Technische Universität München, Prof. Hermann Kaufmann

Aktiver Klimaschutz durch Ressourceneffizienz und Nachwuchspotenzial des Holzbaus am Beispiel von zwei Neubauten und drei Sanierungsprojekten.

Abschlußbericht

Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) - AZ: Nummer 30866-25

Autoren:
Dipl. Ing. Architekt Holger König
Ascona GbR, Eschenriederstr. 65, D- 82194 Gröbenzell
Tel. 08142-6518696/ Fax 08142-6518697 mail@ascona-koenig.de
Prof. Hermann Kaufmann, Dipl. Ing. Wolfgang Huß

München 31.03.2015

06/02

Projektkennblatt

der

Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Az	30866	Referat	25	Fördersumme

Antragstitel	Aktiver Klimaschutz durch Ressourceneffizienz und Nachwuchspotenzial des Holzbaus am Beispiel von zwei Neubauten und drei Sanierungsprojekten.
Stichworte	Bauen mit Holz, Aktiver Klimaschutz, Ressourceneffizienz

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
16 Monate	**13.12.2012**	**31.03.2015**	**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. Wolfgang Huß

Kooperationspartner

Ascona Gesellschaft für ökologische Projekte König-Jama GbR
Dipl. Ing. Holger König
Eschenriederstr. 65, 82194 Gröbenzell (vormals: Moosweg 9, 85757 Karlsfeld b. München)

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Der große Erfolg der Ausstellung „Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft“ in München und Wien legte die Idee nahe, diese Ausstellung auch in Berlin zu zeigen. Dazu sollten aber zusätzliche Gebäude und Gebäudeaspekte für eine vergleichende Lebenszyklusanalyse modelliert und aufbereitet werden.

Hierfür sollten sowohl die Neubauprojekte erweitert und zusätzlich Modernisierungen im Gebäudebestand aufgenommen werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Forschungsprojekt gliederte sich in zwei Arbeitspakete:

- die Erweiterung der Neubauprojekte
- die Bilanzierung von Bestandsgebäuden.

Die Dissemination der Ergebnisse in einer erweiterten Ausstellung in Berlin (Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes) im vorgesehenen Zeitkorridor konnte nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde eine Publikation zu den Forschungsprojektinhalten mit einem größeren Verlag umgesetzt.

Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden sowohl drei Neubaugebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen als auch drei Bestandsgebäude, die unterschiedlichen

Modernisierungsvarianten unterzogen wurden. Neben dem physischen Gebäudemodell wurde ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung formuliert. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz.
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 Lebenszyklusbetrachtung verdeutlicht die Folgen von Produktprozessen, auch wenn diese in der Dauer Generationen übergreifend 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:

- 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.
- Einzelne Aspekte, die vor allem die biogenen Materialanteile betreffen, werden bis heute nicht konsequent in den verfügbaren Datenbanken berücksichtigt: Die Gliederung der Ökodaten in erneuerbare und nicht erneuerbare Stoffanteile und die Trennung der stofflichen und energetisch begründeten Anteile des Primärenergieaufwandes.

Gebäudekonzepte, die nachwachsende Rohstoffe in großem Umfang einsetzen, bedeuten eine wesentliche Entlastung für die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus. Relative Unterschiede zwischen den Projekten bedingen sich durch die Anzahl der Geschosse, Bandschutzkonzepte, Nutzungsanforderungen beim Innenausbau.
Die Umweltbelastung der Konstruktionen für die Modernisierung mit nachwachsenden Rohstoffen ist in jeder einzelnen berechneten Konstruktionsvariante sowohl bei der nicht erneuerbaren Primärenergie, als auch beim Treibhauspotenzial erheblich niedriger. Aus Sicht der Umwelt wäre es sinnvoll zusätzlich zum angestrebten Umweltentlastungseffekt durch Energieeinsparung einen verstärkten Fokus auf die eingesetzten Materialien und die mit ihnen verbundenen unvermeidlichen Umweltbelastungen zu richten.
Der Einsatz von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen reduziert die Umweltbelastung im Rahmen der Gebäudemodernisierung. Die Materialwahl mit nachwachsenden Rohstoffen verbindet die Umweltentlastung durch die Energieeinsparung mit einem zusätzlichen positiven Effekt.

Öffentlichkeitsarbeit

Die Dissemination der Ergebnisse in einer erweiterten Ausstellung in Berlin (Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes) im vorgesehenen Zeitkorridor konnte nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde eine Publikation zu den Forschungsprojektinhalten mit einem größeren Verlag umgesetzt.

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. Dieses Potenzial wurde auch für den Fall der Gebäudemodernisierung nachgewiesen.
Ein Großteil der heute üblichen Bauaufgaben vom Wohn- bis zum Gewerbebau lässt sich mit Bauteilen aus nachwachsenden Rohstoffen umsetzen. 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.

Inhalt

Projektkennblatt		**1-2**
1	**Verzeichnis von Begriffen und Definitionen**	**5**
1.1	Allgemeine Begriffe	5
1.2	Ökologische Begriffe	5
1.3	Ökobilanz	6
1.4	Ressourcen	11
1.5	Deklarationen	12
1.6	Organisationen, Normen, Verordnungen, Institutionen	13
2	**Zusammenfassung**	**15**
3	**Veranlassung und Aufgabenstellung**	**17**
4	**Ausgangslage**	**18**
4.1	Die Industrie	18
4.2	Die Baubranche	18
4.3	„Ressourcen“ in den deutschen Bewertungs- und Zertifizierungssystemen	18
4.4	Metallische Rohstoffe als Baustoffe	19
4.5	Fossile Rohstoffe als Baustoffe	19
4.6	Nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) als Baustoffe	20
5	**Arbeitspakete**	**21**
5.1	Ziele des Arbeitspakets zu den Neubauprojekten	21
5.2	Ziele des Arbeitspakets zu den Modernisierungsobjekten	21
6	**Energie und Entropie**	**22**
6.1	Energieaufwand	22
6.2	Entropie	22
6.3	Die Verknappung der Ressourcen und das Nachwuchspotenzial nachwachsender Rohstoffe	23
7	**Acht Neubauprojekte**	**25**
7.1	Nawaro- und Standardvariante	25
7.2	Die Materialwahl	26

7.3	Lebenszykluskosten	37
7.4	Ökobilanz	37
7.4.1	Primärenergie nicht erneuerbar	38
7.4.2	Primärenergie erneuerbar	39
7.4.3	Treibhauspotenzial	39
7.4.4	Abiotischer Ressourcenverbrauch	40
7.4.5	Sommersmogpotenzial	41
7.4.6	Versauerungspotenzial	42
7.5	Fazit	43
8	**Lebenszyklusbetrachtung von Baukonstruktionen**	**44**
8.1	Material und Konstruktion	44
8.2	Rahmenbedingung der Berechnung	45
8.3	Ergebnisse der Berechnung	46
8.3.1	Wärmedämmverbundsystem	46
8.3.2	Dämmung oberste Geschoßdecke begehbar	48
8.4	*Zusammenfassung*	50
9	**Drei Modernisierungen**	**51**
9.1	Bestandsgebäude	51
9.2	Die Gebäude	51
9.3	Energetische Einsparung	9-57
9.4	Lebenszykluskosten	9-57
9.5	Ökobilanz	9-58
9.5.1	Die Materialwahl	9-59
9.5.2	Primärenergie nicht erneuerbar	9-60
9.5.3	Treibhauspotenzial	9-60
9.6	Fazit	9-61
10	**Kohlenstoffspeicher und Substitution**	**10-62**
10.1	Nawaro und Kohlenstoffspeicher	10-62
10.2	Substitution als Einsparpotenzial	10-63
11	**Fazit**	**11-65**
12	**Dissemination**	**12-66**

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb.: 6-1 Fossile Rohstoff-Chemie rechts, unterbrochener Kreislauf 23
Abb. 6-2 Bauen mit Baustoffen aus nicht erneuerbaren Rohstoffquellen 24
Abb. 6-3::Gebäude als Kohlenstoffzwischenlager 24
Abb. 7-1: Ausführung reales Gebäude - Standardvariante 25
Abb. 7-2 Kubatur und Fläche der 8 Gebäude 26
Abb. 7-3: Materialkonzepte Gebäude, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend 27
Abb. 7-4 Lebenshilfe Lindenberg Schnitt, Detail 28
Abb. 7-5 Lebenshilfe Lindenberg Ansicht, Innenraum Kantine 28
Abb. 7-6 Finanzamt Garmisch – Partenkirchen Grundriss, Detailschnitt 29
Abb. 7-7 Finanzamt Garmisch-Partenkirchen 29
Abb. 7-8: Gemeindezentrum Ludesch Grundriss EG, Detailschnitt 30
Abb. 7-9: Gemeindezentrum Ludesch 30
Abb. 7-10: Wohnungsbau Samer Mösl, Grundriss, Detailschnitt 31
Abb. 7-11: Wohnungsbau Samer Mösl, Ansicht, Innenraum 31
Abb. 7-12: Fachhochschule Kuchl, Grundriss, Detailschnitt 32
Abb. 7-13 Hochschule Kuchl 32
Abb. 7-14: Wohnungsbau München Grundriss 33
Abb. 7-15: Wohnungsbau München 33
Abb. 7-16: Wohnungsbau Erlangen Grundriss 34
Abb. 7-17: Wohnungsbau Erlangen 34
Abb. 7-18: Jugendzentrum München, Grundriss 35
Abb. 7-19: Jugendzentrum München 35
Tabelle 7-20: Gebäudefläche, -kubatur, Architekten 36
Abb. 7-21 Übersicht Lebenszykluskosten 37
Abb. 7-22 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar 39
Abb. 7-23 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar und Heizwert 39
Abb. 7-24 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial 40
Abb. 7-25 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Abiotisches Ressourcenpotenzial 41
Abb. 7-26: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Sommersmogpotenzial 42
Abb. 7-27: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Versauerungspotenzial 43
Tabelle. 8-1: Konstruktionen, Dämmstoffe, Dämmdicke 45
Abb. 8-2 WDVS – Dämmstoffdicke cm 47
Abb. 8-3 WDVS - Kosten in €/m² netto 47
Abb. 8-4 WDVS – Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m² 48
Abb. 8-5 WDVS – Treibhauspotenzial kg CO_2 äquival./m² 48
Abb. 8-6 Oberste Geschoßdecke begehbar – Kosten in €/m² 49
Abb. 8-7: Oberste Geschoßdecke begehbar – Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m² 49

Abb. 8-8: Oberste Geschoßdecke begehbar – Treibhauspotenzial kg CO_2äquival./m² 50
Tabelle. 9-1: Gebäudefläche, -kubatur, Architekten..... 53
Abb. 9-2: Wohnungsbau München Modernisierung Grundriss, Ausschnitt 9-54
Abb. 9-3: Wohnungsbau München Modernisierung Ansicht..... 9-54
Abb. 9-4: Wohnungsbau Augsburg Modernisierung Grundriss Ausschnitt..... 9-55
Abb. 9-5: Wohnungsbau Augsburg Modernisierung Ansicht 9-55
Abb. 9-6 Schule Gundelfingen, Modernisierung Grundriss..... 9-56
Abb. 9-7: Schule Gundelfingen Modernisierung Ansicht 9-56
Abb. 9-8: Endenergie und Primärenergiebedarf 9-57
Abb. 9-9: Barwerte 9-58
Abb. 9-10: Materialkonzepte Modernisierung-Neubau, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend 9-59
Abb. 9-11 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar..... 9-60
Abb. 9-12 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial 9-61
Abb. 10-1: Kohlenstoffspeicher in t C und Umrechnung in t CO_2 in allen Gebäuden..... 10-63
Abb. 10-2: t CO_2 Substitution 10-64

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 (anthropogene) 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.

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

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

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

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 Arbeitsgruppe „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, PO_4-Äquivalent Nutriphication Potential [PE2005]
auch Überdüngungspotenzial. Die Bezugsgröße für das Eutrophierungspotenzial ist Phosphat (PO_4 3-) mit einem EP von 1,0 in kg PO_4- Äquivalent. Andere eutrophierende Emissionen werden auf die wirkungsäquivalente Phosphatmenge bezogen.

Ozonabbaupotenzial ODP, R11-Äquivalent, 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, C_2H_4-Äquivalent [PE2005]
Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial in kg C_2H_4- 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.

1.4 Ressourcen[VDI2014]

Material
Stoff oder Stoffgemisch, der oder das für die Herstellung von Produkten bestimmt ist; dies umfasst sowohl Rohstoffe als auch höher verarbeitete Stoffe und Stoffgemische.[KOS2012] [2]

Natürliche Ressourcen
Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Beispiel: erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z. B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie Ökosystemleistungen und Biodiversität
Anmerkung: Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen.

Rohstoff,
der durch Entnahme aus der Natur gewonnen wird.

Produkt
Unmittelbar angestrebtes Ergebnis eines Prozesses.[in Anlehnung an DIN EN ISO 9000 und [14]] Beispiel: Rohstoffe, Rohmaterialien, Halb- und Fertigwaren, Energie, Dienstleistungen [in Anlehnung an DIN ENISO 9000]

Produktsystem
Gesamtheit der mit einem Produkt über seinen gesamten Lebensweg in Verbindung stehenden Prozesse sowie der zugehörigen stofflichen und energetischen Flüsse. [in Anlehnung an DIN EN ISO 14044]

Ressourceneffizienz
Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz. [1]
Anmerkung 1: In dieser Richtlinie ist mit Ressourceneinsatz der Einsatz von natürlichen Ressourcen gemeint.
Anmerkung 2: Die Steigerung der Ressourceneffizienz ist neben der Suffizienz und der Konsistenz eine Strategie zur relativen oder absoluten Senkung der Ressourcennutzung.

Ressourcennutzung (Ressourceneinsatz, Ressourceninanspruchnahme)
Bezeichnet jeglichen Zugriff des Menschen auf Ressourcen. [2]
Anmerkung: Im Kontext dieser Richtlinie ist damit die Nutzung natürlicher Ressourcen gemeint.

Ressourcenschonung
Sparsame Nutzung natürlicher Ressourcen mit dem Ziel der Erhaltung ihrer Menge und Funktion. [2]

Ressourcenverbrauch
Form der Ressourcennutzung, bei der die Ressourcen so umgewandelt werden, dass sie einer erneuten Nutzung nicht mehr zur Verfügung stehen (z. B. Verlust an Biodiversität, Bodenerosion, Verbrennung oder dissipative Verluste, Entnahme von Primärrohstoffen). [2]

Rohstoff
Stoff oder Stoffgemisch in unbearbeitetem Zustand, der/das in einen Produktionsprozess eingeht.[2]

Anmerkung: Man unterscheidet Primär- und Sekundärrohstoffe. Weitere Unterscheidungen, wie in erneuerbare und nicht erneuerbare, biotische und abiotische Rohstoffe, sind gängig.

1.5 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.

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

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

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.

1.6 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

BMUB
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

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 dem Energiebedarf in 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 werden sowohl die Ressourceninanspruchnahme als auch die Umweltwirkungen durch Bau und Betrieb des Gebäudes berechnet.
Da die meisten Projekte im Rahmen der Zertifizierung konventionell und damit in mineralischer Bauweise errichtet wurden, fehlen Erfahrungen, wie sich Gebäude mit einer Primärstruktur aus nachwachsenden Rohstoffen in der Ökobilanz darstellen. Vor allem die Aspekte Kohlenstoffimplementierung und Substitution über den Lebenszyklus eines Gebäudes wurden untersucht.
Das Forschungsprojekt gliederte sich in zwei Arbeitspakete:

- die Erweiterung der Neubauprojekte
- die Bilanzierung von Bestandsgebäuden.

Die Dissemination der Ergebnisse in einer erweiterten Ausstellung in Berlin (Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes) im vorgesehenen Zeitkorridor konnte nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde eine Publikation zu den Forschungsprojektinhalten mit einem größeren Verlag umgesetzt.
Für eine vergleichende Ökobilanzierung wurden sowohl drei Neubaugebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen als auch drei Bestandsgebäude, die unterschiedlichen Modernisierungsvarianten unterzogen wurden. Neben dem physischen Gebäudemodell wurde ein digitales Informationsmodell mit der exakten Beschreibung des Aufbaus aller Bauteile, der Mengenermittlung und der Lagezuordnung formuliert. Dieses Informationsmodell stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz.

Es lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:
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. Einzelne Aspekte, die vor allem die biogenen Materialanteile betreffen, werden bis heute nicht konsequent in den verfügbaren Datenbanken berücksichtigt:

- Die Gliederung der Ökodaten in erneuerbare und nicht erneuerbare Stoffanteile,
- die Trennung der stofflichen und energetisch begründeten Anteile des Primärenergieaufwandes.

Dies behindert die Interpretation der Ergebnisse.
Gebäudekonzepte, die nachwachsende Rohstoffe in großem Umfang einsetzen, bedeuten eine wesentliche Entlastung für die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus. Relative Unterschiede zwischen den Projekten bedingen sich durch die Anzahl der Geschosse, Bandschutzkonzepte, Nutzungsanforderungen beim Innenausbau.

Die Umweltbelastung der Konstruktionen für die Modernisierung mit nachwachsenden Rohstoffen ist in jeder einzelnen berechneten Konstruktionsvariante sowohl bei der nicht erneuerbaren Primärenergie, als auch beim Treibhauspotenzial erheblich niedriger. Aus Sicht der Umwelt wäre es sinnvoll zusätzlich zum angestrebten Umweltentlastungseffekt durch Energieeinsparung einen verstärkten Fokus auf die eingesetzten Materialien und die mit ihnen verbundenen unvermeidlichen Umweltbelastungen zu richten

Der Einsatz von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen reduziert die Umweltbelastung im Rahmen der Gebäudemodernisierung. Die Materialwahl mit nachwachsenden Rohstoffen verbindet die Umweltentlastung durch die Energieeinsparung mit einem zusätzlichen positiven Effekt.

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

Der große Erfolg der Ausstellung „Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft“ in München und Wien legte die Idee nahe, diese Ausstellung auch in Berlin zu zeigen. Dazu sollten aber zusätzliche Gebäude und Gebäudeaspekte für eine vergleichende Lebenszyklusanalyse modelliert und aufbereitet werden.

Hierfür sollten sowohl die Neubauprojekte erweitert und zusätzlich Modernisierungen im Gebäudebestand aufgenommen werden.

4 Ausgangslage

Die vergangenen zwei Jahrzehnte haben sich die europäischen Länder vor allem auf die Energieeinsparung, und hier speziell im Gebäudesektor konzentriert. Dies hatte zur Folge, dass die Anforderung an die Materialeffizienz vernachlässigt wurde. Grund dafür war eine scheinbare Überflußsituation auf den internationalen Märkten durch die Globalisierung. Dies hat sich durch die stark gewachsene Nachfrage in den Schwellenländern wie Indien, China oder Brasilien stark geändert. Dies führt sowohl in der Forschung (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm - ProgRess), als auch in der Normung (Standardisation Mandate „Material Efficiency, EU Kommission 2014) zu besonderen Anstrengungen, diese Defizite zu beseitigen. Industrie und Handwerk reagieren meist nur dann, wenn Preissteigerungen in Einzelsektoren wettbewerbsschädliche Formen annehmen. .

4.1 Die Industrie

Diejenigen Industriebereiche mit hohem Metallaufkommen, bzw. mit einem Bedarf an seltenen Metallen beteiligen sich intensiv an der Diskussion. Der VDI hat soeben einen Entwurf für eine Richtlinie VDI 4800 Blatt 1“ Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien“ vorgelegt. Diese Richtlinie soll mit weiteren Teilen ergänzt werden:

- Bewertung des Rohstoffaufwandes,
- Indikatoren zur Bewertung der Umweltwirkungen,
- Kumulierter Energieaufwand:

4.2 Die Baubranche

Die Baubranche, eine der stoffstromintensivsten Branchen, beteilgt sich an diesem Prozess sowohl durch Mitabeit in den relevanten Normenausschüssen und durch eigene Forschungsarbeiten. Wegen der langen Verweildauer der Produkte in den Gebäuden ist aber der Ansatz der „drei R“ - englisch: reusability, recyclability, recoverability – seitens der produzierenden Industrie nur in bescheidenem Maß umgesetzt. In der Bauprodukt- und Gebäudewerbung dominiert das „Design“ oder der Preis (Baumarkt).

4.3 „Ressourcen“ in den deutschen Bewertungs- und Zertifizierungssystemen

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 Umwelt-wirkungen durch die Steckbriefe 1.1.1 – 1.1.5 (BNB) bzw. 1-5 (DGNB) durch Bau und Betrieb des Gebäudes berechnet. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUM) hat zur Durchführung der Berechnung eine Datenbank mit Ökobilanzmodulen öffentlich zu Verfügung gestellt, die Ökobau.dat. Die Datenbank umfasst mittlerweile über 1000 Module, wobei eine Kerngruppe von ca. 500 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 Ökobilanzierungs-software (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 seit Einführung der DIN/EN 15804 nicht mehr den europäischen Konventionen. Seit 2011 wird festgelegt, dass

- die Gutschriften aus Entsorgungsprozessen (Phase D) außerhalb der Systemgrenze des Produktlebenszyklus (Phase A-C) liegen und getrennt auszuweisen sind.
- der Primärenergieaufwand der stofflichen Nutzung von dem Primärenergieaufwand der energetischen Nutzung getrennt ausgewiesen werden muss.

4.4 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 weiteren Lebenszyklusmoduls „D“. Die Ökobilanzdatenbanken und die EPD-Ersteller müssen seit 2012 diese Aufteilung bei der Erstellung Ökobilanzdaten berücksichtigen.

4.5 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 Risiken für die Umwelt, Ökotox und Humantox, wurden bisher von der Normung aus der Liste der zwingend in der Umweltproduktdeklaration (EPD) anzugebenden Indikatoren ausgeschlossen. Die Überarbeitung der Norm hat diese beiden Indikatoren wieder in die Diskussion gebracht. In einer Stellungnahme[ILO2014] des CEN TC 350 auf eine Anfrage der europäischen Kommission werden folgende neue Indikatoren zur Aufnahme in die Indikatorenliste erwähnt:

- Eco-toxicity (freshwater, marine and terrestrial) and human toxicity (covering impacts resulting from
- persistent organic pollutants, heavy metals, suspended particulate matter)
- Fine particulate (PM10)
- Land use change (covering impacts resulting from persistent organic pollutants)

4.6 Nachwachsende Rohstoffe (Nawaro) als Baustoffe

Die geringe Umweltbelastung von nachwachsenden Rohstoffen kommt einerseits durch den geringen Primärenergieaufwand bei der Rohsubstanz Zellulose zum Ausdruck. Die CO_2-Akkummulation in der Herstellungsphase, ausgewiesen in Form der CO_2-Minusbilanz als Senke, wird in der EOL-Phase als Quelle wieder neutralisiert. Das Material wird entweder deponiert und zersetzt sich unter Freisetzung des CO_2-Gehalts oder wird thermisch verwertet. In letzterem Fall gibt es in der Ökobilanz Modul „D“ bei Substitution von fossilen Energieträgern dafür Strom und Wärmegutschriften.
Diese Recyclingpotenziale werden auch bei synthetischen Stoffen berücksichtigt, da bei diesen Stoffen ebenfalls ein Heizwert vorhanden ist. Damit besteht in der vergleichenden Darstellung von Rohstoffen fossiler und nachwachsender Herkunft innerhalb der Gestaltung der EOL-Phase kein Unterschied. Dieser besteht nur in der Höhe der Recyclingpotenziale entsprechend des Heizwertes.
Die oben bereits erwähnte Antwort in CEN TC 350 zu den zusätzlichen Indikatoren erwähnt auch zwei Indikatoren, mit denen das abiotische Potenzial verdeutlicht werden soll. Dabei wird zwischen der Herkunft des Potenzials aus stofflichen und energetischen Quellen unterschieden:

- Abiotic depletion potential (fossil fuels)
- Abiotic depletion potential, (elements

Ein wesentliches Qualitätskennzeichen der erneuerbaren Rohstoffe liegt in ihrer Kohlenstoff-implementierung. Zusätzlich ergibt sich beim Vergleich verschiedener Bauweisen ein Verbesserungspotenzial, auch als Substitutionspotenzial bezeichnet. Die dabei ermittelten Mengen an Ressourcen sollen bezüglich der positiven Umweltwirkungen, z. B. Einsparung nichterneuerbarer Ressourcen oder 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 zwei Arbeitspakete:

- die Erweiterung der Neubauprojekte
- die Bilanzierung von Bestandsgebäuden und ihrer Modernisierung.

Die Dissemination der Ergebnisse in einer erweiterten Ausstellung in Berlin (Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes) im vorgesehenen Zeitkorridor konnte nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde eine Publikation zu den Forschungsprojektinhalten mit einem größeren Verlag umgesetzt.

5.1 Ziele des Arbeitspakets zu den Neubauprojekten

Zur Vertiefung der im Vorgängerprojekt gewonnen Kennwerte werden weitere Neubauprojekte aus anderen Nutzungskategorien analysiert. Vorgesehen sind

- Wohnungsbau 4-geschossig
- Wohnungsbau 6 geschossig
- Jugendzentrum 1,5 geschossig.

5.2 Ziele des Arbeitspakets zu den Modernisierungsobjekten

Die zunehmende Bedeutung der energetischen und strukturellen Modernisierung von Bestandsgebäuden erfordert eine Erweiterung des Untersuchungsrahmens. Der Einsatz von Holz und Holzwerkstoffen für die energetische Modernisierung und die Ergebnisse der vergleichenden Ökobilanz soll an 3 Gebäuden untersucht werden. Die Modernisierung soll einer zusätzlichen Entscheidungsvariante „Abriss und Neubau“ gegenübergestellt werden. Dabei sollen im Rahmen der erweiterten Ökobilanz folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Stoffmengen nach Materialgruppen werden für die Modernisierung benötigt?
- Wie sind die Ergebnisse der wichtigsten Indikatoren der Ökobilanz?
- Welche Umweltwirkungen ergeben sich zu einem Abriss und Neubau des Gebäudes?

6 Energie und Entropie

Bei jedem Verwertungsprozess, der ein Bauteil zerstört und das Material auf Sekundärrohstoffe zurückführt (z.B. Schreddern von Betonteilen) oder zur Energiegewinnung nutzt (z.B. Verheizen von Holzteilen), geht der Teil der Energie, der für die technische Bearbeitung des Grundmaterials eingesetzt wurde, unwiederbringlich verloren.

6.1 Energieaufwand

Dieser Energieaufwand aus dem Herstellungsprozess wird kumulierter Energieverbrauch (KEV) genannt. Er ist bei Produkten mit hohem Zurichtungsgrad z.B. Kunststofffenster im Verhältnis zum Heizwert groß. Bei gleicher Gewichtsmenge eines Dämmstoffes 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].

6.2 Entropie

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 energieaufwändige 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 in einem Produkt 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 aus Braunschweig formuliert [GBW91]

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.

Die Einstrahlung der Sonnenenergie – eine Energiequelle außerhalb unseres Planeten – ermöglicht den Substanzaufbau und damit die höhere Stoffordnung ohne zusätzlichen fossilen Energieeinsatz. 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. 6.1).

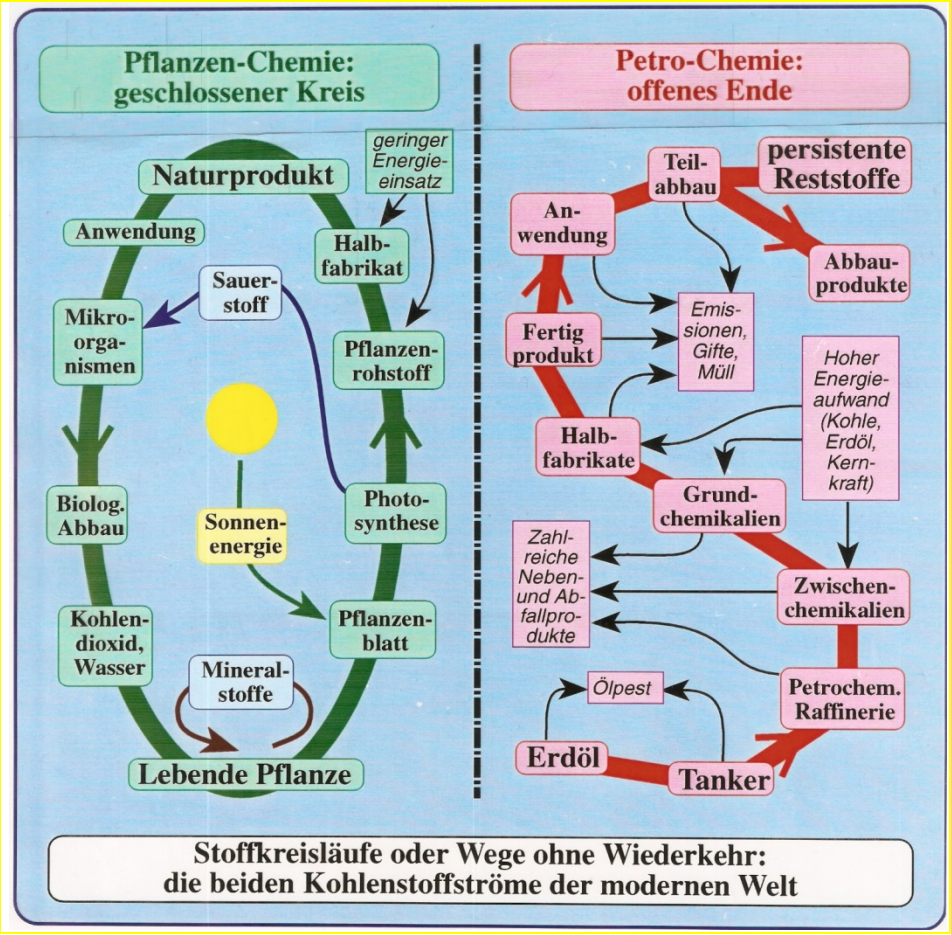

Abb.: 6-1 Fossile Rohstoff-Chemie rechts, unterbrochener Kreislauf[AURO96]

6.3 Die Verknappung der Ressourcen und das Nachwuchspotenzial nachwachsender Rohstoffe

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. 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 Abbildung (Abb. 6.2) zeigt den prinzipiellen Charakter der sich zwangsläufig erschöpfenden endlichen Ressourcen auf, der unter anderem durch die Bautätigkeit verursacht wird. Eine Folge der Materialverknappung sind steigende Preise.

Im Unterschied hierzu stellen die nachwachsenden Rohstoffe ein im Prinzip unerschöpfliches Wachstumspotenzial zu Verfügung. Die Begrenzung besteht durch die Verfügbarkeit der Fläche. Die Entnahme von Baumstämmen zur Nutzung für Produkte schafft Platz für neue Bäume. Wenn das Holz in langfristig nutzbaren Produkten z.B. für die Gebäudeproduktion verwendet wird, wächst der Kohlenstoffspeicher in einer zeitlich begrenzten Nutzungsperiode an (Abb. 6.3).

Da der Wald bzw. der mögliche Zuwachs bei nachhaltiger oder intensivierter Waldwirtschaft bereits im Klimaprotokoll der nationalen Kohlenstoffbilanzen angerechnet wird, kann eine nationale Anrechnung des Kohlenstoffspeichers im Gebäudebestand nur erfolgen, wenn die Entlastungsfunktion des Klimas für die kommenden 100 Jahre anerkannt wird:

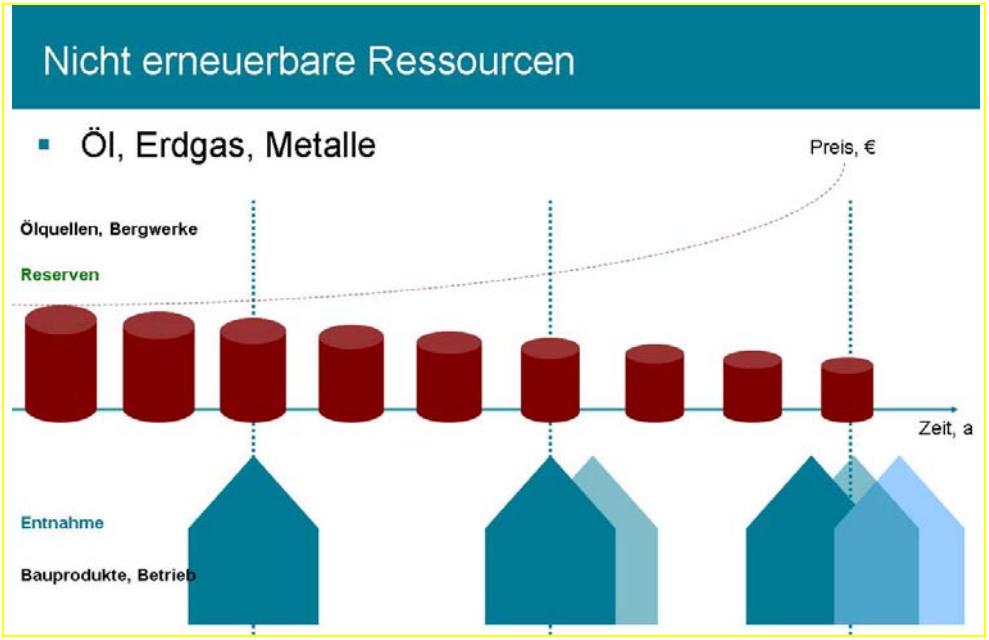

Abb. 6-2 Bauen mit Baustoffen aus nicht erneuerbaren Rohstoffquellen

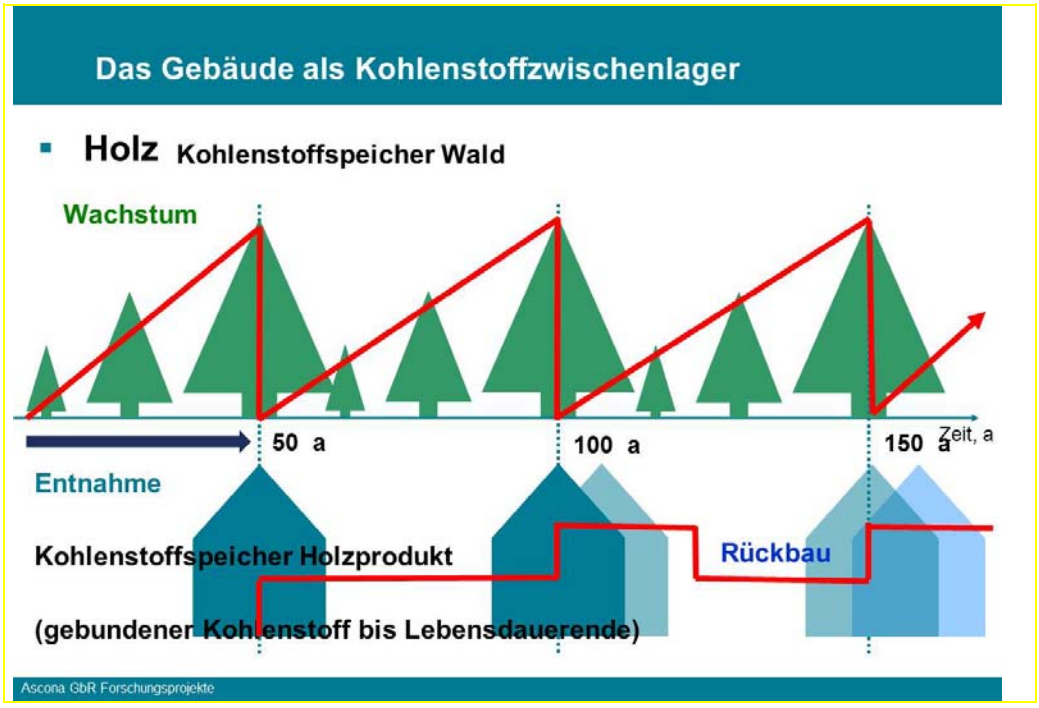

Abb. 6-3::Gebäude als Kohlenstoffzwischenlager

Am Ende des Lebenszyklus eines Bauprodukts bzw. am Ende des Betrachtungszeitraums des Gebäudes, wird der nachwachsende Rohstoff wieder aus dem Gebäude entnommen und beseitigt oder einer anderen Nutzung zugeführt.

7 Acht Neubauprojekte

Innerhalb des Forschungsprojektes wurden drei Neubauprojekte analysiert. Um einen besseren Überblick zu geben werden im folgenden Kapitel auch die fünf Objekte der vorangegangenen Forschungsarbeit[i] dokumentiert. Für die vergleichende Lebenszyklus-analyse wurden acht neu errichtete Gebäude ausgewählt, die in vielen Bauteilen nachwachsende Rohstoffe einsetzen. Zu jedem Gebäude wurde zusätzlich eine ›Standardausführung‹ mit konventionellen Bauprodukten modelliert.

7.1 Nawaro- und Standardvariante

Die Standardausführung besteht weitgehend aus nicht nachwachsenden, das heißt aus mineralischen, metallischen und synthetischen Rohstoffen. 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.

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. 7-1: Ausführung reales Gebäude - Standardvariante

Je nach Nutzungskategorie weisen die Gebäude unterschiedliche Verhältnisse zwischen Bruttogrundfläche und Kubatur auf. Diese Verhältnisse haben auch Einfluss auf das Ergebnis einer Kennwertbildung, da die Lebenszykluskosten auf einen m² Bruttogrundfläche (BGF) und die Ökobilanz auf einen m² Nettogrundfläche bezogen wird (Abb.1).

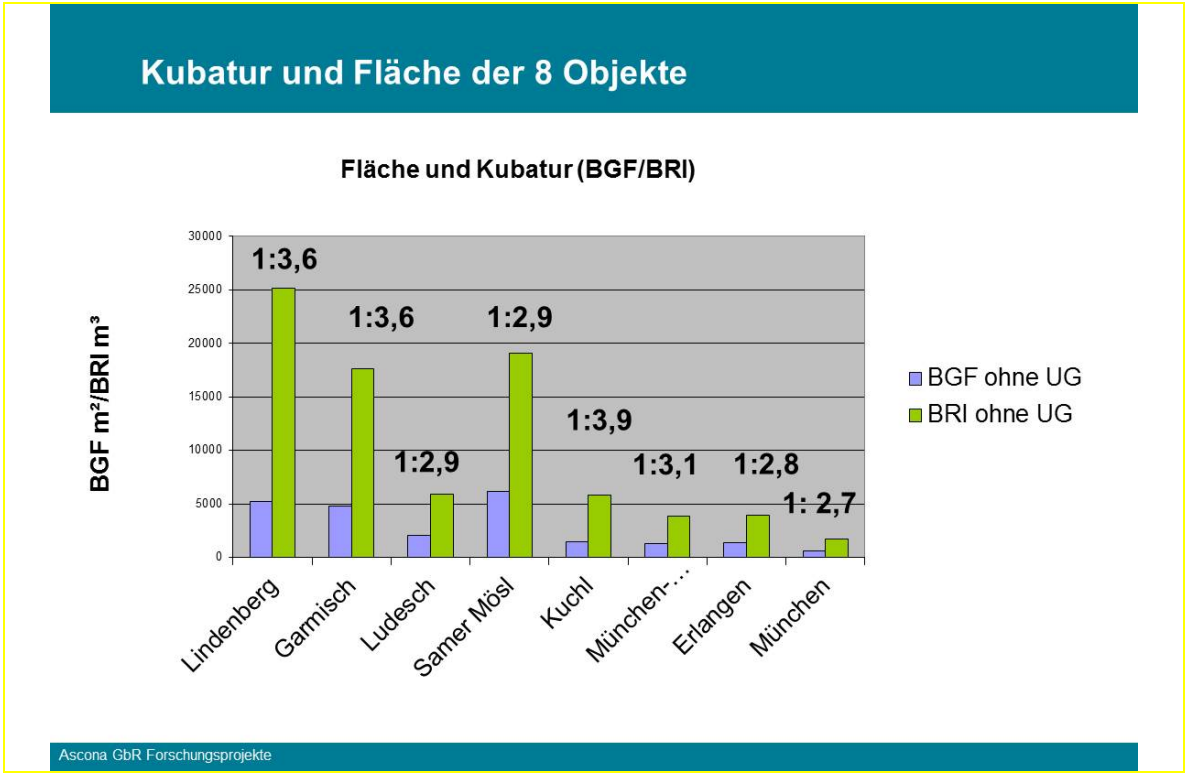

Abb. 7-2 Kubatur und Fläche der 8 Gebäude

Ein digitales Informationsmodell der Gebäude stellte die Grundlage dar für die Berechnung der Herstellungskosten, des Energiebedarfs, der Lebenszykluskosten und der Ökobilanz in der Software LEGEP.

Bei den folgenden Auswertungen wurden die Gebäude ab der Unterkante Bodenplatte des Erdgeschosses berechnet. Vorhandene Kellerbauteile und Gründungsbauteile (Gemeindezentrum Ludesch, Finanzamt Garmisch-Partenkirchen, Wohnungsbau Samer Mösl, Erlangen, München-Sendling) 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.

7.2 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.

.

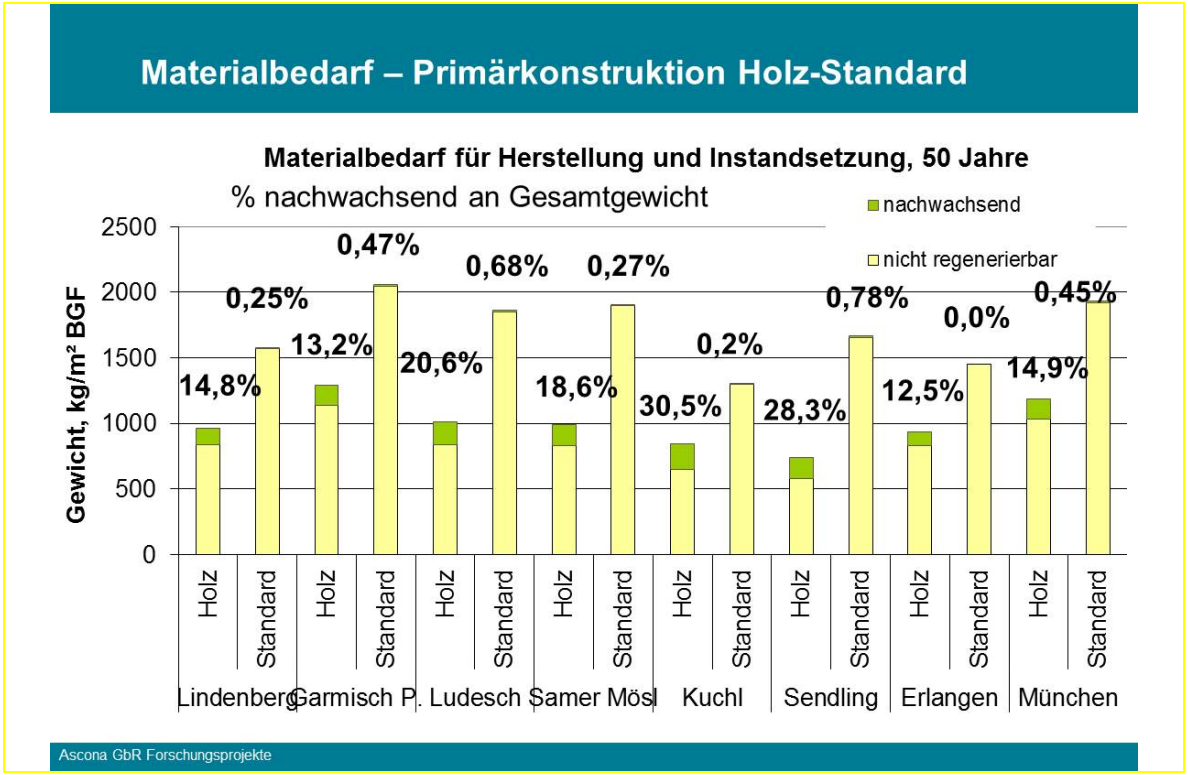

Abb. 7-3: Materialkonzepte Gebäude, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend

Die Auswertung der unterschiedlichen Materialinhalte unterscheidet die Baustoffgruppen

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

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

Deutlich ist zu erkennen (Abb. 2), 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 hohem Anteil an 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. Weiterhin werden die Erschließungskerne bei allen Objekten ebenfalls aus mineralischen Materialien hergestellt.

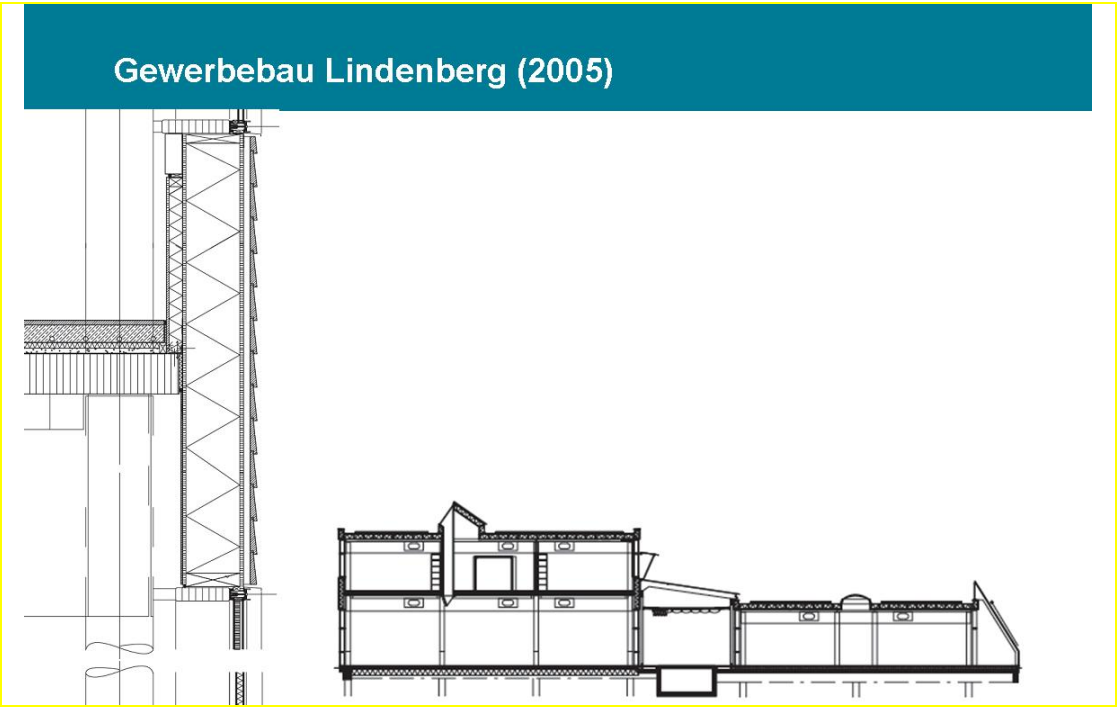

Abb. 7-4 Lebenshilfe Lindenberg Schnitt, Detail

Abb. 7-5 Lebenshilfe Lindenberg Ansicht, Innenraum Kantine

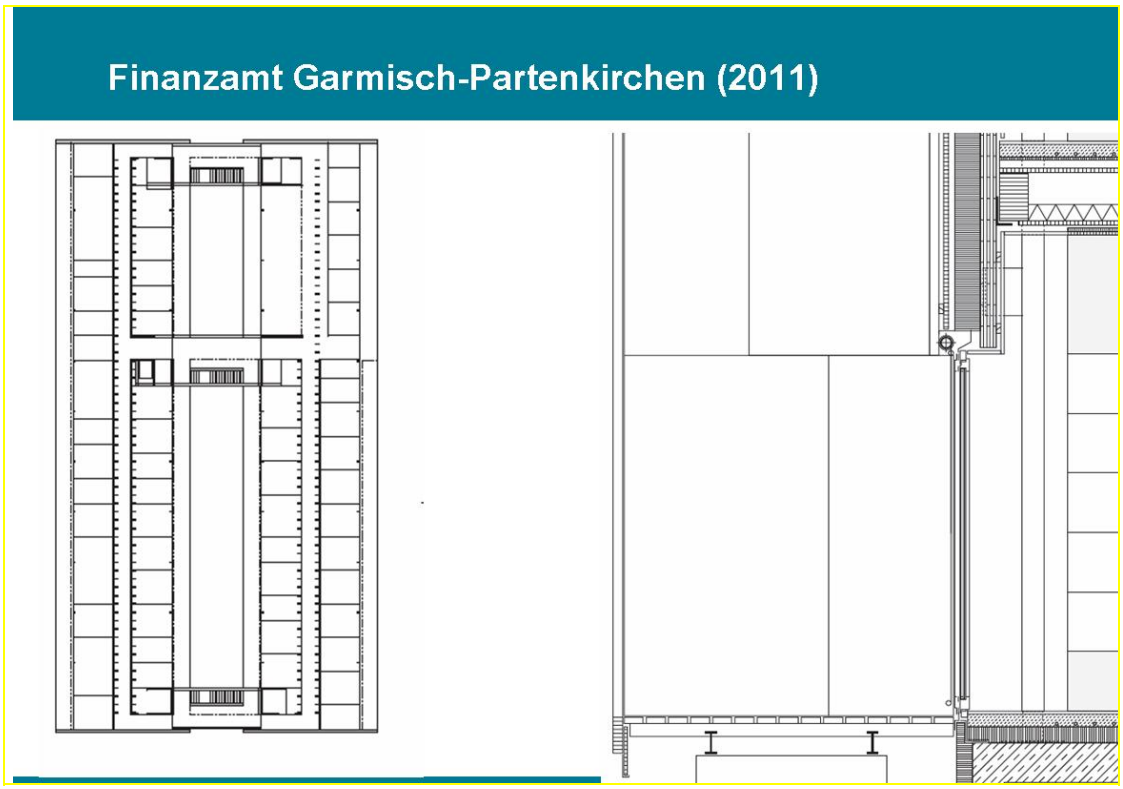

Abb. 7-6 Finanzamt Garmisch – Partenkirchen Grundriss, Detailschnitt

Abb. 7-7 Finanzamt Garmisch-Partenkirchen

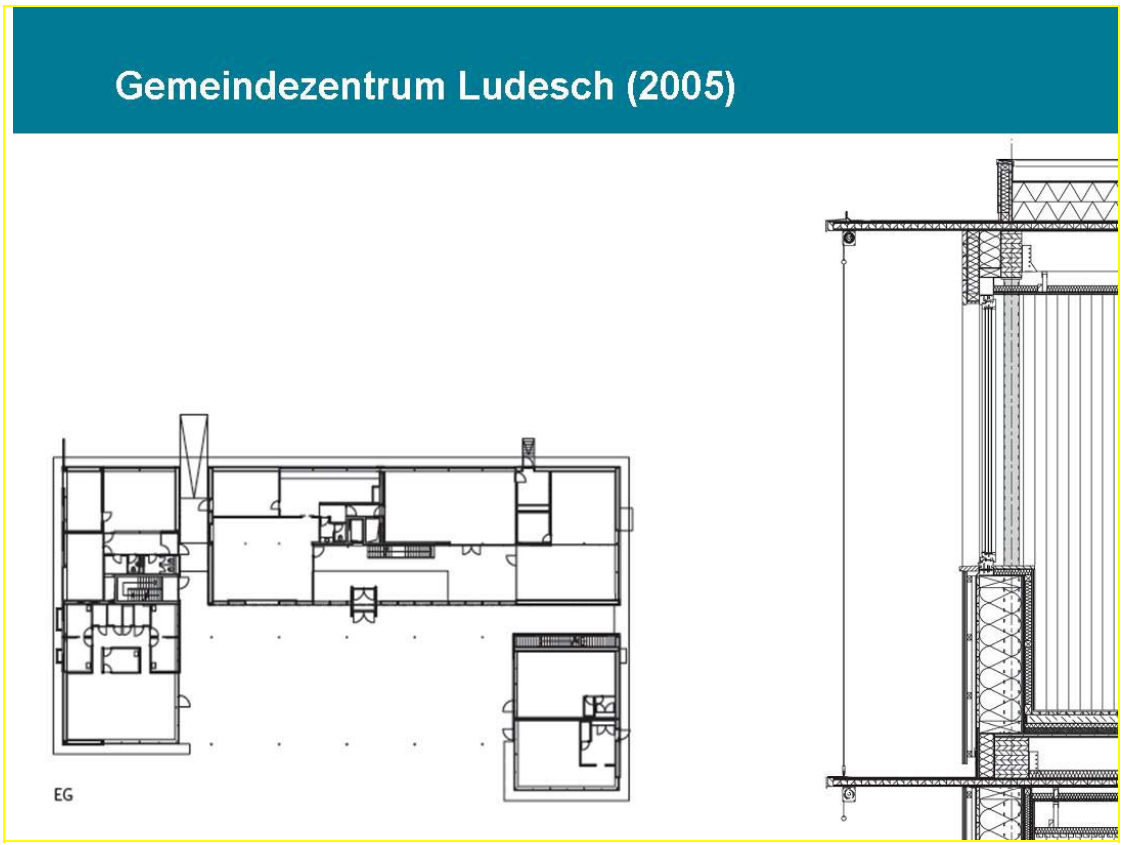

Abb. 7-8: Gemeindezentrum Ludesch Grundriss EG, Detailschnitt

Abb. 7-9: Gemeindezentrum Ludesch

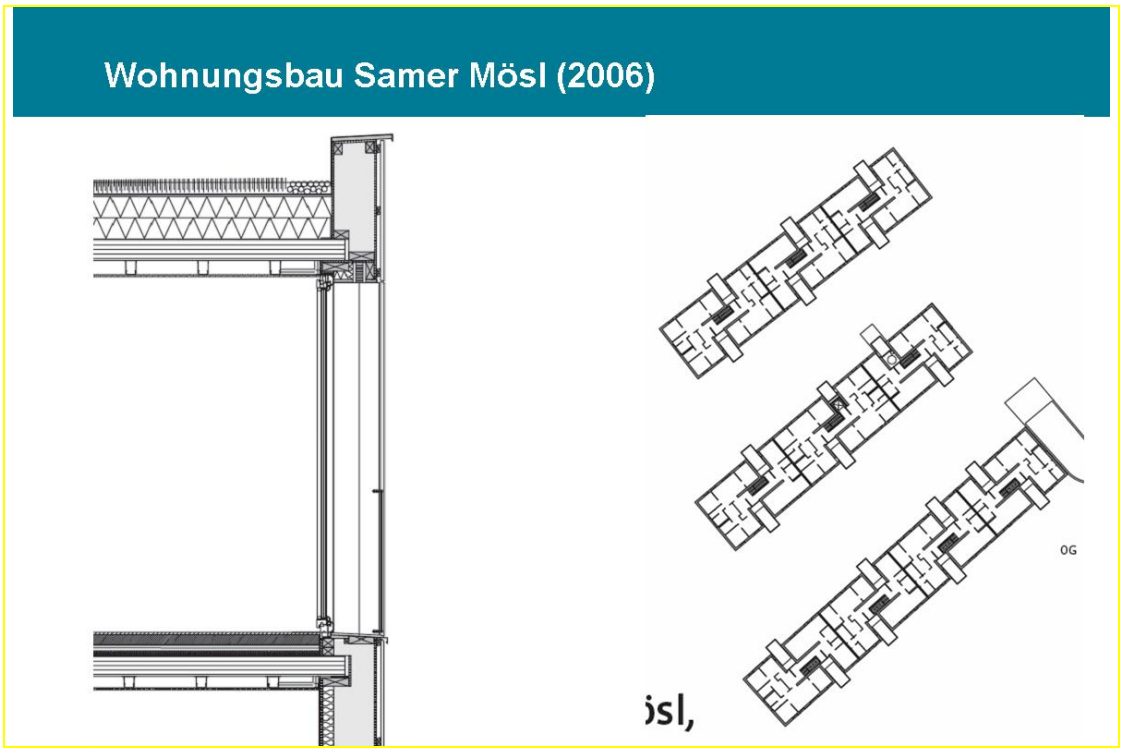

Abb. 7-10: Wohnungsbau Samer Mösl, Grundriss, Detailschnitt

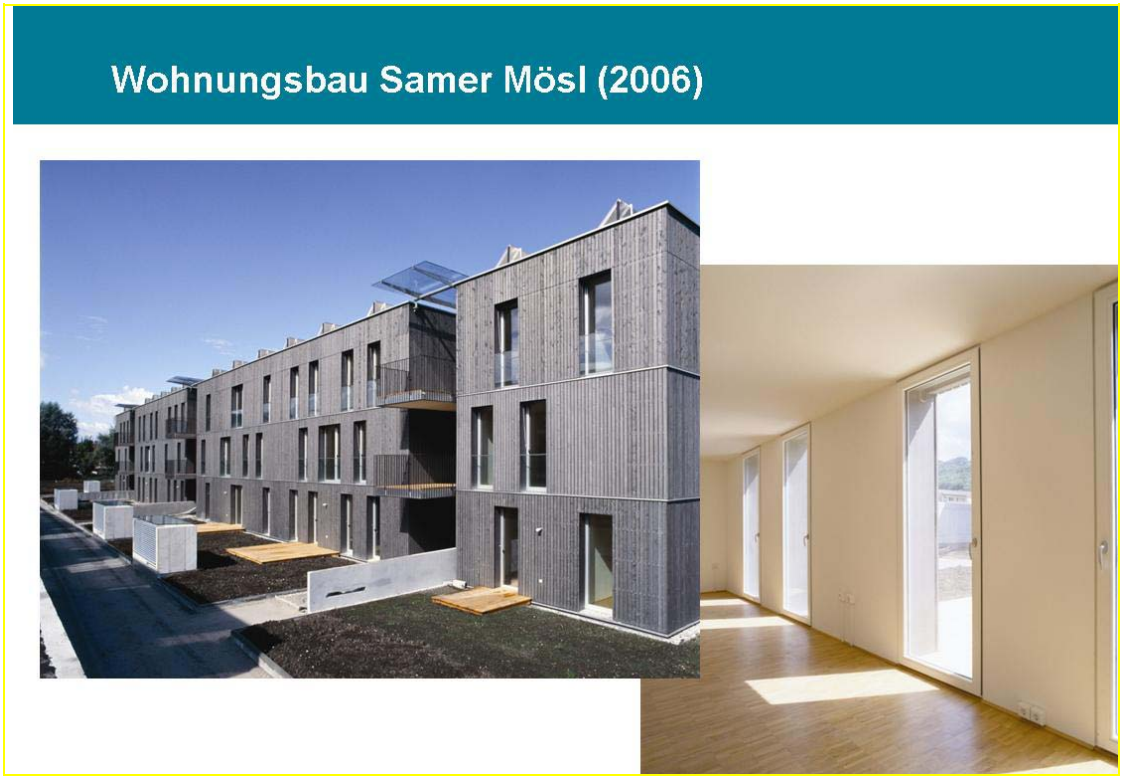

Abb. 7-11: Wohnungsbau Samer Mösl, Ansicht, Innenraum

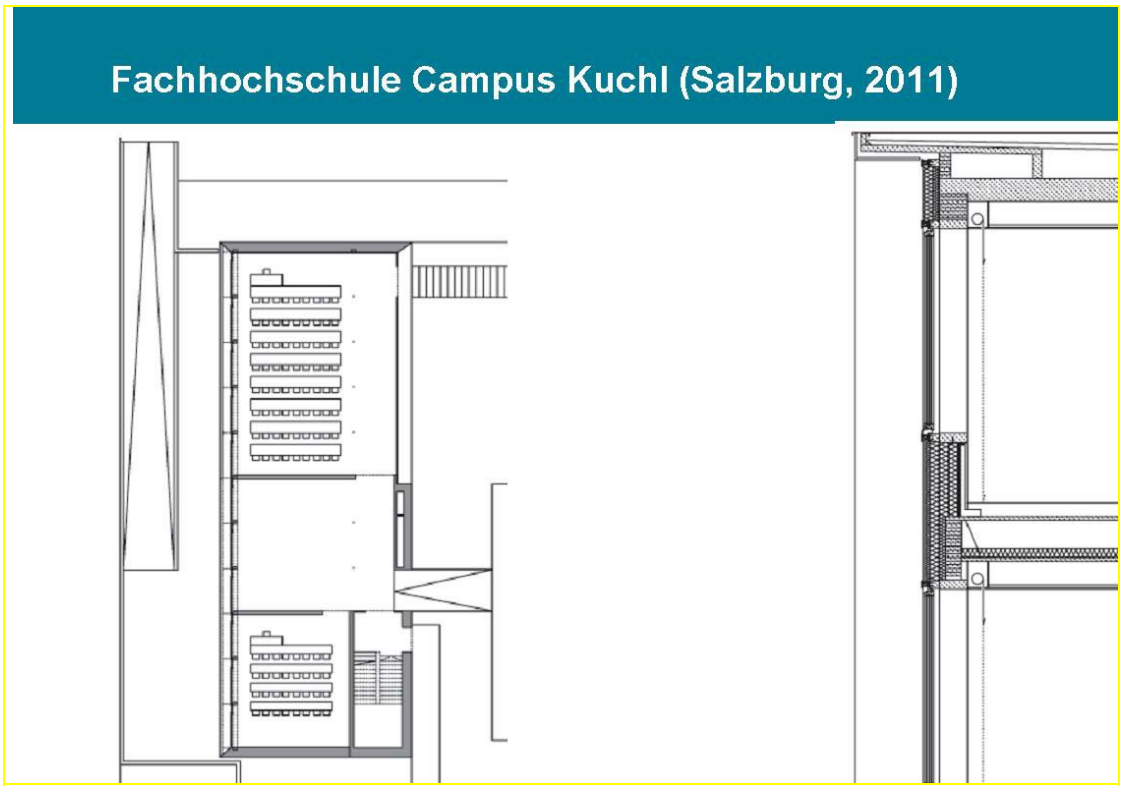

Abb. 7-12: Fachhochschule Kuchl, Grundriss, Detailschnitt

Abb. 7-13 Hochschule Kuchl

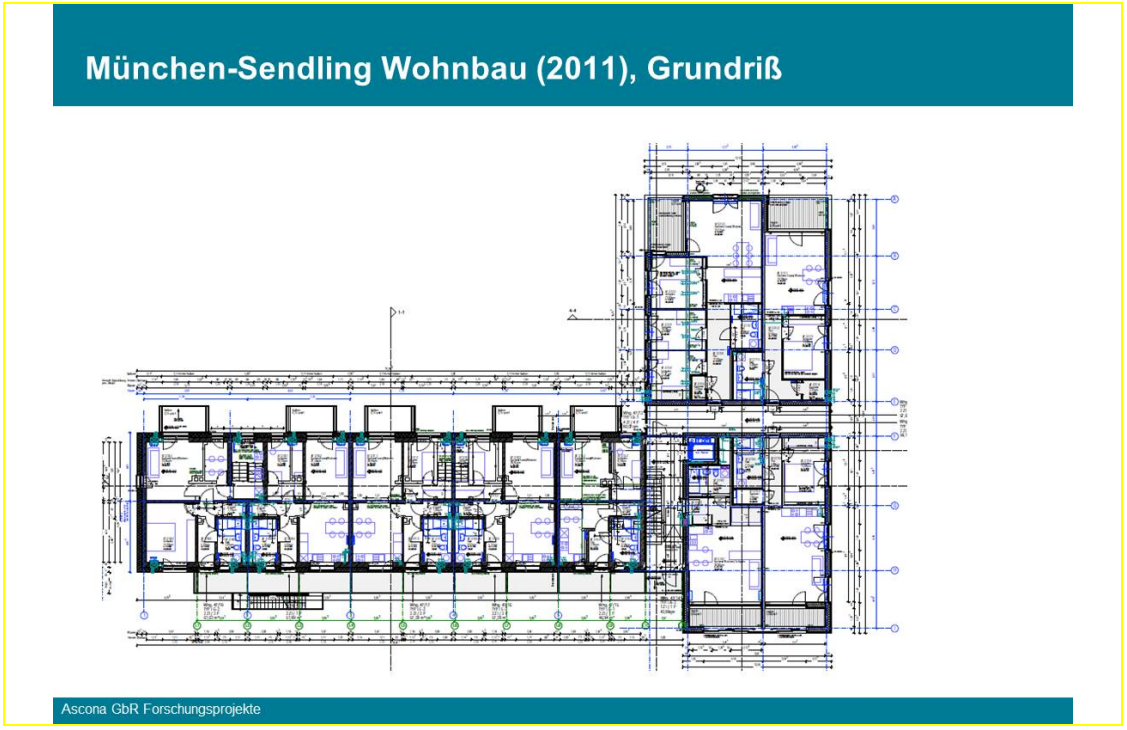

Abb. 7-14: Wohnungsbau München Grundriss

Abb. 7-15: Wohnungsbau München

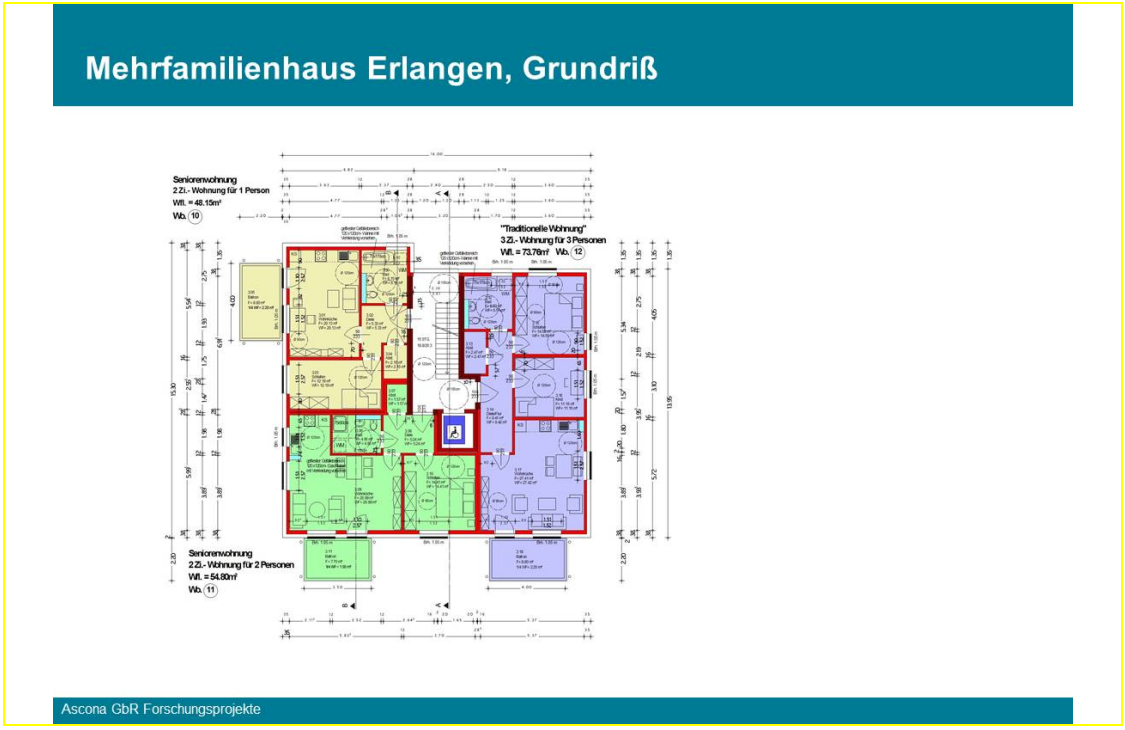

Abb. 7-16: Wohnungsbau Erlangen Grundriss

Abb. 7-17: Wohnungsbau Erlangen

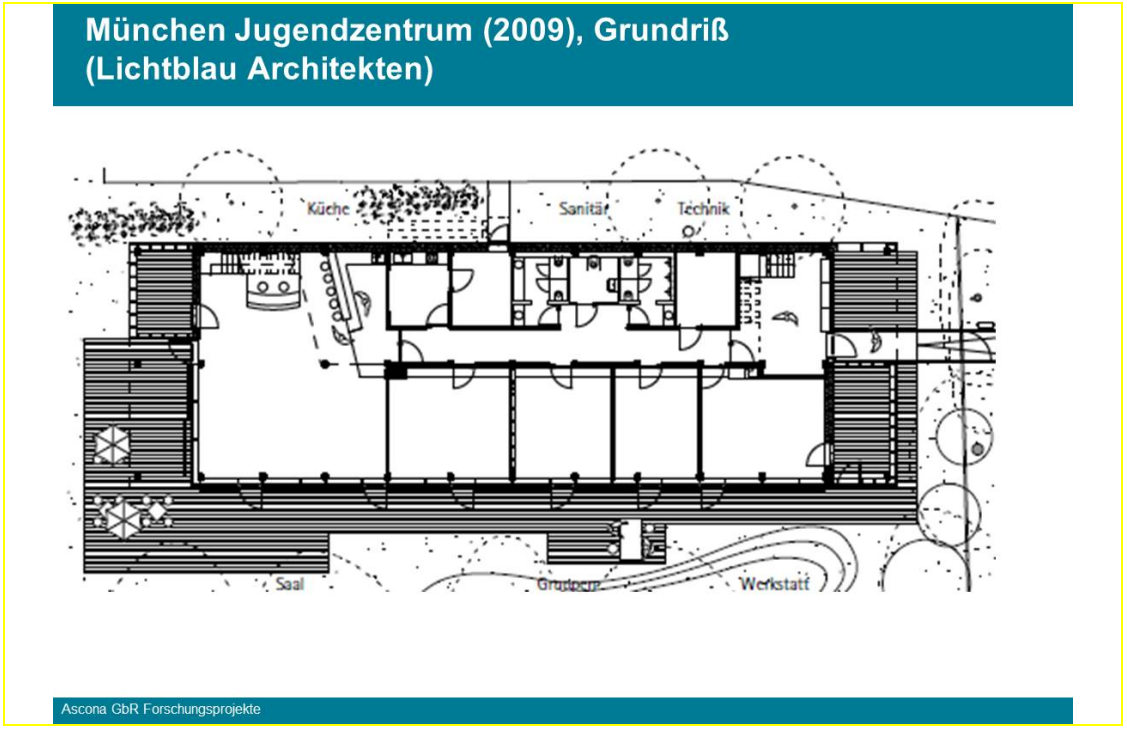

Abb. 7-18: Jugendzentrum München, Grundriss

Abb. 7-19: Jugendzentrum München

t	Gebäude	Lebenshilfe Lindenberg	Finanzamt GAP	Gemeindezentrum Ludesch	Wohnungsbau Samer Mösl	Fachhochschule Kuchl	Wohnungsbau München-Sendling	Wohnungsbau Erlangen	Jugendzentrum München
Architekten		Lichtblau Architekten München	Bauer Architekten, München	Kaufmann, Schwarzach /A	sps-architekten, Thalgau/A	Dietrich-Untertrifaller Archietkten, Salzburg/A	Lichtblau Architekten, Kaufmann , A	Gewobau, B&O, Erlangen	Lichtblau Architekten München
Nutzungskategorie	Typ	Gewerbebau	Bürogebäude	Verwaltung, Versammlungsräume	Mehrfamilien-Wohngebäude	Hörsaal-gebäude	Mehrfamilien-Wohngebäude, Verwaltung	Mehrfamilien-Wohngebäude	Jugend-zentrum
Jahr	Jahr	2005	2011	2005	2006	2009	2011	Fertigst. 2013	2009
Geschosse	Anzahl	2	2 z.T. UG	2 + UG	3 + UG/TG	3 (KG Bestand)	3+Staffelg.+KG	6+KG	2
BGF	m²	5247	6001	3582	6955	1474	1520	1620,65	642,21
BGF ohne UG	m²	entfällt	4835	2064	6152	entfällt	1257	1394	entfällt
NGF	m²	4623	5370	3079	5669	1209	1266	1365,98	563,28
NGF ohne UG	m²	entfällt	4318	1811	4950	entfällt	1039	1168	entfällt
beh. NGF	m²	4290,2	5133	2742	4760	1209	851	1189,66	427
BRI	m³	25160	21948	9946	21482	5782	4817	4690,9	1743,072
BRI ohne UG	m³	entfällt	17640	5895	19072	entfällt	3876	3965	entfällt
Holzverbrauch Herstellung	m³/m³ BRI ohne UG	0,045	0,07	0,093	0,086	0,083	0,088	0,051	0,091
Holzverbrauch Herstellung	m³/m² BGF ohne UG	0,216	0,255	0,266	0,266	0,327	0,271	0,173	0,248

Tabelle 7-20: Gebäudefläche, -kubatur, Architekten

7.3 Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten der Gebäude sind sehr ähnlich, da die Herstellungskosten nur maximal einen Drittel der Gesamtberechnung ausmachen und die Versorgungskosten mit Energie und die Wasserver- und –entsorgungskosten gleich sind (Abb. 7-21).

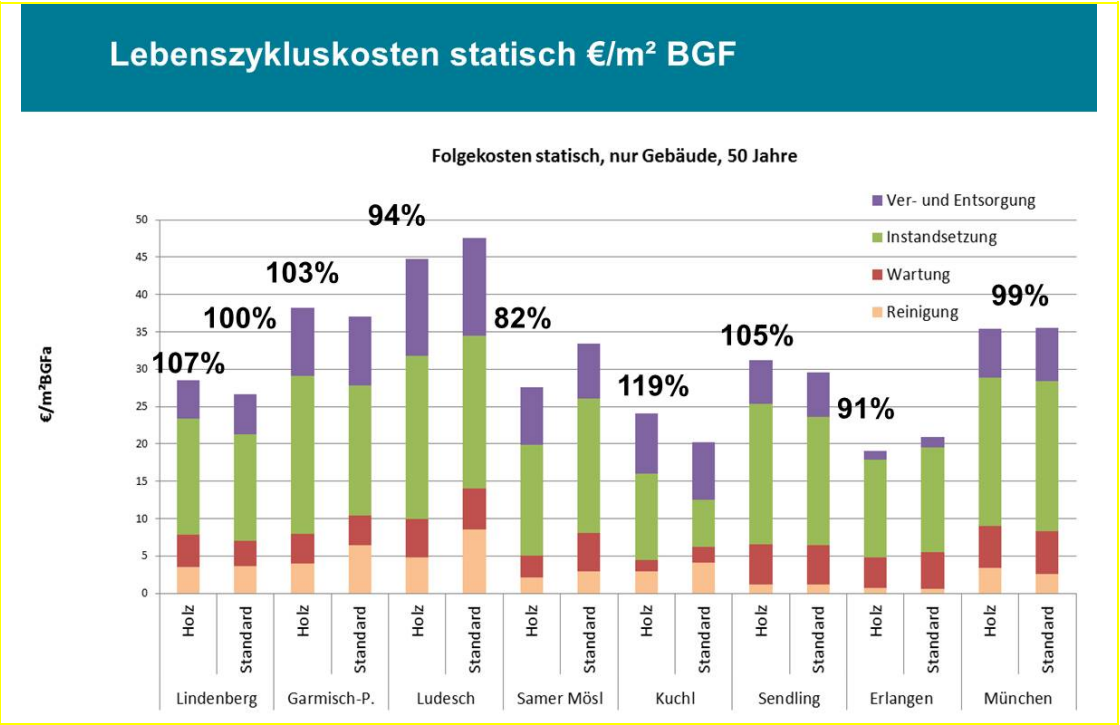

Abb. 7-21 Übersicht Lebenszykluskosten

Die Prozentzahl drückt den Unterschied der Holzbauvariante zur Standardvariante aus. Die Gebäude liegen in einem Korridor von +/-10% und sind damit nahezu gleich. Die niedrigen Reinigungskosten bei den Wohngebäuden sind durch die Beschränkung auf die Gemeinbedarfsflächen begründet. Ebenso die niedrigeren Versorgungskosten, da bei Wohngebäuden der Beleuchtungsstrom nicht berücksichtigt wird.

7.4 Ökobilanz

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.

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.

Zusätzlich wir ein ressourcenbezogener Indikator aufgenommen, der nach der laufenden Normendiskussion in die Liste der Core-Indikatoren aufgenommen werden soll. Abiotisches Ressourcenpotenzial in kg Antimon äquiv/m²NGF a..

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.
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.
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

7.4.1 Primärenergie nicht erneuerbar

Der nicht erneuerbare Primärenergieverbrauch (Abb. 4) 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.

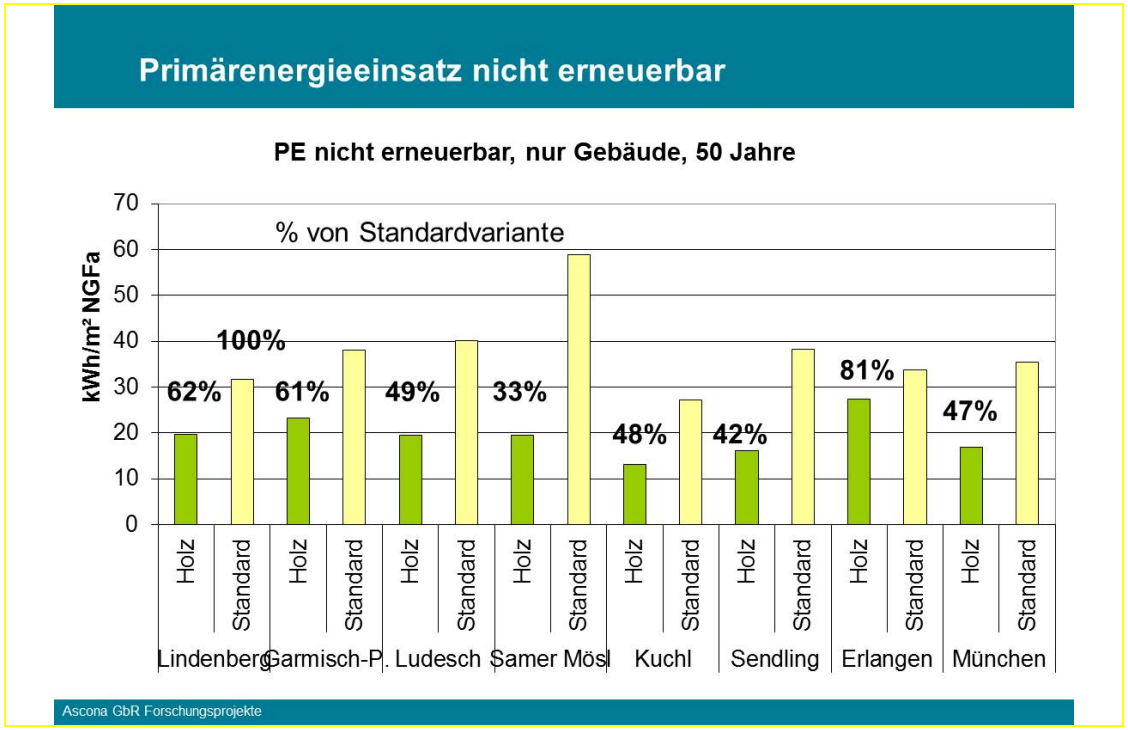

Abb. 7-22 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar

Alle Holzgebäude erreichen bei der nicht erneuerbaren Primärenergie geringere Werte als die Standardgebäude. Der Unterschied beträgt zwischen ca. 19 und 67 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.

7.4.2 Primärenergie erneuerbar

Der erneuerbare Primärenergieverbrauch (Abb. 5) 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 elektrischer Endenergie müssen in Deutschland 2,2 kWh Primärenergieenergie eingesetzt werden.

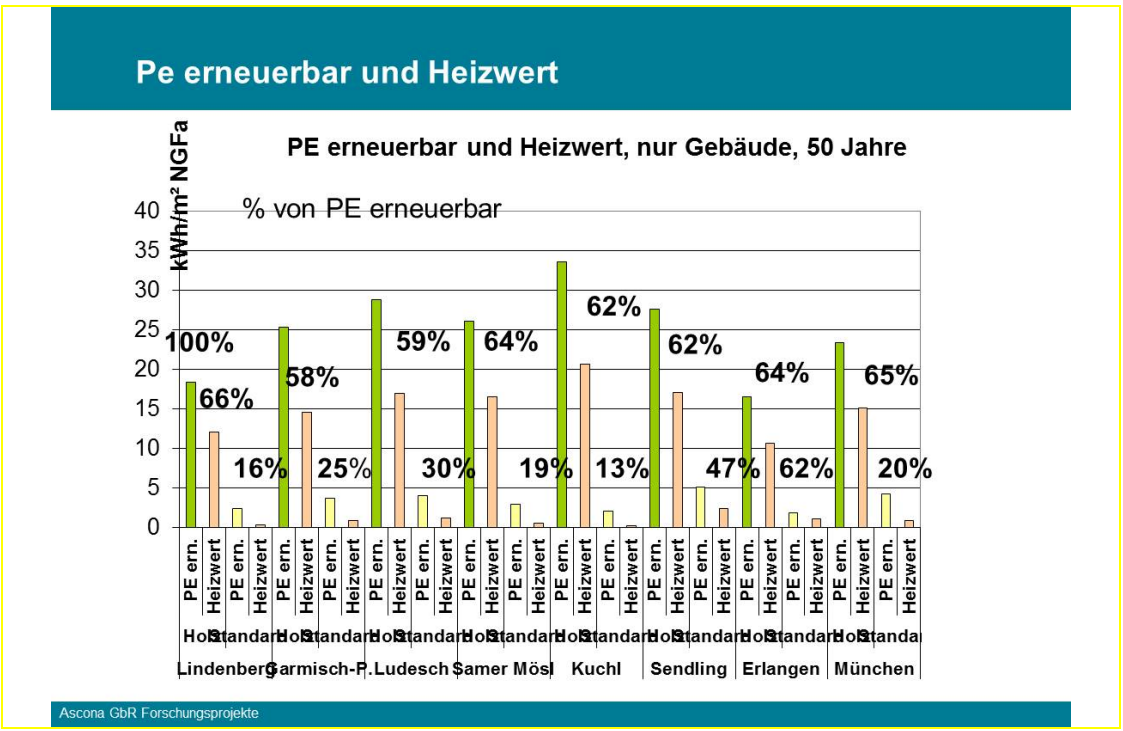

Abb. 7-23 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie erneuerbar und Heizwert

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 obige Grafik gesondert ausweist. Der pflanzliche Kohlenstoff belastet die Atmosphäre nicht, wenn er verbrannt oder auf natürliche Weise abgebaut wird. Die Standardgebäude weisen ebenfalls Heizwerte auf. Diese resultieren aus fossilen Rohstoffen in Bauprodukten. Dabei wird fossiler Kohlenstoff der Atmosphäre zugeführt.

7.4.3 Treibhauspotenzial

Das Treibhauspotenzial (Global Warming Potential – GWP) (Abb. 6) 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. Der Kohlenstoffspeicher sollte auf Basis Materialmenge der unterschiedlichen nachwachsenden Rohstoffe im Gebäude ermittelt werden.

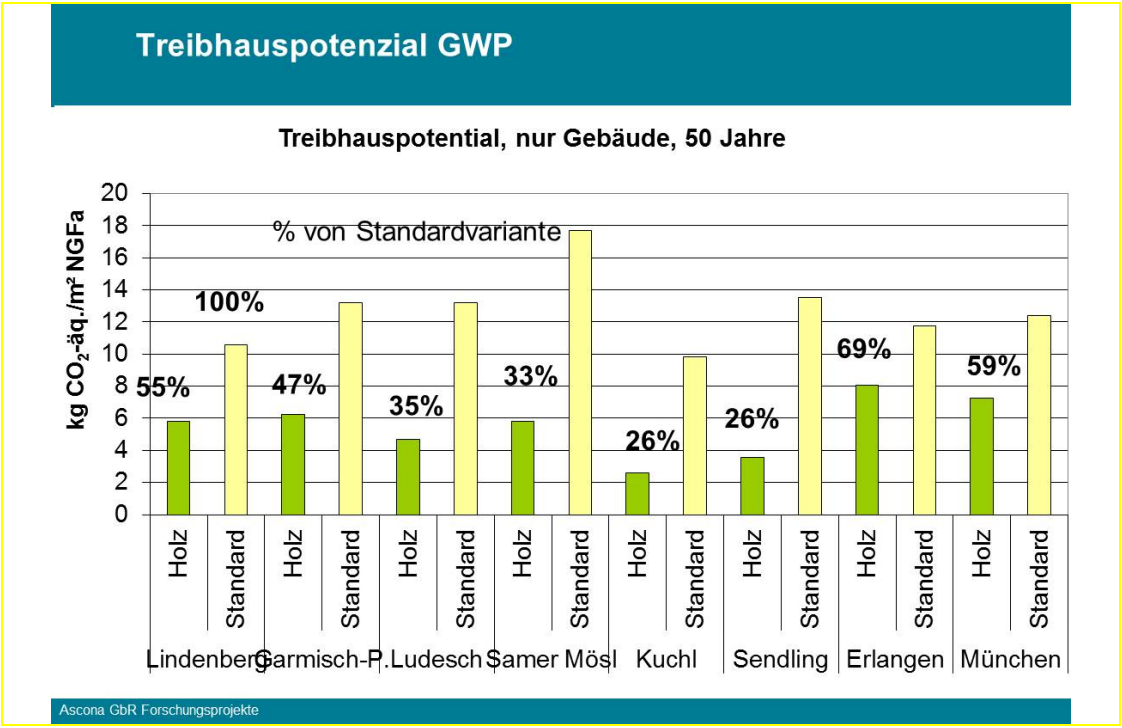

Abb. 7-24 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial

Trotz dieses vorgegebenen Entsorgungsszenarios wird die Entlastungsfunktion des Holzbaus für die Atmosphäre mit Reduktionspotenzialen von 31 – 74 % gegenüber der Standardbauweise deutlich.

7.4.4 Abiotischer Ressourcenverbrauch

Die Verknappung der Ressourcen, die nicht den Energieträgern zuzuordnen sind, wird mit dem Indikator >abiotischer Ressourcenverbrauch< beschrieben (Einheit kg Antimon – Äquivalent) (Abb. 7). Es wird somit erstmals möglich, den Beitrag von Holz zur Schonung von nicht erneuerbaren nicht energetischen Ressourcen aufzuzeigen. Entsprechende Erfahrungen mit diesem Indikator sind noch zu sammeln und Bewertungsgrundlagen (Benchmarks) zu entwickeln.

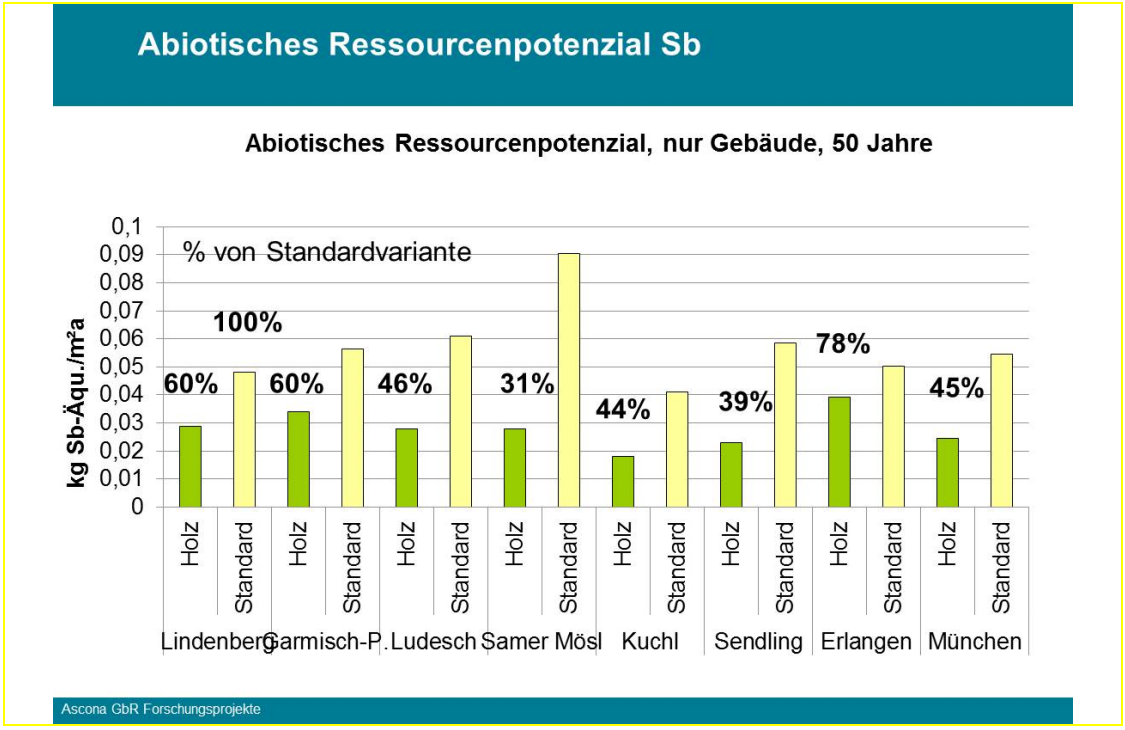

Abb. 7-25 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Abiotisches Ressourcenpotenzial

Die Gebäude mit einem hohen Anteil nachwachsender Rohstoffe erreichen nur 31 – 78% des abiotischen Ressourcenverbrauchs der Standardvariante.

7.4.5 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. 7-26). Da im Gemeindezentrum Ludesch Innenraumluftmessungen durchgeführt wurden mit einem niedrigen Emissionsergebnis sind die aufgezeigten Berechnungen nicht korrekt. Auf die Kritik des Autors an den Ökobilanzmodulen wurden in der Ökobau.dat neue Beschichtungsmaterialien zu Verfügung gestellt. Die Gebäude, deren Oberflächenbeschichtungen aus wasserbasierten Naturharzlasuren bestehen (Neubau München, Erlangen und Jugendzentrum), weisen wesentlich geringere Umweltbelastungswerte auf. Daran ist zu erkennen, wie notwendig es ist korrekte Ökobilanzmodule zu Verfügung zu haben.

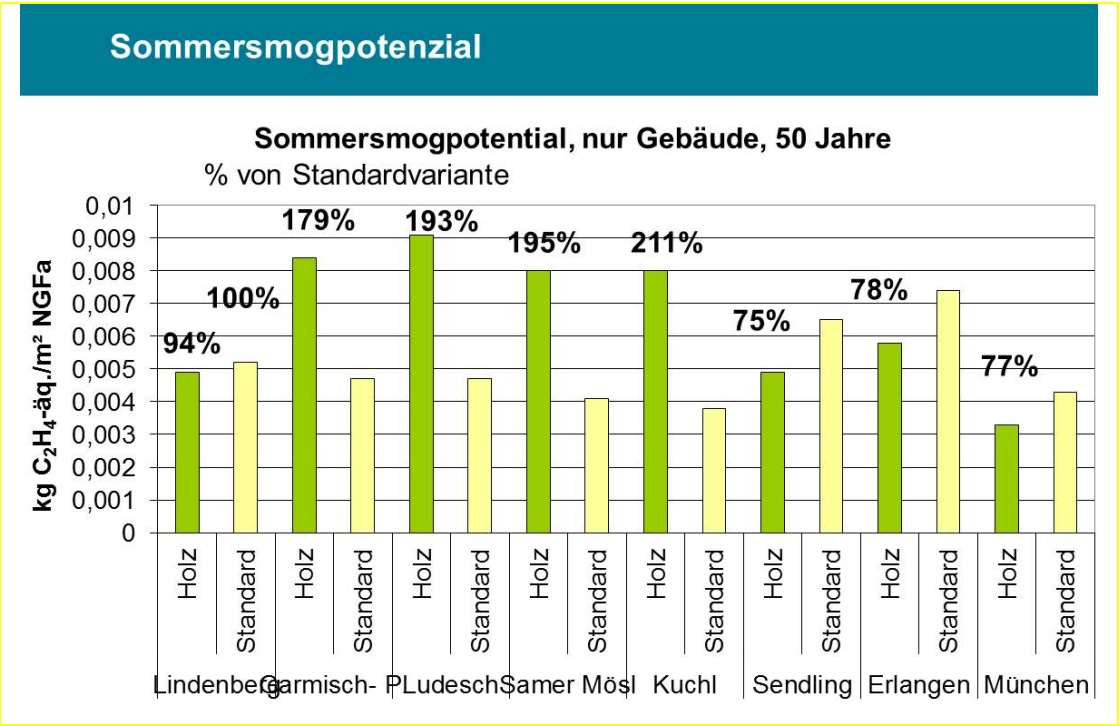

Abb. 7-26: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Sommersmogpotenzial

7.4.6 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 10 – 30% für das gesamte Gebäude über den Betrachtungszeitraum (Abb. 7-27).

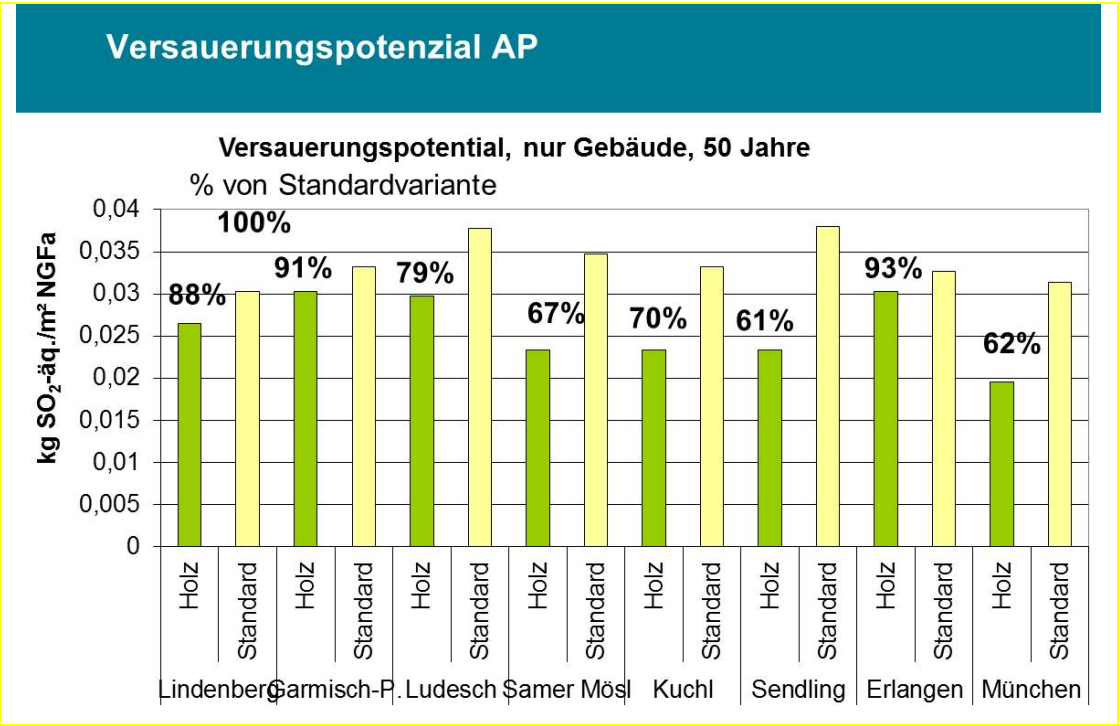

Abb. 7-27: Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Versauerungspotenzial

7.5 Fazit

Gebäudekonzepte, die nachwachsende Rohstoffe in großem Umfang einsetzen, bedeuten eine wesentliche Entlastung für die Umwelt über den gesamten Lebenszyklus. Relative Unterschiede zwischen den Projekten bedingen sich durch die Anzahl der Geschosse, Bandschutzkonzepte, Nutzungsanforderungen beim Innenausbau.

Die Entlastungsfunktion wird aber nicht in allen Indikatoren erreicht. Besonders die Indikatoren Sommersmogpotenzial, Versauerungspotenzial oder Überdüngungspotenzial können durch die Wahl bestimmter Innenausbaumaterialien, z.B. Beschichtungen auch höhere Belastungen aufweisen.

Bezüglich der Aspekte Kohlenstoffspeicher und Substitutionspotenzial wird auf Kapitel 10 verwiesen.

8 Lebenszyklusbetrachtung von Baukonstruktionen

Bei der Gebäudemodernisierung werden nur bestimmte Bauteile ersetzt. Der Großteil der Gebäudesubstanz bleibt erhalten. Deshalb müssen die Berechnungskorridore der Gebäudebilanzierung sehr viel kleiner ausfallen, als beim Neubau eines Gebäudes. Um die speifischen Anforderungen von Modernisierungen wurde das Bearbeitungsprogramm des Projektes mit der Einzelbetrachtung von Bauteilen und deren Modernisierungsvarianten erweitert. Im Gegensatz zu einigen Kosten- und Ökobilanzberechnungen, die sich nur auf die Herstellungsphase beziehen, wurde eine Kurzstudie über Konstruktionen zur energetischen Modernisierung mit dem Ansatz der Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Diese Methode bezieht die Dauerhaftigkeit der Materialien und die Aufwendungen für die Entsorgung am Lebenszyklusende mit ein.

.

8.1 Material und Konstruktion

Da in Baukonstruktionen verschiedene Materialien zum Einsatz kommen, wird die Berechnung des Lebenszyklus umfangreicher und es gilt die Einflüsse verschiedener Materialien zu berücksichtigen. Der Ansatz die vollständige Baukonstruktion zu erfassen vermeidet damit die systematischen Fehler der Einzelmaterialbetrachtung.
Die energetische Modernisierung des Gebäudebestandes ist eine wichtige Zukunftsaufgabe. Vorschläge zur Verbesserung der Wärmedämmung von Konstruktionen berücksichtigen meist nur die marktführenden Dämmstoffprodukte.

- Expandiertes Polystyrol (EPS)
- Mineralwolle (MW).

Deshalb wurden weitere Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) in die Untersuchung aufgenommen. Folgende Bauprodukte wurden berücksichtigt:

- Holzfaserplatten
- Hanf- oder Flachsfasern,
- Schafwolle
- Zellulosedämmstoff.

Es wurden verschiedene Baukonstruktionen für die Gebäudehülle einer Lebenszyklusanalyse unterzogen, die sowohl mit konventionellen, als auch mit Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (NAWARO) konstruiert werden können:

- Außenwand (AW): Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
- Decke zum unbeheizten Keller = Dämmung unterhalb der Decke (U-D), ohne Schutz vor Beschädigung (o), mit Schutz vor Beschädigung (m)
- Oberste Geschoßdecke mit Dämmung oberhalb der obersten Geschoßdecke (O-D), nicht begehbar (nb), begehbar (b)
- Dachdämmung (D), zwischen den Sparren gedämmt (zS).

Die eingesetzten Materialien erreichen eine Wärmeleitzahl (WLZ) bei den Standarddämmstoffen von 0,035 W/mK, bei den Nawaro-Dämmstoffen von 0,040 W/mK. Tabelle 8.1 zeigt die Bauprodukte, die berechnet wurden:

Baukonstruktion	Standard mit WLZ	Material-stärke cm	Nawaro mit WLZ	Material-stärke cm
AW - WDVS	Polystyrol verputzt PS, 035	7 – 18	Holzfaserplatten verputzt HF, 040	8- 20
DE – unten gedämmt –ohne Schutz U-D o	Mineralwolle MW, 035	7 - 8	Holzfaserplatten flexibel HF-fl, 040	8 - 9
DE – oben gedämmt – begehbar D-o-b	Mineralwolle abgedeckt Spanplatte MW, 035	14 - 20	Zellulosedämm-stoff eingeblasen, Holzverschalung ZELL+ Holz, 040	16 - 23
DA Zwischensparren-dämmung zSp	Mineralwolle, 035	11 - 20	Zellulosedämm-stoff eingeblasen, Holzfaserplatte ZELL, 040	13 - 23

Tabelle. 8-1: Konstruktionen, Dämmstoffe, Dämmdicke

Die folgende Auswertung stellt aus Platzgründen nur zwei der insgesamt sechs Konstruktionen vor.

8.2 Rahmenbedingung der Berechnung

Folgende Rahmenbedingungen für die Vergleiche wurden berücksichtigt.

Funktionale Einheit

Die funktionale Einheit beschreibt die Bezugsgröße aller Berechnungen. In dieser Studie werden alle Angaben auf jeweils 1 m² Baukonstruktionsfläche bezogen. Die Vergleichskonstruktionen beziehen sich außerdem auf denselben U-Wert. Weitere Aspekte wie Baustoffklasse in Bezug auf den Brandschutz werden nicht berücksichtigt.

Bauphysikalische Berechnung der Dämmstoffschichtdicke

Die Wärmeleitzahl der konventionellen Materialien beträgt 0,035 W/mK. Da die Dämmstoffe aus Nawaro nur Wärmeleitzahlen von 0,040 W/mK erreichen, müssen die Dämmstoffschichtdicken erhöht werden, um denselben U-Wert zu erreichen. Im Prinzip müssen die Dämmstoffschichtdicken der Nawaro-Stoffe um 1 – 3 cm erhöht werden, um denselben U-Wert u erreichen.

Herstellungskosten

Die Herstellungskosten berücksichtigen alle Nebenarbeiten zur Ausführung der Gesamtkonstruktion. Die Kostenangaben für die Herstellungskosten beruhen auf der sirAdos-Baupreisdatenbank Stand 2012. Sie berücksichtigen alle Nebenarbeiten zur Ausführung der Gesamtkonstruktion.

Dauerhaftigkeit und Erneuerungszyklus

Bezüglich des Betrachtungszeitraums und der Dauerhaftigkeit ergibt sich seit 2009 eine Orientierung am Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) des Bundesministeriums für Verkehr, Bauen und Stadtentwicklung (BMVBS) bzw. der Deutschen Gesellschaft Nachhaltiges Bauen (DGNB). In den jeweiligen Kriterien Nr. 2.2.1 (BNB) oder Nr. 16/ECO

2.1.1 (DGNB) sind die Rechenregeln für die Ermittlung der Lebenszykluskosten bzw. in den jeweiligen Kriterien Nr. 1.1.1 – 1.1.6, 2.1.1 – 2.1.2 (BNB) oder Nr. 1-6, 10 – 11/ENV 1.1.1/2.1.1 (DGNB) sind die Rechenregeln für die Ermittlung der Ökobilanz niedergelegt.
Für jede Bauteilschicht und das darin enthaltene Material bestehen unterschiedliche Lebensdauern.

Lebenszykluskosten

Die Lebenszykluskosten berücksichtigen die notwendige Instandsetzung im Betrachtungszeitraum von 50 Jahren. Alle Dämmstoffe in der Konstruktion werden einmal erneuert. Daraus ergeben sich doppelte Herstellungskosten und Umweltbelastungen für alle Konstruktionen.

Ökobilanz

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

8.3 Ergebnisse der Berechnung

Die Baukonstruktionen der Standard- und der NAWARO-Varianten wurden in der integralen Software LEGEP modelliert und berechnet. In den folgenden Abbildungen werden die Standardlösungen immer mit der Farbe „lila“ abgebildet, die Nawaro-Lösungen mit einer „grünen/blauen oder roten“ Kennzeichnungsfarbe. Die Reihenfolge richtet sich nach den eingesetzten Dämmstoffdicken. In der Abfolge entsprechen sich immer die einzelnen oder im Block aufeinanderfolgenden Konstruktionen.

8.3.1 Wärmedämmverbundsystem

Für die energetische Modernisierung der Außenwand wurde ein Wärmedämmverbundsystem eingesetzt. Die konventionelle Variante wird mit dem Dämmstoff Polystyrol (**PS**) ausgeführt und anschließend verputzt. Für die NAWARO-Variante wird als Dämmstoff eine starre Holzfaserplatte (**HF**) angenommen. Diese Platte ist wesentlich schwerer als das Polystyrol System und benötigt keine Flammhemmer für die Ausführung.

Dämmschichtdicke

Die Dämmschichtdicke muss je nach benötigtem U-Wert bei der NAWARO-Konstruktion erhöht werden (Abb.1).

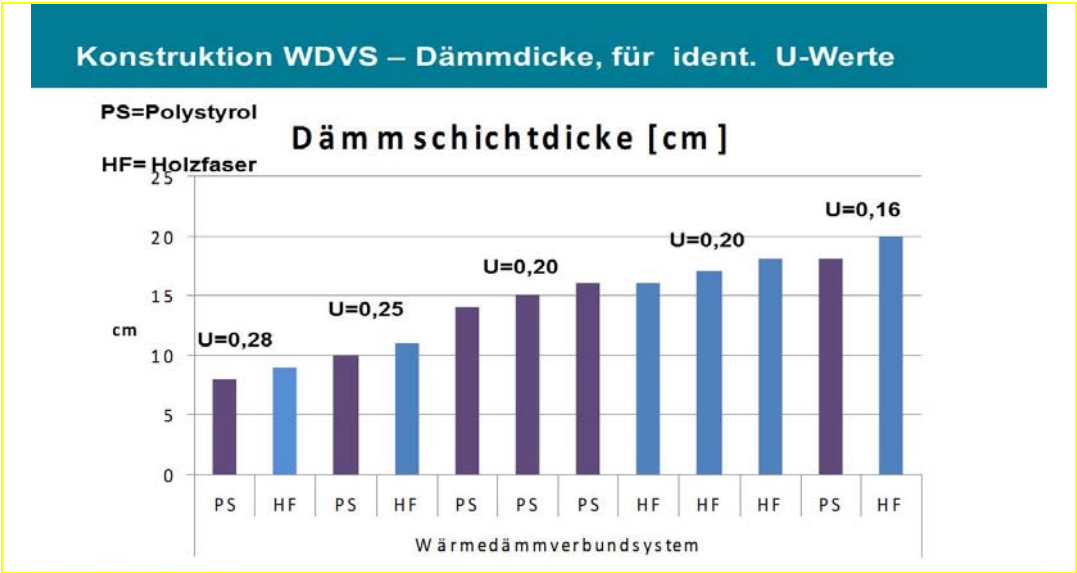

Abb. 8-2 WDVS – Dämmstoffdicke cm

Kosten

Die Herstellungskosten für die NAWARO-Konstruktion liegen ca. 15% höher als die Standardkonstruktion. Der Mehrpreis ist durch die höheren Materialkosten begründet (Abb. 2).

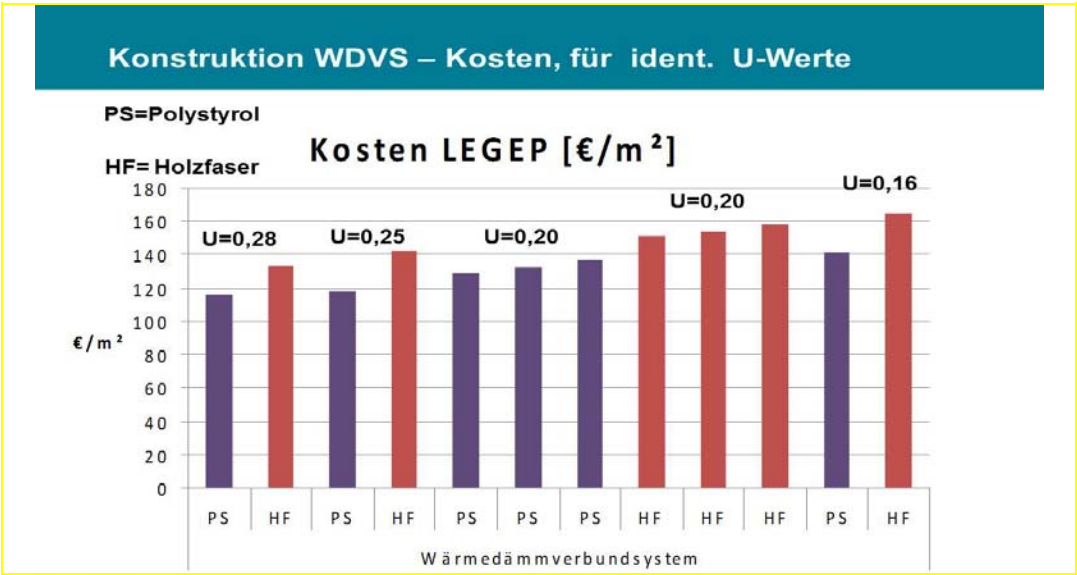

Abb. 8-3 WDVS - Kosten in €/m² netto

Ökobilanz

Die nicht erneuerbare Primärenergie liegt für die Nawaro-Konstruktionen um 250 – 300% niedriger als die Standardkonstruktion (Abb.3).

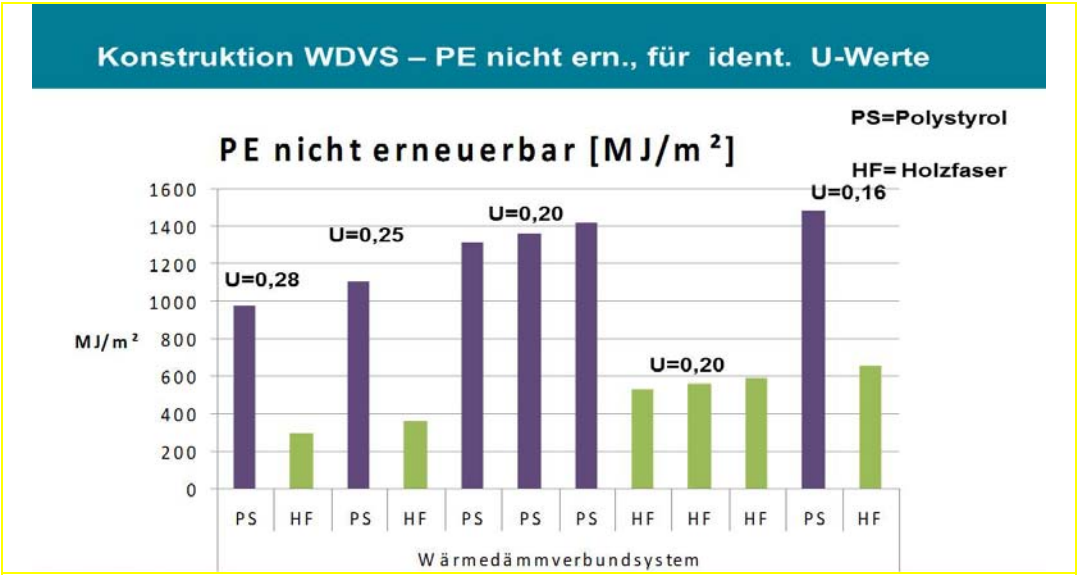

Abb. 8-4 WDVS – Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m²

Das Treibhauspotenzial der Nawaro-Konstruktion liegt im Gutschriftbereich und damit um das 6-fache günstiger als die Standardkonstruktion (Abb. 4).

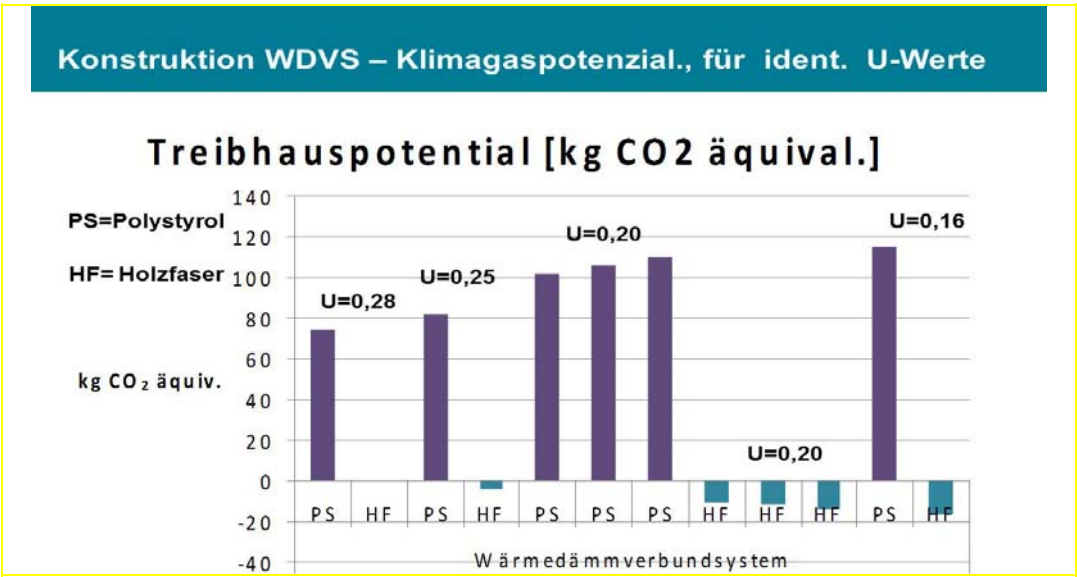

Abb. 8-5 WDVS – Treibhauspotenzial kg CO_2 äquival./m²

8.3.2 Dämmung oberste Geschoßdecke begehbar

Soll die oberste Geschoßdecke nach der Dämmung begehbar bleiben, muss eine Abdeckung der Dämmschicht mit lastabtragendem Material erfolgen. Die Standardkonstruktion besteht aus Mineralwolle mit einer Spanplattenabdeckung. Die NAWARO-Konstruktion besteht aus einer Lagerholzkonstruktion mit Holzriemenabdeckung. Der Hohlraum wird mit Zellulosedämmstoff ausgeblasen.

Dämmschichtdicke

Die Dämmschichtdicke muss je nach benötigtem U-Wert bei der Nawaro-konstruktion erhöht werden. Die Erhöhungen betragen 2 – 3 cm.

Kosten

Die Herstellungskosten für die Nawaro-Konstruktion liegen ca. 7% niedriger als die Standardkonstruktion. Der Mehrpreis der Standardkonstruktion ist durch die höheren Materialkosten bei belastbarer Mineralwolle begründet (Abb. 5).

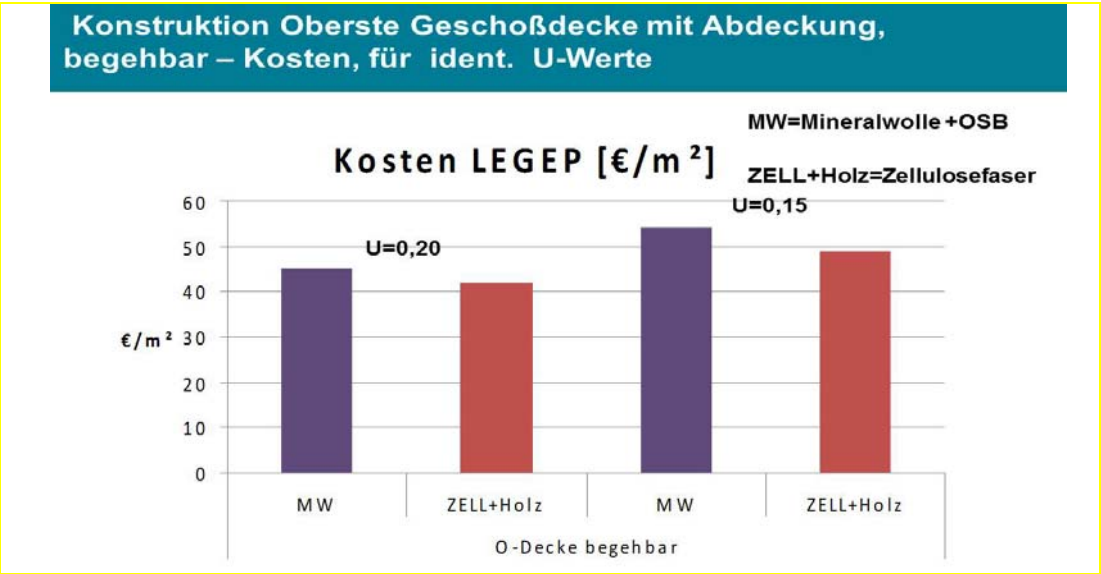

Abb. 8-6 Oberste Geschoßdecke begehbar – Kosten in €/m²

Ökobilanz

Die nicht erneuerbare Primärenergie liegt für die NAWARO-Konstruktionen um ca. 200% niedriger als die Standardkonstruktion. Da der Zellulosedämmstoff als Recyclingbaustoff nur sehr geringe Umweltbelastungen aufweist, macht sich hier die Gutschrift bei der Verbrennung mit KWK-bedingter Stromproduktion besonders stark bemerkbar (Abb. 6).

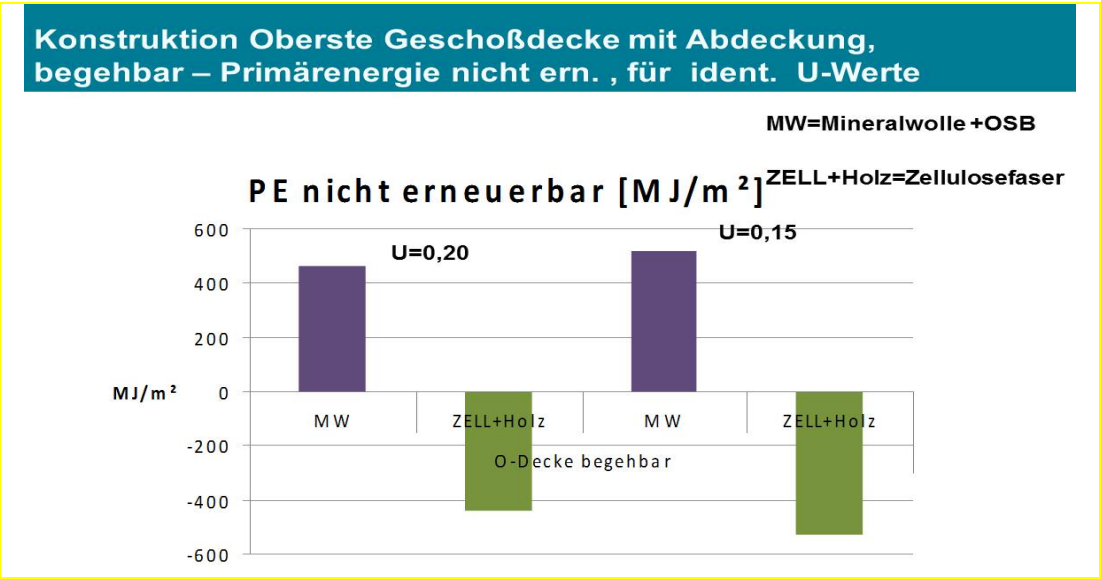

Abb. 8-7: Oberste Geschoßdecke begehbar – Primärenergie nicht erneuerbar MJ/m²

Das Treibhauspotenzial der NAWARO-Konstruktion liegt im Gutschriftbereich und damit um das 3-fache günstiger als die Standardkonstruktion (Abb. 7).

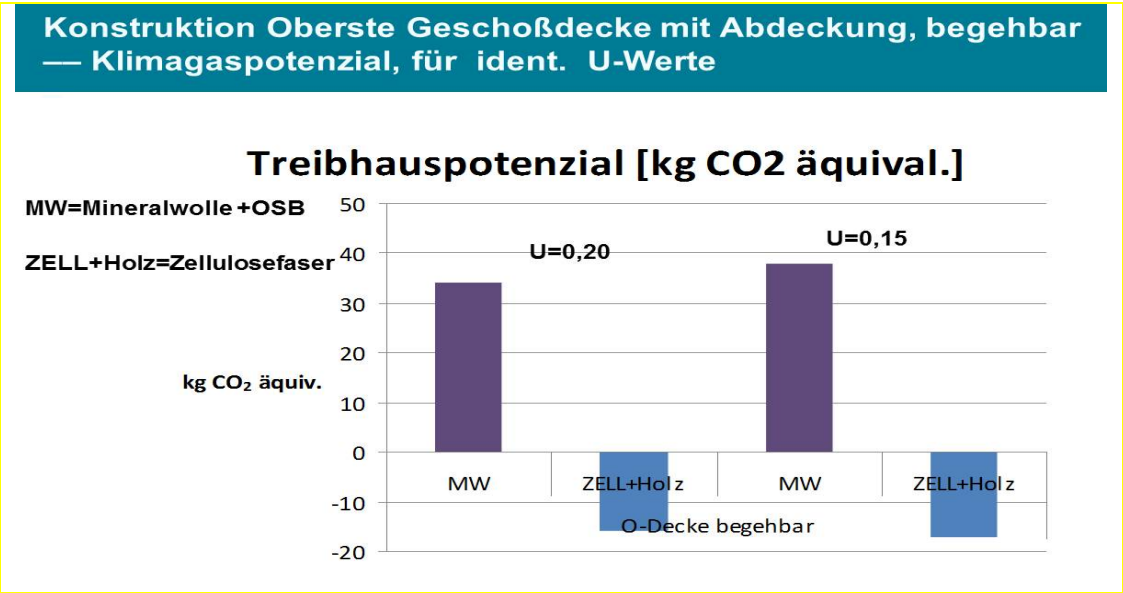

Abb. 8-8: Oberste Geschoßdecke begehbar – Treibhauspotenzial kg CO_2äquival./m²

8.4 *Zusammenfassung*

Die konventionellen Konstruktionen sind grundsätzlich günstiger in den Herstellungs- und den Folgekosten. Allerdings liegt die Preisdifferenz der Konstruktionen relativ niedrig zwischen 7 – 30%, abhängig vom Bauprodukt Dadurch ist die Überlegung nicht unbegründet, dass bereits durch kleinere Marktanreize deutliche Effekte in Bezug auf eine andere Materialwahl erzielt werden könnten.

Die Umweltbelastung der Konstruktionen mit nachwachsenden Rohstoffen ist in jeder einzelnen berechneten Konstruktionsvariante sowohl bei der nicht erneuerbaren Primärenergie, als auch beim Treibhauspotenzial erheblich niedriger. Aus Sicht der Umwelt wäre es sinnvoll zusätzlich zum angestrebten Umweltentlastungseffekt durch Energieeinsparung einen verstärkten Fokus auf die eingesetzten Materialien und die mit ihnen verbundenen unvermeidlichen Umweltbelastungen zu richten. Die Kurzstudie hat deutlich gemacht, dass die Umwelteffekte bei Baukonstruktionen die vermehrt Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen einsetzen, erheblich günstiger ausfallen als bei den bislang üblichen Standardkonstruktionen.

9 Drei Modernisierungen

Deutschland hat sich international verpflichtet, seinen Beitrag zu leisten, um den Anstieg der globalen Temperatur um mehr als 2 Grad zu verhindern. Dies bedeutet, dass der Ausstoß von Klimagasen hierzulande um mindestens 40 Prozent bis 2020 und um 95 Prozent bis 2050 gesenkt werden muss.

9.1 Bestandsgebäude

In den Bestandsgebäuden werden ca. 60 Prozent der Endenergie für Wärme und Kühlung verbraucht und fast 20 Prozent der gesamten CO_2-Emissionen in Deutschland verursacht. Um die Klimaschutzziele zu erreichen, den Energieverbrauch sowie die CO_2- Emissionen zu senken und die Abhängigkeit von Importen fossiler Energieträger zu reduzieren, ist die Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz im Gebäudebestand ein wichtiger Baustein. In Bezug auf die Modernisierung der Wärmeversorgung von Gebäuden werden seit vielen Jahren die Anforderungen in der Energieeinsparverordnung formuliert und schrittweise verschärft. Zusätzlich wird die finanzielle Förderung von Modernisierungsmaßnahmen mit einer verbesserten Ausführung der Modernisierungs-massnahmen verbunden (KfW-Kredite). Bauprodukte aus nachwachsenden Rohstoffen haben bisher trotz des damit verbundenen Substitutionspotenzials keinen Eingang in die Aktionsprogramme zur Gebäudesanierung gefunden. In einer detaillierten Untersuchung – gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt – wird nachgewiesen, in welchem Umfang die Umweltbelastung bei einem Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen im Vergleich zu konventionellen Modernisierungssystemen abnimmt. Dazu wurde das Prinzip der „Zwillingsbauweise“ der vorher gezeigten Neubauten angewendet. Die Bestandsgebäude wurden dazu mit den ausgeführten Konstruktionen aus nachwachsenden Rohstoffen modelliert und berechnet (Bezeichnung NAWARO). In einem zweiten Modellierungsschritt wurden Standardlösungen mit Bauelementen aus mineralisch-synthetischen Baustoffen berechnet (Bezeichnung STANDARD). Beide Lösungen erreichten bei der Berechnung nach EnEV 2009 denselben Endenergiebedarf.

9.2 Die Gebäude

Die hier gezeigten Beispiele zeigen sowohl unterschiedliche Nutzungsbereiche, Wohnbau und Schulbau, als auch unterschiedliche Eingriffstiefen in die vorhandene Bausubstanz.

- Bei dem Projekt in München wird das Gebäude auf seinen Rohbauzustand zurück gebaut, die Grundrisse verändert, die technischen Anlagen umfassend erneuert, ein Treppenturm mit einer neuen Laubengangerschließung errichtet und ein weiteres Geschoß hinzugefügt. Diese strukturelle Modernisierung wird im folgenden Text als MOD-2 bezeichnet. Für dieses Gebäude wurde zusätzlich eine einfache Modernisierung (MOD-1) modelliert, die nur eine energetische Modernisierung beinhaltet.

- Bei dem Wohngebäude in Augsburg wird vor allem die Fassade energetisch ertüchtigt und die Barrierefreiheit mit einem neuen Aufzugsturm sichergestellt. Die

Balkone wurden zu geschlossen Wintergärten umgebaut. Diese Lösung wird als MOD-1 bezeichnet.

- Die Schule in Gundelfingen erhielt eine vollständig neue Fassade, die unter Beibehaltung der Stahlstützender Primärkonstruktion vorgehängt wurde. Zusätzlich wurde das Oberlicht durch eine thermisch bessere Laterne ersetzt.

Allen Projekten gemeinsam ist der Einsatz von Massivholz und Holzwerkstoffen als innovative Lösungen. Der Einsatz vorgefertigter Holztafelelemente bringt zahlreiche Vorteile:

- Die Bauabläufe sind durchgehend geplant und aufeinander abgestimmt.
- Die Qualität und Präzision der Elemente ist durch die Vorfertigung sehr hoch.
- Die Bauzeit und damit die Störung des Wohnumfeldes des weiterhin genutzten Altbestandes werden reduziert.
- Solar- und haustechnische Komponenten können in die Bauteile integriert werden.

Zusätzlich wurde für alle drei Gebäude eine Variante berechnet, die den Totalabbruch der vorhandenen Gebäude beinhaltet und einen Neubau mit derselben Kubatur realisiert. Neben der Kostenbetrachtung soll die dadurch entstehende Umweltbelastung dargestellt werden.

Die ausgewählten Gebäude repräsentieren zwei wesentliche Aktionsfelder im Gebäudebestand:

- die großen Wohnanlagen der gemeinnützigen oder privaten Wohnungsgesellschaften
- die bestehenden Schulgebäude in kommunaler Trägerschaft.

Folgende Gesichtspunkte wurden betrachtet:

- die Größenordnung der erreichbaren energetischen Einsparung durch die Modernisierung
- Die Gesamtkosten über den Lebenszyklus
- Die Reduktion der Umweltbelastung durch die einzelnen Maßnahmen.
- Die Option Abriss und Neubau.

Die Diskussion in den Entscheidungsgremien der Investoren berücksichtigt auch die Option Abriss und Neubau. Dabei bleiben neben den kurzfristigen Renditezielen die langfristigen Optionen der Lebenszykluskosten unberücksichtigt. Die Ergebnisse einer Ökobilanz sind bis heute nicht Gegenstand eines Variantenvergleichs. Dies wird in Zukunft aber notwendig werden, da auch in Zertifizierungssystemen diese Varianten abgefragt werden könnten.

Projekte: Bestandsgebäude und Modernisierung

Wohnungs-bau München-Sendling BESTAND	**Wohnungs-bau München-Sendling MOD 2**	**Wohnungs-bau München-Sendling NEUBAU**		**Wohnungs-bau Augsburg BESTAND**	**Wohnungs-blau Augsburg MOD 1**	**Wohnungs-blau Augsburg NEUBAU**		**Grundschule Gundelfingen BESTAND**	**Grundschule Gundelfingen MOD 1**	**Grundschule Gundelfingen NEUBAU**	
	Lichtblau Architekten, München, Kaufmann , Schwarzach/A				lattke Architekten, Augsburg				lattke Architekten, Augsburg		
Mehrfamilien-Wohngebäude	MOD-2	NEUBAU (virtuell)		Mehrfamilien-Wohngebäude	MOD-1	NEUBAU (virtuell)		Grundschule	MOD-1	NEUBAU (virtuell)	
1963	2012	NAWARO	STANDARD	1966	2011-2012	NAWARO	STANDARD	1972	2011	NAWARO	STANDARD
3+Keller	4+Keller			6+Keller	6+Keller			2	2		
1808	2653			5633	6145	6145		2467,76	2467,76	2467,76	
1373	2128			4845	5360	5360		entfällt	entfällt	entfällt	
1432	1739,81			4682	4948	4948		2202	2202	2202	
1080	1387,1			4053	4313	4313		entfällt	entfällt	entfällt	
1090	1350			3356	3672	3672		2202	2202	2202	
5144	5954			15372	16782	16782		9845,48	9845,48	9845,48	
4122	4932			13325	14742	14742		entfällt	entfällt	entfällt	
0,011	0,022	0,077	0,007		0,011	0,09	0,004		0,006	0,036	0,003
0,032	0,051	0,178	0,017		0,032	0,247	0,01		0,016	0,098	0,008

Tabelle. 9-1: Gebäudefläche, -kubatur, Architekten

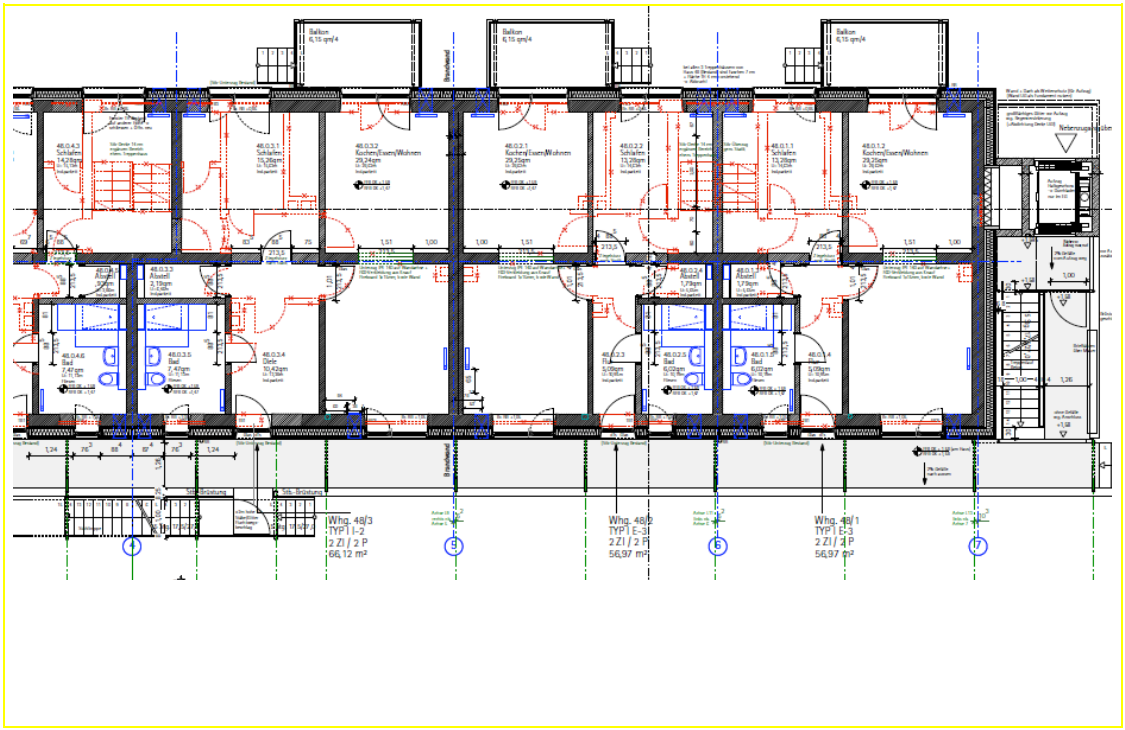

Abb. 9-2: Wohnungsbau München Modernisierung Grundriss, Ausschnitt

Abb. 9-3: Wohnungsbau München Modernisierung Ansicht

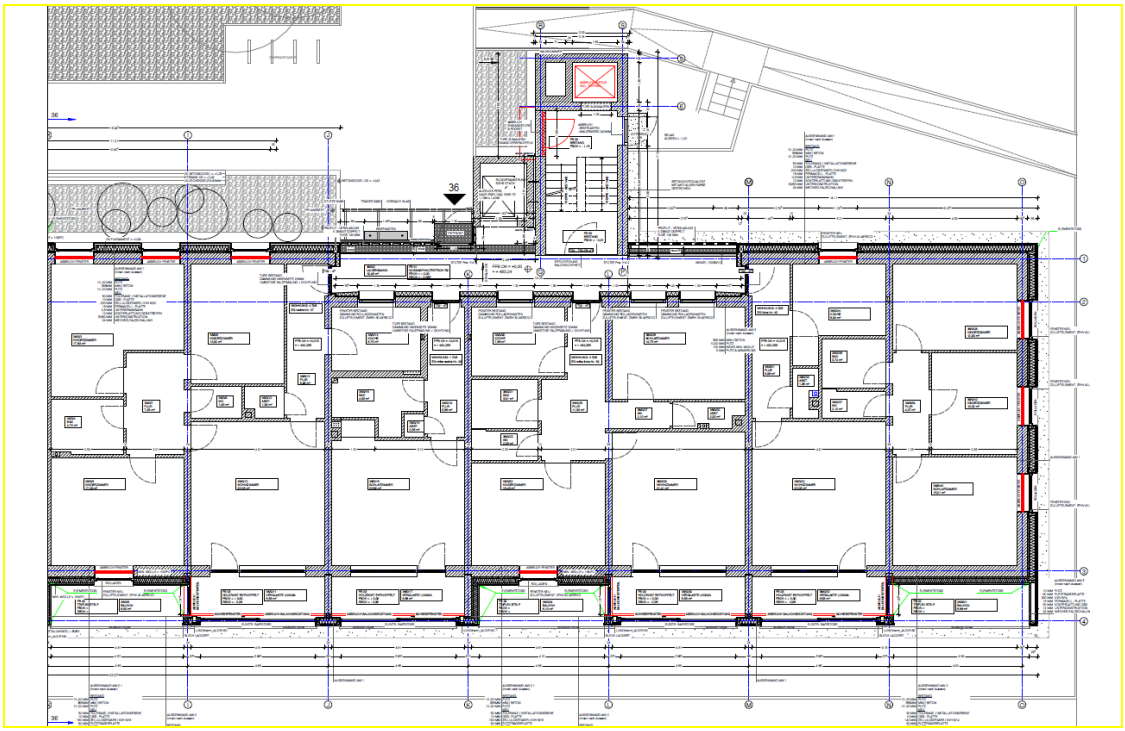

Abb. 9-4: Wohnungsbau Augsburg Modernisierung Grundriss Ausschnitt

Abb. 9-5: Wohnungsbau Augsburg Modernisierung Ansicht

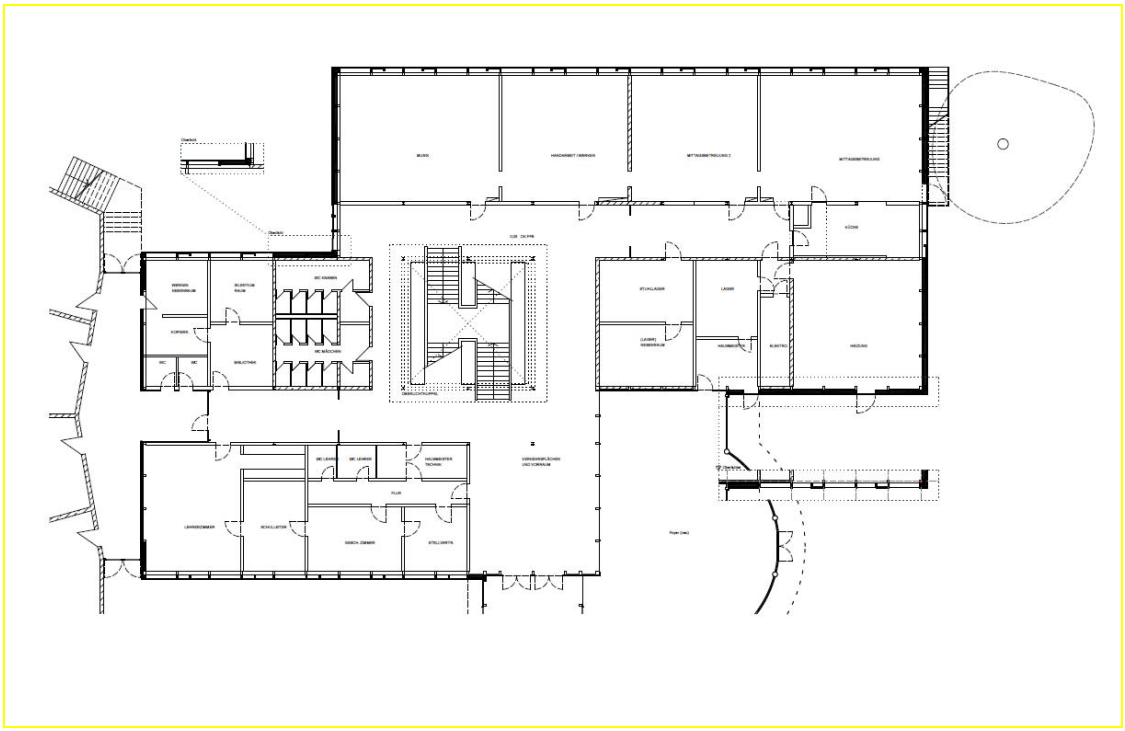

Abb. 9-6 Schule Gundelfingen, Modernisierung Grundriss

Abb. 9-7: Schule Gundelfingen Modernisierung Ansicht

9.3 Energetische Einsparung

Die Modernisierungsmaßnahmen erreichen eine erhebliche Reduktion des Energiebedarfs. Es muss aber zwischen dem Bedarf an Endenergie und Primärenergie unterschieden werden. Die Qualitätssprünge sind vom eingesetzten Energieträger abhängig. Das Schulgebäude in Gundelfingen erzielt Einsparungen bei der Endenergie von fast 50 % und reduziert die Primärenergie um 80%. Die Modernisierung beschränkte sich auf die Fassade und eine verbesserte Dachdämmung.
Die Wohnanlage in Augsburg reduziert den Endenergiebedarf um 80% und durch den Einsatz eines Holzpelletkesseln den Primärenergiebedarf um 90%. Die Wohnanlage in München reduziert bei der realisierten Variante MOD 2 den Endenergiebedarf um 95 % durch den zusätzlichen Einsatz von Solarkollektoren für die Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung und den Einbau von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung.

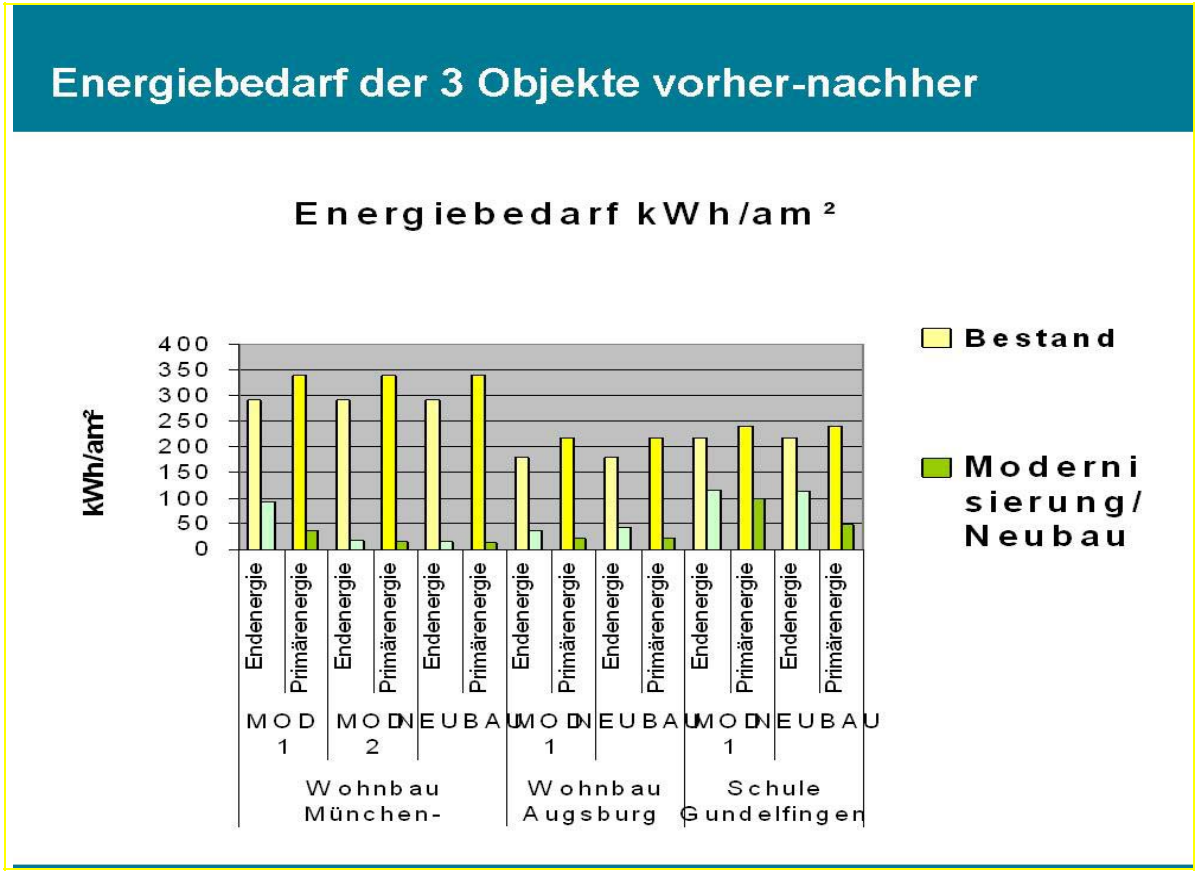

Abb. 9-8: Endenergie und Primärenergiebedarf

Die Neubauten werden auf demselben Niveau modelliert wie die am besten modernisierten Bestandsgebäude. Bezugsgröße ist der Endenergiebedarf.

9.4 Lebenszykluskosten

Bei den Lebenszykluskosten werden neben den Folgekosten der Nutzungsphase auch die Herstellungskosten für die Modernisierungsmaßnahmen bzw. den Neubau berücksichtigt, und die notwendigen Abbruchkosten für alle durchgerechneten Varianten. Die

Lebenszykluskosten wurden einerseits für die Standard- und NAWARO-Variante berechnet, als auch mit einem virtuellen Neubau verglichen. Der Betrachtungszeitraum ist 50 Jahre. Da der Energiebedarf nahezu gleich ist und die Kosten für Reinigung, Wartung und Instandsetzung über 50 Jahre dieselbe Größenordnung erreichen, hat die Höhe der Investitionskosten für die Modernisierung bzw. den Neubau den entscheidenden Einfluss.

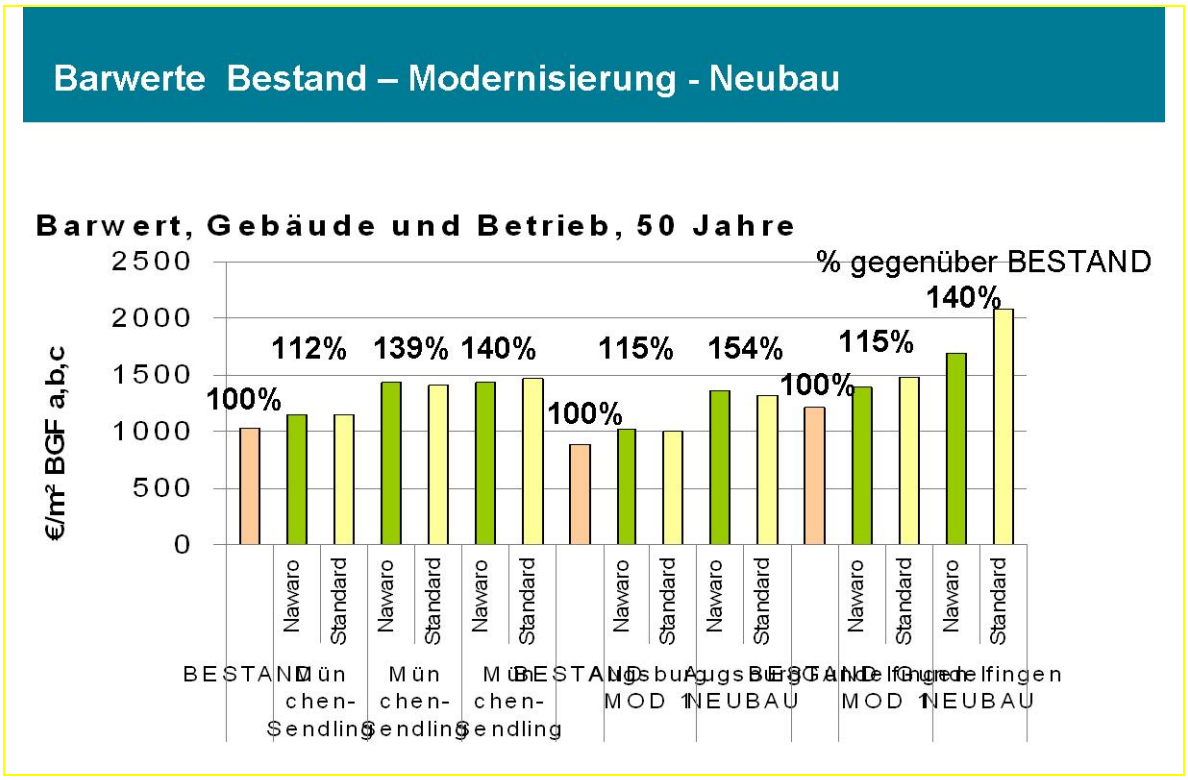

Abb. 9-9: Barwerte

Die Barwerte der unterschiedlichen Lösungen liegen erwartungsgemäß in allen Varianten über den Barwerten der Bestandsgebäude, da bei diesen nur Instandsetzungskosten aber keine Neuinvestitionen auftreten.

In München-Sendling liegen die Barwerte der Varianten MOD 1 gegenüber einem Neubau eindeutig günstiger mit ca. 115% Die strukturelle Modernisierung MOD 2 des Gebäudes in München erreicht dagegen das Niveau eines vergleichbaren Neubaus. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in diesem Fall erstmals eine extrem weitgehende Modernisierung des Bestandsgebäudes mit veränderten Erschließungen, neuen Grundrißzuschnitten und Wohnungstypmischungen und eine zusätzliche Aufstockung realisiert wurden.

In Augsburg ist die Modernisierung erheblich günstiger (115%) als der Neubau (154%).

In Gundelfingen ergibt sich bei der Schulmodernisierung ein ähnlich günstiges Verhältnis. Die Modernisierung liegt bei 115% über den Bestandsgebäudewerten, der Neubau würde bei 140% liegen.

9.5 Ökobilanz

Bei der Ökobilanzierung werden sowohl die Aufwendungen während der Nutzungsphase für die Instandsetzung und die Entsorgung am Ende des Betrachtungszeitraums berücksichtigt,

als auch die Aufwendungen für die Modernisierung oder den Neubau und den notwendigen Abbruch bei den Modernisierungen und der Neubauvariante.
Da der Energiebedarf nahezu gleich ist, werden nur die materiellen Aufwendungen für die Modernisierung bzw. den Neubau berechnet und dargestellt. Es werden für jede Variante eine Standard- und NAWARO-Variante berechnet. Der Betrachtungszeitraum ist 50 Jahre.
Basis für die Ökobilanz ist der eingesetzte Materialmix. Die berechnete Ökobilanz wird hier mit zwei Indikatoren dargestellt:

- Primärenergie nicht erneuerbar in kWh/m²NGF a
- Treibhausgaspotenzial in kg CO2 äquiv./m²NGF a

9.5.1 Die Materialwahl

Die Materialmengen, die bei einer Modernisierung zum Einsatz kommen, sind gegenüber einem Neubau verhältnismäßig gering. Die thermisch verbesserten Hüllflächen (Fassade, Fenster, Dachaufbau) zählen zu den Sekundärkonstruktionen. Die Modernisierungen sind aber auch mit Bauteilergänzungen verknüpft (Erschließungskerne, Aufzüge), die einen hohen Materialeinsatz erfordern. Deshalb erreichen die Modernisierungen ca. 20 – 25% des Materialeinsatzes eines vergleichbaren Neubaus.

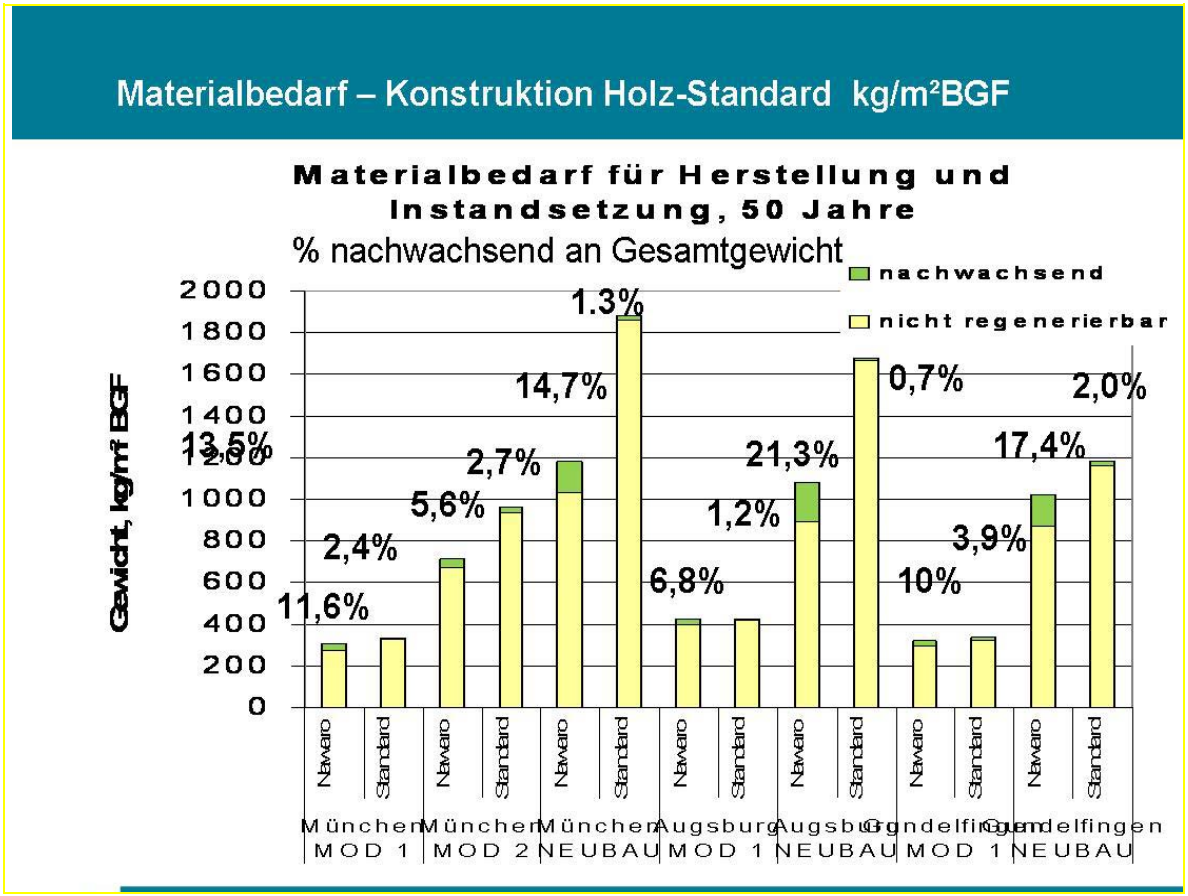

Abb. 9-10: Materialkonzepte Modernisierung-Neubau, Gesamt, nicht regenerierbar, nachwachsend

Der Anteil nachwachsender Rohstoffe erreicht einen Anteil zwischen sieben bis 12% am Gesamtgewicht des Materialeinsatz. Dieser Prozentsatz ist abhängig von der Masse der mineralischen Bauteile bei den zusätzlichen Baumaßnahmen (Treppenturm).
Für die Neubauten ist ein erheblicher Mehraufwand für das eingesetzte Baumaterial zu verzeichnen. Dabei gibt es wie aus den vorher berechneten Neubauprojekten bekannt (s. Kapitel 8) einen deutlichen Unterschied zwischen einer Bauweise aus nachwachsenden Rohstoffen (1000 – 1200 kg/m²BGF) und der Standardbauweise (1400 – 1800 kg/m² BGF).
Die %-Zahlen geben den Anteil nachwachsender Rohstoffe an dem Gesamtgewicht des Gebäudes an.

9.5.2 Primärenergie nicht erneuerbar

Der Verbrauch an nicht erneuerbare Primärenergie (Abb. 9-11) ist bei allen Baunahmen mit nachwachsenden Rohstoffen reduziert. Die Prozentzahlen zeigen die Höhe der Reduktion der Baumaßnahme mit nachwachsenden Rohstoffen im Verhältnis zum Standardgebäude an. Die Reduktion beträgt 16 – 45%, in Abhängigkeit des Umfangs der Baumaßnahme.

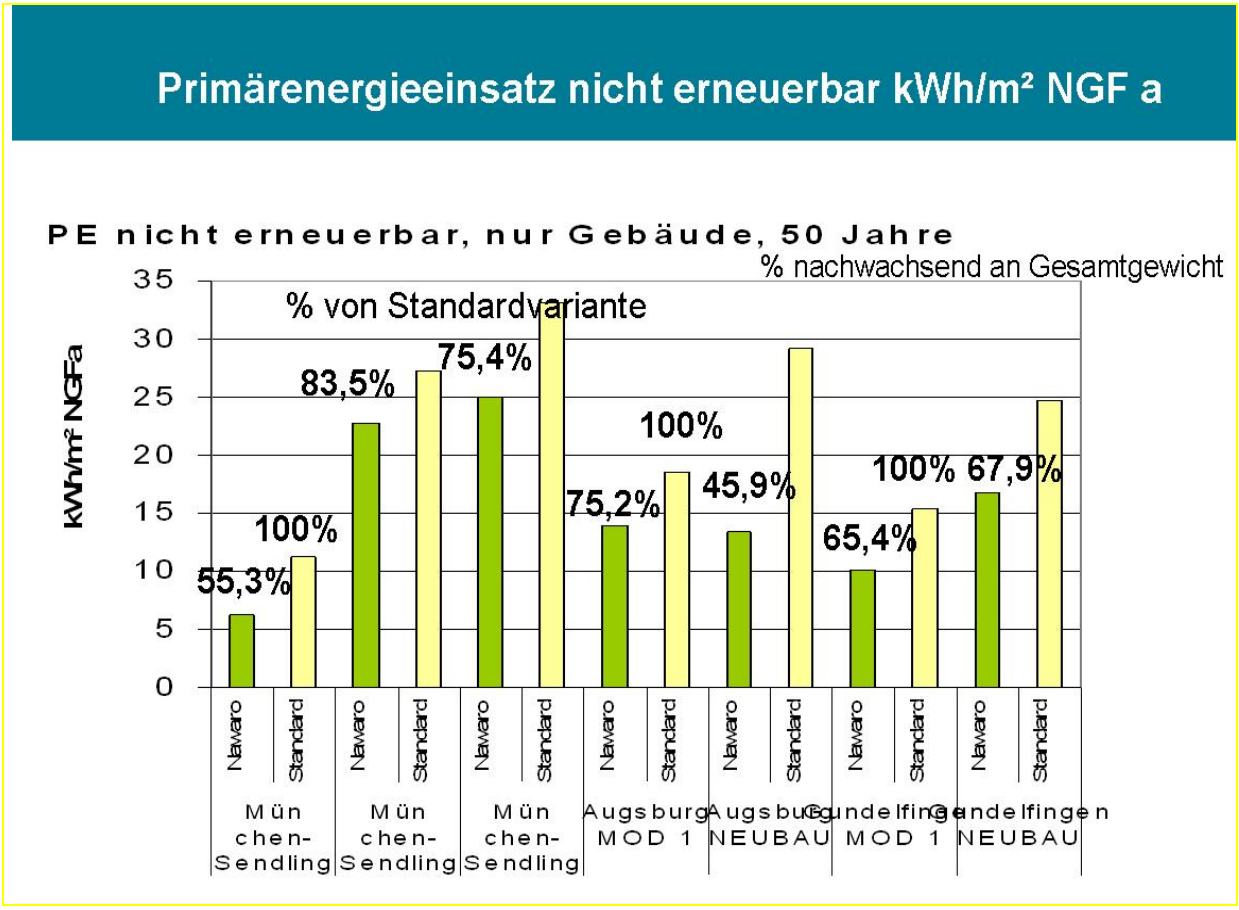

Abb. 9-11 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Primärenergie nicht erneuerbar
Die Neubauten liegen um 20 – 60% höher im Primärenergieaufwand nicht erneuerbar als die Modernisierungsmaßnahmen. Wobei der Unterschied kleiner ausfällt, wenn der Neubau mit nachwachsenden Rohstoffen ausgeführt wird.

9.5.3 Treibhauspotenzial

Das durch die Baumaßnahmen verursachte Treibhauspotenzial lässt sich durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe ebenfalls reduzieren. Die Prozentzahlen zeigen die Höhe der Reduktion der Baumaßnahme mit nachwachsenden Rohstoffen im Verhältnis zum Standardgebäude an. Die Reduktion liegt zwischen 19 – 46%.
Die Aufwendungen für den Neubau sind in der Standardvariante sehr viel höher als die Modernisierungslösungen. In der Variante eines Neubaus mit nachwachsenden Rohstoffen in der Primärstruktur ist der Unterschied erheblich kleiner.

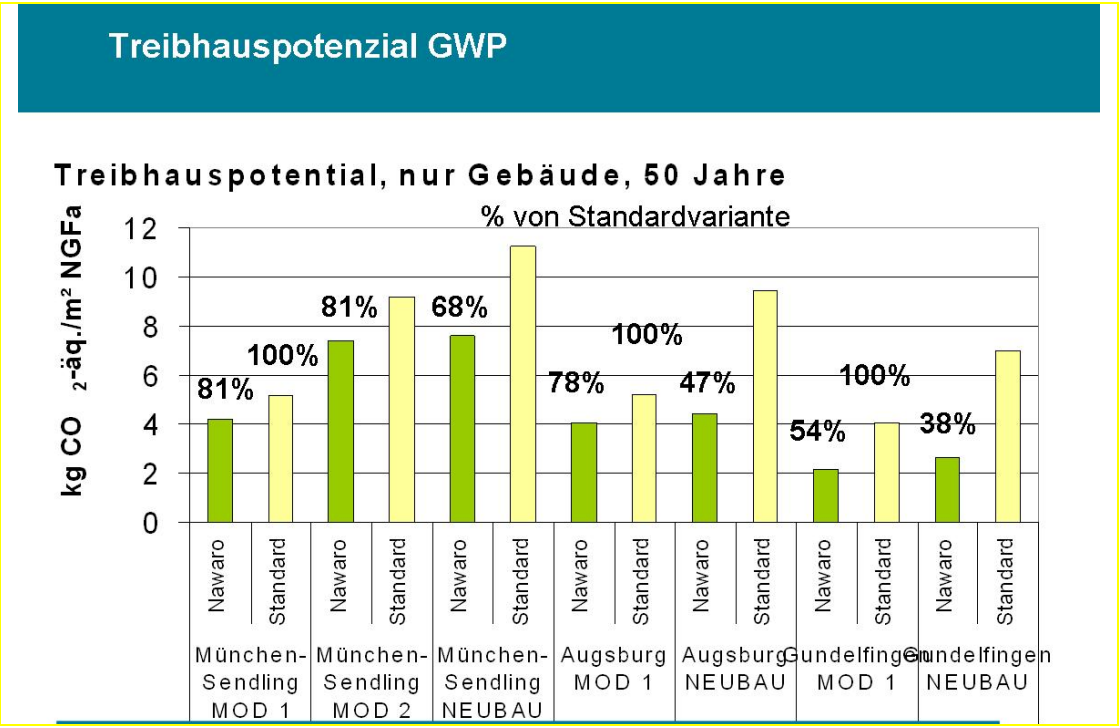

Abb. 9-12 Ökobilanz Gebäude 50 a, Indikator Treibhauspotenzial

Der Indikator Treibhauspotenzial ist nicht geeignet, um eine Aussage über die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs durch die nachwachsenden Baustoffe im Gebäude während der Nutzungsphase zu treffen, da der Kohlenstoffspeicher am Ende des Lebenszyklus thermisch verwertet wird. Der Kohlenstoffspeicher sollte auf Basis der Materialmenge der unterschiedlichen nachwachsenden Rohstoffe im Gebäude ermittelt werden (s. Kapitel 10).

9.6 Fazit

Der Einsatz von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen reduziert die Umweltbelastung im Rahmen der Gebäudemodernisierung. Die Materialwahl mit nachwachsenden Rohstoffen verbindet die Umweltentlastung durch die Primärenergieeinsparung mit einem zusätzlichen positiven Effekt.

10 Kohlenstoffspeicher und Substitution

Zwei Aspekte von Holz und Holzprodukten im Bauwesen müssen besonders berücksichtigt werden:

- Das Gebäude als Kohlenstoffspeicher
- Die Substitution endlicher Rohstoffe

10.1 Nawaro und Kohlenstoffspeicher

Nach Angaben des Umweltbundesamtes (UBA) wurden in Deutschlands Wäldern (ohne die mineralischen Böden) in zuletzt sogar durchschnittlich 25 Millionen Tonnen CO_2 jedes Jahr zusätzlich aus der Atmosphäre gebunden[UBA2012].

Diese entzieht der Baum durch Substanzaufbau der Atmosphäre. Wird der Baum geerntet und ein Bauprodukt daraus hergestellt z.B. ein Balken oder ein Fussbodenbelag wird diese Kohlenstoffmenge in das Gebäude eingelagert. Voraussetzung für eine Anrechnung dieses Kohlenstoffspeichers ist die Herkunft des Holzes. Nur eine „nachhaltige Waldbewirtschaftung, wie sie in Deutschland seit der Entstehung und Umsetzung des Nachhaltigkeitsgedankens praktiziert wird und welche die Kohlenstoffspeicher im Wald langfristig erhält, ist demzufolge eine wesentliche Voraussetzung für einen positiven Beitrag der Holznutzung beim Klimaschutz“ [RUE2011].

Aus diesem Grund verlangen die Zertifizierungssysteme in Deutschland (DGNB=Deutsches Gütesiegel Nachhaltiges Bauen, BNB-Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen, NaWoh-Nachhaltiger Wohnungsbau) in einem Kriterium den Nachweis, dass das eingesetzte Holz über ein Zertifikat des FSC (Forest Steward Councilship) oder PEFC (Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes) verfügen muss. Diese Zeichen geben aber keine Auskunft darüber, ob im Rahmen der jeweiligen Nation eine Massennachhaltigkeit der Wälder und somit deren CO_2-Neutralität gewährleistet ist.

In Durban wurde Ende 2012 beschlossen das Kyoto-Protokoll für den Klimaschutz zu verlängern und Regeln für den Einbezug der CO_2-Bilanz der Waldbewirtschaftung verpflichtend aufzunehmen. Damit ist die Grundlage gelegt die Bilanz des Kohlenstoffspeichers in Holzprodukten bei der Gebäudebilanzierung anzurechnen. 2011 wurde vom Autor vorgeschlagen, die bisher bestehende Gleichbehandlung von Bauprodukten mit fossilem, mineralischen oder metallischen Rohstoffhintergrund und nachwachsendem Rohstoffkonzept in der Ökobilanzierung durch die Berechnung und Angabe des Nachwuchspotenzials zu ergänzen. Die Darstellung des Nachwuchspotenzials sollte in diesem Zusammenhang als „pädagogische Wirkungskategorie“ aufgefasst werden. Als Indikator diente das Umweltentlastungspotenzial des nachwachsenden Waldes, ausgedrückt in Kohlenstoff (C) und Sauerstoff (O_2). Dieser Ansatz wird nun überflüssig.

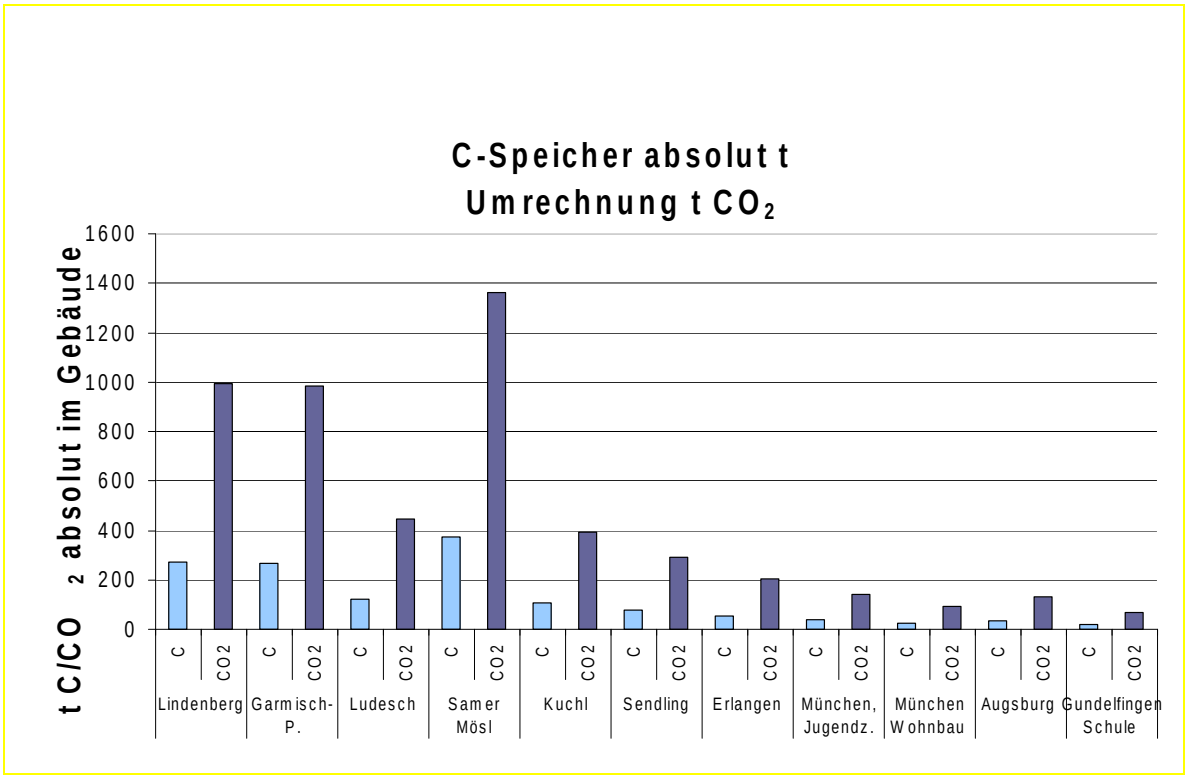

Abb. 10-1: Kohlenstoffspeicher in t C und Umrechnung in t CO_2 in allen Gebäuden

Stattdessen wird im Rahmen der Ökobilanz die im Gebäude gebundene Menge des Kohlenstoffs nachgewiesen und angerechnet. Bei Beseitigung des Gebäudes oder einzelner Teile des Gebäudes wird der Kohlenstoffspeicher auf „0“ gestellt. Das Intergouvernemental Panel on Climate Change (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss über Klimaveränderung), hat entsprechende Listen veröffentlicht, welche Mengen an Kohlenstoff (C) in verschiedenen Holzprodukten gespeichert sind. Grob vereinfachend kann von 250 kg Kohlenstoff in 1 m³ Holz (Rohdichte atro 450 kg) ausgegangen werden.
Auf Basis dieser Bilanzansätze kann der Kohlenstoffspeicher verschiedener materialspezifischer Lösungsansätze im Gebäudebereich untersucht, berechnet, bewertet und verglichen werden. Der Kohlenstoff kann mit einem Faktor auch in CO_2 umgerechnet werden. Die folgende Grafik zeigt für alle in diesem Heft bilanzierten Gebäude die absolute Menge des Kohlenstoffs (C) und des Kohlendioxids (CO_2) in Tonnen für die Herstellungsphase an.

10.2 Substitution als Einsparpotenzial

Zusätzlich zur Speicherwirkung des biogenen Kohlenstoffs kann durch den Einsatz von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen Materialien aus endlichen Ressourcen wie Kunststoffe und Metall, aber auch aus mineralischen Fraktionen ersetzt werden. Dieser Vorgang wird Substitution = Austausch oder Ersatz genannt. Eine Grundvoraussetzung für die Abschätzung eines möglichen Einsparpotentials durch die Verwendung von Bauprodukten aus nachwachsenden Rohstoffen ist die Anwendung der gleichen funktionalen

Einheit. Diese Voraussetzung ist bei allen Untersuchungen durch die Bauteileinheit m² oder dasselbe Stück Gebäude mit dem gleichen Energiebedarf gegeben. Das Substitutionspotenzial variiert je nach Umweltindikator. Beispielhaft soll in der folgenden Grafik das Potenzial für den Indikator Treibhausgas (CO_2äqu.) aufgezeigt werden.

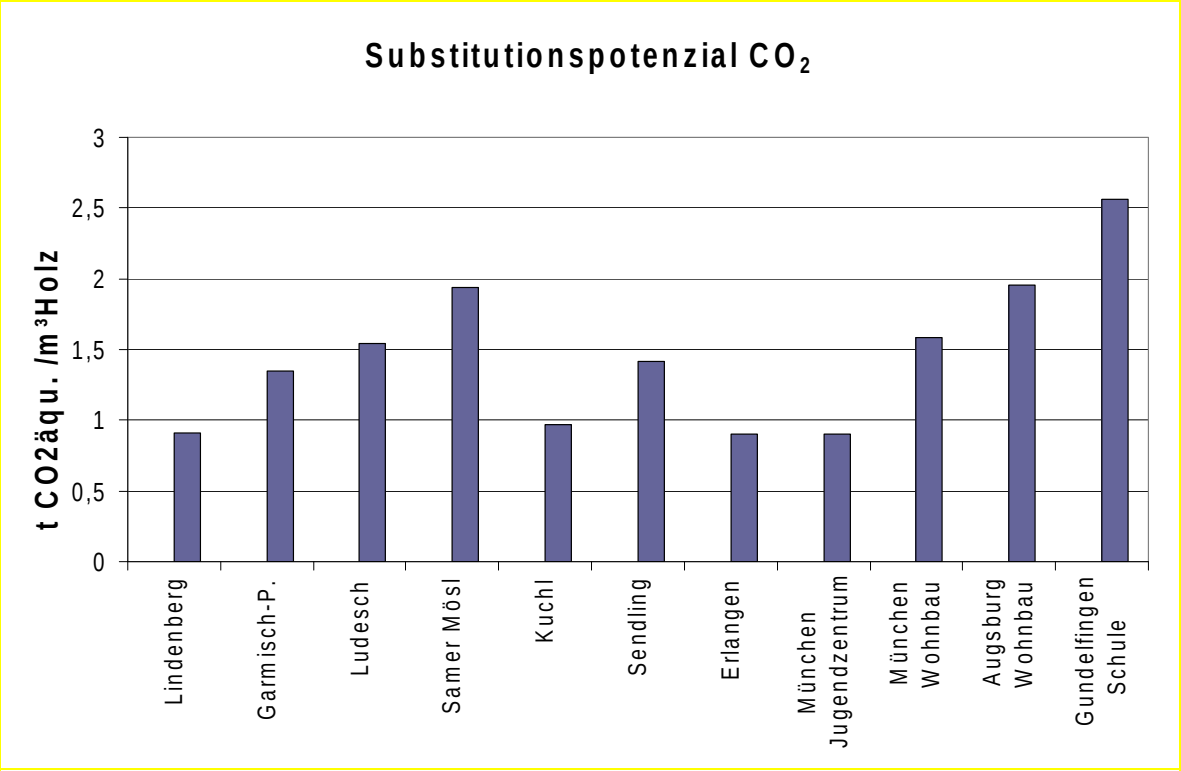

Abb. 10-2: t CO_2 Substitution

Die Substitutionswirkung durch die Verwendung von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen vermeidet von 0,9 bis 1,9 Tonnen CO_2 äqu. fossiler Treibhausgasemissionen pro eingesetztem Kubikmeter Holz je nach Objekt.

Ähnliche Angaben finden sich in einer Sammlung von Forschungsberichten zu Holzprodukten und Klimagaspotenziale von Sathre&o´Connor[SAT2010] , vom International Institute for Environment und development[IIED2004] und von der Studie NRW Wald und Klimaschutz[NRW2012]. Die erste Studie erwähnt als Zusammenfassung, dass pro m³ Holz eine Reduktion von 1,9 t CO_2 äqu. erreicht werden können, die zweite Studie führt 0,75 bis 1 t CO_2 Einsparung pro Kubikmeter Holz an, der Beton oder Ziegel ersetzen würde, die dritte Studie berechnet Substitutionsfaktoren für den materiellen Einsatz von Holz (SFMA) von 1,5t C/t C. Dabei ist nicht deutlich bezeichnet, welche Holzrohdichten zugrunde gelegt werden, was eine Umrechnung auf m³ eingesetztes Holz erschwert. Außerdem ist nicht klar, ob es sich um Kohlenstoff handelt und was die t C bei mineralischen Baustoffen bedeutet.

11 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. Dieses Potenzial wurde auch für den Fall der Gebäudemodernisierung nachgewiesen.

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.

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.

Die Forschungsprojekte haben nachgewiesen, dass die besonderen Eigenschaften der Produktgruppe der nachwachsenden Rohstoffe durch eine vergleichende Ökobilanz dargestellt werden kann.

Realisiert werden kann die Entlastungsfunktion für die Umwelt nur, wenn die Bewirtschaftung von Wald und Feldern durch Massenerhalt oder –zuwachs realisiert wird. 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.

12 Dissemination

Die Dissemination der Ergebnisse in einer erweiterten Ausstellung in Berlin (Gegenstand eines weiteren Forschungsprojektes) im vorgesehenen Zeitkorridor konnte nicht umgesetzt werden. Stattdessen wurde eine Publikation zu den Forschungsprojektinhalten mit einem größeren Verlag umgesetzt. Um die Anforderungen der Redaktion zu erfüllen wurden die Textteile stark reduziert und vereinfacht. Die Grafiken und Tabellen wurden neu gestaltet. Mit einer Auflage von 4.000 Exemplaren, die als kostenlose Zusatzlieferung für alle Zeitschriftenabonnenten von Mikado und Leonardo verteilt wurde, konnte ein erheblicher Multiplikator Effekt erreicht werden.

Quellen

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

[VDI2014] Gründruck, VDI Düsseldorf 2014, 4800, Blatt 1Ressourceneffizienz, Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien

[KOS2012] *Kosmos, J.*; *Kanthak, J.*; *Herrmann, F.*; *Golde, M.*; *Alsleben, C.*; *Penn-Bress el, G.*; *Schmitz, N.*; *Gromke U.*: Glossar zum Ressourcenschutz. Umweltbundesamt Dessau: Umweltbundesamt, 2012

[BOT2009] Boote Werner, Plastic Planet, Filmveröffentlichung

[ILO2014] Ilomäki, Ari, doc. 147, CEN TC 350 Framework_Draft_CEN_answer_to_certain_aspects (nur interner Gebrauch), Brüssel 2014

[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

[i] Koe12 König Holger, Kaufmann H. Bauen mit Holz – Wege in die Zukunft, München 2012

UBA2012 UMWELTBUNDESAMT (2012) Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2012 - Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 - EU-Submission. Dessau: Umweltbundesamt, 832

RUE2011 RÜTER S (2011a) Projection of Net-Emissions from Harvested Wood Products in European Countries - For the period 2013-2020. Hamburg: Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), 63 p, Arbeitsbericht aus dem Institut für Holztechnologie und Holzbiologie Report No: 2011/01

[SAT2010] SATHRE R, O'CONNOR J (2010) A Synthesis of Research on Wood Products & Greenhouse Gas Impacts, 2nd Edition. Vancouver, B.C, Canada: FPInnovations, 117 p, Technical Report No. TR-19R

[IIED2004] International Institute for Environment und Development, Verwendung von Holzprodukten zur Bekämpfung des Klimawandels, 2004

[NRW2012] Knauf,Frühwald,Köhl, Thünen Institut, Wald und Klimaschutz in NRW, Münster 2013