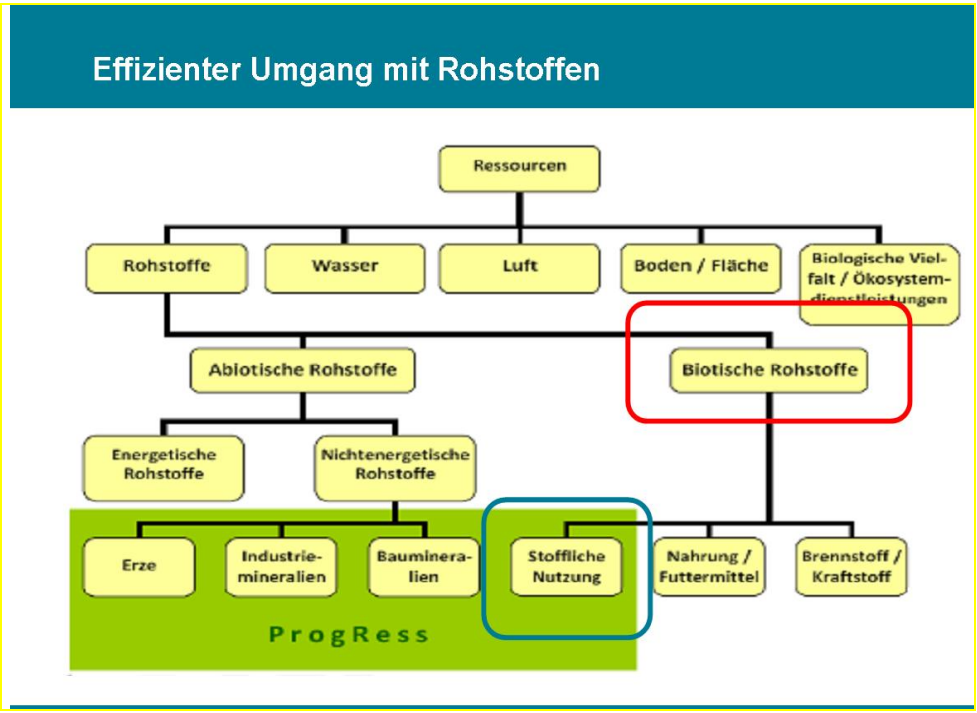

Abb. 3-1: ProgRess Inhaltssturktur

4 Ausgangslage

Lange Zeit beschränkte sich die Baustoffkunde ausschließlich auf das Aufzählen der stofflichen, physikalischen und chemischen Eigenschaften der Materialien, Aspekte wie Gesundheit, Komfort, Umweltbelastung und Umweltfolgen spielten dagegen keine Rolle. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhundert wurde allmählich ein Zusammenhang zwischen Umwelt- und Gesundheitsschäden und den Aktivitäten der Baustoffindustrie hergestellt. Die Umweltbewegung, die in den USA mit der Veröffentlichung des Buches „Silent Spring“ von Rachel Carson[CAR62] im Jahre 1962 ihren Ausgangspunkt hatte, begann sich erst langsam in Deutschland zu formieren. In den 1960er- und 70er-Jahren kam es zu Gesundheitsskandalen im Zusammenhang mit Asbest (Zuschlagstoff in Putzen und Platten), Formaldehyd (Spanplattenkleber) und Pentachlorphenol (Holzgiftmittel). Die Schwefeldioxidproduktion bei Verbrennungsprozessen wurde in den 1970er-Jahren als Ursache des Waldsterbens (›Saurer Regen‹) erkannt und das wachsende Ozonloch entstand als Folge der Freisetzung von Fluorchlorkohlenwasserstoff (FCKW) aus Treibmitteln, unter anderem für geschäumte synthetische Baudämmstoffe. Die finanziellen Folgen dieser gesundheitlichen Schädigungen und Umweltzerstörungen schreckten langfristig die politischen Institutionen und Behörden auf und führten in Deutschland und Teilen Europas zu einer Veränderung der wissenschaftlichen, politischen und juristischen Rahmenbedingungen.
Die Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des 13. Deutschen Bundestages nennt als zentrales Ziel der nachhaltigen Entwicklung "die Sicherstellung und Verbesserung ökologischer, ökonomischer und sozialer Leistungsfähigkeiten"[ENQ1998]. Sie bezieht sich dabei auf das Dreisäulenmodel der Nachhaltigkeit in dem die Bereiche Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft gleichberechtigt behandelt werden und definierte in ihrem Bericht beispielhaft ökonomische, soziale und ökologische Handlungsanweisungen mit deren Hilfe eine nachhaltige Entwicklung erreicht werden soll.

4.1 Die Baubranche

Die Baubranche, eine der stoffstromintensivsten Branchen, kann maßgeblich zu der Erreichung von Nachhaltigkeitszielen beitragen. Voraussetzung dafür ist eine Kenntnis über die Menge der verursachten Stoff- und Energieströme und der Zeitpunkt ihres Einsatzes im Lebenszyklus eines Gebäudes. In einer Broschüre des Informationsdienstes BINE [BINE99] wurde bereits 1999 ein Planungs- und Bewertungshilfsmittel für die Umweltbelastung von Gebäuden, sowie Grenz- und Zielwerte gefordert. Der „Leitfaden Nachhaltiges Bauen“ des Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Städtebau [NABAU01] hat ein spezifisches Anforderungs-profil an das Bauen und Betreiben der bundeseigenen Liegenschaften vor-gegeben. Mit dem überarbeiteten „Leitfaden für nachhaltiges Bauen“ der 2011 durch das BMVBS[BMVBS2011 veröffentlicht wurde ist diese Voraussetzung erfüllt worden. Damit ist auch die Ursache für die in Deutschland noch nicht abgeschlossenen Harmonisierung von

Basisdaten und Bewertungskriterien [LUE03] beseitigt und eine wachsende Akzeptanz einer ökologischen Bewertung bei den Planern und Investoren ist erkennbar.

4.2 Bewertungs- und Zertifizierungssysteme

Im Zertifizierungssystem des Bundes (BNB) und der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB) wird im Kriterienblock "Ökologische Qualität" die Durchführung eines Life Cycle Assessment (LCA) gefordert. Dabei werden sowohl die Ressourceninanspruchnahme durch die Steckbriefe 1.2.1 und 1.2.2 (BNB) bzw. 10 und 11 (DGNB) als auch die Umweltwirkungen durch die Steckbriefe 1.1.1 – 1.1.5 (BNB) bzw. 1-5 (DGNB) durch Bau und Betrieb des Gebäudes berechnet. Das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtplanung (BMVBS) hat zur Durchführung der Berechnung eine Datenbank mit Ökobilanzmodulen öffentlich zu Verfügung gestellt, die Ökobau.dat. Die Datenbank umfasst mittlerweile über 600 Module, wobei eine Kerngruppe von ca. 330 Modulen einzelne Baustoffe oder Bauprodukte abbildet. Dadurch soll sichergestellt werden, dass die Berechnungen mit derselben Daten- grundlage durchgeführt werden. Diese Datenbank wurde von einem privaten Unternehmen
– PE International aus Stuttgart - im Rahmen eines Forschungsprojektes zusammengestellt. Der Hersteller verfügt über eine große Ökobilanzdatenbank und eine Ökobilanzierungssoftware (GABI), die seit den 90er Jahren in Deutschland im Rahmen von Forschungsprojekten bzw. in Kooperation mit der Industrie aufgebaut wurde und heute international eingesetzt wird. Die in der Datenbank zum Einsatz kommenden Rechenregeln entsprechen sowohl internationalen Konventionen, als auch branchenspezifischen Regeln.
Im europäischen Normenausschuß CEN TC 350 „Sustainability of Construction Works" wird seit 2004 daran gearbeitet die Rechenregeln für die Aufstellungen von Ökobilanzen branchenübergreifend und einheitlich zu lösen. Das Ergebnis für Bauprodukte soll in der Normung mit der Environmental Product Declaration (EPD) seine Form finden. Neben der Festlegung der verbindlich zu nennenden Indikatoren zur Umweltbewertung sind vor allem die Regeln zur Kalkulation der Lebenszyklusphasen Gegenstand der Auseinandersetzung zwischen den Branchen.

4.3 Metallische Rohstoffe als Baustoffe

Die Metallindustrie erkannte bereits in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts die Probleme, die mit der Ökobilanzierung für diese Branche entstehen könnten Ursache für die hohe Umweltbelastung von Metallen ist der hohe Energieaufwand bei der Gewinnung und Verhüttung der Erze. Dieser hohe Aufwand fällt bei der Einschmelzung und Wiederverwendung von Metallen nicht mehr an. Dadurch weisen Recyclingmetalle je nach Recyclinganteil bis zu 90 % weniger Belastung auf. Die hohe Energieeinsparung
führt zu einem hohen pekuniären Wert von Metall als gebrauchtem Wirtschaftsgut.
Dadurch kann die Branche hohe Recyclingquoten für alle Metalle nachweisen. Auf dem Hintergrund dieser Tatsachen entwickelte die Branche das Konzept des

„Recyclingpotenzials“ für die Gestaltung der Ökobilanz. Dabei wird die Möglichkeit der Wiederverwendung des frisch hergestellten Materials am Ende des Lebenszyklus bereits heute dem Material in der Ökobilanz gutgeschrieben. Diese Gutschriften führen zu einer deutlich niedrigeren Umwelt-belastung und damit besserem Gesamtergebnis der Metalle bezüglich der Umweltbelastung bei heutigem Materialeinsatz.
Da die Systemgrenze einer Ökobilanz im Rahmen des „cradle to grave“ Konzepts, d.h. von der Wiege bis zur Bahre gezogen wird und der Lebenszyklus des Produkts mit der Entsorgung des Materials endet, bedeutet diese Regelung streng genommen eine Erweiterung der Systemgrenze. Dabei spielt es keine Rolle ob der Lebenszyklus 10 oder 80 Jahre dauert.
Dieser Rechenansatz wurde innerhalb der Working Group (WG) 3 des oben erwähnten TCs diskutiert und bis 2010 als unzulässige Verrechnungslösung abgelehnt. Es wurde die Regelung gefunden, das Recyclingpotenzial als zusätzliche Information in der EPD auszuweisen in Form eines zusätzlichen Lebenszyklusmoduls „D“. Die Metallindustrie besteht weiterhin auf einer direkten Berücksichtigung des Recyclingpotenzials bei der Gesamt-rechnung. Mit diesem Beispiel wird deutlich, welche Bedeutung die Rechenkonventionen besonders beim Konzept der End of Life-Phase (EOL) haben.

4.4 Fossile Rohstoffe als Baustoffe

Erst langsam bilden sich eine Wahrnehmung und damit ein Bewusstsein von den schweren Umweltbelastungen der Kunststoffproduktion auf der Basis fossiler Rohstoffe. Im Film Plastic Planet von Werner Boote [BOT2009] wird auf die Lebenszykluskette von Produkten mit fossilem Rohstoffprofil mit den vielen Risikofaktoren hingewiesen. Dabei fällt einerseits die Persistenz der künstlich gebildeten Stoffe gegen Abbau und Wiedereingliederung in das Ökosystem auf. Dieses Stoffverhalten ist Ausdruck der Rezeptformulierung, die die Resistenz gegen frühzeitige Auflösung des Kunstprodukts zum Ziel hat. Die dabei eingesetzten Stoffe sind in vielen Fällen hochgiftige Einzelsubstanzen (Weichmacher, UV-Stabilisatoren usw.), die bei ihrer irgendwann erfolgenden Freisetzung die Vergiftung des Ökosystems (Erde, Wasser, Luft) und des Biosystems (Plankton, Fisch, Mensch) verursachen. Die beiden Ökoindikatoren mit der wichtigsten Aussage zu den Risken für die Umwelt, Ökotox und Humantox, wurden bisher von der Normung aus der Liste der zwingend in der Umweltproduktdeklaration (EPD) anzugebenden Indikatoren ausgeschlossen.

4.5 Nachwachsende Rohstoffe als Baustoffe

Die geringe Umweltbelastung von nachwachsenden Rohstoffen kommt einerseits durch den geringen Primärenergieaufwand bei der Rohsubstanz Zellulose zum Ausdruck. Die CO2-Akkummulation in der Herstellungsphase, ausgewiesen in Form der CO2-Gutschrift wird in der EOL-Phase wieder neutralisiert. Das Material wird entweder deponiert und zersetzt sich unter Freisetzung des CO2-Gehalts oder wird thermisch verwertet. In letzterem Fall gibt es in

der Ökobilanz bei Substitution von fossilen Energieträgern dafür Strom und Wärmegutschriften.
Diese Gutschriften werden auch bei synthetischen Stoffen berücksichtigt, da bei diesen Stoffen ebenfalls ein Heizwert vorhanden ist. Damit besteht in der vergleichenden Darstellung von Rohstoffen fossiler, mineralischer, metallischer und nachwachsender Herkunft innerhalb der Gestaltung der EOL-Phase kein Unterschied. Dieser besteht nur in der Höhe der Gutschriften entsprechend des Heizwertes.
Ein wesentliches Qualitätskennzeichen der erneuerbaren Rohstoffe liegt in ihrem Nachwuchspotenzial. In einem ersten Schritt soll dieses Potenzial verschiedener Rohstoffe mit dem Ökobilanzschritt ‚Sachbilanz' ermittelt werden. Die dabei ermittelten Mengen an Ressourcen sollen bezüglich der positiven Umweltwirkungen, z. B. Einsparung nichterneuerbarer Ressourcen, Verminderung von Emissionen in der Wirkungsabschätzung der Ökobilanz ausgedrückt werden.
Auf Basis dieser Bilanzansätze können die Umweltwirkungen verschiedener materialspezifischer Lösungsansätze im Gebäudebereich untersucht, berechnet , bewertet und verglichen werden.

5 Arbeitspakete

Das Forschungsprojekt gliedert sich in drei unterschiedliche Arbeitspakete:

- die Ermittlung des Nachwuchspotenzials
- die Berechnung der Ökobilanz und der Anteil der nachwachsenden Rohstoffe in fürnf Gebäuden
- die Dissemination der Ergebnisse in einer Ausstellung und Durchführung eines Symposiums.

5.1 Ziele der Arbeitspakete zum Nachwuchspotenzial

Hauptziel der Arbeitspakete 1.1 Spezifikation und 1.2 Nachwuchspotenzial war es, das Nachwuchspotenzial als Kriterium wissenschaftlich zu definieren und die forstliche Datengrundlage für die Berechnung des Nachwuchspotenzials bereitzustellen. Die spezifischen Fragen lauteten im Einzelnen:

- Welche relevanten Einflüsse sind beim Kriterium Nachwuchspotenzial zu berücksichtigen?
- Wie kann das Nachwuchspotenzial der mitteleuropäischen Hauptbaumarten (Fichte, Kiefer, Buche, Eiche) ermittelt werden?
- Wie kann das Nachwuchspotenzial einzelner Produkte bestimmt werden?
- Inwieweit beeinflussen die getroffenen Annahmen das Ergebnis?
- In welchen Bereichen muss das Kriterium Nachwuchspotenzial weiter entwickelt und wissenschaftlich präzisiert werden?

5.2 Ziele der Arbeitspakete zur Ökobilanzierung

Modellierung von 5 Gebäuden verschiedener Nutzungskategorien als realisiertes Objekt mit nachwachsender Primärkonstruktion und Standardvariante mit mineralischer Primärkonstruktion. Dabei sollen im Rahmen der erweiterten Ökobilanz folgende Fragen beantwortet werden:

Welche Stoffmengen nach Materialgruppen befinden sich in den Gebäuden?

Wie sind die Ergebnisse der wichtigsten Indikatoren der Ökobilanz?

Welches Nachwuchspotential kann für die Gebäude ermittelt werden?

5.3 Ziele des Arbeitspaketes zur Dissemination

Die Ergebnisse dieser komplexen Untersuchung werden grafisch leicht verständlich aufbereitet und im Rahmen einer Architekturausstellung der Öffentlichkeit vorgestellt. Die zusätzlichen Grafiken zur Ökobilanz, die Beweise der Monitoringdaten, der hohe Nutzerkomfort und Beispiele von Nutzerzufriedenheit durch Interviews oder Zitate, erweitern das Spektrum gewöhnlicher Architekturwahrnehmung [Kö2010].

6 Nachwuchspotenzial - Vorgehensweise und Methodik

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

6.1 Ermittlung der Grunddaten der Hauptbaumarten

Die Zuwächse der Hauptbaumarten wurden anhand der Inventurstudie 2008 (aktualisierte Bundeswaldinventur 2) (Oehmichen et al. 2011, Polley et al. 2009) ermittelt.
Des Weiteren wurden durchschnittliche Rohdichten aus Oehmichen et al. (2011) entnommen, um die Kohlenstoffbindung im Holz in Anlehnung an (Zimmer und Wegener 1996) berechnen zu können. Hierbei wurde angenommen, dass in 1.000 kg (atro) Holz 1.835 kg CO_2 gebunden sind.

6.2 Ermittlung des Sortimentanfalls

Es wurden zwei Methoden zur Ermittlung des Sortimentanfalls angewendet.

Methode 1: Modellierung von Modellbeständen

Modellbestände wurden anhand von Ertragstafeln modelliert (Schober 1995, StMELF 1990). Für Fichte wurde die Ertragstafel von Assmann und Franz 1963, für Kiefer die Ertragstafel von Wiedemann 1943, für Buche die Ertragstafel von Schober 1967 und für Eiche die Ertragstafel von Jüttner 1955 verwendet, wobei jeweils die „Beste Bonität“ angenommen wurde.
Umtriebszeiten wurden anhand der Empfehlungen des Bundesministeriums für Finanzen (1956) gewählt und an heutige Verhältnisse angepasst.
Zur Ermittlung der anfallenden Sortimente wurden die Bestandessortentafeln von Schöpfer und Dauber 82/85 verwendet (StMELF 1990). In diesen ist der Sortenanfall nach Baumart und mittleren Brusthöhendurchmesser (ab 12 cm) aufgeschlüsselt. Die Daten basieren auf damaligen Einschlagsstatistiken. Es werden die Sortimente Stammholz, Industrieholz, Energieholz und “Nicht verwertbar“ unterschieden.
Die Entnahmesätze für Fichte stammen aus der Ertragstafel von Assmann/Franz. Da jedoch die Werte für die anderen Baumarten aus den Ertragstafeln die tatsächlichen Entnahmen unterschätzen würden, orientieren sich die gewählten Entnahmesätze an aktuellen waldbaulichen Empfehlungen (schriftl. Mittl. Knoke 2011).
Des Weiteren wurden die Relationen von Alter und Bestandesmitteldurchmesser nach den Angaben von Kennel angepasst (Kennel 2000). In dieser Studie werden Faktoren zur Berechnung des Bestandesmitteldurchmessers nach Baumart zur Verfügung gestellt (Formel 1). Dies war erforderlich, um die aktuell höheren Zuwächse im Vergleich zu den Angaben aus Ertragstafeln zu berücksichtigen.

Formel 1: Berechnung der aktuellen Durchmesser-Alter-Relationen (Kennel 2000)

$$d_g = [(a]_0 + a_1 * B5 + a_2 * B5^2 + b_0 + b_1 * B5 + b_2 * B5^2) * A + (c_0 + c_1 * B5 + c_2 * B5^2) * A^2$$

d_g = Bestandesmitteldurchmesser

a_0 - c_2 = Koeffizienten der Schätzfunktion für die Hauptbaumarten

B5 = Bonität + 5

A = Alter

Methode 2: Auswertung des Holzmarktberichts 2009

Die anfallenden Holzsortimente wurden durch die Auswertung aktueller Zahlen aus dem Holzmarktbericht 2009 ermittelt (BMELV 2009). Die Einschlagsstatistik ist seit dem Jahr 2006 für die Hauptbaumarten nach „Stammholz“, „Industrieholz“, „Energieholz“ und „Restholz“ unterteilt.

6.3 Berechnung der Nachwuchspotenziale für einzelne Produkte

Das Nachwuchspotenzial wurde für Schnittholz, Brettschichtholz und vier Holzwerkstoffe anhand der in Tabelle 1 genannten Annahmen berechnet. Es wurden die Sortimente Stammholz, Industrieholz und Industrierestholz berücksichtigt. Gebrauchtholz wurde nicht berücksichtigt, um eine zweifache Anrechnung des Nachwuchspotenzials zu vermeiden.

Produktkategorie	**Annahmen**
Fichten- und Kiefernschnittholz	100 % Stammholz, 61 % Nadelschnittholzausbeute (Mantau 2004)
Buchen- und Eichenschnittholz	100 % Stammholz, 67 % Laubschnittholzausbeute (Mantau 2004)
Fichten-Brettschichtholz	100 % Stammholz, ca. 77 % Ausbeute bezogen auf Schnittholz bzw. 45 % Ausbeute bezogen auf Stammholz (Wegener et al. 2010)
Fichten-Furnierschichtholz	100 % Stammholz, 56 % Ausbeute; 100 % Fichte (Frühwald et al. 2001, WECOBIS 2011)
Spanplatte	18 % Industrieholz, 67 % Industrierestholz, 15 % Gebrauchtholz (Ochs et al. 2007); 80 % Nadelholz (70 % Fichte, 30 % Kiefer) und 20 % Laubholz (100 % Buche) (Rüter und Kreißig 2007, WECOBIS 2011)
OSB	100 % Industrieholz (Ochs et al. 2007); 67 % Ausbeute; 70 % Fichte und 30 % Kiefer (WECOBIS 2011)
Holzweichfaserplatte	10 % Industrieholz und 90 % Industrierestholz (ecoinvent 2009); 100 % Fichte; Industrierestholz aus Fichtenschnittholzproduktion

Tabelle 6-1: Annahmen zur Ermittlung der Nachwuchspotenziale für einzelne Produkte

7 Ergebnisse

7.1 Definition des Kriteriums Nachwuchspotenzial

Das Kriterium Nachwuchspotenzial ist eine Größe zur Quantifizierung des potenziellen Zuwachses nach Sortimenten auf einer Fläche von einem Hektar pro Jahr. Auf diese Weise kann dargestellt werden, wie viel Holz auf einer bestimmten Fläche bei nachhaltiger Nutzung nachwachsen kann, auf der zuvor Holz für die Herstellung von Holz-Produkten geerntet wurde. Die Kohlenstoffbindung in den neu nachwachsenden Bäumen trägt zur Minderung des Klimawandels bei und könnte somit in Ökobilanzen als eine weitere CO_2-Gutschrift berücksichtigt werden neben den CO_2-Gutschriften für die Substitution von nicht nachwachsenden Rohstoffen (Abb. 7.1).

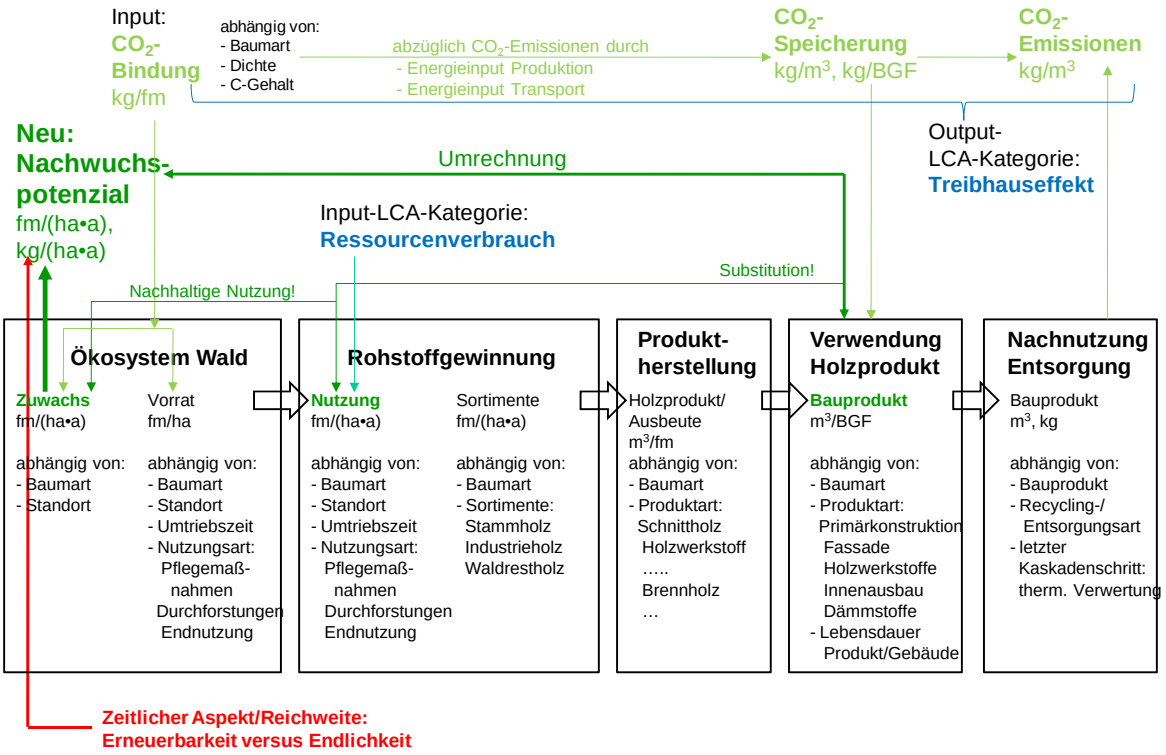

Abb. 7-1: Integration des neu zu entwickelnden Kriteriums Nachwuchspotenzial in eine Ökobilanzierung (LCA) für Bauen mit Holz

7.2 Einflüsse auf das Nachwuchspotenzial

In Tabelle 7-1 sind einzelne Einflüsse auf das Nachwuchspotenzial dargestellt. Sie lassen sich nach den Wirkungen auf das Nachwuchspotenzial als Mengen-Zuwachs (darstellbar in [m³/(ha•a)]) und als zuwachsender Kohlenstoff-Speicher im Holz (darstellbar in [CO_2-Äqv./(ha•a)]) unterscheiden.

LCA-Phasen	Einflussfaktoren	Änderung des NWP [m³/(ha•a)]	Änderung des C-Speichers [CO_2-Äqu./(ha•a)]	Bemerkung
Ökosystem Wald	hohe Zuwachsleistung	++	++	Ziel: möglichst schnell C binden
	optimaler Vorrat	++		durch Orientierung am optimalen Zuwachs je Baumart
	hohe C-Bindung im Holzkörper		++	
	Kalamitäten	+		neuer Raum für nachwachsende Bäume
	Nachhaltige Waldbewirtschaftung	+		
	optimale Umtriebszeit	++		Umtriebszeit wird am optimalen Zuwachs orientiert
Rohstoff-gewinnung	industrialisierte Holzernte	o		
	regionale Rohstoffquellen	o	+	positiv für C-Bilanz, da weniger Transporte
Produkt-herstellung	Produkt-Transporte		-	
	geringer Energieeinsatz		++	
	hoher Energieeinsatz		--	dennoch meist weniger Energie notwendig als bei konventionellen Produkten; entsprechend CO_2-Emission
	hoher Ausbeutefaktor	+	+	höhere stoffliche Nutzung
	große Bauteildimensionierung	++		Potential möglicher Verwendungszwecke
	Oberflächenbehandlung		+	Holzschutz ermöglicht eine längere Lebensdauer des Produkts
Einbau/ Nutzung	Nutzungsdauer	++	++	Ziel: langfristige Speicherung des C im Holz
	Holzmenge pro Bauvolumen	++	++	
	Substitution nicht nachwachsender Bauteile	++	++	Einsparung nicht nachwachsender Rohstoffe, Vermeidung von CO_2-Emissionen
Instand-haltung	häufige Intervalle	+	+	Ersatz von nicht-nachwachsenden Baustoffen

Nachnut-zung	Recycling	++	++	mehrfaches Recycling möglich
	Downcycling	+	+	je geringer das Downcycling, desto mehr Nutzungskaskaden möglich
	Energiegewinnung		++	Substitution fossiler Energieträger, Vermeidung von CO_2-Emissionen

Tabelle 7-1: Überblick zu Effekten von Einflussfaktoren auf das Nachwuchspotenzial (++: starke Erhöhung, +: Erhöhung, o: keine Änderung, -: Verringerung, --: starke Verringerung)

In der ersten Lebenszyklusphase Wald und Forstwirtschaft spielt vor allem die Zuwachsleistung des Einzelbaumes und des Bestandes eine wichtige Rolle. Je höher die Zuwächse, desto größer wird das Nachwuchspotenzial und desto schneller wird Kohlenstoff gebunden. Bei der Rohstoffgewinnung kann zwischen der manuellen und industriellen Holzernte unterschieden werden. Beide bewirken keine Veränderung beim Nachwuchspotenzial, aber bei der C-Bilanz.

In der Phase Produktherstellung wirken sich Transporte negativ auf die Kohlenstoffbilanz aus. Bezogen auf den gesamten Lebenszyklus ist der Energiebedarf jedoch meist geringer als bei konventionellen Produkten, da nach der stofflichen Nutzung (siehe Nachnutzungen) die Holzprodukte energetisch verwertet werden können und somit nicht nachwachsende Rohstoffe substituieren (Albrecht et al. 2008). Dies wirkt sich positiv auf die Kohlenstoffbilanz aus, ebenso wie ein hoher Ausbeutefaktor.

Während der Nutzungsphase haben die Nutzungsdauer sowie die verbaute Holzmenge eine Erhöhung des Nachwuchspotenzials zur Folge, da längere Zeiträume zur Verfügung stehen, um Holz hoher Qualität im Wald zu produzieren, sowie mehr Platz für das Wachstum neuer Bäume entsteht und dadurch mehr CO_2 gebunden wird. Vermehrte Instandhaltungen mit Einsatz von Holz erhöhen ebenso das Nachwuchspotenzial.

7.3 Grunddaten zur Berechnung des Nachwuchspotenzials

Der Zuwachs bei Fichte beträgt 14,5 m³ pro ha und Jahr (Polley et al. 2009) (Tab. 7-2). An zweiter Stelle kommen Kiefer und Buche mit ca. 10 m³. Der jährliche Zuwachs ist bei Eiche mit 8,4 m³ pro ha am geringsten. Da jedoch Buche und Eiche eine hohe mittlere Rohdichte (atro) besitzen, ist die Kohlenstoffbindung bei diesen bezogen auf den Kubikmeter [m³] am höchsten. Im Gegensatz dazu ist sie bei Fichte am geringsten. Bezogen auf den jährlichen Zuwachs pro ha ist die Kohlenstoffbindung bei der Buche mit 12.478 kg CO_2 am höchsten. An zweiter Stelle kommt die Fichte mit 11.441 kg CO_2.

Baumart	Zuwachs[1] [m³/(ha•a)]	Mittlere Rohdichte[2] atro [kg/m³]	Zuwachs[3] [kg atro/(ha•a)]	C-Bindung[3] [kg CO_2/m³]	Der Zuwachs entspricht einer C-Bindung[3] von [kg CO_2/(ha•a)]
Fichte	14,5	430	6.235	789,1	11.441
Kiefer	10,1	490	4.949	899,2	9.081
Buche	10,0	680	6.800	1.247,8	12.478
Eiche	8,4	650	5.460	1.192,8	10.019

Tabelle 7-2: Zuwächse, Rohdichten und C-Bindung der Hauptbaumarten
([1] Polley et al. 2009; [2] Oehmichen et al. 2011; [3] eigene Berechnung)

7.4 Ermittlung des Sortimentanfalls

7.4.1 Modellierung von Modellbeständen

Die zur Modellierung der Bestände verwendeten Umtriebszeiten können Tabelle 7.3 entnommen werden.

Baumart	**Minimum**	**Maximum**	**Verwendete durchschnittliche Umtriebszeit**
Fichte	80	100	**90**
Kiefer (Bauholz)	100	120	**120**
Buche	100	140	**120**
Eiche (normal)	140	160	**150**

Tabelle 7-3: Grenzen für die Umtriebszeiten der Hauptbaumarten (nach Bundesministerium der Finanzen 1956)

In Tabelle 7-4 sind die Ergebnisse zu den anfallenden Sortimenten für die modellierten Bestände dargestellt. Bei Fichte ist der Stammholzanteil mit ca. 80 % im Vergleich zu den anderen Baumarten am höchsten. Bei Buche und Eiche ist der Stammholzanteil mit 42 % bzw. 47 % am geringsten und der Industrieholzanteil mit 50 % bzw. 38 % am höchsten. Bei allen Baumarten liegt der Energieholzanteil zwischen 1 % und 3 %.

Baumart	Stammholz [%]	Industrieholz [%]	Energieholz [%]	Restholz [%]
Fichte	81	14	3	2
Kiefer	68	27	1	4
Buche	42	50	2	7
Eiche	47	38	3	12

Tabelle 7-4: Anfallende Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche bei der Modellierung von Modelbeständen (Eigene Berechnung)

7.4.2 Auswertung des Holzmarktberichts 2009

In Tabelle 7-5 sind Mittelwerte für anfallende Holzsortimente für die Forstwirtschaftsjahre 2006 bis 2009 dargestellt. Frühere Wirtschaftsjahre wurden nicht berücksichtigt, da seit 2006 eine neue Sortengliederung eingeführt wurde.

Baumart	Stammholz [%]	Industrieholz [%]	Energieholz [%]	Restholz [%]
Fichteneinschlag 2006-2009	71	15	9	4
Kieferneinschlag 2006-2009	49	37	11	4
Bucheneinschlag 2006-2009	27	29	34	10
Eicheneinschlag 2006-2009	36	18	36	9

Tabelle 7-5: Anfallende Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche für die Forstwirtschaftsjahre 2006 bis 2009 (BMELV 2009)

7.4.3 Vergleich des Sortenanfalls bei Modellbeständen und Holzmarktbericht

Im Vergleich zu den Stammholzanteilen für die Forstwirtschaftsjahre 2006 bis 2009 liegen die berechneten Stammholzanteile der einzelnen Baumarten nach den Bestandes-sortentafeln von Schöpfer und Dauber, die auf Einschlagsstatistiken der Jahre 1982/1985 beruhen, etwa 10 % bis 20 % höher (Abb. 2). Der Stammholzanteil lag bei Fichte laut Holzmarktbericht (BMELV 2009) im Durchschnitt für die Jahre 1999-2009 bei ca. 70 % und damit um 10 % höher als bei der Sortenertragstafel 82/85. Der Energieholzanteil lag zwischen 2006-2009 um ca. 6 % höher als bei der Sortenertragstafel 82/85. Der Stammholzanteil liegt bei Kiefer gemäß Sortenertragstafel 82/85 etwa 20 % über den realen Verhältnissen. Die Sortimente Industrie- und Energieholz werden um jeweils ca. 10 % unterschätzt. Der Stammholzanteil ist bei der Buche seit 1999 rückläufig. Waren es damals noch ca. 42 %, so liegt der Anteil heute bei ca. 27 %. Der Buchen-Bestand hat gemäß Sortenertragstafel 82/85 im Vergleich zu den Daten von 2006-2009 einen um 15 % höheren

Stammholzanteil. Vor allem fällt der im Vergleich sehr geringe Energieholzanteil von ca. 2 % auf, der aktuell bei ca. 34 % liegt. Dasselbe gilt für die Eiche, die aktuell einen etwa gleich hohen Energieholzanteil aufweist. Bei beiden Baumarten liegt der Industrieholzanteil gemäß Sortenertragstafel 82/85 etwa 20 % über den aktuellen Verhältnissen. Der Vergleich zeigt, dass die modellierten Daten vermutlich eine optimale stoffliche Verwertung des eingeschlagenen Holzes darstellen.

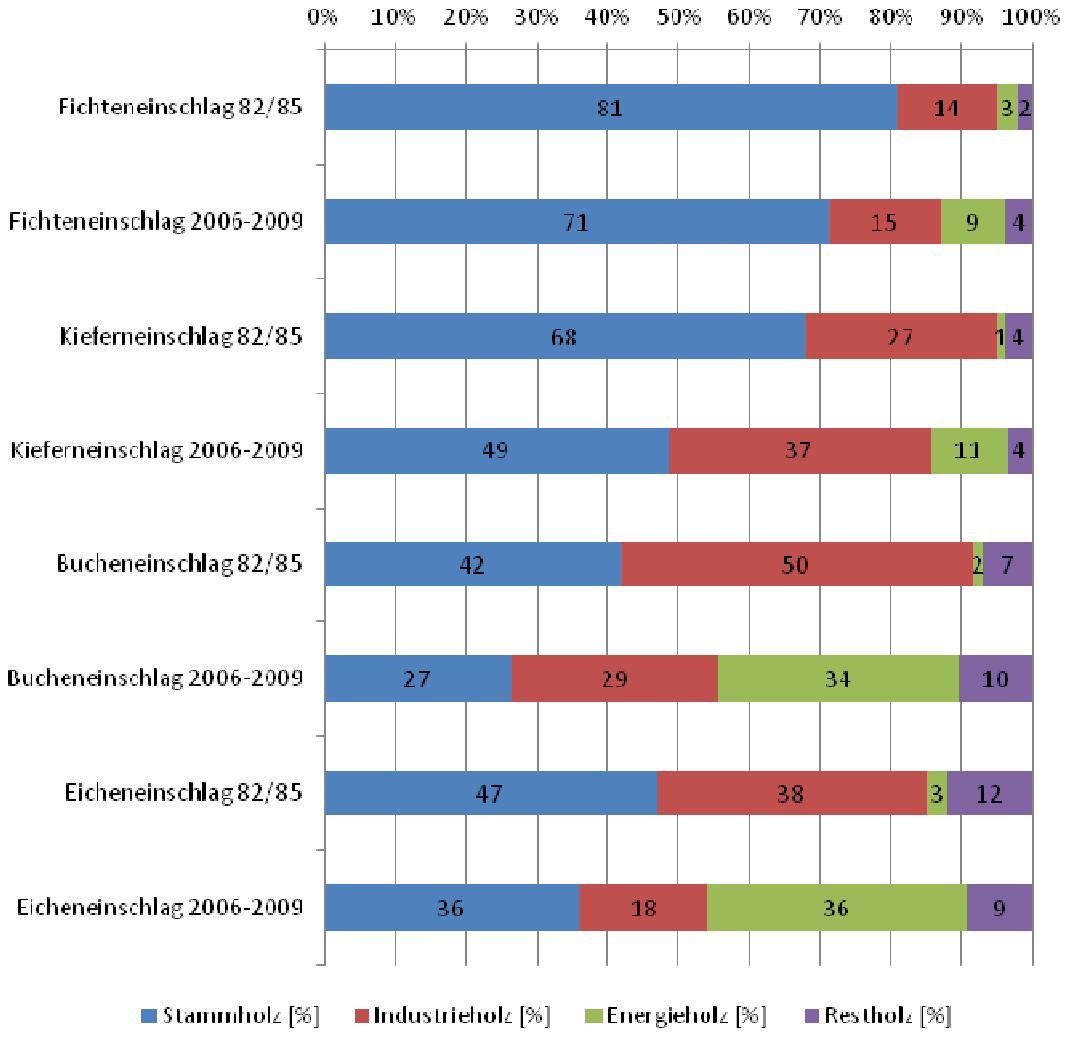

Abb. 7-2: Vergleich der anfallenden Sortimente für die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche für die Forstwirtschaftsjahre 1982/1985 und 2006 bis 2009 (BMELV 2009, eigene Berechnung)

Da bei der Berechnung des Nachwuchspotenzials möglichst aktuelle Verhältnisse berücksichtigt werden sollten, wurden alle weiteren Berechnungen anhand des ermittelten Sortimentanfalls für die Forstwirtschaftsjahre 2006 bis 2009 durchgeführt.

7.5 Nachwuchspotenzial für Holzprodukte

In Tabelle 7.6 ist das Nachwuchspotenzial auf drei unterschiedliche Arten quantifiziert. Anhand der prozentualen Darstellung des Nachwuchspotenzials wird ersichtlich, dass es für Holzprodukte mit hohem Stammholzanteil und hoher Ausbeute am höchsten ausfällt. Fichtenschnittholz und Fichten-Furnierschichtholz haben hier das höchste Nachwuchspotenzial. Bezieht man das Nachwuchspotenzial auf die Kohlenstoffbindung pro m³, schneidet auch hier Fichtenschnittholz mit einer Bindung von 347 kg CO_2 am besten ab, ebenso wie für die jährliche Kohlenstoffbindung pro ha von ca. 5.000 kg CO_2.

Produktkategorie	Nachwuchs-potenzial [%]	Nachwuchs-potenzial [m³/(ha•a)]	Nachwuchs-potenzial [kg CO_2/m³]	Nachwuchs-potenzial [kg CO_2/(ha•a)]
Fichtenschnittholz	44	6,4	347	5.034
Kiefernschnittholz	30	3,0	270	2.724
Buchenschnittholz	18	1,8	225	2.246
Eichenschnittholz	24	2,0	286	2.405
Fichten-Brettschichtholz	32	4,6	253	3.661
Kiefern-Brettschichtholz	22	2,2	198	1.998
Fichten-Funierschichtholz	40	5,8	316	4.576
Kiefern-Funierschichtholz	27	2,7	243	2.452
Spanplatte	19	2,4	172	2.106
OSB	15	2,0	123	1.610
Holzweichfaserplatte	27	3,9	213	3.089

Tabelle 7-6: Nachwuchspotenziale für wesentliche Holzprodukte aus den Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche (Eigene Berechnung)

8 Diskussion

Die bisherige Entwicklung und Berechnung des Nachwuchspotenzials beruht auf einer sehr vereinfachten Vorgehensweise und Verwendung von deutschlandweiten Durchschnittswerten. Dadurch wurden mehrere Aspekte nicht hinreichend berücksichtigt:

- Herkunft des Holzes: Unterscheidung nach Standorten, Bonitäten
- Qualitäten des Holzes: Klassifizierung nach weiteren Qualitäten z.B. schwaches und starkes Stammholz, waldbauliche Maßnahmen (tatsächlich durchgeführte Pflegemaßnahmen, Durchforstungen und Endnutzungen)
- Produktspezifische Eigenschaften des verwendeten Holzes: Holzart, Ausbeute
- Zeit: Bewirtschaftungszeiträume auf verschiedenen Standorten (tatsächliche, standortsangepasste Umtriebszeiten), Lebensdauer der einzelnen Holzprodukte und Gebäude, verzögerte Kohlenstoffbindung bezogen auf das Wachstum des Baumes, Zeitpunkt der waldbaulichen Maßnahmen, zukünftige technologische Entwicklungen, Beeinflussung des Sortimentanfalls durch zukünftige Entwicklungen bei Holzpreisen

Für die vereinfachte Berechnung mussten deshalb einige Annahmen getroffen werden, die das Ergebnis beeinflussen.
Desweiteren kann das Nachwuchspotenzial sehr unterschiedlich interpretiert werden, je nachdem wie es dargestellt wird; beispielsweise in unterschiedlichen Einheiten (z.B. [kg CO_2/m³], [kg CO_2/(ha•a)]).

8.1 Berücksichtige Baumarten

Es wurden nur die Hauptbaumarten Fichte, Kiefer, Buche und Eiche berücksichtigt. Diese machen einen Anteil von ca. 73 % am Gesamtvorrat mit 3,6 Mrd. m³ in Deutschland aus (Oehmichen et al. 2011, Abb. 8-3). Daher ist der Einfluss weiterer Baumarten auf das Nachwuchspotenzial als eher gering einzuschätzen.

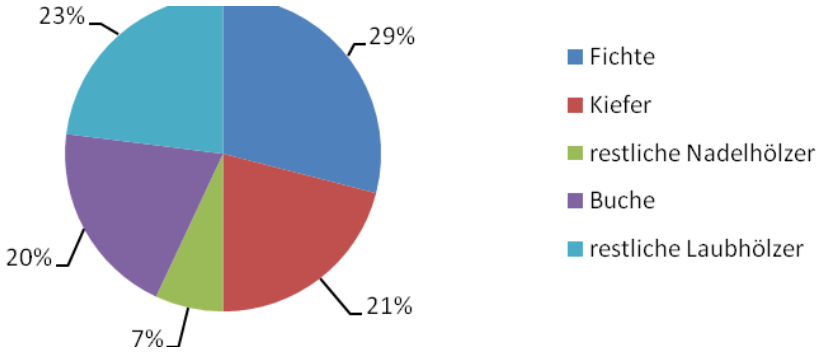

Abb. 8-1: Baumartenanteil am Vorrat (modifiziert nach Oehmichen et al. 2011).

8.2 Herleitung des Sortimentanfalls

Die Ergebnisse zu den Qualitäten bzw. Sortimenten und zu der sich daraus ergebenden Verwendung werden stark durch die Berechnungsweise des anfallenden Sortiments beeinflusst (z.B. bei der Modellierung von Beständen durch Ertragstafeln und Umtriebszeiten oder bei der Verwendung von Durchschnittswerten aus dem Holzmarktbericht durch den gewählten Zeitraum).

Bei der Modellierung der Bestände wurden nur solche mit der besten Bonität ausgewählt. Bei schlechteren Bonitäten ist zu erwarten, dass der Stammholzanteil geringer ausfällt. Ferner beeinflussen auch die gewählten Durchforstungsmaßnahmen und die entsprechenden Entnahmesätze das Ergebnis. Außerdem wurden für die Ermittlung der Sortimentsverteilung die Bestandessortentafeln von Schöpfer und Dauber 82/85 verwendet (StMELF 1990), deren Daten aus der damaligen Einschlagsstatistik generiert wurden. Aktuell gibt es jedoch Verschiebungen hin zu einem geringeren Industrieholz- und höheren Energieholzanteil durch die veränderte Nachfrage, weshalb das Nachwuchspotenzial anhand des ermittelten Sortimentsanfalls des Holmarktberichts berechnet wurde.

8.3 Berechnung des Nachwuchspotenzials für Holzprodukte

Die Ergebnisse für das Nachwuchspotenzial sind nur für den untersuchten Zeitraum gültig, da bisher keine Szenarien zur Ermittlung zukünftiger Entwicklungen beim Nachwuchspotenzial durchgeführt wurden. Das Nachwuchspotenzial variiert jedoch je nach Forstwirtschaftsjahr in Abhängigkeit vom tatsächlichen Einschlag und den Holzpreisen. Ferner können technologische Entwicklungen einen Einfluss auf die Ausbeute und somit die Höhe des anzurechnenden Nachwuchspotenzials haben.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Integrierung der Nutzungszeit des Holzes in den Produkten bei der Berechnung bzw. Anrechnung des Nachwuchspotenzials als neues Kriterium in Ökobilanzen. Da die Kohlenstoffbindung pro Fläche beim Wachstum von neuen Bäumen zu Beginn nur gering ist und im Laufe der Zeit zunimmt, könnte bei der Berechnung des Nachwuchspotenzials z.B. berücksichtigt werden, wie lange die durchschnittliche Lebensdauer der Holzprodukte ist, und so bestimmt werden, wie viel Kohlenstoff in diesem Zeitraum tatsächlich gebunden werden kann. Auf diese Weise ließe sich die anrechenbare CO_2-Gutschrift zur Anwendung in Ökobilanzen eindeutig bestimmen.

Ferner ist die Allokation der Vorketten beim Einsatz von Gebrauchtholz bei bestimmten Holzprodukten (z.B. Spanplatten) zu berücksichtigen. Da das Nachwuchspotenzial nicht doppelt angerechnet werden darf, wurde Gebrauchtholz in dieser Studie nicht berücksichtigt. In zukünftigen Arbeiten muss die Berücksichtigung von Gebrauchtholz geprüft werden, z.B. durch Anrechnung von reduzierten Mengenanteilen.

9 Schlussfolgerungen

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Das neu entwickelte und in dieser Studie vorgeschlagene Kriterium Nachwuchspotenzial kann quantitativ darstellen, wie viel Holz in derjenigen Zeit nachwächst, in der das genutzte Holz als Holz-Bauprodukte bzw. Bauteile in Gebäuden eingesetzt wird. Dadurch ist eine Verknüpfung der Kohlenstoffbindung im Wald durch nachwachsendes Holz mit der Kohlenstoffspeicherung des verwendeten Holzes in Gebäuden möglich.
- Mit dem neuen Kriterium kann in Ökobilanzen einer der entscheidenden Unterschiede des Baustoffes Holz im Vergleich zu anderen nicht nachwachsenden Baustoffen dargestellt werden.
- Das Nachwuchspotenzial von Holz hängt jedoch von verschiedenen Einflussfaktoren ab, die vom Ökosystem Wald bis zur Nachnutzug des Holzbaustoffes reichen. Die Wirkungen sind in den Bereichen Qualität, Zeit und Raum teilweise so komplex, dass sie in dieser Studie noch nicht vollständig berücksichtigt werden konnten. Einflussfaktoren sind beispielsweise Baumarten, Standorte, Nutzungsmaßnahmen, Sortimentsaushaltung sowie Produktarten, so dass hier differenziert und klassifiziert werden muss
- Die Ergebnisse sind deutlich von getroffenen Annahmen bei der Berechnung abhängig, deren Auswirkungen in weiteren Studien in Szenarien dargestellt werden müssen.
- Eine erste Einschätzung des Nachwuchspotenzials der Hauptbaumarten sowie der Holzprodukte ist jedoch möglich.

10 Forschungsausblick

In Zukunft sollten weitere Aspekte wie Standorte, Bonitäten, produktspezifische Unterschiede etc. näher untersucht werden. Die Waldbestände und damit ihre Zuwächse etc. könnten beispielsweise mit der Software SILVA modelliert werden. Ein Vorteil wäre dann auch die mögliche Berücksichtigung von Mischbeständen, sowie anderen Bonitäten und Standorten.
Die Aushaltung der Sortimente könnte mit dem Sortierungs- und Voluminierungsprogramm BDAT erfolgen, das von Schöpfer entwickelt wurde. Hiermit könnten auch aktuelle Entwicklungen in der Holzverwendung berücksichtigt werden.

11 Literaturverzeichnis Teil 1

Albrecht, S.; Rüter, S.; Welling, J.; Knauf, M.; Mantau, U.; Braune, A.; Baitz, M.; Weimar, H.; Sörgel, S.; Kreissig, J.; Deimling, J.; Hellwig, S. (2008): ÖkoPot – Ökologische Potenziale durch Holznutzung gezielt fördern. Abschlussbericht zum BMBF-Projekt FKZ 0330545.

BMELV – Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (2009): Holzmarktbericht 2009. Abschlussergebnisse für die Forst- und Holzwirtschaft des Wirtschaftsjahres 2009.

BMF – Bundesministerium der Finanzen (1956): BMF-Schreiben IV B/2 - S 2143 - 12/56 vom 28.04.1956.

ecoinvent (2009): ecoinvent data v2.1. Swiss Centre for Life Cylce Inventories.

Frühwald, A.; Pohlmann, C.; Wegener, G. (2001): Holz - Rohstoff der Zukunft. Nachhaltig verfügbar und umweltgerecht. Informationsdienst Holz.

Kennel, E. (2000): Schätzfunktionen für Bestandesmitteldurchmesser. *AFZ-DerWald* (22), 1191–1193.

Knoke, T. (2011): Schriftliche Mitteilung vom 10.05.2011.

Mantau, U. (2004): Holzrohstoffbilanz Deutschland. Bestandsaufnahme 2002. Vortrag auf dem BWI II Seminar "Die Bundeswaldinventur an der strategischen Schnittstelle zwischen Forst- und Holzwirtschaft" am 16.11.2004 in Göttingen. Internet: http://www.bundeswaldinventur.de/media/archive/226.pdf, zuletzt geprüft am 29.11.2011.

Ochs, T.; Duschl, C.; Seintsch, B. (2007): Struktur und Rohstoffbedarf der Holzwirtschaft. Teil I der Studie »Regionalisierte Struktur- und Marktanalyse der 1. Verarbeitungsstufe der Holzwirtschaft« (10), S. 269–271.

Oehmichen, K.; Demant, B.; Dunger, K.; Grüneberg, E.; Hennig, P.; Kroiher, F.; Neubauer, M.; Polley, H.; Riedel, T.; Rock, J.; Schwitzgebel, F.; Stürmer, W.; Wellbrock, N.; Ziche, D.; Bolte, A. (2011): Inventurstudie 2008 und Treibhausgasinventar Wald. Sonderheft 343. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume.

Polley, H.; Hennig, P.; Schwitzgebel, F. (2009): Holzvorrat, Holzzuwachs, Holznutzung in Deutschland. Ergebnisse einer Kohlenstoffinventur auf Bundeswaldinventur-Basis. *AFZ-DerWald* (20), 1076–1078.

Rüter, S.; Kreißig, J. (2007): Grunddatensätze für Holz und Holzwerkstoffe im Netzwerk Lebenszyklusdaten. Projektbericht. Forschungszentrum Karlsruhe. Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse - Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme.

Schober, R. (1995): Ertragstafeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl. Frankfurt am Main: Sauerländer.

StMELF – Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1990): Hilfstafeln für die Forsteinrichtung. Zusammengestellt für den Gebrauch in der Bayerischen Staatsforstverwaltung.

WECOBIS (2011): Ökologisches Baustoffinformationssystem. Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen und Bayerische Architektenkammer. Internet: http://www.wecobis.de, zuletzt geprüft am 10.05.2011.

Wegener, G.; Pahler, A.; Tratzmiller, M. (2010): Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz. Holzforschung München. Technische Universität München.

Zimmer, B.; Wegener, G. (1996): Stoff- und Energieflüsse vom Forst zum Sägewerk. In: *Holz als Roh- und Werkstoff* 54, S. 217–223.

12 Die Baustoffe

In der Diskussion über die ›richtige‹ Energie, die sich in Deutschland aus der Anti-Atomkraft-Bewegung entwickelte, ergab sich schnell die Unterscheidung in nicht erneuerbare und erneuerbare Energie. Im Baubereich konnte sich diese Erkenntnis allerdings bis heute nicht durchsetzen. Hier ist das Stoffverständnis weiterhin von den naturwissenschaftlichen Denkstrukturen des 19. Jahrhunderts geprägt, die Einteilung orientiert sich an der Gliederung der Chemie in anorganische und organische Stoffe. Ob die Quelle des Kohlenstoffs eine nachwachsende oder eine endliche Ressource ist, bleibt dabei unberücksichtigt. Eine alternative Einteilung, die die Stoffherkunft berücksichtigt, ist die in mineralische, vegetabile/pflanzliche, animalische und synthetische Baustoffe[KOE85], wobei die pflanzlichen Stoffe erneuerbaren und die synthetischen nicht erneuerbaren Kohlenstoff enthalten. Die synthetischen Materialien nehmen dabei eine Zwitterstellung zwischen mineralischen und vegetabilen Stoffen ein, da ihre Ausgangsstoffe zwar ursprünglich pflanzlicher Herkunft sind, sie über Jahrmillionen aber tief greifende Veränderungen erfahren haben und zu Kohle, Erdgas oder Erdöl umgewandelt wurden (Abb. 12.1).

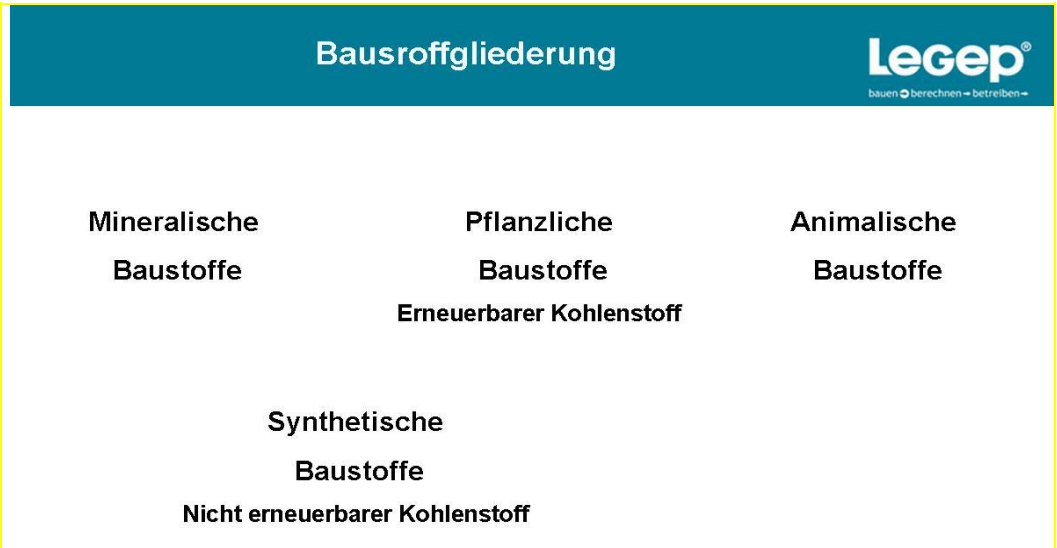

Abb. 12-1: Ökologische Baustoffeinteilung

Die Ausgangsstoffe der synthetischen Materialien sind zwar ursprünglich pflanzlicher Herkunft, haben aber in Jahrmillionen tief greifende Veränderungen erfahren und wurden zu Kohle, Erdgas oder Erdöl umgewandelt. Einerseits nahezu unverrottbar und andrerseits leicht entflammbar, zeigen sie eine zwiespältige Grundcharakteristik. Mit der Bedeutung der Knappheit der Ressourcen, erstmals aussagekräftig formuliert durch die vom Club of Rome in Auftrag gegebene Studie „Die Grenzen des Wachstums (engl. Originaltitel: The Limits to Growth[CLUB72])“ veröffentlicht 1972, bekommt diese Stoffgliederung eine weit reichende Bedeutung, da die fossilen, organischen Rohstoffe auf unserem Planeten endlicher Natur sind.

12.1 Baustoffe aus fossilen und nachwachsenden Rohstoffen

Am Beispiel der organischen Baustoffe sollen die spezifischen Stoffeigenschaften und fundamentalen Unterschiede von nicht erneuerbarem und erneuerbarem Kohlenstoff unter ökologischen Gesichtspunkten erläutert werden.

Kunststoffe erobern seit über 100 Jahren immer mehr Lebensbereiche, da sie in eng fokussierten Nutzungsspektren eindeutige Vorteile gegenüber anderen Materialgruppen aufweisen. Unterschiedliche Mischungsformulierungen verleihen dem Material extrem unterschiedliche Eigenschaften, die zum Beispiel von sehr geringem bis zu sehr hohem Gewicht, von resistent gegen Fäulnis bis zu verrottungsfähig, von hart bis weich und von hoch elastisch bis zu reißfähig reichen können. Der in Jahrmillionen entstandene und abgelagerte Kohlenstoff wird durch die Nutzung der fossilen Rohstoffe heute freigesetzt und ergibt durch die Anreicherung in der Atmosphäre das Phänomen des Treibhauseffekts.

Im Film „Plastic Planet“ von Werner Boote[PLAP09], erschienen 2009, wird auf die Lebenszykluskette von Produkten mit fossilem Rohstoffprofil mit den vielen Risikofaktoren hingewiesen. Auffallend ist dabei immer die extreme Dauerhaftigkeit der künstlich gebildeten Stoffe, die den Abbau und die Wiedereingliederung in das Ökosystem erschwert. Die Haltbarkeit entsteht in vielen Fällen durch toxische Einzelsubstanzen (Weichmacher, UV-Stabilisatoren etc.), die bei ihrer irgendwann erfolgenden Freisetzung Ökosystem (Erde, Wasser, Luft) und Biosystem (Plankton, Fisch, Mensch) vergiften.

Pflanzen verwandeln durch Photosynthese das Kohlendioxid aus der Luft mithilfe der Energie des Sonnenlichts in Saccharide (Abb. 12.2). Diese Grundsubstanz wird unter anderem in Zellulose umgebaut, eine Aufbausubstanz für die Faser- beziehungsweise Holzbildung. Dabei wird der für den Menschen lebensnotwendige Sauerstoff freigesetzt.

Abb. 12-2: Kohlenstoff und Photosynthese

Da der Kohlenstoff im Holz beziehungsweise in den daraus hergestellten Bauprodukten gebunden ist, wird ein Gebäude aus Holzprodukten auch Kohlendioxidspeicher genannt.
Die geringe Umweltbelastung von nachwachsenden Rohstoffen drückt sich im geringen Primärenergieaufwand beziehungsweise geringen Output an Klimagasen bei der Herstellung eines Bauteils aus. Die Kohlendioxidakkumulation in der Herstellungsphase, ausgewiesen in Form der Kohlendioxidgutschrift, neutralisiert sich in der Entsorgungsphase des Bauprodukts (Abb. 12.3).

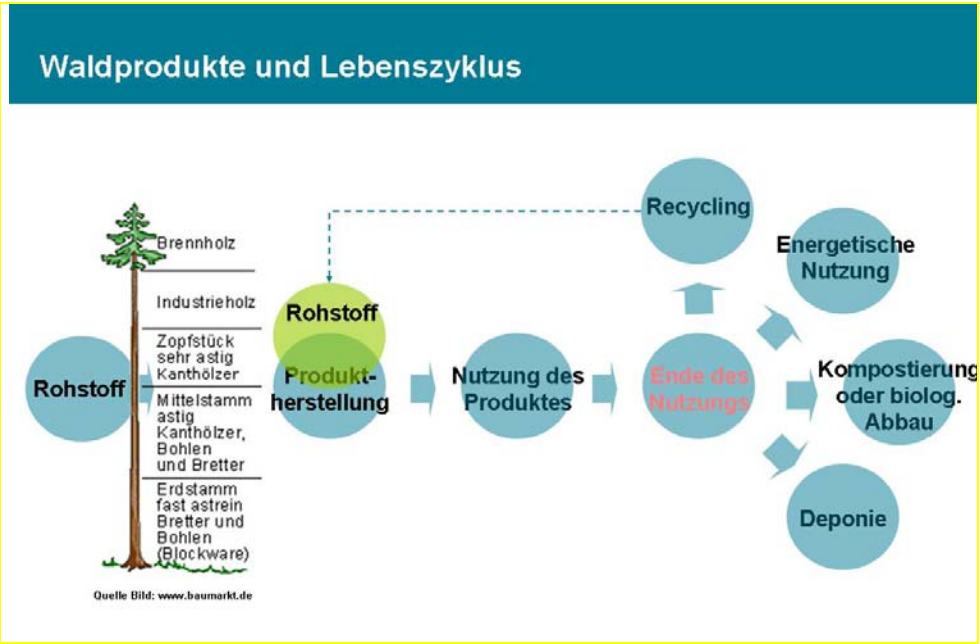

Abb. 12-3: Vom Baum zum Baustoff bis zum End of Life

12.2 Zurichtungsgrad

Ein weiterer Aspekt, der das Verständnis für die Eigenschaften von Baustoffen vertieft, ist der Zurichtungsgrad. Darunter versteht man den Aufwand für die Herstellung eines Baumaterials und den Grad der Umwandlung der Ausgangsstoffe, der von naturbelassen bis zur strukturellen Veränderung reichen kann.
Die Analyse des technischen Zurichtungsgrads eines Bauprodukts enthält auch Hinweise auf seinen Denaturierungsgrad. Dabei ist zu berücksichtigen, dass im Baubereich eine hohe Haltbarkeit ein wesentliches Qualitätsmerkmal darstellt. Ein natürliches Produkt wie Lehm löst sich bei dauernder Feuchtigkeit auf, das Brennen des Lehms zu Ziegel verbessert jedoch die Haltbarkeit. Durch Sintern wird der Ziegel zu einem Klinker und damit frostfest, aber auch vollständig wasserdicht, sodass ein Feuchtetransport nicht mehr möglich ist. Wird Kalk bei bis zu 850 Grad Celsius gebrannt, entsteht ein lufthärtendes Bindemittel, das sehr gute Eigenschaften bezüglich des Feuchteausgleichs aufweist. Durch Vermischen von Kalk mit Hydraulfaktoren und Brennen bei 1500 Grad Celsius entsteht Zement. Dieser erhärtet sogar unter Wasser, besitzt aber nicht mehr die Fähigkeit, Feuchte auszugleichen.

Der Zurichtungsgrad hat auch Auswirkungen auf die Gesundheitsrisiken, die von einem Stoff ausgehen können. Während Lehm für die Haut sehr gut verträglich ist, wirken gebrannter Kalk und stärker noch Zement ätzend. Zudem beeinflusst der technische Zurichtungsgrad in vielen Fällen auch die Wiedereingliederung eines Baustoffs in den Materialkreislauf. Je höher der Zurichtungsgrad, desto geringer die Möglichkeit des schnellen, problemlosen Abbaus.

12.3 Die Lebenszyklusbetrachtung

Um die komplexen Umwelteinflüsse bei der Baustoffproduktion und deren Verwendung zu erfassen, ist es notwendig, die in anderen Produktzweigen bekannte Methode der Lebenszyklusbetrachtung auf Bauprodukte anzuwenden. Die dabei zu berücksichtigenden Prozesse gliedern sich in drei Phasen

- Stoffbildung (Gewinnung, Herstellung)
- Stoffgebrauch (Verarbeitung, Nutzung)
- Stoffauflösung (Abbruch, Beseitigung/Rückführung).

Die Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht die Folgen von Produktprozessen, auch wenn diese in der Dauer generationenübergreifend sind, das heißt in eine Zukunft von 50 oder 100 Jahren reichen. Die Gliederung in Baustoffe mit nicht erneuerbarem und erneuerbarem Kohlenstoff, der Zurichtungsgrad und die Lebenszyklusbetrachtung finden sich heute in der Ökobilanzierung wieder.

12.4 Die Ökobilanzierung

Die beiden beschriebenen Ansätze zum besseren Verständnis der Baustoffe, die Lebenszyklusbetrachtung und der Zurichtungsgrad, finden sich heute in der Ökobilanzierung wieder. Die Ökobilanzierung (engl. Life Cycle Assessment – LCA) als ganzheitlicher Ansatz berücksichtigt

- den gesamten Lebenszyklus
- den damit verbundenen Ressourcenverbrauch
- die damit verbundenen Umweltfolgen
- und die Bewertung der Umweltwirkungen.

Während bisher meist nur die direkten Auswirkungen der Herstellung bezogen auf Standort oder Nutzung betrachtet und möglichst minimal gehalten werden, versucht die Methode der Ökobilanz, auch Problemverlagerungen an andere Orte oder in andere Umweltmedien zu berücksichtigen und zu reduzieren. Dieser Ansatz schließt den gesamten Lebenszyklus ein, also neben der Herstellung auch die Nutzung und die Entsorgung des Produkts – von der Wiege bis zur Bahre (cradle to grave)[KOE09].

Abb. 12-4: von der Wiege bis zur Bahre

Das Ende des Lebenszyklus (End of Life – EOL) eines Materials beziehungsweise Bauprodukts hat einen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Bauprodukte mit einem Heizwert dürfen nicht deponiert werden, sie werden entweder direkt weiterverwertet oder der thermischen Verwertung zugeführt, also verbrannt. Angerechnet werden dabei in der Ökobilanz die Wärmenutzung und die Erzeugung von elektrischem Strom durch Kraft-Wärme-Kopplung, durch die andere fossile Energieträger substituiert werden.

12.5 Energie und Entropie

Bei jedem Verwertungsprozess, der das Bauteil zerstört und entweder auf bestimmte Rohstoffe zurückführt (beispielsweise Schreddern von Beton) oder zur Energiegewinnung nutzt (zum Beispiel thermische Verwertung), geht der Teil der Energie, der für die technische Zurichtung des Grundstoffs eingesetzt wurde, unwiederbringlich verloren. Dieser Energieaufwand aus dem Herstellungsprozess wird kumulierter Energieverbrauch (KEV) genannt. Er ist bei Produkten mit hohem Zurichtungsgrad im Verhältnis zum Heizwert groß. Bei gleicher Gewichtsmenge Dämmstoff haben Bauprodukte aus fossilen Rohstoffen einen geringen Heizwert und einen hohen KEV, solche aus nachwachsenden Rohstoffen dagegen einen hohen Heizwert und einen niedrigen KEV[BUSCH03].

Um diese Verhältnisse exakter zu verstehen, muss man sich nicht nur mit den Energieprozessen, sondern auch mit den Entropieprozessen auseinandersetzen. Entropie ist ein Maß für die gegebene Unordnung in einem System. Bei der Herstellung eines synthetischen Dämmstoffs aus einem Liter Erdöl steigt durch viele energieaufwendige Prozesse das Maß an Ordnung und die Entropie nimmt ab. Beim Verbrennen wird diese Ordnung

zerstört, die Entropie nimmt dabei wieder zu. „Die zwangsweise Ordnung der Kunstharzmoleküle wird erkauft mit einer Zunahme an Unordnung im Rest der Welt, welche in ihrem Ausmaß die erzwungene Ordnung um ein Vielfaches übersteigt.“. Diese Überlegungen wurden bereits 1991 in der Zeitschrift „Gesundes Bauen und Wohnen“ von Hermann Fischer, dem Gründer der Naturfarbenfirma Auro, formuliert [GBW91]

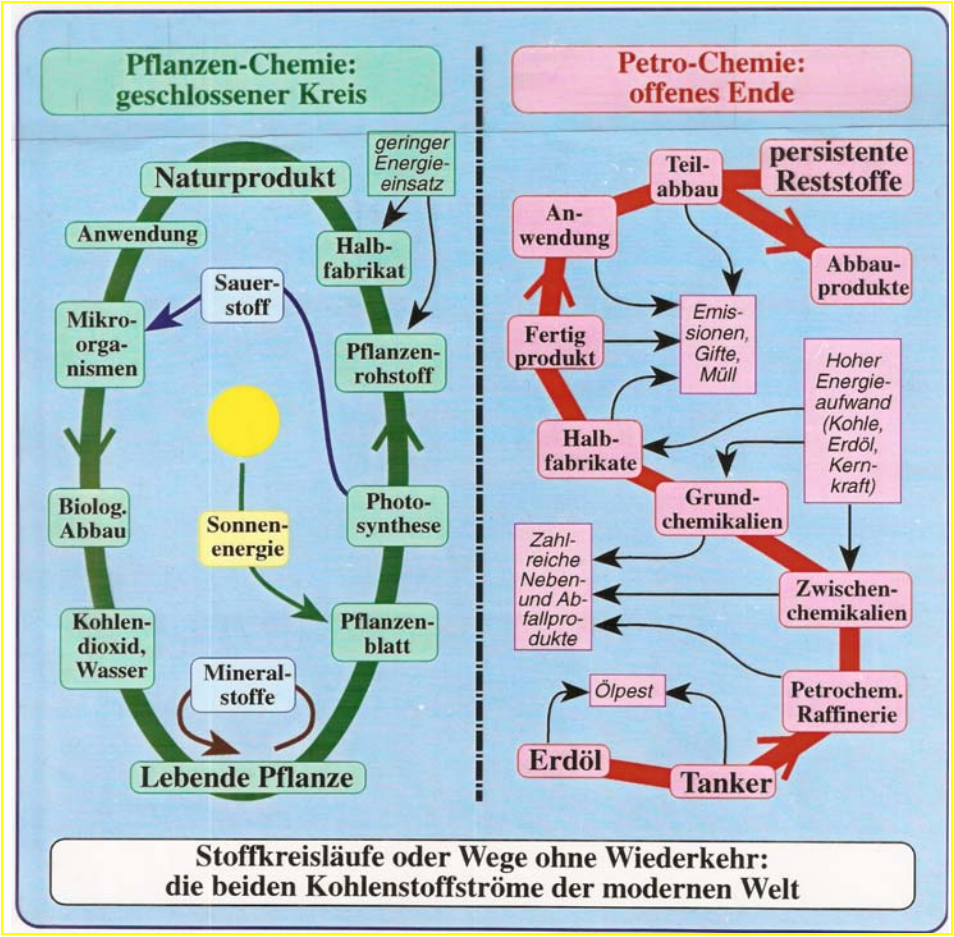

Abb. 12-5: Fossile Rohstoff-Chemie, unterbrochener Kreislauf [AURO96]

Der Entropiepfad pflanzlicher Stoffproduktion verläuft grundsätzlich anders. Bei einem Dämmstoff aus nachwachsenden Rohstoffen z.B. Flachs erfolgt die Zunahme an Ordnung beim Wachstum der Pflanze mittels Sonnenenergie durch Photosynthese, bei der aus Wasser und einfachen „unordentlichen“ Gasen wie Kohlendioxid hochkomplexe Moleküle entstehen (Abb. 12-5).

Die Einstrahlung der Sonnenenergie – eine Energiequelle außerhalb unseres Planeten – ermöglicht den Substanzaufbau und damit die höhere Stoffordnung ohne zusätzlichen fossilen Energieeinsatz (Abb. 12-6). Die so erreichte Ordnung benötigt nur einen geringen zusätzlichen Einsatz von Energie und Stoffen, um daraus einen Dämmstoff zu machen. Da die Pflanzen den Kohlenstoff, den sie zum Substanzaufbau benötigt, aus dem globalen Kohlenstoffreservoir

entnehmen, findet beim Substanzabbau am Ende des Lebenszyklus keine Zunahme des Treibhauseffekts statt.

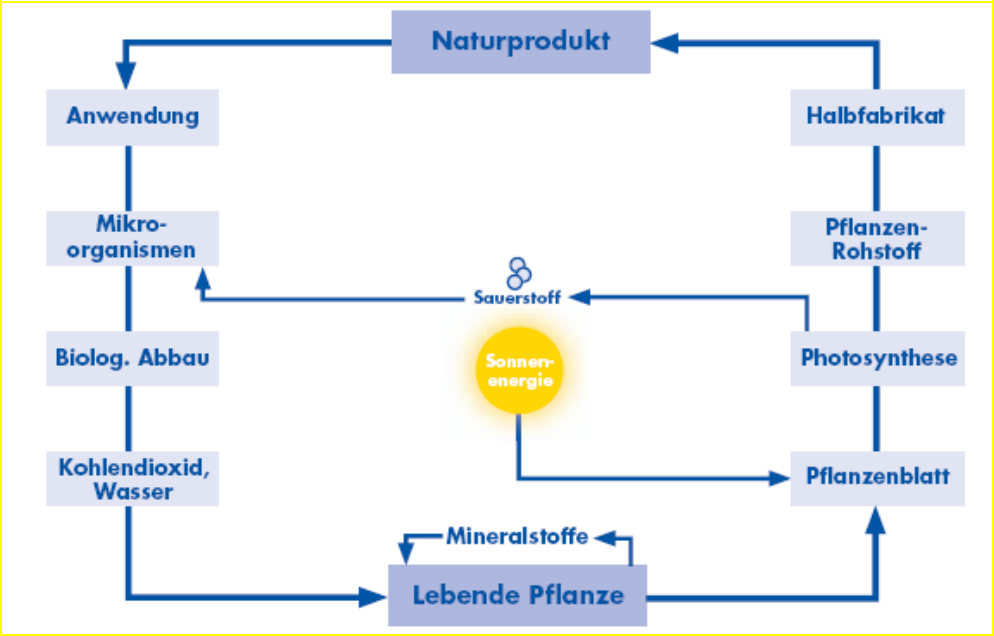

Abb. 12-6: Pflanzen-Chemie, geschlossener Kreislauf [FNR2010]

12.6 Die Ökobilanz in der Gebäudebewertung

Im Zertifizierungssystem für Gebäude des Bundes, dem Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB), sowie beim DGNB Zertifikat der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen wird im Kriterienblock ›Ökologische Qualität‹ die Durchführung einer Ökobilanz gefordert. Dieser berechnet sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb des Gebäudes (Abb. 12.7).

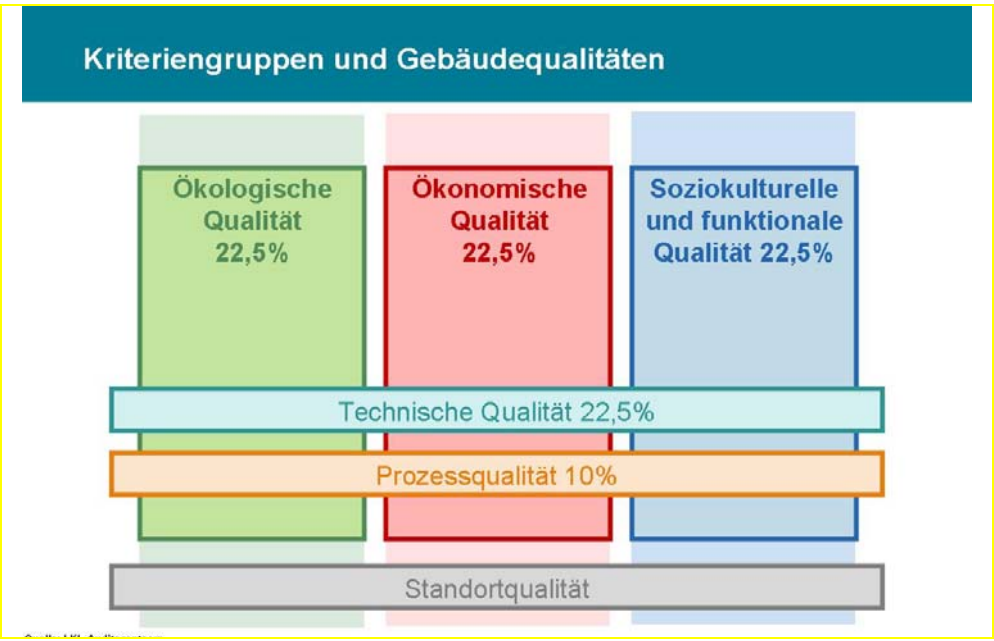

Abb. 12-7: Struktur des Bewertungssystems BNB

Ein wesentlicher Teil der Ökobilanz besteht in der Bewertung des eingesetzten Materials im Hinblick auf seine Umwelteinflüsse. Auf Basis der Materialeigenschaften, der Lebensdauer, den Instandsetzungsintervallen und den Rückbauszenarien lassen sich vergleichbare Aussagen zu verschiedenen Materialien, Bauprodukten oder Gebäudekonzepten treffen. Das Bundesministerium für Verkehr, Bauen und Stadtplanung (BMVBS) stellt zur Durchführung der Berechnung eine öffentliche Datenbank mit Ökobilanzmodulen zur Verfügung, die Ökobau.dat. Die in der Datenbank zum Einsatz kommenden Rechenregeln entsprechen sowohl internationalen Konventionen, als auch branchenspezifischen Regeln.

12.7 Die Behandlung der „End of Life“-Phase

Die Phasen der Lebenszyklusbetrachtung in der Ökobilanz werden grob unterteilt in

1. Herstellung
2. Nutzungsphase
3. Beseitigung –End of life (EOL).

Jede Phase kann spezifische Untergruppen enthalten. Die folgende Übersicht (Abb. 12.8) zeigt auf welche Phasen bei der Ökobilanzierung berücksichtigt werden und welche nicht.

Rechenregeln Ökobilanz (LCA)

- Herstellung
  - **Bauproduktherstellung**
  - Transporte (nicht berücksichtigt)
  - Baustelleneinbau (nicht berücksichtigt)
- Nutzungsphase
  - Reinigung (nicht berücksichtigt)
  - Wartung (nicht berücksichtigt)
  - **Versorgung mit Energie**
  - **Instandsetzung**
- End of Life (EOL)
  - Rückbau (nicht berücksichtigt)
  - **Entsorgung**

Abb. 12-8: Erfassung der Lebenszyklusphasen in der Ökobilanz

Die End of Life- Phase bedarf einer besonderen Analyse, da in Abhängigkeit von den Materialien unterschiedliche Lösungen möglich sind. In der bereits angesprochenen Ökobau.dat sind zur Erleichterung der Berechnung eindeutige Entsorgungsszenarien für bestimmte Werkstoffkategorien vorgegeben. Diese beinhalten in der Folge bestimmte Verrechnungsregeln z.B. Gutschriften für Recyclingpotenziale. Die untere Abbildung (Abb. 12.9) listet diese Regeln noch einmal auf.

Rechenregeln Ökobilanz (LCA) - Entsorgung

- **End of Life (EOL)-Regeln**
- Mineralische Produkte ins Recycling
- Metalle ins Recycling
  Gutschriften für Primärprodukte wegen Recyclingpotenzial
- Brennbare Produkte (Kunststoffe – Holz – Holzwerkstoffe) in die Verbrennung
  Gutschriften über KWK-Stromproduktion
- Reststoffe auf die Deponie

Abb. 12-9: Materialbezogene End of Life-Regeln

Für die nachwachsenden Materialien ist von Bedeutung, dass die CO_2-Gutschriften aus der Wachstumsphase durch die vorgesehene thermische Verwertung auf „0“ gestellt werden. Allerdings wird die bei der Kraft-Wärmekopplung erzeugte Stromproduktion dem Material gutgeschrieben.

13 Fünf Gebäude als Untersuchungsobjekte

Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden fünf Gebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Das Ziel bestand darin, neben dem physischen Gebäudemodell auch ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung zu formulieren. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz.

13.1 Kubatur und Fläche

Die fünf Objekte (Tab. 13.1) weisen erhebliche Unterschiede in der Größenordnung auf. Die folgende Abbildung zeigt Kubaturunterschiede (BRI) zwischen 6000 und 25.000 m³, und in der Bruttogrundfläche (BGF) Unterschiede zwischen 1500 und 7000 m².

Kennwert	Gebäude	Lebenshilfe Lindenberg	Finanzamt GAP	Gemeindezentrum Ludesch	Wohnungsbau Samer Mösl	Fachhochschule Kuchl
Nutzungskategorie	Typ	Gewerbebau	Büro-gebäude	Verwaltung, Bibliothek, Versammlungsräume	Mehrfamilien-Wohngebäude	Hörsaalgebäude
Baujahr	Jahr	2005	2011	2005	2006	2009
Geschosse	Anzahl	2	2 z.T. UG	2 + UG	3 + UG/TG	3 (KG Bestand)
BGF	m²	5247	6001	3582	6955	1474
BGF ohne UG	m²	entfällt	4835	2064	6152	entfällt
NGF	m²	4623	5370	3079	5669	1209
NGF ohne UG	m²	entfällt	4318	1811	4950	entfällt
beh. NGF	m²	4290,2	5133	2742	4760	1209
BRI	m³	25160	21948	9946	21482	5782
BRI ohne UG	m³	entfällt	17640	5895	19072	entfällt
Holzverbrauch	m³/m³ BRI ohne UG	0,044	0,063	0,093	0,086	0,085
Holzverbrauch	m³/m² BGF ohne UG	0,211	0,231	0,266	0,27	0,332

Tabelle 13-1: Flächen und Kubaturwerte, Holzverbrauch 5 Gebäude

Für die Ökobilanz von besonderer Bedeutung beim Einsatz nachwachsender Rohstoffe ist die Anzahl der Geschosse. Da die Bodenplatte ausnahmslos aus mineralischen Werkstoffen mit metallischer Bewehrung hergestellt wird, die Zwischendecken aber aus nachwachsenden

Werkstoffen, reduziert sich der Einfluss dieses Bauteils je mehr Geschosse vorgesehen sind. Dies zeigt sich in der folgenden Auswirkung am Unterschied zwischen Lindenberg (1 – 2 Geschosse) und Samer Mösl (3 Geschosse) (Abb.13.1).

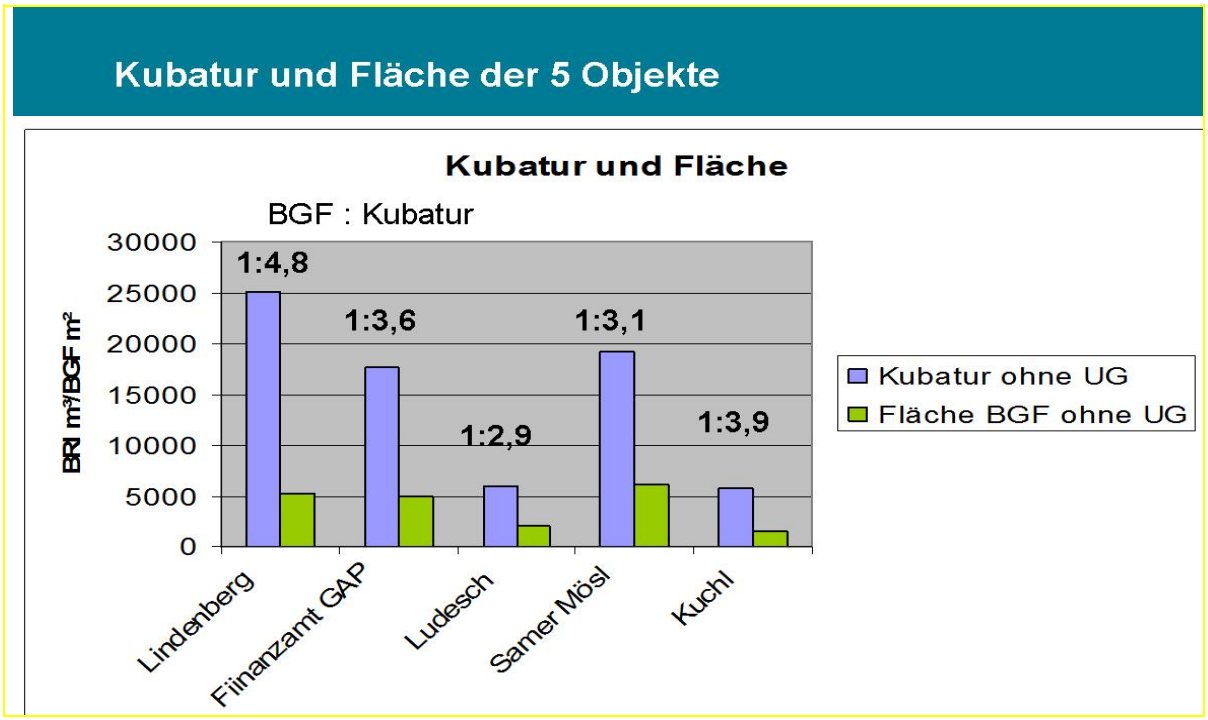

Abb. 13-1: Kubatur und Fläche der 5 Gebäude

Die hier durchgeführten Ökobilanzierungen bedienen sich der Datenbank Ökobau.dat als Basisinformation. Die Modellierung und Berechnung der Objekte wurde mit der Software LEGEP durchgeführt. Zu jedem Gebäude wurde zusätzlich eine ›Standardausführung‹ mit konventionellen Bauprodukten, die weitgehend aus nicht nachwachsenden, das heißt aus mineralischen, metallischen und synthetischen Rohstoffen bestehen, modelliert (Abb.13.2).
Diese ist in Raum, Fläche und Gestalt identisch mit dem realen Gebäude und erfüllt auch die gleichen energetischen Zielwerte. Die Bauteile wurden aus dem Elementkatalog der LEGEP-Datenbank entnommen und entsprechen im Aufbau und in der Materialwahl vielen bereits bilanzierten Gebäuden. Die Modellierung dieser ›zweieiigen Zwillinge‹ macht die Unterschiede verschiedener Konstruktionsweisen deutlich.
Bei den folgenden Auswertungen für die Ökobilanz werden die Gebäude ab der Unterkante Bodenplatte des Erdgeschosses berechnet. Vorhandene Kellerbauteile und Gründungsbauteile (Gemeindezentrum Ludesch, Finanzamt Garmisch-Partenkirchen, Wohnungsbau Samer Mösl) werden nicht mit bilanziert. Diese Bauteile (Fundamente, Rüttelstampfsäulen, Bohrfundamente, Voll- oder Teilunterkellerung) haben erfahrungsgemäß einen verzerrenden Einfluss auf das Ergebnis bezüglich der Funktion des Gebäudes und seiner Materialqualität.

Reales Gebäude - Standardvariante

Form und Fläche:

Gleiche Kubatur, gleiche Fläche, gleiche Bauform

Energiebedarf

Gleiches energetisches Niveau

Primärkonstruktion:

Holz + Holzwerkstoffe – Primärkonstruktion mineralisch

Ausbaustoffe:

Teils nachwachsende Rohstoffe – mineralisch-synthetische Bauprodukte

Technische Anlagen:

Gleiche technische Anlagen für Sanitär, Heizung, Lüftung, Kühlung, Elektro, Kommunikation, Transport

Abb. 13-2: Ausführung reales Gebäude - Standardvariante

Die folgende Abbildung listet die Gebäude und die Architekten auf. Darauf folgen für jedes Gebäude ein Grundriß und ein Detailschnitt und Bilder des ausgeführten Gebäudes.

5 Projekte

Lebenshilfe Lindenberg, Gewerbebau

Architekten: Lichtblau, München

Finanzamt Garmisch- Partenkirchen, Bürobau

Architekt: Bauer, München

Gemeindezentrum Ludesch, Multifunktionsbau

Architekt Kaufmann, Vorarlberg

Wohnungsbau Samer Mösl, Mehrfamilienhaus

Architekt: sps-architekten zt, Thalgau

Fachhochschule Kuchl, Vorlesungsgebäude

Architekten: Dietrich/ Untertrifaller, Bregenz

Abb. 13-3: Projekte und Architekten

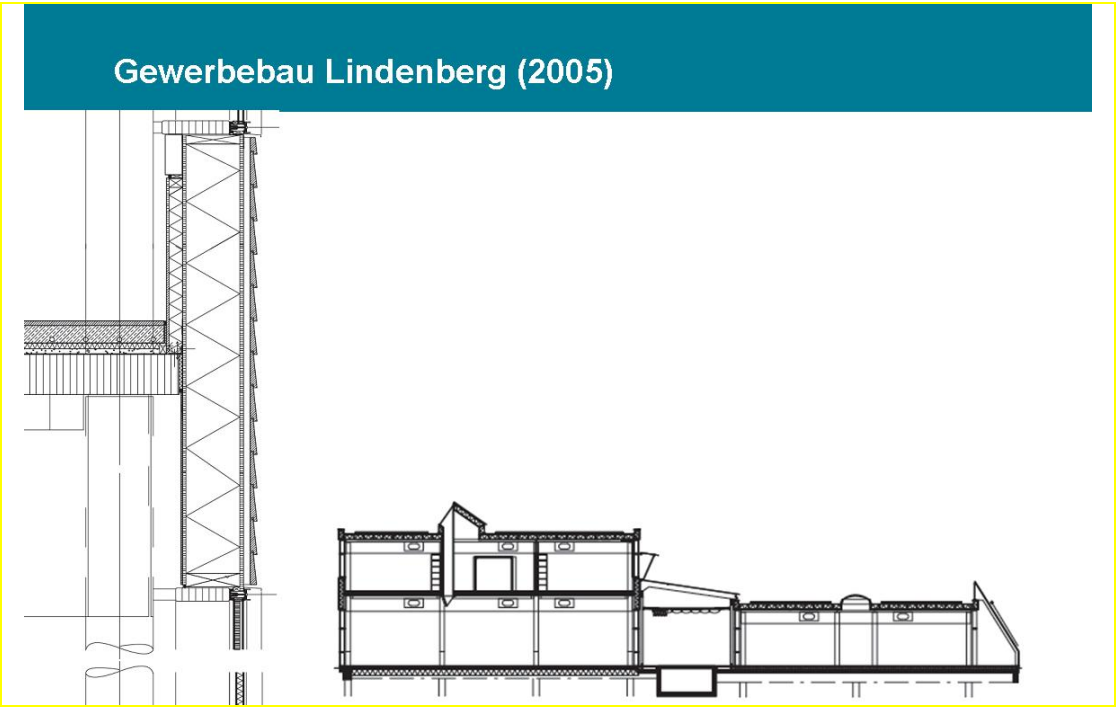

Abb. 13-4: Lebenshilfe Lindenberg Schnitt, Detail

Abb. 13-5: Lebenshilfe Lindenberg Ansicht, Innenraum Kantine

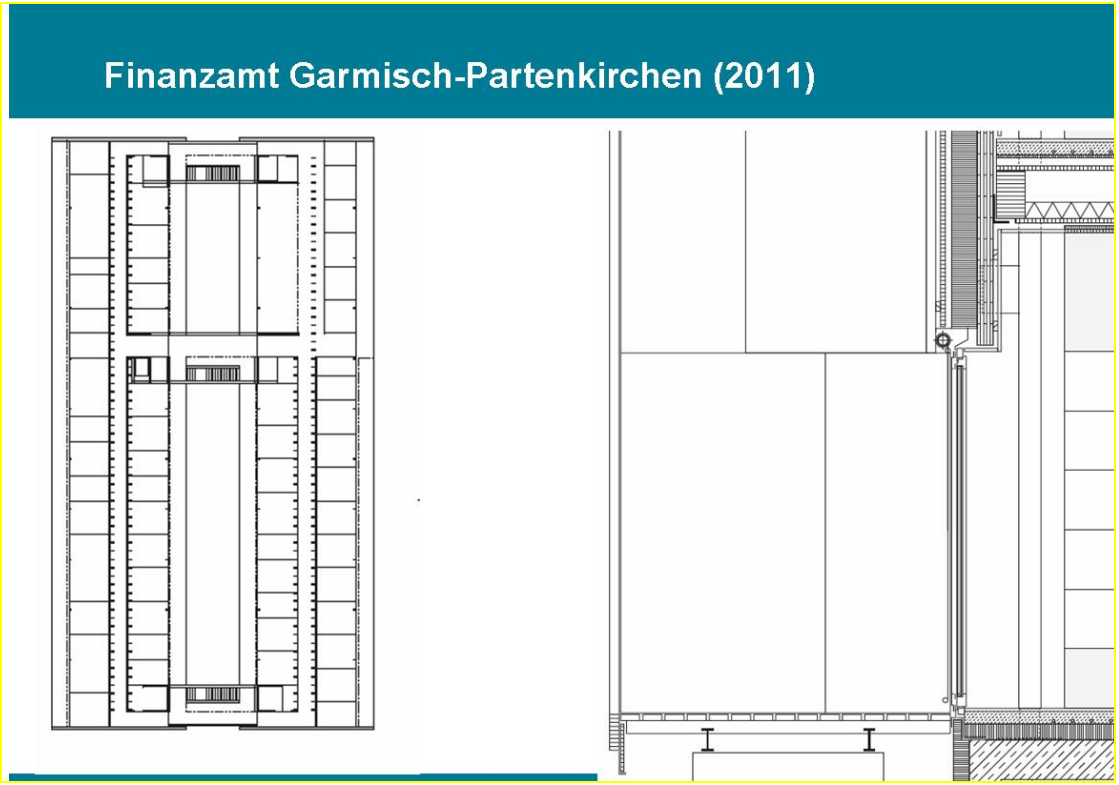

Abb. 13-6: Finanzamt Garmisch – Partenkirchen Grundriss, Detailschnitt

Abb. 13-7: Finanzamt Garmisch-Partenkirchen Ansicht Innenhof, Eingangshalle Rohbau

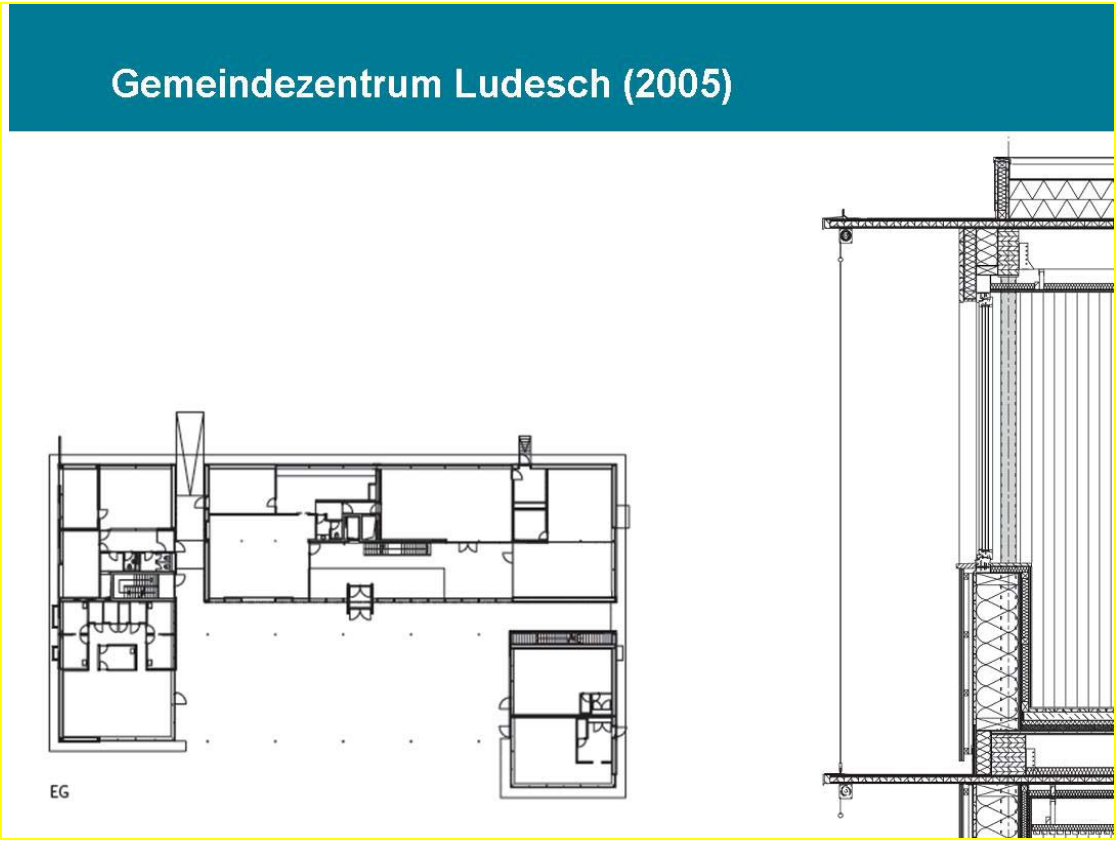

Abb. 13-8: Gemeindezentrum Ludesch Grundriss EG, Detailschnitt

Abb. 13-9: Gemeindezentrum Ludesch Ansicht Eingangsbereich, Seminarraum

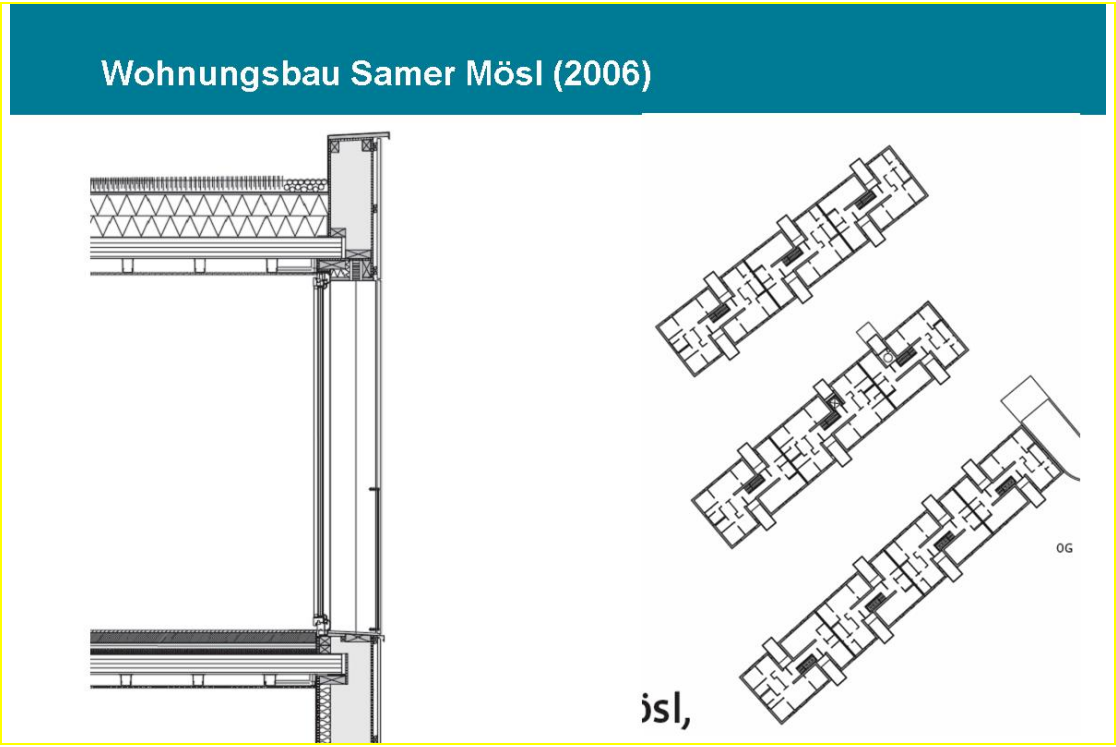

Abb. 13-10: Wohnungsbau Samer Mösl, Grundriß, Detailschnitt

Abb. 13-11: Wohnungsbau Samer Mösl, Ansicht, Innenraum

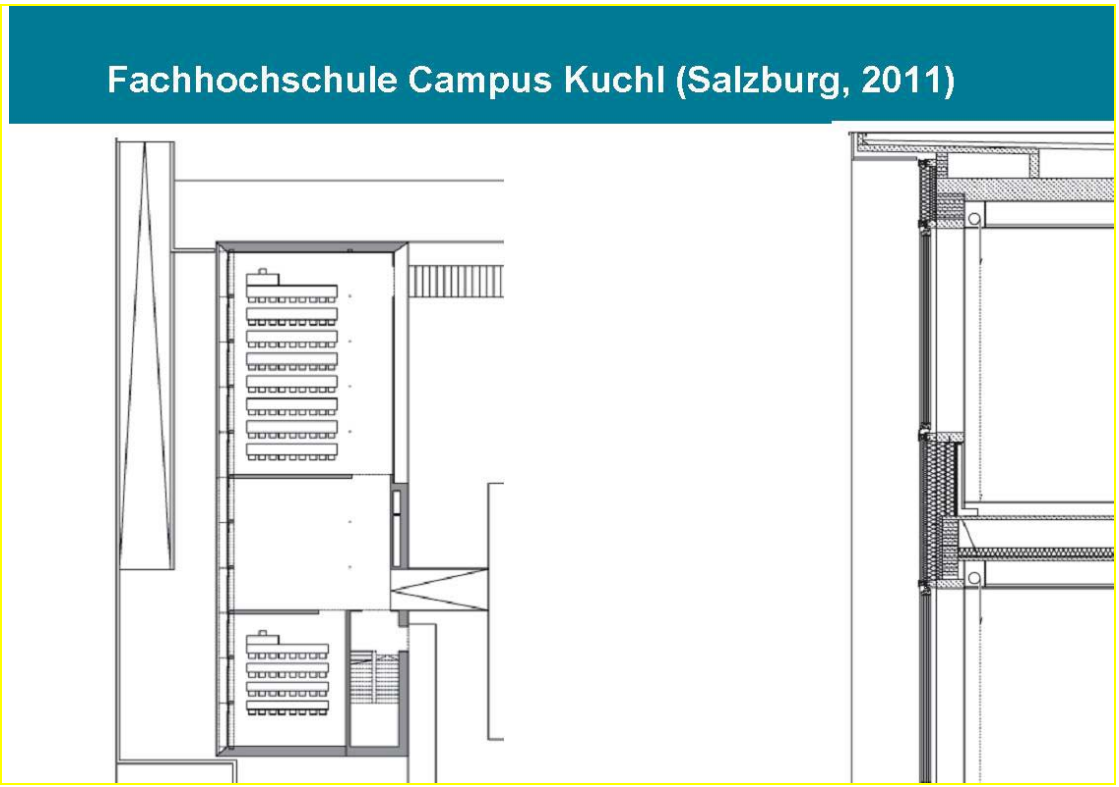

Abb. 13-12: Fachhochschule Kuchl, Grundriss, Detailschnitt

Abb. 13-13: Fachhochschule Kuchl, Ansicht

Die Anwendung eines integralen Planungs- und Berechnungswerkzeugs wie LEGEP erleichtert die Systematisierung der Qualitäten in den empirisch vertrauten Sektoren (Kosten und Energiebedarf) und erlaubt eine Überprüfung der ökologischen Berechnungsergebnisse

auf signifikante Unterschiede. Dieser Arbeitsansatz vermeidet die Schwächen monofunktionaler Studien, die ihre Ergebnisse nur schwerlich Plausibilitätsprüfungen unterziehen können.

13.2 Die Materialwahl

Für diese Untersuchung wurden nur Gebäude ausgewählt, bei denen Holz auch die primäre Tragkonstruktion bildet. Werden nachwachsende Rohstoffe nur punktuell am Gebäude eingesetzt, zum Beispiel in der Fassade, im Fußboden oder in der Dachdämmung, so zeigen sich in der Ökobilanz keine signifikanten Unterschiede zu konventionellen Gebäuden, da die verwendeten Mengen an nachwachsenden Rohstoffen zu gering sind. Erst die Ausführung der Primärkonstruktion, also der tragenden Bauteile der Außen- und Innenwände, der Decken und des Dachs aus Holz oder Holzwerkstoffen führt zu einem sichtbar unterschiedlichen Ergebnis.

Die Auswertung der unterschiedlichen Materialinhalte unterscheidet die Baustoffgruppen

- Nicht erneuerbare Rohstoffe (mineralisch, metallisch, synthetisch)
- Nachwachsende Rohstoffe (Holz, Pflanzen- und Tierfasern).

Die Bezugsgröße ist wegen der besseren Vergleichbarkeit der Objekte 1 m² Bruttogrundfläche über Terrain. Die Einheit ist Kilogramm.

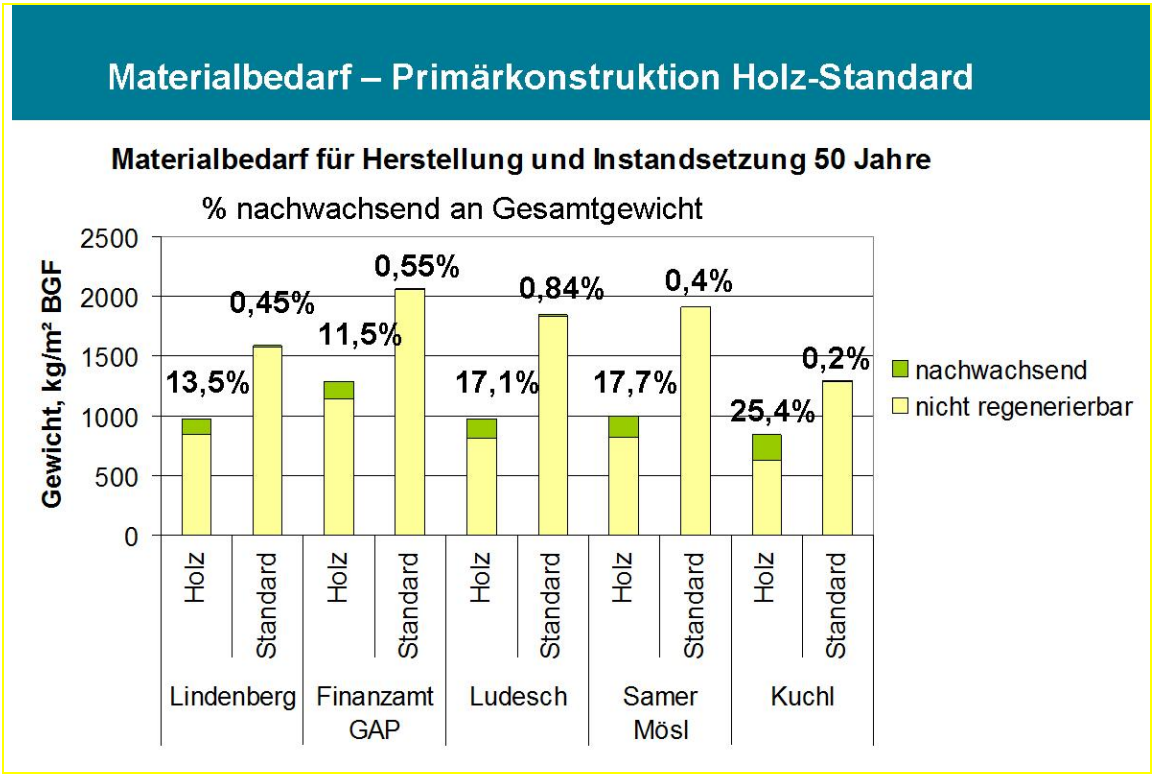

Abb. 13-14: Materialkonzepte Gebäude, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend

Deutlich ist zu erkennen (Ab. 13.14), dass die Gebäude aus nachwachsenden Rohstoffen 50 – 65 Prozent des Gewichts der konventionell gebauten Gebäude erreichen. Weiterhin zeigt das Ergebnis den sehr geringen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen bei konventioneller Bauweise von 0,5 – 1 Prozent des Gesamtgewichts des Gebäudes. In Gebäuden mit vielen Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen erreichen diese bis zu 25 Prozent des Gesamtgewichts.
Die Materialgruppe aus nachwachsenden Rohstoffen erreicht keinen höheren Anteil, weil die relativ wenigen mineralischen und metallischen Bauteile in den Holzgebäuden eine sehr hohe Rohdichte aufweisen. Die Bodenplatten der Holzgebäude bestehen aus Beton und wiegen so viel wie zwei Holzdecken mit Bodenaufbau. Die untersuchten Gebäude weisen meist zwei Geschosse auf, der Einfluss der mineralischen Bodenplatte relativiert sich erst bei mehrgeschossigen Gebäuden in Holzbauweise (Samer Mösl, Kuchl).

13.3 Ökobilanz

Die Ökobilanz der Gebäude besteht aus zwei Teilen:
Energie- und Stoffflussbilanz mit

- Ressourcennachweis (inklusive Materialliste)
- Primärenergienachweis, nicht erneuerbar, erneuerbar

Wirkungsbilanz mit fünf Indikatoren:

- Treibhauspotenzial,
- Ozonschichtabbaupotenzial,
- Sommersmogpotenzial
- Versauerungspotenzial
- Überdüngungspotenzial.

Die folgenden Abbildungen stellen alle Gebäude im Vergleich dar. Die Bezugsgröße ist ein m² Nettogrundfläche (NGF) pro Jahr. Dies entspricht der Bezugsgröße im Zertifizierungssystem. Ausgewertet wird nur das Gebäude für einen Betrachtungszeitraum von 50 Jahren mit den Phasen Herstellung, Instandsetzung und Entsorgung.
Die Versorgung mit Energie wird dagegen nicht berücksichtigt, da bei beiden Gebäudevarianten die gleichen Leistungskennzahlen beim Energiebedarf vorausgesetzt werden.
Jeder Indikator spricht ein anderes Problemfeld an, deshalb darf es nicht verwundern, wenn sich die Ergebnisse nicht linear entwickeln, das heißt ein Gebäudetyp nicht bei allen Indikatoren gleich gut abschneidet.

13.3.1 Primärenergie nicht erneuerbar

Der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch (Abb. 13.15) summiert den Einsatz von endlichen abiotischen energetischen Ressourcen wie Steinkohle, Braunkohle, Erdöl und Erdgas und Uran. Kohle wird hauptsächlich zur Energieerzeugung verwendet, die Nutzung von Uran bezieht sich ausschließlich auf die Energieerzeugung in Atomkraftwerken. Erdgas

und Erdöl kommen im Wesentlichen zur Energieerzeugung zum Einsatz, sind aber auch ein stofflicher Bestandteil von Kunststoffen.

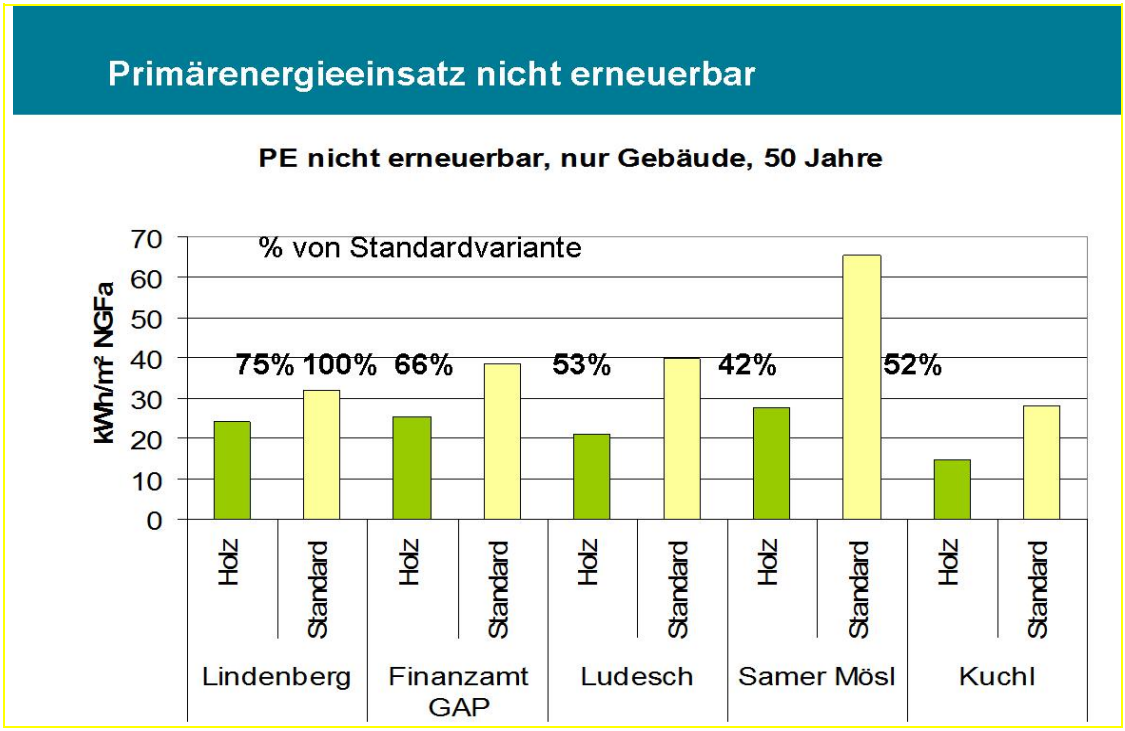

Abb. 13-15: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar

Alle Holzgebäude erreichen bei der nicht erneuerbaren Primärenergie geringere Werte als die Standardgebäude. Der Unterschied beträgt 10–20 Prozent. Dies liegt an den relativ hohen Werten der nicht erneuerbaren Primärenergie für den Kubikmeter trockenes Holz in der Ökobilanzdatenbank. Dadurch entstehen geringere Unterschiede zu den konventionell gebauten Gebäuden als die Materialmenge erwarten ließe.

13.3.2 Primärenergie erneuerbar

Der erneuerbare Primärenergieverbrauch (Abb. 13.16) umfasst die verfügbare Energie in Biomasse, die Wasserkraft, Windkraft, Solarenergie und Geothermie. Der Unterschied zwischen der genutzten Endenergie und der dafür notwendig eingesetzten Primärenergie wird durch die Primärenergiefaktoren deutlich. Für eine kWh elektrische Endenergie müssen in Deutschland mindestens 3 kWh Primärenergie eingesetzt werden.
Alle Gebäude mit hohem Anteil nachwachsender Baustoffe weisen auch hohe Anteile von erneuerbarer Primärenergie auf. Es werden 5 – 8-mal höher Werte als bei den konventionell gebauten Gebäuden erreicht.
Der hohe Anteil an erneuerbarer Primärenergie resultiert aus dem im Material enthaltenen Heizwert der nachwachsenden Rohstoffe, den die folgende Grafik (Abb. 13.17) gesondert

ausweist (rosa Säule). Der pflanzliche Kohlenstoff belastet die Atmosphäre nicht, wenn er verbrannt oder auf natürliche Weise abgebaut wird.

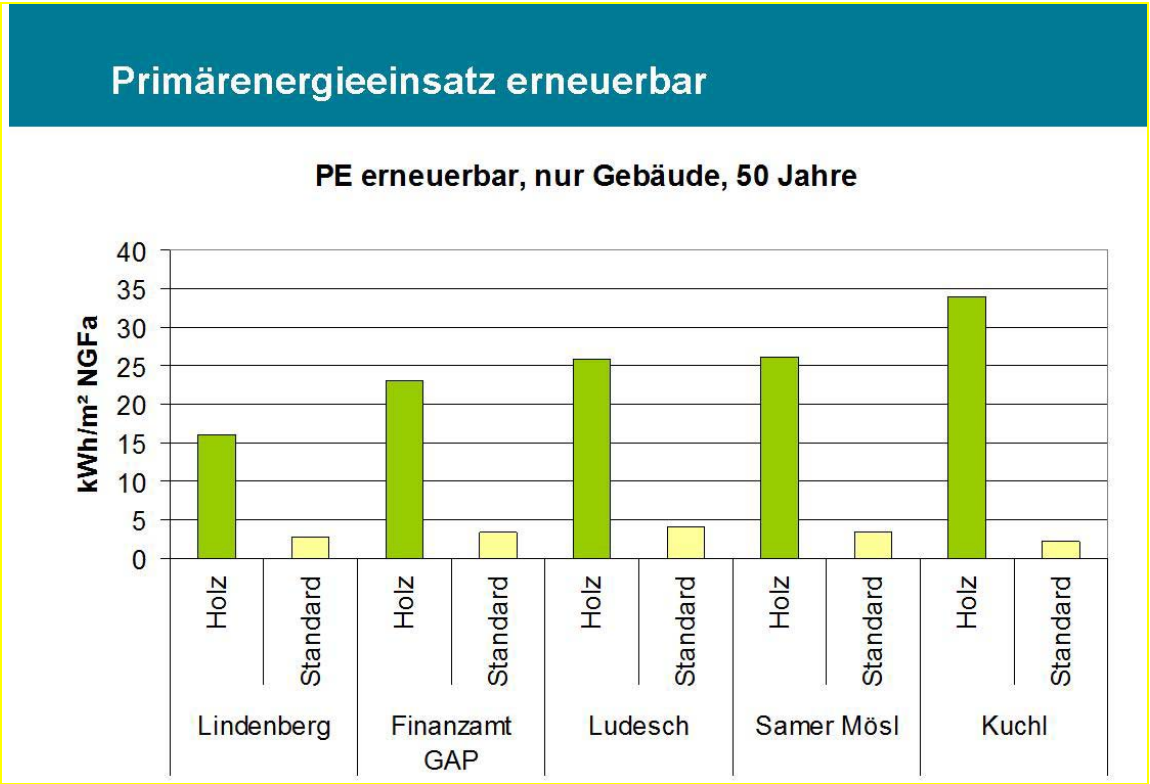

Abb. 13-16: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar

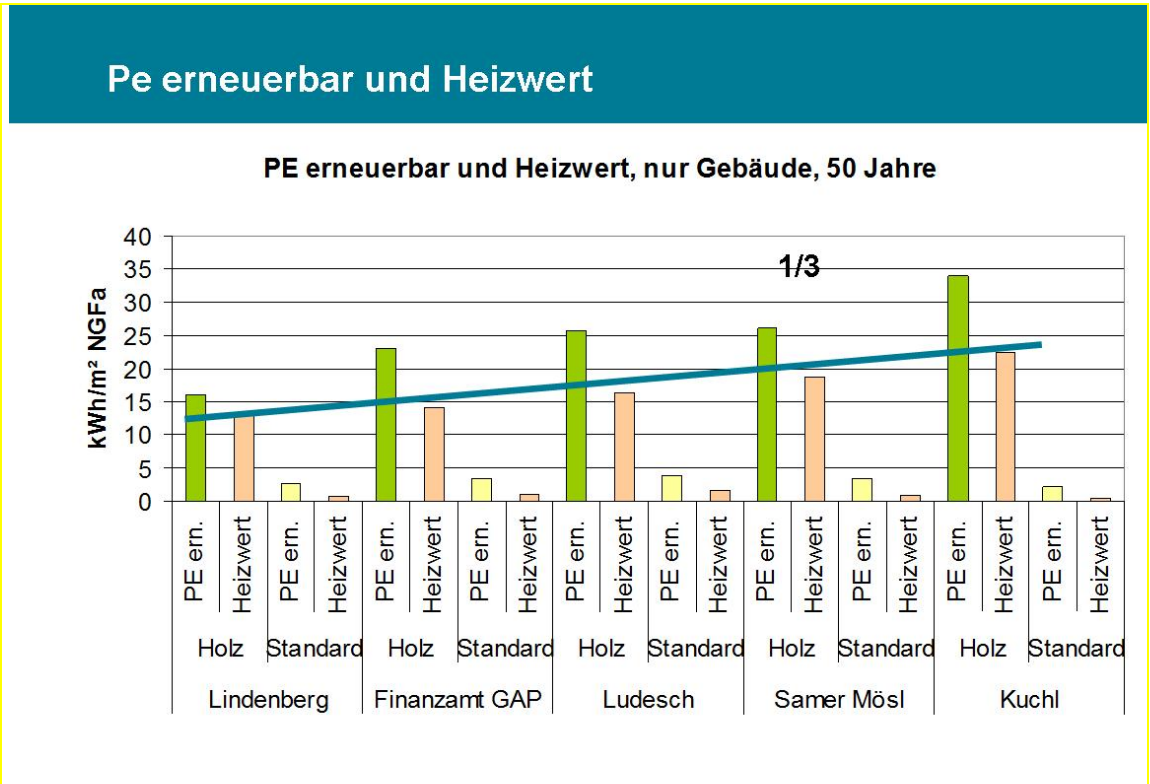

Abb. 13-17: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar mit Heizwert

13.3.3 Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) beschreibt den anthropogenen (durch den Menschen verursachten) Anteil an der Erwärmung des Erdklimas. Es wird als Kohlendioxid-Äquivalent (CO_2-Äquivalent) angegeben. Um die Verweildauer der Klimagase in der Atmosphäre mit zu berücksichtigen, wird immer auch ein Integrationszeitraum mit angegeben, zum Beispiel GWP 100 für 100 Jahre.
Der Indikator Treibhauspotenzial ist nicht geeignet, um eine Aussage über die Menge des gespeicherten Kohlendioxids durch die nachwachsenden Baustoffe im Gebäude während der Nutzungsphase zu treffen, da der Kohlendioxidspeicher am Ende des Lebenszyklus thermisch verwertet wird.

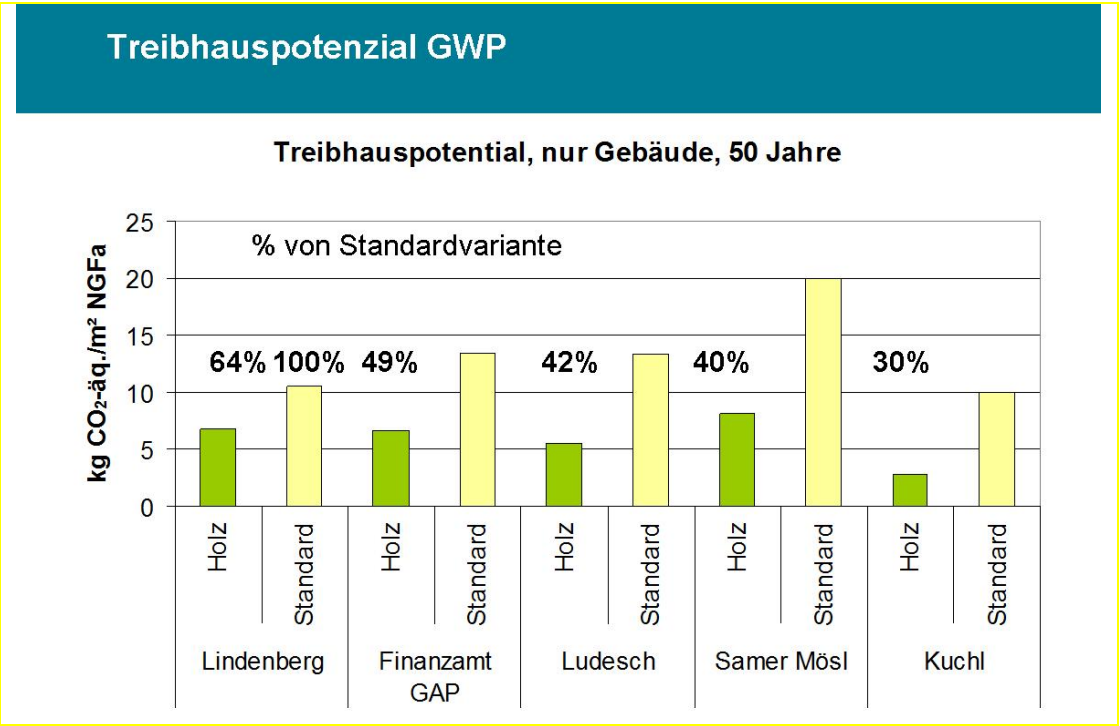

Abb. 13-18: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial

Trotz dieses vorgegebenen Entsorgungsszenarios wird die Entlastungsfunktion des Holzbaus für die Atmosphäre mit Reduktionspotenzialen von 36 – 70 % gegenüber der Standardbauweise deutlich (Abb. 13.18).

13.3.4 Sommersmogpotenzial

Das Sommersmogpotenzial wird als Ethen-Äquivalent (C_2-H_4- Äquivalent) angegeben. Im Gegensatz zu seiner Filterfunktion in sehr hohen Atmosphärenschichten ist bodennahes Ozon bei hoher Konzentration ein Schadstoff. Verursacher unter den Baustoffen sind vor allem die Lösemittel, Diese entstehen meist beim Aufbringen und späterem Ausgasen aus

Beschichtungen. Es wird zurzeit bei der Berechnung kein Unterschied zwischen natürlichen Lösemitteln wie zum Beispiel Citrusterpenen und künstlichen Lösemitteln wie Nitrozellulose gemacht. Deshalb darf es nicht verwundern, wenn Gebäude mit Bodenbelägen und Fassadenverkleidungen, die mit Naturharzen beschichtet sind, relativ höhere Werte aufweisen als Gebäude mit vielen mineralischen Oberflächen (Abb. 13.19).

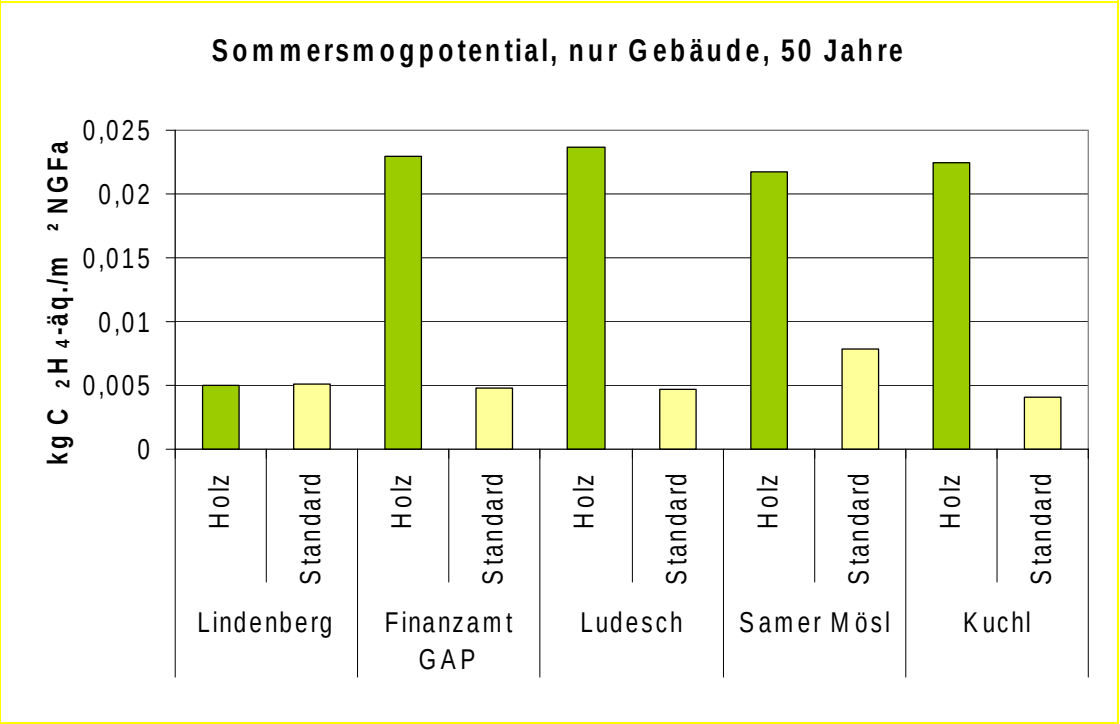

Abb. 13-19: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Sommersmogpotenzial

13.3.5 Versauerungspotenzial

Das Versauerungspotenzial wird als Schwefeldioxid-Äquivalent (SO_2-Äquivalent) angegeben. Der Effekt der Versauerung des Regens (Verringerung des ph-Wertes) entsteht durch Umwandlung von Luftschadstoffen in Säuren.

Die Holzgebäude leisten hierbei eine Entlastung, da vor allem die Primärkonstruktion wesentlich geringere Werte aufweist als die mineralischen Konstruktionen. Die Entlastung liegt zwischen 15 – 30% für das gesamte Gebäude über den Betrachtungszeitraum (Abb. 13.20).

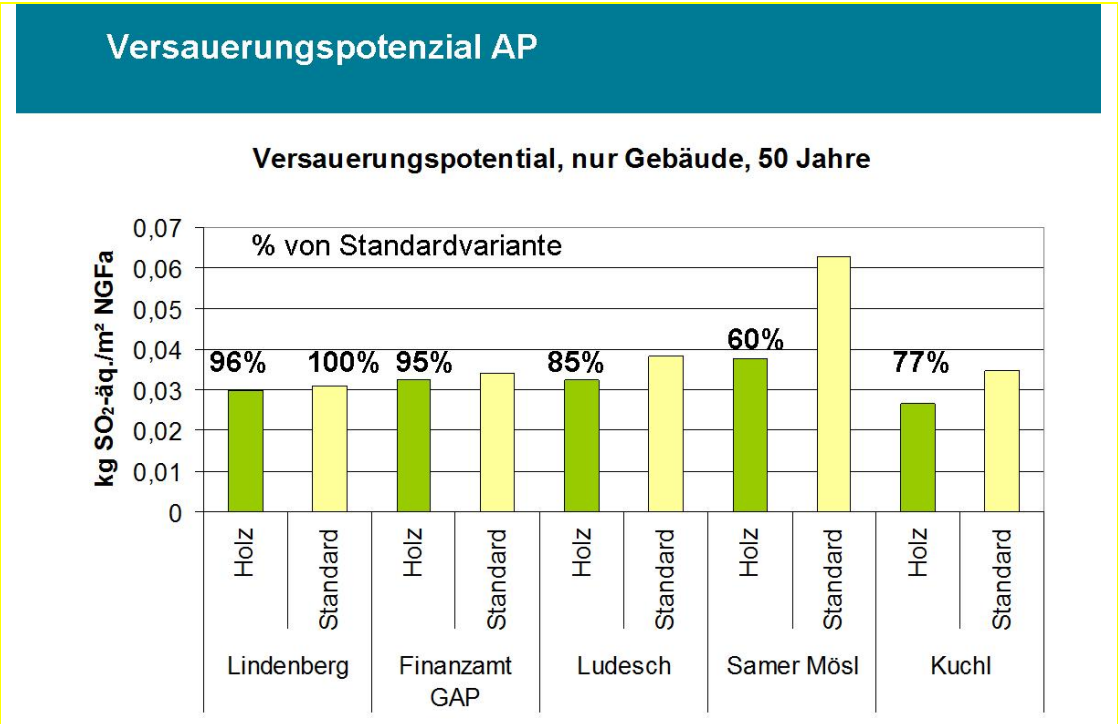

Abb. 13-20: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Versauerungspotenzial

14 Die Verknappung der Ressourcen und das Nachwuchspotenzial des Waldes

Kein Tag vergeht in dem nicht im Wirtschaftsteil der Tageszeitungen über knapp werdende Rohstoffe berichtet wird. Dies können seltene Erden sein, Metalle oder fossile Rohstoffe.

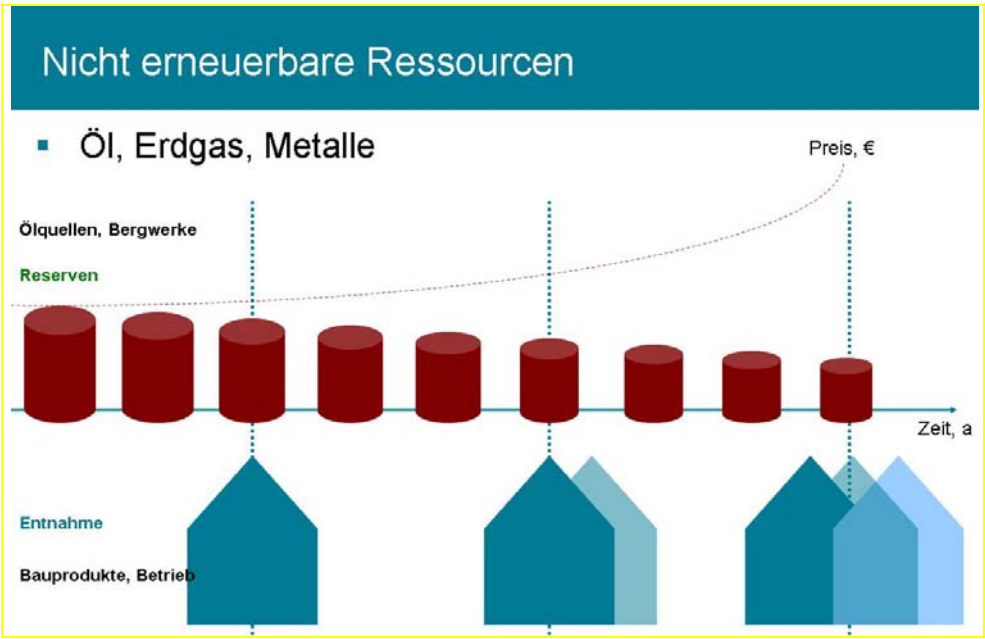

Abb. 14-1: Bauen mit Baustoffen aus nicht erneuerbaren Rohstoffquellen

Deutlich wird dabei vor allem, dass der Bauboom in den Schwellenländern wie China, zu kurzfristigen Engpässen und letztlich langfristiger Verknappung nicht erneuerbarer Rohstoffe führen wird. Die obere Abbildung (Abb. 14.1) zeigt den prinzipiellen Charakter der sich zwangsläufig erschöpfenden endlichen Ressourcen auf, der unter anderem durch die Bautätigkeit verursacht wird.

In einem Arbeitskreis zur Erstellung einer Informationsbroschüre [HOLZ10] für Entscheidungsträger in Politik und Verwaltung zum Thema „Holz und Klimaschutz“ unter Leitung von Prof. Wegener, Holzforschung München, entstanden in komprimierter Form Texte und grafische Darstellungen der Lebenskette von Holz und Holzprodukten im Bauwesen, die die spezifischen Eigenschaften dieses Baustoffes deutlich machen. Zwei Aspekte von Holz und Holzprodukten im Bauwesen müssen besonders berücksichtigt werden:

Die Ökobilanz zeigt zwar in der Herstellungsphase die Fähigkeit von Holz als Kohlendioxid-speicher auf, da sie zwischen fossilem und regenerierbarem Kohlenstoff aber keinen Unterschied macht, wird die Entlastungsfunktion für das Klima nicht deutlich. Des Weiteren bezieht sich die Ökobilanz für ein Gebäude mit ihrer Systemgrenze auf das gebaute Objekt, weshalb ein wesentliches Qualitätskennzeichen der nachwachsenden Rohstoffe nicht aufgezeigt werden kann: ihr Nachwuchspotenzial.

Jeder genutzte Stamm schafft Platz für neue Bäume und vermehrt den Kohlenstoffspeicher (Abb. 14.2). Die Evidenz des Unterschieds zwischen Bauprodukten mit fossilem, mineralischem oder metallischem Rohstoffhintergrund und einem Rohstoffkonzept mit nachwachsenden Materialien erfährt in der normierten Zahlenwelt der üblichen Ökobilanzindikatoren bisher keine Berücksichtigung.

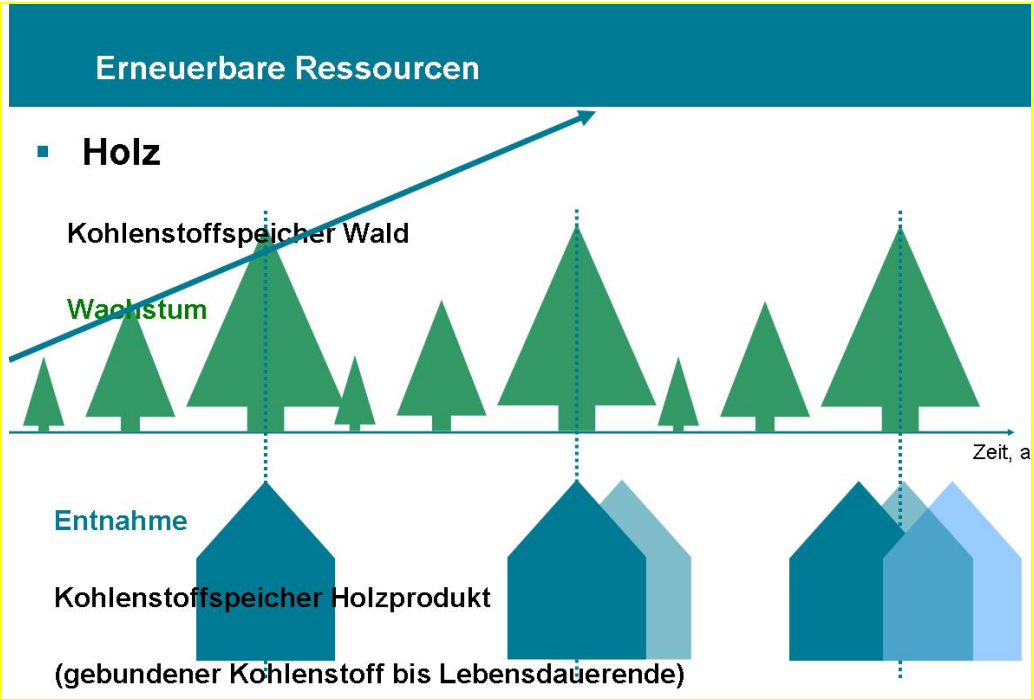

Abb. 14-2: Bauen mit Baustoffen aus nachwachsenden Rohstoffquellen

Das vorliegende Forschungsprojekt, das die Daten zur Ermittlung der Nachwuchspotenziale verschiedener Holzarten und Holzsorten und ihrer Verwendung im Bausektor aufbereitet hat (s. Kapitel 7.5), erlaubt den Einsatz dieser Daten zur projektbezogenen Berechnung von Nachwuchspotenzialen individueller Gebäude. Auf Basis dieser Bilanzansätze können die Umweltwirkungen verschiedener materialspezifischer Lösungsansätze im Gebäudebereich untersucht, berechnet , bewertet und verglichen werden.

Die bisher bestehende Gleichbehandlung von Bauprodukten mit fossilem, mineralischem oder metallischem Rohstoffhintergrund und nachwachsendem Rohstoffkonzept in der Ökobilanzierung, soll durch die Berechnung und Angabe des Nachwuchspotenzials ergänzt werden. dafür wird hierzu die Darstellung des Nachwuchspotenzials als „pädagogische Wirkungskategorie“ eingeführt werden. Als Indikator dient das Umweltentlastungspotenzial des nachwachsenden Waldes, ausgedrückt in Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O_2).

14.1 Substitution als Einsparpotenzial

Die Darstellung der einzelnen Ökobilanzindikatoren gibt einen Hinweis auf Vermeidungen und damit Entlastungen für das Ökosystem bei einem Wechsel in der Materialauswahl.

Durch den umfassenden Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen können endliche Ressourcen ersetzt werden.

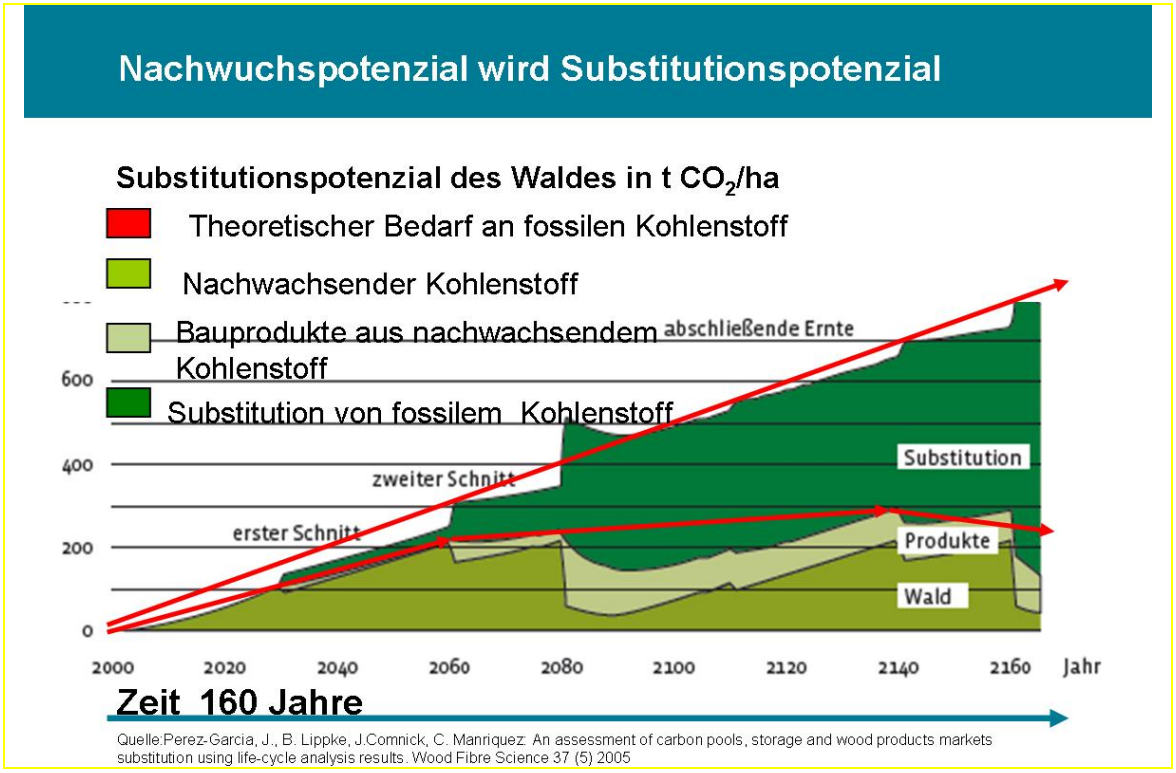

Abb. 14-3: Kohlenstoff im Wald und im Kohlenstoffspeicher-Zunahme der Einsparung

Die Abbildung 14-3 oben [PER2005] zeigt wie der theoretische Bedarf an fossilem Kohlenstoff (roter Pfeil) für Baukonstruktionen eingespart werden kann. Voraussetzung dafür ist der Einsatz der nachwachsenden pflanzlichen Kohlenstoffe (grasgrüne Fläche „Wald“), die auf einer entsprechenden Fläche (ha) nachwächst. Werden das Holz und der inkorporierte Kohlenstoff geerntet und daraus Bauprodukte erzeugt (lindgrüne Fläche „Produkte“, dann können sie Bauprodukte aus endlichen Rohstoffen, die mit einem entsprechenden Aufwand an CO_2 erzeugt wurden (grüne Fläche), ersetzen. Der Zeithorizont umfasst zwei Wachstumsphasen des Waldes von insgesamt 160 Jahren. Zum Einsatz kommt dabei die Biomasse als Ersatz für fossile Brennstoffe ebenso wie für Produkte aus nicht erneuerbaren Rohstoffen.

14.2 Objektbezogenes Nachwuchspotenzial

Je nach Menge der im Gebäude verbauten nachwachsenden Rohstoffe wird eine entsprechende Fläche im Wald geerntet. Auf dieser Fläche wächst in dem Betrachtungszeitraum von 50 Jahren die gleiche Menge nach und bildet in dieser Zeit einen entsprechenden Kohlenstoffspeicher aus, der die Atmosphäre von der angezeigten Menge an Kohlendioxid entlastet. Der Unterschied zwischen den Gebäudekonzepten wird damit

noch einmal deutlicher als bisher in der Ökobilanz anhand des Indikators Treibhauspotenzial dargestellt. Je nach Größe des Objekts werden unterschiedliche Mengen an Material benötigt. Einen relativen Vergleich erlaubt die Auswertung nach der Bezugsgröße Kohlendioxid (in Kilogramm) pro Quadratmeter Bruttogrundfläche (BGF).
Für die Gebäude wurde eine separate Untersuchung dazu durchgeführt, welche Entlastung der Ökosysteme sich durch den Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen bei der Primärkonstruktion von Außenwänden, Innenwänden, Decken und Dach realisieren ließ.

Indikator	Einheit	Menge Objekt Standard	Menge Objekt Holz	Differenz	%
Masse	kg	2.107.198	384.984	1.722.214	82
PE nicht erneuerbar	kWh	834.277	620.422	213.835	26
PE erneuerbar	kWh	30.784	1.109.009	1.078.225	
Treibhausp.	kg CO_2	289.152	-269.079	558.231	193
Sommersmogp.	kg C_2H_4	73,5	55,2	18,3	25
Versauerungsp.	kg SO_2	601	296,1	304,9	51

Tabelle 14-1: Einsparung durch Materialwechsel der Primärkonstruktion

Die obige Tabelle 14-1 führt die Mengen und Prozente der Entlastung bei einzelnen Ökobilanzindikatoren für das Gemeindezentrum Ludesch auf. Die Größenordnung macht die hohen Potenziale deutlich, die ohne Einbuße an Funktionalität oder Sicherheit bei solchen Objekten realisierbar sind.
Einerseits wird die Umwelt durch das realisierte Gebäude entlastet. Dies wird durch die Ökobilanz ausgedrückt. Auf der frei gewordenen Waldfläche wächst neues Holz heran. Dieses Holz kann zukünftig weitere nicht erneuerbare Ressourcen ersetzen. Dies wird durch das Substitutionspotenzial ausgedrückt.“ Um besondere Entlastungspotenziale für die Umwelt in der Ökobilanz auszudrücken, hat die europäische Normung für die Nachhaltigkeit von Gebäuden neben den drei Lebenszyklusphasen A = Herstellung, B = Nutzung, C = End of Life ein viertes Modul D eingeführt, das die Potenziale angibt, die die Systemgrenze der drei Phasen A–C überschreiten. Hier wird beispielsweise das Recyclingpotenzial von Metallen aufgeführt, das die Herstellungsaufwendungen für das Primärmaterial um bis zu 90 Prozent reduziert.
Für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen in einem Gebäude kann das Substitutionspotenzial beispielsweise für tragende Bauteile aus nicht erneuerbaren Ressourcen berechnet werden.
Aus der Analyse des Gemeindezentrums Ludesch lassen sich mögliche Substitutionspotenziale für den kg CO_2-Äquivalente berechnen (Abb. 14-4 und 14-5).

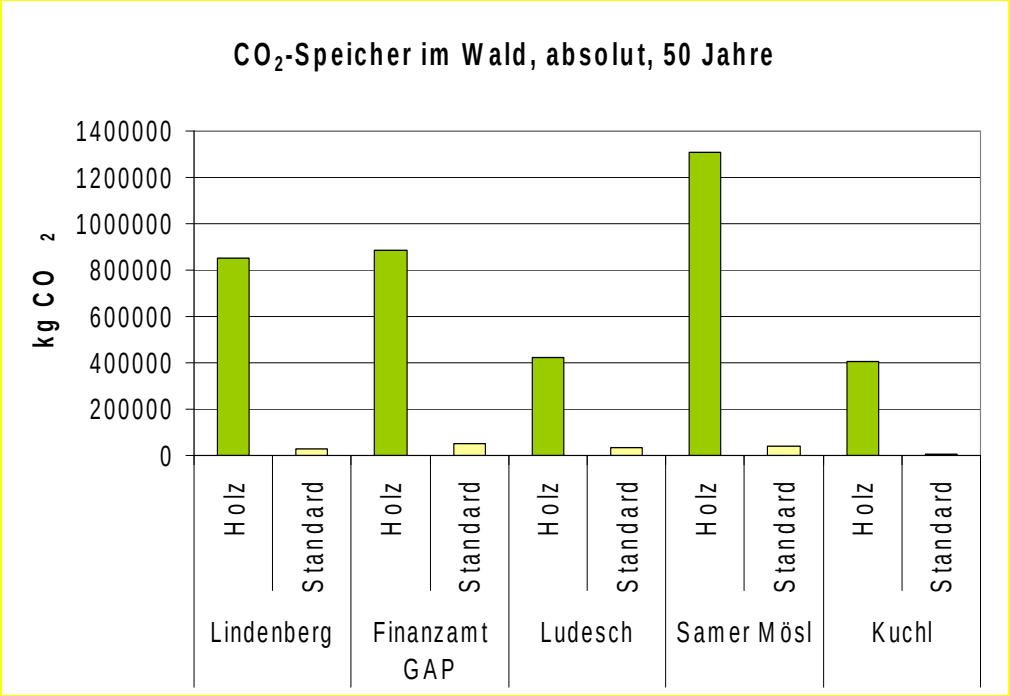

Abb. 14-4: Nachwuchspotenzial durch Holznutzung in den Objekten, absolute Menge

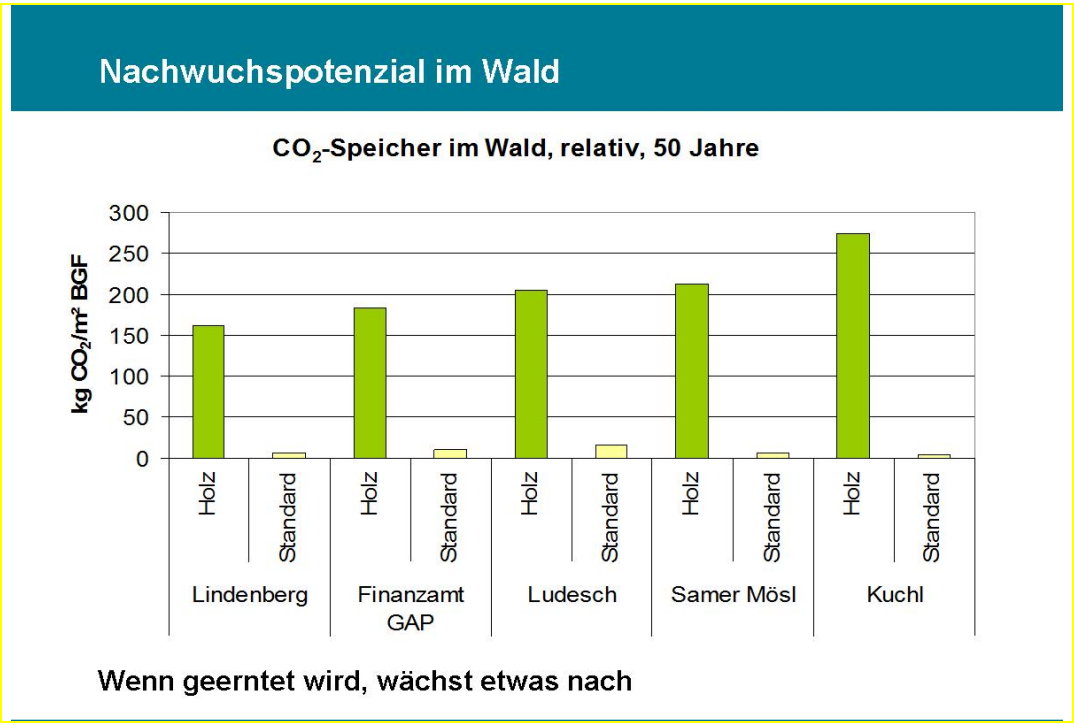

Abb. 14-5: Nachwuchspotenzial in kg CO_2/m²BGF durch Holznutzung in den Objekten, relative Menge

15 Fazit

Die Vergleiche zwischen Gebäuden in konventioneller Bauweise, die zahlreiche Bauprodukte aus endlichen Ressourcen enthalten, und Gebäuden mit einem hohen Anteil an Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen haben die erheblichen Entlastungspotenziale aufgezeigt, die letztere Bauweise für das Ökosystem bietet. Ein Großteil der heute üblichen Bauaufgaben vom Wohn- bis zum Gewerbebau lässt sich mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen umsetzen. Bei den gezeigten Objekten wurden Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen von der Tragkonstruktion in Außen- und Innenwänden, Decken, Stützen und Dächern über Fassadenverkleidung, Sonnenschutz und Dämmung bis hin zum Innenausbau eingesetzt.
Das Forschungsprojekt zur Ermittlung der Nachwuchspotenziale hat sich zum Ziel gesetzt, das Besondere der Produktgruppe der nachwachsenden Rohstoffe durch eine vergleichende Ökobilanz noch besser herauszuarbeiten. Sie unterscheidet sich von allen anderen Baustoffen durch das Nachwuchspotenzial der eingesetzten Rohstoffe, das sich jedoch nur durch Bewirtschaftung von Wald und Feldern realisieren lässt. Gleichzeitig ist heute zu betonen, dass Nachhaltigkeit in der Land- und Forstwirtschaft nicht unter dem Diktat der Profitmaximierung stehen darf, die sich durch die erkennbaren Folgen von Monokultur, Pestizid- und Düngereinsatz sowie Gentechnik bereits als kurzlebiger Irrtum erwiesen hat. Eine nachhaltige Bewirtschaftung behält immer die Vorteile für die nächste Generation im Auge. Die wirtschaftliche Nutzung ist jedoch nur möglich, wenn eine Nachfrage besteht. Deshalb ist es ein wichtiges Ziel, die Nachfrage für Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen zu sichern und zu erweitern.

Eine verstärkte Nutzung von Holz und biogenen Baustoffen im Neubau und der Modernisierung bietet aufgrund der bekannten ökologischen Qualitäten eine wirksame Reduktion des Einsatzes an nicht erneuerbaren Ressourcen. Die Einsparung nicht erneuerbarer Ressourcen findet sowohl in der Herstellungsphase, als auch während des Gebäudeunterhalts und bei der Entsorgung am Ende des Lebenszyklus statt. Damit erbringen nachwachsende Rohstoffe einen aktiven Beitrag zur Reduktion der CO_2 -Emissionen zur Erreichung der globalen Klimaschutzziele.
Das vorliegende Forschungsprojekt schafft die Grundlagen einer materialgerechten Berechnung des ökologischen Potenzials nachwachsender Rohstoffe und liefert einen wichtigen Baustein für einen ganzheitlichen Ansatz bei der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Neubau- und Sanierungsvorhaben (Lebenszyklusbilanzierungen).

16 Dissemination

Die Ergebnisse der o.g. komplexen Untersuchung wurden grafisch leicht verständlich aufbereitet und im Rahmen einer Architekturausstellung einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt. Zur Ausstellung wurde eine umfangreiche Publikation als Ausstellungskatalog erstellt.

16.1 Ausstellung

Die Ausstellung >Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft< wurde am 10.11.2011 in München in der Architektursammlung der Pinakothek der Moderne eröffnet und endete am 5.2.2012. Über die gesamte Dauer wurde die Ausstellung sehr gut besucht, alleine der Vernissage wohnten über 800 Personen bei.

Die Ausstellung sollte sich von dem üblichen Schema der Architekturdarstellung lösen und nicht nur mit interessanten Bildern von Gebäuden ohne Nutzer die Ästhetik des Berufsstandes befriedigen. Die zusätzlichen Grafiken zur Ökobilanz, die Beweise der Monitoring Daten der hohe Nutzerkomfort und Beispiele von Nutzerzufriedenheit durch Interviews oder Zitate, erweiterte das Spektrum gewöhnlicher Architekturwahrnehmung.

Die Ausstellung wurde didaktisch drei Teile aufgebaut:
- Ökologische Bedeutung
- Technologisches Potenzial
- Vertrautes Material-Neue Ästhetik

Neben der grafischen Darstellung spielte die Präsentation die haptischen und sinnlichen Qualitäten des Materials eine wesentliche Rolle. Ein ganzer Fichtenbaum lag im Mittelpunkt der ersten zwei Abteilungen. Das technologische Potenzial von Holz wurde eindrucksvoll über große Architekturmodelle vermittelt, die von zahlreichen Studenten der Architekturfakultät der TU München gebaut wurden.

16.2 Begleitprogramm

In Fachführungen durch Mitarbeiter des Fachgebiet Holzbau und des Architekturmuseums der TU München wurde über 100-mal einer interessierten Öffentlichkeit die Inhalte der Ausstellung und insbesondere das Kapitel der Ökologischen Bedeutung von Holz erläutert.

Vortrag von Hermann Kaufmann | WOOD WORKS am 14.12.2011
Hermann Kaufmann, Architekt und Professor am Institut für Entwerfen und Bautechnik an der TU München zählt zu den Pionieren des modernen Holzbaus in Europa. Sein mit

höchsten internationalen Preisen ausgezeichnetes Werk reicht vom Gewerbe- und Landwirtschaftsbau über Wohnanlagen, Gemeindezentren und Schulen bis zu Hotels und spiegelt prägnant die Wende von den klassischen
Holzbautechniken zu den Möglichkeiten neuer Holzwerkstoffe. Kaufmann setzt über räumlich innovative Lösungen hinaus in baubiologischer und ökologischer Hinsicht Maßstäbe für die Zukunft.

16.3 Symposium zu Ausstellung am 26.1.2012

Das Symposium vertieft zum einen die in der Ausstellung an herausragenden Architekturbeispielen vorgestellten Positionen moderner Holzarchitektur und zum anderen ressourcenspezifische Themen ökologischen Bauens. Neben Werkberichten der Architekten Holger König (München), Helmut Dietrich
(Bregenz), Florian Nagler (München), hiendl_schineis architektenpartnerschaft (Passau), Hubert Rieß (Graz) und Andrea Deplazes (Chur) wird ein Forschungsbericht über die von der deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten vergleichenden Ökozertifizierung von fünf in der Ausstellung gezeigten Projekten vorgestellt.

16.4 Publikation

Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft | Building with Timber – Paths into the Future
herausgegeben von Hermann Kaufmann und Winfried Nerdinger
224 Seiten mit zahlreichen farbigen Abbildungen, Prestel Verlag
Museumsausgabe (deutsch) | ISBN 978-3-7913-6392-9
Buchhandelsausgabe (deutsch) | ISBN 978-3-7913-5180-3
Buchhandelsausgabe (englisch) | ISBN 978-3-7913-5181-0

Die Ausgabe enthält neben der Dokumentation zahlreicher aktueller Holzbauwerke Texte von Prof. Dr.Ing. Gerd Wegener, Holger König, Hermann Kaufmann, Hani Buri, Yves Weinand, Frank Lattke, Wolfgang Pöschl, Hermann Blumer, Florian Aicher und Florian Nagler.

16.5 Weitere Verwendung

Die Ergebnisse werden vom Antragsteller unter Nennung des Fördermittelgebers für weitere wissenschaftliche Tätigkeiten in dem beschriebenen Themenfeld verwendet (z.B. smartTES, ECO2, E2ReBuild, COVERBUILD).
Die Dokumentation der Projekte und die Ergebnisse der Bilanzierung sind beispielhafte Grundlagen, die vom Antragsteller weiterverwendet werden um die Datenbanken aktueller

Bilanzierungsprogramme (z.B. GABI, LEGEP) zu vervollständigen. Die Antragsteller werden die Daten für die Arbeit in den entsprechenden Normenausschüssen zur Verfügung stellen.

17 Quellen Teil 2

[PE2005] PE Europe, Glossar der GABI-Datenbank, Stuttgart 2005

CAR62 Carson, Rachel (2002) [1st. Pub. Houghton Mifflin, 1962]. *Silent Spring*. Mariner Books.

[ENQ1998] Deutscher Bundestag, Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt" des 13. Deutschen Bundestages. Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung. 1998. Ed.: Deutscher Bundestag Referat Öffentlichkeitsarbeit. Berlin

[BINE99] Bewertung der Energie- und Stoffströme im Planungsprozess von Gebäuden, Bine Informationsdienst Bonn 1999

[NABAU01] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Städtebau, Leitfaden Nachhaltiges Bauen, Berlin 2001

[BMVBS2011 Bundesministerium für Verkehr, Wohnen und Stadtentwicklung, Leitfaden für nachhaltiges Bauen 2011, Berlin 2011

[LUE03] Lützkendorf Thomas, Von der Ökobilanzierung zur integrierten Lebenszyklusanalyse- Wege zur Verknüpfung von Umweltfreundlichkeit und Wirtschaftlichkeit in der Planung Karlsruhe 2003

[KOE85] König, Holger, Wege zum gesunden Bauen, Ökobuchverlag Freiburg, 9. Auflage 1998

ISBN: 3 - 922964 - 16 - 8

CLUB72 Donnelly H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Renders & William W. Behrens III: *The Limits to Growth.* Universe Books, 1972, ISBN 0-87663-165-0

PLAP09 Boote Werner, Plastic Planet Film Deutschland, Österreich 2009

KOE09 König H., Kohler N., Kreißig J., Lützkendorf T. Lebenszyklusanalyse in der Gebäudeplanung, München 2009, ISBN 978-3-920034-30-0

[BUSCH03] Buschmann Rolf, Umweltverträglichkeit von Gebäudedämmstoffen, Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Schleswig-Holstein, Kiel 2003

[GBW91] Hermann Fischer, Energie und Entropie, in Gesundes Bauen und Wohnen Heft 4/1991Braunschweig 1991

[AURO96] Fischer Hermann, Folienreihe der Fa. AURO, Braunschweig 1996

[FNR2010] Broschüre „Naturfarben - Oberflächenbeschichtungen aus nachwachsenden Rohstoffen“, Fachagentur nachwachsende Rohstoffe, *(nach AURO Pflanzenchemie AG, Braunschweig*) Gülzow, 2010

[HOLZ10] Holzforschung München, Bauen mit Holz = aktiver Klimaschutz, München 2010

[PER2005] Perez-Garcia, J., B. Lippke, J.Comnick, C. Manriquez: An assessment of carbon pools, storage and wood products markets substitution using life-cycle analysis results. Wood Fibre Science 37 (5) 2005