

HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN HAMBURG

university of applied sciences

FACHBEREICH ARCHITEKTUR

Thorsten Schütze
Wolfgang Willkomm

**Katalog praxisorientierter Umweltkriterien
für kostenoptimierte
Hochbaukonstruktionen**

Forschungsschwerpunkt
„Planungsinstrumente
für das umweltverträgliche Bauen“

Abschlussbericht Mai 2002

1.	Einführung	3
2.	Vorhandene Informations- und Bewertungssysteme mit Umweltkriterien für Hochbaukonstruktionen	4
2.1	ECOBIS Ökologisches Baustoffinformationssystem	4
2.2	Leitfaden Nachhaltiges Bauen des BMVBW	5
2.3	MIPS Konzept des Wuppertal-Instituts	6
2.4	SIA-Dokumentation D0123, SIA-Deklarationsraster und BauBioDataBank	7
2.5	ÖÖB Bewertungssystem für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen, Forschungsgruppe Uni Wuppertal	9
3.	Vorhandene Informationssysteme zu Kosten von Hochbaukonstruktionen	10
3.1	BKI Baukosteninformationen Deutscher Architektenkammer	11
3.2	SirAdos Baudaten	12
4.	Kriterienkatalog für frühe Planungsphasen	13
4.1	Entscheidungspfad zwischen Planer und Auftraggeber	13
4.2	Einfache Hauptkriterien	15
4.3	Differenzierte Unterkriterien	16
4.4	Beispiele zur Bewertung von Hochbaukonstruktionen	17
5.	Zusammenfassung – Abstract	19
6.	Anhang	21
6.1	Literatur	21
6.2	Beispiel-Auszug ECOBIS 2000	25
6.3	Beispiel-Auszug Leitfaden Nachhaltiges Bauen: Lebensdauer Bauteile	31
6.4	Beispiel-Auszug MIPS-Konzept: MI-Werte	39
6.5	Beispiel-Auszug Übersicht: Hochbaukonstruktionen aus SIA D 0123	41
6.6	Beispiel-Auszug Bewertete Baukonstruktion Dach aus SIA D 0123	43
6.7	Beispiel-Auszug Bewertetes Bauprodukt Dichtungsbahn aus SIA D 0123	45
6.8	Beispiel-Auszug Hauptkriterien aus Bewertungssystem ÖÖB	46
6.9	Beispiel-Auszug Bewertungsmatrix aus Bewertungssystem ÖÖB	46
6.10	Beispiel-Auszug Bewertungsmatrix für Beispielprojekt aus Bewertungssystem ÖÖB	46

1. Einführung

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Entscheidungsfindung im Dialog zwischen Planern und Auftraggebern von Gebäuden zu unterstützen. Diese Planungs- und Entscheidungshilfe bezieht sich auf die umweltbezogene Beurteilung von kostenoptimierten Hochbaukonstruktionen in den frühen Planungsphasen. Damit sind die Phasen der Vorentwurfs- und Entwurfsplanung gemeint, in denen oft bereits Entscheidungen mit weitreichenden Konsequenzen für die spätere Ausführungsplanung und die bauliche Realisierung sowie für deren Umweltauswirkungen und Kosten fallen.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt allerdings eindeutig bei den Entscheidungen über Konstruktionen und Materialien und nicht bei den allgemeinen Entwurfsentscheidungen zur Gebäudeplanung wie Orientierung, Erschließung, Organisation und Proportionierung des Baukörpers und des Grundrisses.

Die Ausgangsbasis für die hier vorgenommenen Untersuchungen waren die vorhandenen Informations- und Bewertungssysteme zu Umwelt- und Kostendaten von Hochbaukonstruktionen. Diese wurden auf ihre praktische Anwendbarkeit bereits in frühen Planungsphasen und in der Wechselwirkung miteinander überprüft und ausgewählt für eine kurze Darstellung im Rahmen dieses Berichtes.

Aus einer Darstellung des üblichen Entscheidungspfades zwischen Planern und Auftraggebern und der Integration der untersuchten Informations- und Bewertungssysteme in diesen Entscheidungspfad wurden übergeordnete Hauptkriterien und differenziertere Unterkriterien zu einem Kriterienkatalog zusammengestellt. Dieser kann als einfacher Leitfaden im Planungsprozess benutzt werden, erlaubt aber auch eine vertiefte Informationsdichte durch Rückgriff auf die beschriebenen Systeme. Die Anhänge dieses Berichtes bieten deshalb Einblicke in die untersuchten Informations- und Bewertungssysteme in Form von signifikanten Auszügen.

2. Vorhandene Informations- und Bewertungssysteme mit Umweltkriterien für Hochbaukonstruktionen

Es existieren verschiedene Informationsschriften und Bewertungshilfen, die Umweltkriterien für Hochbaukonstruktionen enthalten. Diese wurden unter dem Aspekt ausgewertet, inwieweit sie bereits in frühen Planungsstadien ohne großen Aufwand Entscheidungshilfen sowie eine leicht anwendbare und verständliche Basis für die Kommunikation zwischen Auftraggebern und Planern bieten können.

Ausgewählt für eine kurze Darstellung wurden die folgenden fünf Informations- und Bewertungssysteme, da sie sich in der oben genannten Hinsicht gut ergänzen. Das unter 2.5 beschriebene Bewertungssystem nimmt dabei eine Sonderstellung ein. Es integriert mit großer Komplexität die anderen beschriebenen Systeme unter Einbeziehung ökonomischer Daten und erlaubt über den Ansatz der hier vorliegenden Arbeit hinaus eine vertiefte und systematische Bewertung durch die Planer.

Die hier nicht näher dargestellten Informationswerke – einige zusätzliche sind in der Literaturliste verzeichnet – sollen damit nicht generell abqualifiziert werden. Auch sie können z.T. hilfreiche Hinweise enthalten. Sie wurden aber zu Gunsten der Übersichtlichkeit oder fallweise auch wegen zu eingeschränkter Schwerpunkte, geringerer Aktualität oder einer gewissen Abhängigkeit der Informationen von Produktherstellern und -anbietern nicht ausführlicher behandelt.

Ein parallel zu diesen Informationssystemen gut anwendbares Nachschlagewerk für umweltrelevante Materialangaben ist:
Zwiener, Gerd; „Ökologisches Baustoff-Lexikon“; C.F.Müller Verlag Heidelberg, 2. Auflage 1995.

Für eine weitere vergleichende Analyse ökologischer Bewertungssysteme ist neben der unter 2.5 beschriebenen Forschungsarbeit auch die folgende Dokumentation hilfreich: SIA Schweizerischer Architekten- und Ingenieurverein (Hrsg.); „Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich – Leitfaden für das Planungsteam“; Selbstverlag, SIA-Dokumentation D 0152, Zürich 1998.

2.1 ECOBIS 2000 Ökologisches Baustoffinformationssystem

Das ökologische Baustoffinformationssystem ECOBIS 2000 wird als CD-Rom-Version herausgegeben vom BMVBW Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen sowie der Bayerischen Architektenkammer. Erarbeitet wurde es durch Auswertung von Forschungsergebnissen, Fachliteratur, Informationen aus wissenschaftlichen Instituten und Behörden sowie von Verbänden und Herstellern Im Jahr 2000 (Projektleitung: Prof. Sepp Starzner, Petra Wurmer-Weß ; Infos: www.byak.de; Bestelladresse: Staatshochbauamt Hannover II, Cellerstr. 7, 30169 Hannover).

Die Informationen beziehen sich jeweils auf die folgenden 5 Lebensphasen von Bauprodukten:

- Rohstoffe
- Herstellung
- Verarbeitung
- Nutzung
- Nachnutzung

Sie sind in die folgenden 10 Bauproduktgruppen gegliedert:

- Abdichtungen
- Bauglas
- Bodenbeläge
- Dämmstoffe
- Holz und Holzwerkstoffe
- Klebstoffe
- Massivbaustoffe
- Metalle
- Mörtel und Estriche
- Oberflächenbehandlungen

Es werden ausführliche und gut verständliche Informationen zu den einzelnen Produktgruppen und Stoffen geboten. Als Beispiel für die ECOBIS-Informationen zeigt Anhang 6.2 dieser Arbeit den 6-seitigen Auszug zum Baustoff Polyurethan. Außer den Informationen zu den o.g. 5 Lebensphasen werden auch Hinweise zur Stoffzusammensetzung, Anwendungsbereichen und zur gesamten Prozesskette sowie umfangreiche Querverweise gegeben.

Ein zusätzlicher wesentlicher Vorteil dieses Informationssystems ist neben den ökologischen Daten sein deutlicher Bezug zu gesundheitsrelevanten Informationen und in diesem Zusammenhang auch die Integration des Gefahrstoffinformationssystems der Bauberufsgenossenschaften GISBAU mit dem Programm WINGIS 2.0 auf der CD.

2.2 Leitfaden Nachhaltiges Bauen des BMVBW

Der Leitfaden Nachhaltiges Bauen, herausgegeben vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Stand: Januar 2001 (herunterzuladen unter: www.nachhaltigesbauen.de) soll als Arbeitshilfe für die Planung von Bauaufgaben des Bundes dienen.

Dieser Leitfaden bietet neben einem relativ kurzen einführenden Textteil eine Reihe ausführlicher und in der Planung hilfreicher Anlagen, von denen die für den hier behandelten Schwerpunkt besonders relevante Anlage 6 „Bewertung der Nachhaltigkeit von Gebäuden und Liegenschaften“ auszugsweise (die Datenbasis Lebensdauer Bauteile und Bauteilschichten) im Anhang 6.3 wiedergegeben wird.

Der Leitfaden definiert nachhaltiges Bauen als Minimierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs und der Umweltbelastungen für den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes oder die gesamte Prozesskette von Bauen, Betreiben, Nutzen und Rückbau. Er bezieht sich auf die Aspekte Ökologie und Ökonomie, berücksichtigt Baukultur sowie soziale Auswirkungen und betrachtet schwerpunktmäßig einen Lebensdauerzeitraum für Gebäude von 50 bis 100 Jahren.

Von den in diesem Leitfaden genannten Planungsgrundsätzen sind für die Wahl der Hochbaukonstruktionen folgende von Bedeutung:

- Lange Nutzungsdauer von Bauwerken
- Dauerhaftigkeit von Baustoffen und Bauteilen
- Vermeiden von schwer trennbaren Verbundbaustoffen und –teilen
- Geringe Schadstoffbelastung der Baustoffe und –teile
- Kontrollierter Rückbau.

Zur ökologischen Bewertung differenziert der Leitfaden in eine Erstbewertung nach den o.g. Kriterien und eine Tiefenbewertung, welche versucht die vorwiegend qualitativen Aussagen der Erstbewertung weitgehend zu quantifizieren. Als möglicher Ansatz aber auch derzeitige Schwierigkeit wegen fehlender einheitlicher Bewertungsmaßstäbe wird die Monetarisierung von Umwelteinwirkungen der Gebäude und Konstruktionen beschrieben.

Zur ökonomischen Bewertung verweist dieser Leitfaden auf die Differenzierung von Investitions- und Baufolgekosten und auf die Kapitalbarwertmethode zur Vergleichbarkeit von Kosten bzw. Zahlungen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen. Als detaillierte Planungskennwerte für Kosten pro Fläche und Rauminhalt werden die Daten der BKI Baukosteninformation der Architektenkammern genannt.

2.3 MIPS-Konzept des Wuppertal-Instituts

Das Wuppertal-Institut für Klima Umwelt, Energie (Abteilung Stoffströme und Strukturwandel, Friedrich Schmidt-Bleek e.a.) hat das Konzept der „Materialintensität pro Serviceeinheit“ MIPS entwickelt – weitere Informationen unter www.wuppertal-institut.de. Dabei ist MIPS ein Maß, mit dem alle Umweltwirkungen eines Produktes oder auch einer Dienstleistung über dessen oder deren gesamten Lebenszyklus gemessen werden.

Sogenannte „Materialintensitäten“ beschreiben den Ressourcenverbrauch zur Abschätzung der Umweltpotentiale von Produkten oder Dienstleistungen. Dies geschieht „systemweit“, d.h. für die Prozesse Produktion, Gebrauch, Recycling und Entsorgung. Die hierfür aus der Natur entnommenen oder in der Natur bewegten Materialien werden in fünf Kategorien eingeteilt:

- Abiotische, nicht erneuerbare Rohmaterialien wie z.B. Sand, Kies, Erze, Böden, Energieträger
- Biotische, erneuerbare Rohmaterialien wie z.B. Holz und andere pflanzliche Biomasse
- Bodenbewegungen aus Land- und Forstwirtschaft
- Wasser wie z.B. Grundwasserabpumpung oder Bewässerung
- Luft wie z.B. Sauerstoffverbrauch von Verbrennungsmotoren bei Transporten und Maschineneinsatz.

Für diese fünf Kategorien werden Kennzahlen in kg oder t errechnet. Dabei ist nicht nur der jeweilige Materialinput durch die Masse des Produktes sondern auch eine als „ökologischer Rucksack“ bezeichnete Materialmenge erfasst, die ein Produkt im Laufe seines gesamten Lebenszyklus braucht und verursacht, um z.B. bewegt, Instand gehalten, recycelt oder entsorgt zu werden.

Um diese Materialintensitäten miteinander vergleichen zu können, werden sie auf eine sogenannte „Serviceeinheit“ bezogen, d.h. für das Bauen auf den Nutzen, den sie bieten, z.B. in Form von einem Quadratmeter Bauteil (z.B. Außenwand) oder einem Quadratmeter Wohnfläche.

Das Beispiel im Anhang 6.4 enthält Materialinputwerte (MI-Werte) für die wichtigsten Baustoffe. Es wurde entnommen aus der Arbeit „Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen“ (Prof. Diederichs, Petra Getto, Stefanie Streck), die im Kapitel 2.5 beschrieben wird. Diese Materialinputwerte werden kontinuierlich aktualisiert und sind als vollständige Tabellen abrufbar unter www.wuppertal-institut.de/Projekte/mipsonline/index.html.

2.4 SIA-Dokumentation D 0123, SIA-Deklarationsraster und BauBioDataBank

Vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein SIA, FGA Fachgruppe Architektur, Fachbereich C Technik wurde 1992 ein so genanntes Deklarationsraster für ökologische Merkmale von Bauprodukten erstellt und 1997 weiterentwickelt (SIA-Dokumentationen D 093 und 493, Selbstverlag SIA Zürich 1997; Info: www.sia.ch).

In diesem Deklarationsraster werden die ökologisch und toxikologisch relevanten Merkmale von Baustoffen als belegte, nachprüfbar Daten durch Hersteller eingesetzt. Sie beziehen sich auf den Lebenszyklus mit den Phasen Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung – also ohne die Rohstoffgewinnung.

Die erfassten Baustoffe bzw. Bauteile sind nach folgenden Gruppen gegliedert:

1. Beton, Mauersteine u.a. Massivbaustoffe
2. Mörtel und Putze
3. Flachglas
4. Metallbaustoffe
5. Holzwerkstoffe
6. Klebstoffe
7. Fugendichtungsmassen
8. Dichtungsbahnen und Schutzfolien
9. Wärmedämmstoffe
10. Tapeten
11. Bodenbeläge
12. Türen
13. Rohre
14. Beschichtungen und Verbundmaterialien

In Anlehnung an das SIA-Deklarationsraster wurde 1993 von Katalyse e.V., Köln auch das Deklarationsraster für das Öko-Zentrum NRW Nordrhein-Westfalen entwickelt (Info: www.oekozentrum-nrw.de).

Unter Verwendung dieser Deklarationsraster für Baustoffe und zusätzlicher Praxiserfahrungen (Umfragen) entstand 1995 die SIA-Dokumentation D 0123 (Autoren Peter Steiger e.a.) „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“ mit einer ökologischen Bewertung von 65 Hochbaukonstruktionen der Tragstruktur und der Hauptbauteile.

Die Gesamtbeurteilung entsteht durch die messbaren Kriterien auf quantitativer, wissenschaftlicher Basis in einem sogenannten „Index“ mit vergleichbaren Daten zum Primärenergie-Inhalt, Beitrag zum Treibhauseffekt und zur Bodenversäuerung in der Herstellungs- oder Erneuerungsphase sowie aus einem sogenannten „Profil“ mit vorwiegend qualitativen Aussagen für die Verarbeitungs-, Nutzungs- und Entsorgungsphase aus baupraktischen Erfahrungen unter Bezug auf vergleichbare physikalische Eigenschaften (wie z.B. Wärmedämm- und Schalldämmwerte) und auf angenommene Lebensdauern der Konstruktionen.

An den gleichen Bewertungsaufbau und die Profilkriterien lehnt sich auch die BauBioData-Bank der Schweizer GIBB Genossenschaft Information Baubiologie an.

Eine Übersicht der in SIA D 0123 bewerteten Konstruktionen zeigt Anhang 6.5. Das Beispiel für eine bewertete Konstruktion zeigt Anhang 6.6 und für einen bewerteten Baustoff Anhang 6.7.

2.5 ÖÖB Bewertungssystem für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen, Forschungsgruppe der Bergischen Universität Wuppertal

Das aktuellste und umfassendste Bewertungssystem entstand in einem Forschungsprojekt der Bergischen Universität Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Bauwirtschaft, Prof. Diederichs mit Förderung des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen BMVBW, Abschluss Dezember 2000 mit dem Titel „Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen“ (Kurzzeichen ÖÖB). Dieses Forschungsprojekt lieferte für die hier vorliegende Arbeit in der Recherche-phase wesentliche Erkenntnisse. Es ist sehr umfassend und konzentriert sich nicht nur auf den hier bearbeiteten Schwerpunkt der Bewertung von Konstruktionen in frühen Planungsphasen, sondern versucht auch, ökologische und ökonomische Kriterien zu verknüpfen. Ein inzwischen laufendes Nachfolgeprojekt befasst sich mit der ökologischen und ökonomischen Sanierung (Kurzzeichen ÖÖS). Einer der Autoren der hier vorliegenden Arbeit (Prof. Willkomm) ist im Rahmen der forschungsbegleitenden Arbeitsgruppe in das laufende Projekt ÖÖS eingebunden.

Wesentliche Bestandteile dieser Arbeit sind die Entwicklung eines Modells für ein Bewertungssystem, zwei Praxistests des entwickelten Systems, eine Umfrage nach dem Bedarf eines solchen Systems bei Architektur- und Ingenieurbüros, Bauträgern und Landesentwicklungsgesellschaften sowie die Entwicklung einer EDV-Version des Bewertungssystems. Das System basiert ebenfalls auf einer Analyse vorhandener Informationssysteme und Bewertungsansätze und nutzt vorwiegend die Grundlagen des MIPS-Konzeptes und der SIA-Dokumentation D 0123, die hier bereits beschrieben wurden (Kapitel 2.3 und 2.4).

Die Erläuterung des Systems weist auf seinen Charakter als Nutzwertanalyse hin. Dabei werden monetäre und nicht-monetäre Kriterien projektabhängig gewichtet nach ihrer jeweils unterschiedlichen Bedeutung. Die Erfüllung eines Kriteriums wird mit Erfüllungspunkten von 1 bis 10 bewertet und mit der Gewichtung multipliziert. Aus der Addition dieser gewichteten Erfüllungspunkte entsteht eine Gesamtpunktzahl, die die Erfüllung und die jeweilige Bedeutung der Kriterien zeigt (z.B. 7.500 erreichte von 10.000 möglichen Punkten oder eine durchschnittliche Erfüllungspunktzahl von 7,5). So werden Planungsalternativen zu einem Projekt miteinander vergleichbar.

Anhang 6.8 zeigt in einer Übersicht die 14 Hauptkriterien des Bewertungssystems, welche gegliedert sind in externe, ökonomische und ökologische Kriterien sowie das Gebäudekonzept. Anhang 6.9 zeigt die entstandene Bewertungsmatrix für die Planungsphase „Abschluss der Vorplanung“. Im dreistufigen Modell dieses Systems ist dieses die erste Bewertungsstufe vor der Bewertung nach Abschluss der Baueingabeplanung und der Bewertung vor Baubeginn.

Das Bewertungssystem wurde einem Praxistest am Beispiel von zwei Projekten unterworfen. Anhang 6.10 zeigt die ausgefüllte Bewertungsmatrix aus einem der Testprojekte, zu dem im Kapitel 4.4 der hier vorliegenden Arbeit noch nähere Erläuterungen folgen.

3. Vorhandene Informationssysteme zu Kosten von Hochbaukonstruktionen

Die genaue Schätzung von konstruktions- und materialabhängigen Baukosten in einer möglichst frühen Planungsphase ist ein entscheidendes Beurteilungskriterium für die Kostenoptimierung während des Entscheidungsfindungsprozesses zwischen Auftraggeber und an der Planung beteiligter Personen hinsichtlich verschiedener für die Realisierung eines Bauvorhabens in Frage kommender Konstruktionen und Materialien und ihrer umweltbezogenen Beurteilung.

Die zur Herstellung, zum Umbau und zur Modernisierung von Bauwerken relevanten Kosten sind erfasst und in Kostengruppen gegliedert in der DIN 276 Kosten im Hochbau. Die Norm legt Begriffe und Unterscheidungsmerkmale fest und schafft damit die Voraussetzung für die Vergleichbarkeit von Kostenermittlungen, nimmt aber keine Bewertung der Kosten vor. Die Bauwerkskosten sind in den Kostengruppen 300, „Bauwerk- und Baukonstruktionen“ sowie 400, Bauwerk – Technische Anlagen“ erfasst, die ihrerseits in weitere Kostengruppen (z.B. Baugrube Kgr. 310 und Gründung Kgr. 320) gegliedert sind. Nach Angaben des Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (1997) machen die Bauwerkskosten 60-70% der Gesamtkosten aus. Der Rohbau beinhaltet dabei mit einem Anteil von 45 – 60 % einen Großteil der Kosten, nur 30 – 35 % entfallen auf den Ausbau und 15 – 20 % auf den Technischen Ausbau [Arlt, Deters, 1998, S. 35].

Zwischenfazit:

Grundsätzlich können Baukosten durch rationelle und zeitsparende Bauverfahren und einen hohen Vorfertigungsgrad, bzw. die Verwendung von Serienbauteilen erheblich reduziert werden. Hierzu gehört z.B. das kellerlose Bauen, bei dem auf kosten- und zeitaufwendige Erd- sowie Fundamentierungsarbeiten verzichtet wird. Hochwärmege-dämmte Konstruktionen aus Holz und Holzwerkstoffen, wie z.B. der Holztafel- oder Rahmenbau, beinhalten aufgrund des hohen Vorfertigungsgrades und der damit verbundenen kurzen Bauzeiten ein hohes Kosteneinsparpotenzial bei positiver ökologischer Bewertung der Gesamtkonstruktion. Diese Bauweise kann mit unterschiedlichen, z.B. massiven, ggf. vorgefertigten Bauteilen kombiniert werden, um den geltenden Bestimmungen und Anforderungen (z.B. Brandschutz) gerecht zu werden.

Während der Projektvorbereitung, der Projektentwicklung, der strategischen Planung und der Grundlagenermittlung können die Baukosten wesentlich beeinflusst werden, da während dieser frühen Planungsphasen grundsätzliche Entscheidungen für spezifische Konstruktionen und Materialien getroffen werden, die ein sehr hohes Kosteneinsparungspotenzial beinhalten. Spätestens am Ende der Leistungsphase 2 Vorplanung müssen gemäß des Leistungsanforderungen der HOAI die Kosten für die Kostengruppe 300 „Bauwerk- und Baukonstruktionen“, gemäß DIN 276 geschätzt werden, um die gewählten Konstruktionen hinsichtlich ihrer ökonomischen Gesichtspunkte beurteilen zu können.

Von den verschiedenen, auf dem Markt erhältlichen Informationssystemen zur Beurteilung der Kosten von Hochbaukonstruktionen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit zwei Systeme für eine kurze Darstellung ausgewählt. Dabei handelt es sich um die BKI, Baukosteninformationen Deutscher Architektenkammern sowie SirAdos, Elemente zur Kostenplanung, die bereits in den frühen Planungsphasen eine Schätzung der zu erwartenden Baukosten, in Abhängigkeit der gewählten Konstruktionen und Materialien erlauben. Weitere Auswahlkriterien waren die Ermittlung von produkt- und herstellerneutralen Daten sowie die fortlaufenden Aktualisierung der Kostendaten, Grundvoraussetzungen für die Ermittlung möglichst realitätsnaher Baukostenermittlungen sind.

3.1 BKI Baukosteninformationen Deutscher Architektenkammern

Die dreibändige Fachbuchreihe „BKI-Baukosten Teil 1-3“ erscheint jährlich und dient als Grundlage für die Schätzung, Ermittlung und Berechnung von Baukosten. Sie wird herausgegeben von dem 1996 von den Architektenkammern aller Bundesländer gegründeten Baukosteninformationszentrum Stuttgart. Grundlage für die veröffentlichten Daten sind kontinuierliche Kostendokumentationen, die von über 50 Architekturbüros in allen Bundesländern durchgeführt werden.

Die Ausgabe 2001 der BKI-Baukosten Teil 1 „Kostenkennwerte für Gebäude“ enthält ca. 12.000 Kostenkennwerte, die nach den Kostengruppen der DIN 276 sowie nach Leistungsbereichen und Planungskennwerten von über 60 verschiedenen Gebäudearten gegliedert sind. Grundlage für die Ermittlung des Kostenrahmens, der Kostenschätzung oder Kostenberechnung (2. Ebene der DIN 276) sind die Einheiten Brutto-rauminhalt (BRI), Bruttogeschossfläche (BGF) und Nutzfläche (NF). Ein Verzeichnis mit ausgewählten realisierten Objekten (so genannte Vergleichsobjekte) erlaubt es, die ermittelten Kosten hinsichtlich ihrer Plausibilität und Wirtschaftlichkeit zu prüfen.

Teil 2 der BKI-Baukosten „Kostenkennwerte für Bauelemente“ enthält ca. 10.000 bauteilbezogene Kostenkennwerte für die genaue Kostenberechnung und den Kostenschlag (3. Ebene der DIN 276) unterschiedlicher Gebäudearten. Es wird unterschieden nach Baukonstruktion und Technischen Anlagen sowie unterschiedlichen Ausführungsarten von Bauelementen für den Neu- und Altbau. Über Mengenansätze der entsprechenden Bauteile können fundierte Kostenaussagen getroffen werden.

Teil 3 der BKI-Baukosten „Arbeitsunterlagen“ stellt den Nutzern wichtige Arbeitsunterlagen für die Kostenberechnung zur Verfügung, enthält relevante Normen (DIN), die 2. Berechnungsverordnung, Baupreisindizes, aktuelles aus der Rechtsprechung und ein Verzeichnis mit Fachliteratur.

3.2 SirAdos Baudaten

SirAdos ist der Markennahme von Materialien, die von dem Unternehmen Privates Institut für Baupreisforschung (P.I.B.) erarbeitet und veröffentlicht werden. Seit den 80er Jahren werden Baupreise am Markt ermittelt und nach eigenen Angaben in der einzigen neutralen Baupreis-Datenbank Deutschlands erfasst, die unabhängig ist von Industrie, Verbänden, dem verarbeitenden Gewerbe und sonstigen Interessensverbänden. Veröffentlicht werden die Preise seit 1984 in den Baupreishandbüchern.

Aus den ermittelten und laufend aktualisierten Daten werden umfangreiche Materialien zur Kostenplanung, Ausschreibung und Facility Management für den Neubau, Altbau und Industriebau erarbeitet, die mindestens einmal jährlich neu aufgelegt und veröffentlicht werden. Diese umfassen Vorbemerkungen, Ausschreibungstexte, Baupreishand- und Elementebücher, die den Nutzern derzeit ca. 85.000 aktuelle Baupreise zur Verfügung stellen. Des Weiteren werden Kosten untersucht zu den Bereichen Ökologisches Bauen, Gesundes Bauen und Kostengünstiges Bauen. Die ermittelten Daten werden veröffentlicht vom Fachverlag EDITION AUM GmbH in Buchform, als Datenträger (CD-Rom unter dem Namen "sirAdos®") oder sind für registrierte Benutzer online abrufbar unter: <http://www.sirados.de/infomanager/index.html>

Für eine genaue Einschätzung der Bauwerkskosten in einer möglichst frühen Planungsphase sind die SirAdos-Elementebücher für den Neu- und Altbau sehr gut geeignet. Die Bauelemente werden entsprechend der Baukonstruktionen in der DIN 276 nach Makro-, Grob- und Feinelementen untergliedert, die jeweils mit bis zu 70 Positionen hinterlegt sind. Aufgrund dieser genauen und übersichtlichen Strukturierung können schon in frühen Planungs- und Entwurfsphasen sehr realistische, konstruktions- und materialabhängige Kostenaussagen getroffen werden.

Das Programm sirAdos-Elemente-pro erlaubt eine schrittweise Entwicklung der Kostenplanung von der Kostenschätzung bis zum groben Leistungsverzeichnis. Die vorgegebenen Elemente können bei Bedarf geändert oder eigene neu erstellt werden. Die Daten können anhand verschiedener Ausgabeformate an eine Vielzahl von AVA-, Textverarbeitungs- und Kalkulationsprogramme übergeben werden. Projekte können als Elementkalkulation oder Roh-Leistungsverzeichnis ausgegeben sowie kostenmäßig gegenübergestellt und bilanziert werden.

Die Baudaten auf CD-Rom und Elemente-pro bilden die Grundlage zu dem Facility Management Programm und der Datenbank SiAdos-LEGOE, mit der neben der Baukosten schon während der Planungsphase Angaben zu den spezifischen Folgekosten gemacht werden können. Diese beinhalten Reinigung, Wartung, Betrieb, Instandsetzung, Energieverbrauch, Unterhalt, Abbruch, Baureststoffe und Recycling.

4. Kriterienkatalog für frühe Planungsphasen

Der auf der Basis der recherchierten und ausgewählten Informations- und Bewertungssysteme herausgearbeitete Kriterienkatalog soll auf möglichst einfache Weise die Entscheidungen in frühen Planungsphasen zwischen Planern, Auftraggebern und ggf. anderen Beteiligten unterstützen. Er soll die oben beschriebenen Planungshilfen natürlich nicht ersetzen sondern gerade zu ihrer gezielten Benutzung beitragen.

4.1 Entscheidungspfad Planer-Auftraggeber

Das Hauptanliegen dieses Kriterienkataloges und der vorangegangenen Hinweise auf existierende Informations- und Bewertungssysteme ist die Förderung einer ökologischen und bezahlbaren guten Gebrauchsarchitektur durch einen kommunikativen Planungsprozess. Dieser findet in den frühen Planungsphasen vorwiegend zwischen Auftraggebern und Planern statt. Von diesen gesteuert können allerdings bereits während dieses Prozesses die Kommune, die Träger öffentlicher Belange oder sogar ein Bauteam, nach holländischem Muster mit Beteiligung der Ausführenden, einbezogen werden.

Zunächst soll hier kurz der Entscheidungspfad Planer-Auftraggeber beschrieben werden, da die Kriterien und ihre Gruppierung in einfache Haupt- und differenzierte Unterkriterien sich darauf beziehen. Dazu sei vorab bemerkt, dass die einfachen Hauptkriterien zur Erarbeitung einer anfänglichen Zielformulierung und ggf. bereits zu ihrer Wichtung untereinander dienen. Die differenzierten Unterkriterien unterstützen dann die ständige Zieldifferenzierung mit fortschreitender Planungsarbeit und die kontinuierliche neue Wichtung der Kriterien mit dem Lernprozess der zunehmenden Konkretisierung.

Dieser wechselseitige Lernprozess in der Zusammenarbeit bindet die Verantwortung von Auftraggebern und Planern zu einer gemeinsamen Verantwortung für das spätere Bausergebnis zusammen – in diesem übergeordneten Zusammenhang erbaulich zu lesen ist das kleine Büchlein von Manfred Sack „Von der Utopie, dem guten Geschmack und der Kultur des Bauherrn oder: Wie entsteht gute Architektur?“.

Der Entscheidungspfad Planer-Auftraggeber läuft parallel mit den frühen Planungsphasen, wie sie in der HOAI Honorarordnung für Architekten und Ingenieure im § 15 Leistungsbild Objektplanung für Gebäude, Freianlagen und raumbildende Ausbauten beschrieben sind als:

- Leistungsphase 1. Grundlagenermittlung
- Leistungsphase 2. Vorplanung
- Leistungsphase 3. Entwurfsplanung

Am Anfang jeder Planungsaufgabe steht eine – zuweilen noch sehr vage gefasste – Zielformulierung. Sie geht von Vorstellungen des Auftraggebers aus und kann durch Beratung des Planers genauer geklärt werden. Hier setzen bereits die einfachen Hauptkriterien ein erstes Mal an, als Entscheidungshilfe vor dem Beginn der eigentlichen Planungsarbeit.

Gerade die Beschränkung auf wenige (hier sechs) Kriterien erlaubt eine frühe Kommunikation über die Prioritäten von Seiten des Auftraggebers. So kann vielleicht das Kriterium des umweltschonenden Gebäudebetriebs hohe Priorität gewinnen, wenn Energiesparmaßnahmen öffentlich stark gefördert werden, oder das Kriterium der „gesunden“ Baustoffe, wenn Bauherr und Nutzer identisch und persönlich betroffen sind, oder das Kriterium der Recyclingfähigkeit, wenn Umbauten und konstruktive Veränderungen in bestimmten Zeitabständen einzuplanen sind.

Die Grundlagenermittlung als erster Aufgabenschritt des Planers dient der Klärung der Aufgabenstellung und der Beratung des Auftraggebers zum gesamten Leistungsbedarf sowie zur Auswahl anderer an der Planung fachlich Beteiligter. In Abhängigkeit von der Bauaufgabe, den mehr oder weniger konkreten Vorstellungen des Auftraggebers und der vorhandenen Unterlagen können auch eine Bestandaufnahme, Standortanalyse, Aufstellung eines Raumprogramms und/oder Funktionsprogramms zur Grundlagenermittlung gehören sowie die Prüfung der Umwelterheblichkeit und der Umweltverträglichkeit.

Bei diesen Tätigkeiten können Konflikte erkennbar werden zwischen den Rahmenbedingungen für die Bauaufgabe und den vorher formulierten Zielen, auch denen ökologischer und ökonomischer Art. Das Auftauchen solcher Konflikte ist oft der Regelfall, so dass die Grundlagenermittlung und die aus ihr in der 2. Leistungsphase Vorplanung hervorgehende Analyse der Grundlagen dem weiteren Entscheidungsprozess zwischen Auftraggeber und Planer auch eine Zielkonflikt-Analyse liefert.

Diese Grundlagen-Analyse zur Vorplanung wiederum zwingt zu einer genaueren Diskussion der vorher formulierten Ziele, ihrer Wichtung und ihrer möglichen Modifikation. Zieldifferenzierung kann dieser Entscheidungsprozess genannt werden, bei dem einerseits noch einmal auf die einfachen Hauptkriterien und vor allem ihre Wichtung untereinander zurückgegriffen wird aber auch bereits die differenzierteren Unterkriterien Hilfestellung leisten. Eine solche Zieldifferenzierung wird den weiteren Entscheidungsprozess mit fortschreitender Planungsarbeit ständig begleiten und wird systematisch mit der Entstehung jeder Alternative und Variante für die Bauaufgabe erforderlich.

Die Beschreibung des Leistungsbildes zur Vorplanung enthält zu diesen Entscheidungsprozessen auch über die ökologischen und ökonomischen Ziele hinausgehend die Grundleistungen „Analyse der Grundlagen, Abstimmen der Zielvorstellungen (Randbedingungen, Zielkonflikte), Aufstellen eines planungsbezogenen Zielkatalogs (Programmziele)“, in welche die hier beschriebenen Prozesse zu integrieren sind.

Die Erarbeitung und Darstellung von Planungsalternativen nach gleichen Anforderungen (als Grundleistung) oder nach unterschiedlichen Anforderungen (ggf. als besondere Leistung) mit der Klärung und Erläuterung der wesentlichen dazugehörigen Zusammenhänge und Bedingungen ist eine der wesentlichen Planeraufgaben in dieser Leistungsphase. Diese Alternativenentwicklung und –Erläuterung bildet auch die Grundlage zur Alternativenbewertung nach den hier vorliegenden, differenzierten Kriterien.

Die Leistungsphase 2 Vorplanung erwähnt als Grundleistungen für den hier untersuchten Zusammenhang auch die Kostenschätzung und die Klärung der Zusammenhänge hinsichtlich rationeller Energieverwendung und erneuerbarer Energien sowie der Belastung der betroffenen Ökosysteme. Die Leistungsphase 3 Entwurfsplanung, die in den Grundleistun-

gen wesentlich durch die Durcharbeitung des Planungskonzeptes und seine Darstellung gekennzeichnet ist sowie durch Kostenberechnung und Kostenkontrolle enthält als besondere Leistung die Analyse der Alternativen/Varianten und deren Wertung mit Kostenuntersuchung (Optimierung).

Vom systematischen Entscheidungspfad her entsteht allerdings bereits in der Vorplanungsphase bei der Entwicklung von Alternativen auch die Notwendigkeit, diese im Dialog von Auftraggeber und Planer und oft auch genehmigender Behörde zu diskutieren und zu bewerten (siehe Grundleistung „Vorverhandlung mit Behörden und anderen an der Planung fachlich Beteiligten über die Genehmigungsfähigkeit“). Dabei ergibt sich zwar zuweilen eine klare Alternativenauswahl für die Durcharbeitung ohne weitere Modifikation, oft aber auch die Notwendigkeit, Varianten von einer oder mehreren Alternativen zu erarbeiten und diese wiederum zu bewerten und auszuwählen.

Dieser Entscheidungspfad der Alternativen- und Variantenentwicklung, Alternativen- und Variantenbewertung und anschließenden Alternativen- und Variantenauswahl ist ein Prozess ständiger Rückkopplungen und bedarf auch einer kontinuierlichen Überprüfung der Ziele und einer Zieldifferenzierung. Dieses gilt sowohl für die Leistungsphase der Vorplanung als auch für die Entwurfsplanung, wobei die Durcharbeitung des Planungskonzeptes in der Entwurfsphase eher zur Beurteilung von Varianten als von grundsätzlichen Alternativen führt, wenn die Grundsatzentscheidungen sinnvollerweise vorher fallen konnten. In dieser letzten und genauesten der frühen Planungsphasen spielen aber konkrete Entscheidungen zu Konstruktionen, Materialien, ihren Kosten und ihren ökologischen Qualitäten eine entscheidende Rolle.

Der gesamte Entscheidungspfad Planer-Auftraggeber in den frühen Planungsphasen kann also zusammenfassend als ein möglichst kommunikativer Lern- und Entscheidungsprozess beschrieben werden mit den folgenden Schritten:

1. Zielformulierung
2. Grundlagenermittlung
3. Zielkonflikt-Analyse
4. Zieldifferenzierung
5. Alternativen-Entwicklung
6. Alternativen-Bewertung
7. Varianten-Entwicklung
8. Varianten-Bewertung
9. Alternativen- und Varianten-Auswahl
10. Durcharbeitung mit kontinuierlicher Rückkopplung und Zieldifferenzierung.

4.2 Einfache Hauptkriterien

Aus den Analysen der vorhandenen Informations- und Bewertungssysteme und Beschreibungen ihrer Anwendung sowie aus einer umfangreichen Projekt- und Forschungsliteratur zu diesem Thema wurden die folgenden Kriterien entwickelt in Abstimmung auf den oben

beschriebenen Entscheidungspfad Planer-Auftraggeber und mit dem Schwerpunkt der Beurteilung und Auswahl von Hochbaukonstruktionen in frühen Planungsphasen.

Als einfache Hauptkriterien zur Erarbeitung einer ersten Zielformulierung und zur Diskussion der jeweiligen, vom Projekt, dem Auftraggeber und den Randbedingungen abhängigen Prioritäten und Wichtungen untereinander dienen die folgenden sechs Kriterien:

- Langlebige, kostengünstige Baustoffe und Konstruktionen
- Gift- und Schadstofffreie „gesunde“ Baustoffe und Konstruktionen
- erneuerbare, optimalerweise nachwachsende Rohstoffe
- recyclingfähige Baustoffe und Konstruktionen
- umweltschonende Baustoffe und Konstruktionen in der Herstellung
- umweltschonende Konstruktionen in Betrieb, Wartung und Instandhaltung.

4.3 Differenzierte Unterkriterien

Als differenzierte Unterkriterien im Verlauf der Planungsphasen nach Erarbeitung der gemeinsamen Zielformulierung und für die ständige Rückkopplung zur Zieldifferenzierung und Modifikation der ursprünglichen Wichtung der Hauptkriterien dienen die folgenden zehn Kriterien:

- Langlebigkeit abgestuft nach Hauptkonstruktionen (z.B. Tragwerk) und Nebenkonstruktionen (z.B. technisch veränderbaren Installationen oder Verschleißschichten wie Bodenbelägen)
- Langlebigkeit differenziert nach erneuerbaren und nicht erneuerbaren Baustoffen bzw. nach Recyclingfähigkeit
- Kostengünstigkeit differenziert nach Langlebigkeit
- Kostengünstigkeit differenziert nach Einsparpotentialen (z.B. Energie- oder Wassereinsparung)
- Schadstofffreiheit differenziert nach Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung bzw. Entsorgung
- Schadstofffreiheit differenziert nach Mensch, Tier, Pflanze (Humantoxizität, Ökotoxizität)
- Erneuerbare und nachwachsende Rohstoffe differenziert nach Erneuerungszyklen/-zeiten und nach heimischen und fremden Rohstoffen (Transportenergie)
- Recyclingfähigkeit differenziert nach Recyclingaufwand und Langlebigkeit sowie nach Bauteil- und Baustoffrecycling
- Umweltschonende Herstellung, Betrieb, Wartung und Instandhaltung differenziert nach Gefahrstoffen, Schadstoffen, Beitrag zum Treibhauseffekt, Beitrag zur Bodenversauerung, gewichtetem Primärenergieaufwand (Energiequellen, Stromanteil)
- Alle bewerteten Konstruktionen mit ihrem ökologischen und ökonomischen Aufwand differenziert in Beziehung gesetzt zu ihrem ökologischen und ökonomischen Nutzen.

4.4 Beispiel zur Bewertung von Konstruktionen

Ein Zitat von Peter Steiger aus der in Kapitel 2.4 schon beschriebenen SIA-Dokumentation D 0123 besagt: „ Die ökologische Bewertung von Konstruktionen soll bewuß t nicht auf eine einzige absolute „Öko-Zahl“ reduziert werden.“ Das bedeutet: eine differenzierte Bewertung ist immer subjektiv, projekt-, team- und personenabhängig. Deshalb kann nicht leicht ein bestimmtes Projekt mit seinen Rahmenbedingungen und seinen singulären Entscheidungen Kompromissen im Planungsverlauf mit einem anderen Projekt direkt verglichen werden und auf einer „Ökologie-Ökonomie-Skala“ um eine bestimmte Punktzahl besser oder schlechter abschneiden. Wohl aber lassen sich im Planungsverlauf Alternativen und Varianten zum selben Projekt gut miteinander vergleichen und hieraus auch vorsichtige Schlüsse auf ähnliche Projekte zur einen oder anderen Alternative ziehen.

Als Beispiel zur ökologischen und ökonomischen Bewertung soll hier ein Projekt dargestellt werden, das in dem in Kapitel 2.5 beschriebenen Bewertungssystem als Praxistest des Systems herangezogen wurde. Die im Anhang 10 gezeigte Bewertungsmatrix gibt das Bewertungsergebnis wieder. Es handelt sich um einen viergeschossigen Wohnungsbau mit 20 Wohneinheiten der LEG Landesentwicklungsgesellschaft NRW, der 1998 fertiggestellt wurde.

Das Objekt weist einige Besonderheiten im Sinne der hier behandelten ökologischen und ökonomischen Kriterien auf. Es handelt sich um den ersten viergeschossigen Holztafelbau für Mietwohnungen in Nordrhein-Westfalen, der in einer Kombination aus Holzbauwänden und vorgespannten Betonfertigteildecken erstellt wurde. Hier galt also von vornherein dem nachwachsenden Rohstoff Holz eine hohe Priorität. Ferner wurden der Niedrigenergiehausstandard (51,4 kWh/m² a) realisiert, niedrige Baukosten u.a. durch hohen Vorfertigungsgrad und kurze Bauzeit erreicht (Bruttobaukosten von umgerechnet ca. 950 Euro/m² Wohnfläche) sowie stofflich trennbare und recyclingfähige Baustoffe verwendet.

Wenngleich die Objektbewertung nicht nur die in dieser Forschungsarbeit untersuchten frühen Planungsphasen umfasst, lassen sich interessante Analogschlüsse aus der Bewertung ziehen und vor allem die Bedeutung der jeweiligen individuellen Projektbedingungen erkennen. Diese Bewertung ergab 7.440 Punkte von maximal 9.520 erreichbaren Erfüllungspunkten und damit eine durchschnittliche Erfüllungspunktzahl von 7,8, was deutlich im oberen, guten Bereich liegt. Die maximal erreichbare Punktzahl von 10.000 wurde nicht angesetzt wegen des Fehlens des Kriteriums „Ausstattung und Kunstwerke“.

Auffällig waren einige Punkte aus dem Bewertungsergebnis, die sich aus den besonderen Projektbedingungen erklären. Obwohl der Niedrigenergiehausstandard erreicht wurde, fiel die Bewertung im Bereich Energieinput mit 6,2 Erfüllungspunkten relativ schlecht aus. Hierfür sind zwei Gründe verantwortlich, einerseits das Fehlen von Anlagen zur regenerativen Energienutzung und andererseits vor allem die Tatsache, dass in dem aktuellen Bewertungssystem die 1998 noch nicht vorliegende Energieeinsparverordnung als ein Standard angenommen wurde, gegenüber dem die guten Werte von 1998 natürlich abfallen. Für bestehende Gebäude sollte die Gewichtung dieses Kriteriums also angepasst werden.

Über dem schon guten Durchschnitt von 7,8 liegende, besonders hohe Erfüllungspunktzahlen von den jeweils 10 möglichen Punkten wurden u.a. bei folgenden Kriterien erreicht:

- Herrichten und Erschließen (9,7 Punkte – ein Hinweis auf die Vorteile der weitgehenden Vorfertigung)
- Entsorgung (9,4 Punkte – ein Hinweis auf die Vorteile trennbarer, recyclingfähiger Baustoffe und des biotischen Materials unbehandeltes Holz)
- Schadstoffemissionen (9,1 Punkte – ein Hinweis auf sorgfältige Materialauswahl einschließlich des unbehandelten Holzes für die Wandkonstruktionen)
- Baustoffe und Ressourcen (8,1 Punkte – einerseits durch den Baustoff Holz recht hoch angesiedelt, andererseits durch die nicht oder bedingt erneuerbaren Ressourcen in den anderen Baustoffen wie z.B. Beton wieder gedämpft).

Werden diese Beispielergebnisse in Beziehung gesetzt zu den in dieser Arbeit beschriebenen Kriterien, so wird für die meisten der 6 Hauptkriterien eine ausgeprägte Stärke des rationellen, vorgefertigten Holzbaus deutlich – zumindest für die in diesem Baustoff problemlos realisierbaren Anwendungsgrenzen wie z.B. diejenigen des Brandschutzes. Vorgefertigte Holzbaukonstruktionen erfüllen innerhalb ihrer möglichen Anwendungsbereiche meist sehr gut die Hauptkriterien:

- Erneuerbare, optimalerweise nachwachsende, Rohstoffe
- Gift- und Schadstofffreie „gesunde“ Baustoffe und Konstruktionen
- Recyclingfähige Baustoffe und Konstruktionen.

Sie können auch die verbleibenden drei Hauptkriterien sehr gut erfüllen, bedürfen dafür aber einer genaueren Analyse der jeweiligen Konstruktion, ihrer Herstellungs-, Transport-, Verarbeitungs- und Wartungsbedingungen. Dies gilt für:

- Umweltschonende Baustoffe und Konstruktionen in der Herstellung
- Umweltschonende Konstruktionen in Betrieb, Wartung und Instandhaltung
- Langlebige, kostengünstige Baustoffe und Konstruktionen.

Gerade die Diskussion der Langlebigkeit bzw. Haltbarkeit oder Dauerhaftigkeit von Holzkonstruktionen im Vergleich zu Massivkonstruktionen zeigt die subjektive Bewertung dieses letztgenannten Kriteriums. In diesem Zusammenhang sei auf den Anhang 3 verwiesen, der die Lebensdauer von Bauteilen aus dem Leitfaden Nachhaltiges Bauen wiedergibt. Tragkonstruktionen der Außenwände aus Holz werden dort mit einer mittleren Lebensdauer von 70 bis 100 Jahren angenommen (gegenüber Beton, Ziegel u.ä. mit 120 Jahren) und Dachstühle aus Holz mit 120 Jahren (gegenüber Stahl mit 80 und Beton mit 100 Jahren). Die Konstruktionen zeigen also keine sehr signifikanten Unterschiede.

Eine Bewertung nach den hier erarbeiteten 10 differenzierten Unterkriterien zeigt wiederum insgesamt große Pluspunkte des Baustoffs Holz, aber die größte Stärke für Holzkonstruktionen im Bereich des 10. Kriteriums, wenn der Aufwand in Beziehung zum Nutzen beurteilt und der ökologische Nutzen von Holz in der positiven CO₂-Bilanz berücksichtigt wird, die ansonsten kein konstruktiver Baustoff vorweisen kann.

Weitere gute Bewertungsbeispiele für Konstruktionen und Baustoffe zeigt die im Kapitel 2.4 beschriebene SIA-Dokumentation D 0123 (Beispiele hieraus in den Anhängen 6.5, 6.6 und 6.7) mit 65 bewerteten Hochbaukonstruktionen.

5. Zusammenfassung – Abstract

Mit dem Ziel, ein einfaches Hilfsmittel für die ökologische und ökonomische Beurteilung von Hochbaukonstruktionen in frühen Planungsphasen zu bieten, wurde ein kurzer Katalog einfacher Hauptkriterien und differenzierter Unterkriterien entwickelt. Dieser soll den Dialog zwischen Auftraggebern und Planern und ihre gemeinsame Entscheidungsfindung erleichtern und so das kostengünstige und ökologische Bauen fördern. Es wurden vorhandene Informations- und Bewertungssysteme untersucht, beschrieben und in Beispiel-Auszügen dargestellt. Sie sollen helfen, generell und in laufenden Planungsprozessen die eigene Informationsdichte zu erhöhen.

Zur systematischen Anwendung des Kriterienkatalogs wurde der Entscheidungspfad zwischen Planer und Auftraggeber in den frühen Planungsphasen untersucht und als kommunikativer Lern- und Entscheidungsprozess beschrieben mit den folgenden Schritten:

1. Zielformulierung
2. Grundlagenermittlung
3. Zielkonflikt-Analyse
4. Zieldifferenzierung
5. Alternativen-Entwicklung
6. Alternativen-Bewertung
7. Varianten-Entwicklung
8. Varianten-Bewertung
9. Alternativen- und Varianten-Auswahl
10. Durcharbeitung mit kontinuierlicher Rückkopplung und Zieldifferenzierung.

Die Kriterien gliedern sich in:

Einfache Hauptkriterien zur Erarbeitung einer ersten Zielformulierung und zur Diskussion der jeweiligen, vom Projekt, dem Auftraggeber und den Randbedingungen abhängigen Prioritäten und Wichtungen untereinander:

1. Langlebige, kostengünstige Baustoffe und Konstruktionen
2. Gift- und Schadstofffreie „gesunde“ Baustoffe und Konstruktionen
3. erneuerbare, optimalerweise nachwachsende Rohstoffe
4. recyclingfähige Baustoffe und Konstruktionen
5. umweltschonende Baustoffe und Konstruktionen in der Herstellung
6. umweltschonende Konstruktionen in Betrieb, Wartung und Instandhaltung.

Differenzierte Unterkriterien für den Verlauf der Planungsphasen nach Erarbeitung der gemeinsamen Zielformulierung und für die ständige Rückkopplung zur Zieldifferenzierung und Modifikation der ursprünglichen Wichtung der Hauptkriterien:

1. Langlebigkeit abgestuft nach Hauptkonstruktionen (z.B. Tragwerk) und Nebenkonstruktionen (z.B. technisch veränderbaren Installationen oder Verschleißschichten wie Bodenbelägen)
2. Langlebigkeit differenziert nach erneuerbaren und nicht erneuerbaren Baustoffen bzw. nach Recyclingfähigkeit
3. Kostengünstigkeit differenziert nach Langlebigkeit
4. Kostengünstigkeit differenziert nach Einsparpotentialen (z.B. Energie- oder Wassereinsparung)
5. Schadstofffreiheit differenziert nach Rohstoffgewinnung, Herstellung, Verarbeitung, Nutzung und Nachnutzung bzw. Entsorgung
6. Schadstofffreiheit differenziert nach Mensch, Tier, Pflanze (Humantoxizität, Ökotoxizität)
7. Erneuerbare und nachwachsende Rohstoffe differenziert nach Erneuerungszyklen/-zeiten und nach heimischen und fremden Rohstoffen (Transportenergie)
8. Recyclingfähigkeit differenziert nach Recyclingaufwand und Langlebigkeit sowie nach Bauteilrecycling und Baustoffrecycling
9. Umweltschonende Herstellung, Betrieb, Wartung und Instandhaltung differenziert nach Gefahrstoffen, Schadstoffen, Beitrag zum Treibhauseffekt, Beitrag zur Bodenversäuerung, gewichtetem Primärenergieaufwand (Energiequellen, Stromanteil)
10. Alle bewerteten Konstruktionen mit ihrem ökologischen und ökonomischen Aufwand differenziert in Beziehung gesetzt zu ihrem ökologischen und ökonomischen Nutzen.

6. Anhang

6.1 Literatur

Adriaans, Richard, Leuters, Bernd, Löfflad, Hans (1998) AKÖH Positivliste Baustoffe. Verlag Architektur und Kommunikation, Kassel

Art, Joachim; Deters, Karl (1998) Leitfaden für Kostendämpfung im Geschöß wohnungsbau, Bauforschung für die Praxis Band 43. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Art, Joachim; Lippe, Heiner (1999) Kostensenkung durch mehrfache Realisierung von Planungen, Bau- und Wohnforschung, F 2349. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Bauwoche (1999) Schnelle Abwicklung sorgt für Kosteneinsparung - Ausschreiber setzen auf Online-Vergabe von Bauaufträgen, Nr. 50, S. 5, 16.12.1999. Deutsche Verlagsanstalt GmbH, Stuttgart

BKI (2001) Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern; BKI Baukosten 2001; Teil 1 Kostenkennwerte für Gebäude; Teil 2 Kostenkennwerte für Bauelemente; Teil 3 Arbeitsunterlagen; Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Stuttgart

BKI Kostenplaner (1999) Projektverwaltung, Kostenermittlung, Baukostendatenbank. CD-ROM

BMBau (1986) Kostenermittlung im Hochbau durch Kalkulation von Leitpositionen - Rohbau und Ausbau, Schriftenreihe 04, Bau- und Wohnforschung. Selbstverlag, Bonn

Bredenbals, Barbara, Willkomm, Wolfgang (1994) Abfallvermeidung in der Bauproduktion. IBR Verlag, Stuttgart

Bredenbals, Barbara; Hullmann, Heinz (1998) Kosteneinsparung durch Bauzeitverkürzung im Wohnungsbau, F 2332. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Bundesarchitektenkammer, Hrsg. (1996) Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Birkhäuser Verlag, Basel

Bundesministerium für Raumordnung Bauwesen und Städtebau (1998b) Leitfaden zum ökologischen, wirtschaftlichen und gesunden Bauen. Selbstverlag

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1998) Kostengünstiges Planen und Bauen Ratgeber für Verträge rund ums Bauen. Selbstverlag, Bonn

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau), Bundesministerium der Verteidigung (BMVg) (Hrsg.) (1998) Arbeitshilfen Recycling. Selbstverlag

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bayrische Architektenkammer (Hrsg.) (2000) ECOBIS 2000 - Ökologisches Baustoffinformationssystem, CD-Rom

Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hrsg.), Leitfaden Nachhaltiges Bauen (2001), erhältlich unter www.nachhaltigesbauen.de

Christensen, Sören (1981) Kosten und Nutzen energiesparender Baukonstruktionen. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin

Deutsches Institut für Normung e.V. (1993) DIN 276 Kosten im Hochbau. Beuth Verlag

Diederichs (e.a.) (2002) Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Bauen und gesundes Wohnen“ (Kurzzeichen ÖÖB), IRB Verlag, Stuttgart

Diederichs (e.a.) (2002) Entwicklung eines Bewertungssystems für ökonomisches und ökologisches Sanieren und gesundes Wohnen“ (Kurzzeichen ÖÖS)

Enquete-Kommission "Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre" (1992) Schutz der Erde, Teilband 2, 1. Auflage. Economica Verlag

Feist, Wolfgang (1996) Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern, Passivhaus-Bericht Nr. 18. Das Beispiel Verlag, Darmstadt

Forschungsstelle für Energiewirtschaft, Hrsg. (1999) Ganzheitliche Bilanzierung von Grundstoffen und Halbzeugen - Teile I und II. Selbstverlag, München

Frieden, Wolfgang (1997) Abfallvermeidung und Abfallorganisation beim Bauen, RG-Bau im RKW Rationalisierungs-Gemeinschaft "Bauwesen". Selbstverlag, Eschborn

GefStoffV (1999) Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen - Gefahrstoffverordnung vom 15.11.1999

GIBB Genossenschaft Information Baubiologie (Hrsg.) BauBioDataBank 1999, Begleitinformationen zur Datenbank, Loseblatt-Sammlung, Flawil, Schweiz

Greenpeace e.V., Hrsg. (1995) Der Preis der Energie. C.H. Beck Verlag, München

Größe, Lehmann, Mittag (1995) Leitfaden zum ökologischen Planen und Bauen, Veröffentlichung der Transferstelle Ökologisch orientiertes Bauen. Selbstverlag, Dresden

Hempfling, Reinhold (Hrsg., 1994) Schadstoffe in Gebäuden. Eberhard Blottner Verlag, Tausen

Herbst, Bettina (2000) Mehrfamilienhäuser nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung ökonomischer Aspekte, Diplomarbeit an der BUGH Wuppertal, FB 10, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. U. Pötter

HOAI Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (1996). Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft

Institut für Bauforschung (1993) Der Primärenergieinhalt der Baukonstruktionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der wesentlichen Baustoffeigenschaften und der Herstellungskosten. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Institut für Bauforschung (1999) Kostendämpfende Maßnahmen zur Durchsetzung des Niedrigenergiehausstandards. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart

Institut für Bauforschung e.V. (1998) Der Primärenergieinhalt der Baukonstruktionen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der wesentlichen Baustoffeigenschaften und der Herstellungskosten - Bauteilkatalog, Fraunhofer IBR Verlag, Stuttgart

Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, PE Product Engineering GmbH (Hrsg.) (1998) Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden - Kurzfassung, Forschungsbericht, Selbstverlag, Stuttgart

Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde, Institut für Werkstoffe im Bauwesen, PE Product Engineering GmbH (Hrsg.) (1998) Ganzheitliche Bilanzierung von Baustoffen und Gebäuden - Entwurf, Forschungsbericht, Selbstverlag, Stuttgart

Katalyse e.V. - Institut für angewandte Umweltforschung (1993) Bewertungskriterien für ökologisch empfehlenswerte Baustoffe - Werkstattbericht, Öko-Zentrum NRW, Selbstverlag, Köln

Katalyse e.V. - Institut für angewandte Umweltforschung (Hrsg., 1988) Umwelt-Lexikon. Verlag Kiepenheuer & Witsch, Köln

Kirchhoff, Jutta; Jacobs, Bernd (1999) Besonders kostengünstiger Wohnungsbau - Stand und Perspektiven. Fraunhofer IRB Verlag; F 2348, Stuttgart

KrW-/AbfG (1996) Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz vom 7.10.1996

Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (1996) Fox-Kämper et al. , Zukunftsweisender Wohnungsbau in NRW Sozial, ökologisch, kostengünstig, Reihe 1.34. Selbstverlag, Aachen

Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (2000); Schütze, Thorsten; Willkomm, Wolfgang; Wiederverwendung und Recycling im Hochbau, Arbeitshilfen für die Realisierung umweltverträglicher Materialkreisläufe. Selbstverlag, Aachen

Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (1998) Danke, Glenk und Meurer, Preiswerter Wohnungsbau in NRW, Heft 1, Reihe 2.32. Selbstverlag, Aachen

Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW (Hrsg.) (1999) Baustoffe unter ökologischen Gesichtspunkten, Selbstverlag, Aachen

Marmé, Wolfgang; Seeberger, Jürgen (1982) Der Primärenergieinhalt von Baustoffen. Bauphysik 05/82, S. 155

Möller, Dietrich-Alexander; Kalusche, Wolfdietrich (1996) Planungs- und Bauökonomie, Band 2: Grundlagen der wirtschaftlichen Bauausführung. R. Oldenbourg Verlag, München

Niedersachsen (1999) Aspekte des ökologischen Bauens. Selbstverlag, Hannover

Niedersächsisches Sozialministerium, Hrsg. (1996) Vorfertigung im Eigenheimbau. Selbstverlag, Hannover

Schmidt/v. Schönfels, Preiswert Bauen mit Eigenleistungen vom Keller bis zum Dach. Compact Verlag, München

Schmidt-Bleek, Friedrich (1997) Wie viel Umwelt braucht der Mensch? Dtv-Verlag, München

- Schmidt-Bleek, Friedrich et al. (1998) MAIA Einführung in die Material-Intensitäts-Analyse nach dem MIPS-Konzept. Birkhäuser-Verlag, Berlin, Basel, Boston
- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (1995) Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123. Selbstverlag, Zürich
- SIA-Dokumentation D 093 (1993) bzw. D 493 (1997) Deklarationsraster für ökologische Merkmale von Baustoffen, FGA Fachgruppe für Architektur, Fachbereich C, Technik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- Sommer, Hans (1998) Projektmanagement im Hochbau - Eine praxisnahe Einführung in die Grundlagen, 2. Auflage. Springer Verlag, Heidelberg
- Spies; Wallbaum, Holger; Liedtke, Christa; MIPS und CONTASS: Methoden und Instrumente zum ressourcenschonenden Bauen, Loseblatt-Sammlung, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt und Energie
- Steiger, Peter et al. (1995) Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123. Selbstverlag, Zürich
- Streck, Stefanie (1999) Ökologische Bewertung von Baukonstruktionen, Diplomarbeit an der BU Wuppertal, Lehr- und Forschungsgebiet Bauwirtschaft
- Strotmann, Henriette (2000) Ökonomische Abfallwirtschaftskonzepte und Abfallbilanzen für die Bauwirtschaft Pflichten und Chancen für Bauherren und Bauunternehmen, Dissertation an der BU Wuppertal. DVP-Verlag, Wuppertal
- Transferstelle Ökologisch orientiertes Bauen (Hrsg.) (1999) DATA-BAUM Datenbank zur Umweltverträglichkeit von Baustoffen in ihrer Anwendung, Informationsschrift zur Datenbank, Loseblatt-Sammlung, Selbstverlag, Dresden
- VDI-Gesellschaft Energietechnik, Hrsg. (1993) Kumulierte Energie- und Stoffbilanzen (VDI-Berichte 1093). VDI Verlag, Düsseldorf
- Verein Deutscher Ingenieure (1993) VDI-Richtlinie 2243 Konstruieren recyclinggerechter technischer Produkte. In: VDI-Handbuch Konstruktion. Selbstverlag, Düsseldorf
- Wallbaum, Holger; Herbst, Bettina; Herzog, Kristina (2000) Das Ziel verfehlt? Ein Vergleich von Niedrigenergiehäusern (NEH) und Passivhäusern (PH) nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte. In: EnergieEffizientes Bauen (EB), Heft 2/2000, 1. Jg.. Verlags-GmbH, Urbach: 4-9
- Willkomm, Wolfgang (1990) Recyclinggerechtes Konstruieren im Hochbau. RKW-Verlag, Eschborn; Verlag

Polyurethan

Allgemeine Informationen:

Bei den Polyurethanen handelt es sich nicht um einen einheitlichen Kunststoff. Durch die Verwendung unterschiedlicher Ausgangsverbindungen entsteht eine ganze Gruppe von **Polymeren** (Kunststoffen), die unterschiedlichste Eigenschaften aufweisen können. Dies bedingt auch eine große Vielfalt an Eigenschaften der Produkte.

Polyurethane (PUR) wurden erstmals im Jahr 1937 von Otto Bayer in Deutschland durch Reaktion eines Polyols (Polyalkohol) mit einem Diisocyanat hergestellt. Allen Polyurethanen gemeinsam ist eine gut steuerbare Reaktion zwischen zwei chemischen Grundbausteinen, einem höherwertigen Alkohol (Polyol) und einem Isocyanat.

Polyurethane kommen als fertige Produkte oder als noch nicht ausgehärtete Harze, in der Regel 2K-Harze, auf die Baustelle.

Jahresverbrauchszahlen (1996)

	Westeuropa	Deutschland
Kunststoff insgesamt	25,9 Mio. t	6,3 Mio. t
Kunststoff im Bausektor	4,9 Mio. t	1,6 Mio. t
PUR	1,75 Mio. t	0,5 Mio. t
PUR im Bausektor	k.D.v.	0,2 Mio. t

k.D.v.: keine Daten verfügbar

Über PUR-Verbrauchszahlen im Bausektor liegen keine gesicherten Daten vor. Es ist jedoch bekannt, dass der PUR-Verbrauch gerade im Bausektor stärker wächst als bei anderen Kunststoffen.

Technische Regeln:

E DIN EN 923 Definition Polyurethane (= Reaktionsprodukte aus Polyisocyanaten und Polyolen, die wiederkehrende Urethan-Einheiten (-NH-CO-O-) besitzen)

DIN 16946: Eigenschaften von PUR-Giessharzen

Eigenschaften:

Unempfindlich gegen Feuchtigkeit und gegen Salzlösungen, beständig gegenüber Laugen, verdünnten Säuren und **organischen Lösemitteln**.

Zusammensetzung nach Elementen:

	Wasserstoff, H	Kohlenstoff, C	Sauerstoff, O	Stickstoff, N
Gehalt in %	5	56	27	12

Die Zahlenwerte beziehen sich auf ein Polyurethan hergestellt aus TDI (eine der beiden wichtigsten Isocyanatverbindungen) und Glykol, ohne Berücksichtigung von **Additiven**, **Weichmachern** und **Füllstoffen**.

Technische Daten (Auswahl):

	Polyurethan
Rohdichte [g/cm ³]	> 1,2
Wasseraufnahme in 24 h [%]	0,7 - 0,9
Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	je nach Produkt
Gebrauchstemperaturgrenzen langzeit [°C]	je nach Produkt

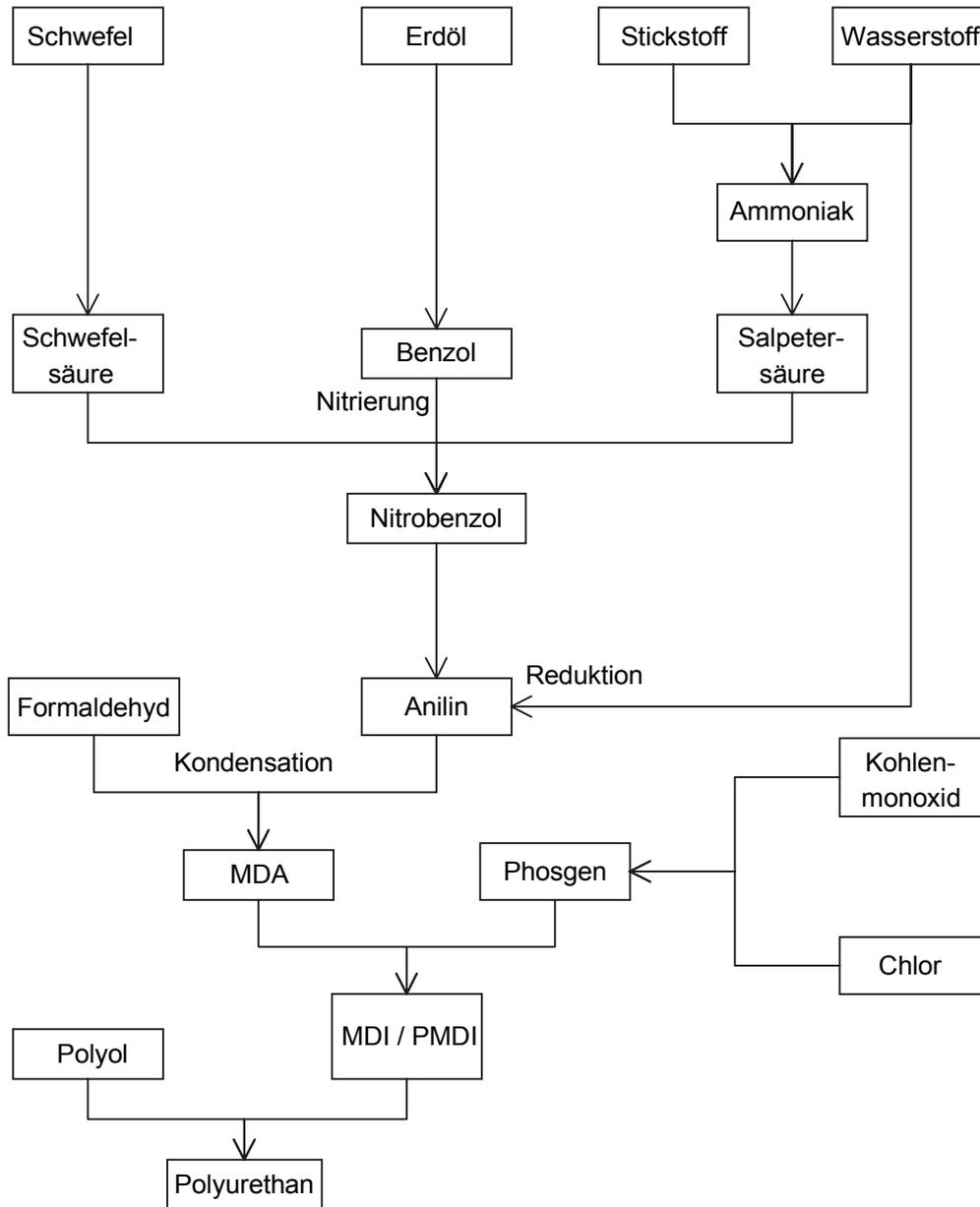
Bei den angegebenen Daten handelt es sich um typische Werte, bezogen auf den/die angegebenen Kunststoffe in Reinform. Die technischen Daten für spezielle Produkte (Schaumstoffe) befinden sich in den Informationen zu den entsprechenden Produktgruppen.

Wichtige Anwendungsbereiche im Bauwesen:

Polyurethane	Dämmstoffe, Montageschäume, Rohrzubehör (Fittings, Schellen, Kapfen).
PUR-Reaktionsharze	Klebstoffe, Lacke, Fugendichtungsmassen, Stelzlager, Sport- und Freiflächenbeläge.

Wichtige Anwendungen sind außerdem Polsterungen mit PUR-Schaum und die Reifenherstellung (PUR-Kautschuke).

Prozesskette Polyurethan:



Rohstoffe:

Die Isocyanate werden aus Grundchemikalien über mehrere Prozesse unter Einsatz von Phosgen und [Formaldehyd](#) hergestellt. Die Polyole werden aus den unterschiedlichsten Rohstoffen und Synthesewegen hergestellt.

Rohstoffquellen für Isocyanate und Polyole sind zum größten Teil Erdöl und Erdgas. Im Herstellungsprozess der Isocyanate spielen auch die Schwefelsäureproduktion mit dem Abbau von Schwefel, die Ammoniaksynthese und v.a. die [Chlorchemie](#) mit der Herstellung von Chlor aus Steinsalz eine bedeutende Rolle. Bei den Polyolen werden z.T. auch nachwachsende Rohstoffe eingesetzt. Im Vergleich zu anderen Kunststoffen ist der Verbrauch an [mineralischen](#) Rohstoffen für Polyurethane hoch.

Rohstoffbedarf für die Herstellung von 1 kg Kunststoff:

	Polyurethan-Hartschaum	Polystyrol	EPS (Expandiertes Polystyrol)
nachwachsende Rohstoffe [kg]	0,10	-	-
fossile Rohstoffe [kg]	ca. 2,0	1,45	1,4
mineralische Rohstoffe [kg]	1,2	< 0,02	< 0,02
Wasserverbrauch [l]*	60	5,0	10

*: ohne Kühlwasser

Die Zahlenwerte beziehen sich auf den Bedarf für die Herstellung von 1 kg des angegebenen Materials ohne Berücksichtigung von **Additiven**, Hilfsstoffen und **Füllstoffen**.

Herstellung:

Die Herstellung der Ausgangsprodukte (Reaktionsprodukte, Polyole und Isocyanate) findet in Betrieben der Großchemie statt. Die Verarbeitung der Polyurethane zum ausgehärteten Produkt erfolgt je nach Anwendung (Dämmstoffe, Harze, Lacke, Klebstoffe, Ortschaum) in der Regel durch kleinere Unternehmen bzw. auf der Baustelle.

Um den Umgang speziell mit den toxischen Isocyanaten zu reduzieren und die damit verbundenen Risiken für die Beschäftigten der verarbeitenden Betriebe zu senken, werden heute bereits **vorpolymerisierte** Komponenten als Vorprodukte an die weiterverarbeitenden Betriebe geliefert (Prepolymer-Prozess).

Speziell bei der Herstellung der Polyurethan-Schaumprodukte wird normalerweise ein Verfahren angewendet, bei dem alle benötigten Materialien (Ausgangsstoffe, Hilfsstoffe, **Additive**) vermischt werden. Danach verläuft die Bildung der Polyurethane und das Aufschäumen gleichzeitig (one-shot-Prozess).

Prozessrisiken:

Bei der Herstellung der Vorprodukte sind **Gefahrstoffe** mit erheblichem Risikopotential beteiligt: **Benzol**, Phosgen, **Ethylenoxid**, **Chlor**. Vor allem bei den drei letztgenannten Stoffen besteht ein Störfallrisiko, da die Stoffe gasförmig vorliegen.

Energieaufwand und ausgewählte Emissionen bei der Herstellung von 1 kg Kunststoff:

		Polyurethan-Hartschaum	EPS (Expandiertes Polystyrol)
Gross Energy	[MJ/kg]	105	96
Luftemissionen	Kohlenwasserstoffe [g]	20	22
Abwasseremissionen	Salze, gesamt [g]	865	0,5
	Kohlenwasserstoffe [g]	0,1	0,6

Quelle:

Association of Plastics Manufacturers in Europe: Eco-profiles of the European plastic industry, Report 9, Polyurethane Precursors (2. ED), APME, 1997, Brüssel
 European Centre for Plastics in the Environment (PVMI): Eco-profiles of the European plastic industry, Report 4, Polystyrene, APME, 1993, Brüssel

Im Vergleich zu Polystyrol ist die Herstellung von Polyurethanen mit einer hohen Salzfracht für das Abwasser verbunden.

Arbeitsschutz in den Herstellbetrieben:

Diisocyanate sind als gesundheitsschädlich bis giftig, reizend und sensibilisierend eingestuft → [TMDI](#), [MDI](#). Beim Umgang mit Isocyanaten ist generell Vorsicht geboten. Vor allem bei der Verarbeitung von 2-Komponenten-Reaktionsharzen (2K-Harze) können Gefährdungen auftreten. Somit sind umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen notwendig. Neben Vorsichtsmaßnahmen gegen die akuten Gefährdungen von Isocyanaten sollten Allergiker und Asthmatiker sowie bereits gegen Isocyanate sensibilisierte Mitarbeiter nicht zu Arbeiten mit Isocyanaten oder deren Zubereitungen herangezogen werden. Erkrankungen durch Isocyanate sind meldepflichtige Berufskrankheiten. → auch Stoff-/Produktgruppen [GISBAU](#)

Umweltrelevante Additive:

Additive	Typ und Funktion	Umweltrelevanz
Lichtstabilisatoren	Bis zu 1 % komplexe organische Verbindungen; Verhindern den Abbau von PUR.	Relativ stabile Verbindungen; u.U. toxisch.
Flammschutzmittel	Bromierte und chlorierte Verbindungen (teilweise Einsatz von bromierten und chlorierten Polyolen); Verringern die Brennbarkeit des Kunststoffs.	Stabile Verbindungen, im Brandfall Entstehung toxische Stoffe wie Halogensäuren und halogenierte Folgeprodukte.

Verarbeitung:

Beim Umgang mit Isocyanaten (auf der Baustelle applizierte 2K-PU-Harze) gelten umfangreiche Arbeitsschutzmaßnahmen, entsprechende Produkte sind nach [GefStoffV](#) gekennzeichnet. Aufgrund freier Isocyanatgruppen in Härterkomponenten besteht die Gefahr der Sensibilisierung. Allergiker (sensibilisierte Personen) können auf Isocyanate bereits in sehr geringen Konzentrationen reagieren.

Weitergehende Informationen zu Vorsichtsmaßnahmen und Gefährdungen sind ggf. in den zugeordneten Bauproduktgruppen enthalten.

Nutzung:

Beständigkeit:

Eine sachgemäße Verarbeitung vorausgesetzt, gelten Produkte aus Polyurethanen (PUR) als sehr beständig. Dies setzt allerdings eine genügende Stabilisierung der Produkte durch entsprechende [Additive](#) (z.B. [UV-Stabilisatoren](#) als Schutz gegen Abbau durch UV-Licht) voraus. Da die Produkte jedoch erst seit relativ kurzer Zeit im Bausektor eingesetzt werden, können kaum Aussagen über einen längeren Zeitraum als etwa 20 - 30 Jahre getroffen werden.

Längerfristige [Schadstoffabgabe](#):

Die Schadstoffabgabe hängt vom einzelnen Produkt ab. Die Verarbeitung von 2K-PU-Harzen ist anspruchsvoll. Bei unsachgemäßer Verarbeitung können durch ungenügende Aushärtung längerfristige, geruchsintensive Emissionen entstehen.

Brandverhalten:

Da es sich beim Polyurethan um einen duroplastischen Kunststoff handelt, schmilzt dieser nicht und tropft nicht herab, sodass PUR nicht zur Brandausbreitung beiträgt. Brennendes Polyurethan entwickelt viel Qualm. Durch thermischen Abbau der Polyurethane bilden sich teilweise die Isocyanate zurück. Aufgrund des Stickstoffanteils im Polyurethan entsteht im Brandfall sehr giftige Blausäure, im Zusammenwirken mit dem bei jedem Brand entstehenden Kohlenmonoxid können sehr gefährliche Brandgase entstehen. Zusätzlich kann es durch die im Kunststoff enthaltenen **Flammschutzmittel** zur Entstehung giftiger Brandgase kommen. Die Brandgase von PUR haben ein großes Geruchsgefährdungspotential.

Nachnutzung:**Stoffliche Verwertung:**

Generell ist die stoffliche Verwertung von **Duroplasten** schwierig, da diese Kunststoffe nicht eingeschmolzen werden können. Eine Rückführung von alten PU-Schaumstoffen in neue Schaumstoffe wäre mit einem relativ großen Aufwand verbunden. Abgesehen davon können PUR-Produkte vom Laien auf der Baustelle kaum erkannt werden, die PUR-Chemikalien sind ohnehin nicht recycelbar. Ein werkstoffliches **Recycling** von Polyurethanen (PUR) aus Bau- und Abbruchabfällen findet daher derzeit nicht statt.

Energetische Verwertung:

Aufgrund des Stickstoffgehalts von PUR entsteht ein großer Anteil von **Stickoxiden**, die mittels aufwendiger Entstickungsverfahren aus den **Rauchgasen** entfernt werden müssen. Wegen der enthaltenen **Flammschutzmittel** erzeugt die Verbrennung der Polyurethan-Kunststoffe **halogenhaltige Rückstände**, die **deponiert** werden müssen.

Beseitigung / Verhalten auf der Deponie:

Additive (bromierte und **chlorierte organische** Verbindungen z.B. aus im PUR enthaltenen Flammschutzmitteln) können über längere Zeit aus dem Kunststoff herausgelöst werden und tragen zu einer Belastung des Bodens bzw. der Deponie-Abwässer bei. Allerdings sind keine Daten über das längerfristige Verhalten von PUR in Deponien verfügbar.

Nach Ablauf der Übergangsfristen der TA-Siedlungabfall 2005 dürfen Abfälle aus Polyurethan nicht mehr abgelagert werden. Abfälle, die Polyurethanharze z.B. als Beschichtung oder Klebstoff enthalten und nicht verwertet werden können, müssen ggf. vor einer Ablagerung zur Reduzierung des organischen Anteils thermisch behandelt werden.

EAK-Abfallschlüssel:

ausgehärtete PUR-Produkte:

17 02 03 Kunststoffe (Bau- und Abbruchabfälle)

Weitere mögliche EAK-Abfallschlüssel aufgrund der verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten sind ggf. in den zugeordneten Bauproduktgruppen enthalten.

DATENBASIS**7.****7.1****Lebensdauer Bauteile und Bauteilschichten**

Bei der ökonomischen und ökologischen Bewertung über den Lebenszyklus des Gebäudes ist es erforderlich, die Lebensdauer der Bauteile in die Bewertung einzubeziehen. Die in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Lebenserwartungen beziehen sich auf den bisherigen Erfahrungszeitraum mit diesen Materialien.

Die tatsächliche Lebensdauer der Bauteile und Bauteilschichten wird vor allem von den Bauteileigenschaften, der Ausführungsqualität, der konkreten Beanspruchung und der Wartung/Instandhaltung beeinflusst. Die Lebenserwartung wird deshalb mit von-bis-Werten angegeben. Für die Bewertung kann die mittlere Lebenserwartung als Orientierung angesetzt werden. Die tatsächliche Lebenserwartung weicht ggf. von den angegebenen Werten ab.

Die Kosten für Inspektion und Wartung, Reinigung sowie werterhaltenden Bauunterhalt sind einzubeziehen.

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
Trag- konstruktion	1. Fundament Beton	80 - 150	100
	2. Außenwände/-stützen		
	Beton, bewehrt, bewittert	60 - 80	70
	Naturstein, bewittert	60 - 250	80
	Ziegel, Klinker, bewittert	80 - 150	90
	Beton, Betonstein, Ziegel, Kalksandstein, bekleidet	100 - 150	120
	Leichtbeton, bekleidet	80 - 120	100
	Verfugung, Sichtmauerwerk	30 - 40	35
	Stahl	60 - 100	80
	Weichholz, bewittert	40 - 50	45
	Weichholz, bekleidet; Hartholz, bewittert	60 - 80	70
	Hartholz, bekleidet	80 - 120	100
	3. Innenwände, Innenstützen		
	Beton, Naturstein, Ziegel, Klinker, Kalksandstein	100 - 150	120
	Leichtbeton	80 - 120	100
	Stahl	80 - 100	90
	Weichholz	50 - 80	70
	Hartholz	80 - 150	100
	4. Decken, Treppen, Balkone		
Beton, frei bewittert	60 - 80	70	

6.11

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	Beton, außen bekleidet oder innen	100 - 150	100
	Gewölbe und Kappen aus Ziegel, Klinker	80 - 150	100
	Stahl innen	80 - 100	90
	Stahl außen	50 - 90	60
	Tragkonstruktion Holztreppe innen, Weichholz	50 - 80	60
	Tragkonstruktion Holztreppe innen, Hartholz	80 - 150	90
	Tragkonstruktion Holztreppe außen, Weichholz	30 - 50	45
	Tragkonstruktion Holztreppe außen, Hartholz	50 - 80	70
	5. Treppenstufen		
	Naturstein, hart, außen/innen	80 - 150	100
	Naturstein weich, Betonwerkstein, außen	30 - 100	70
	Naturstein weich, Betonwerkstein, innen	50 - 100	80
	Stufen, Hartholz, innen	30 - 50	45
	Stufen, Hartholz, außen	20 - 40	35
	6. Dächer, Dachstühle		
	Beton	80 - 150	100
	Stahl	60 - 100	80
	Holzdachstuhl	80 - 150	120
	Leimbinder	40 - 80	50
	Nagelbinder	30 - 50	30
Nicht-tragende Konstruktion außen	7. Außenwände, Verblendung, Ausfachung		
	Beton		
	- bewittert	60 - 80	70
	- bekleidet	100 - 150	120
	Naturstein, bewittert	60 - 250	80
	Ziegel, Klinker		
	- bewittert	80 - 150	90
	- bekleidet	100 - 150	120
	Kalksandstein		
	- bewittert	50 - 80	65
	- bekleidet	100 - 150	120
	Leichtbeton, bekleidet	80 - 120	100
	Verfugung	20 - 50	40

6.12

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	Weichholz, bewittert	40 - 50	45
	Hartholz, bewittert	60 - 80	70
8.	Luftschichtanker, Abfangkonstruktionen		
	Stahl, verkleidet	30 - 50	35
	Edelstahl	80 - 120	100
9.	Schächte		
	Beton, Betonfertigteile	40 - 70	60
	Ziegel, Klinker	70 - 100	80
	Kalksandstein	50 - 60	5
	Kunststoff	20 - 50	40
10.	Mauer-, Attikaabdeckungen, Fensterbänke, außen		
	Naturstein	60 - 150	80
	Klinker	80 - 150	90
	Beton-, Betonfertigteile, Keramik, Fliesen, Kunststein	60 - 80	70
	Kupferblech	40 - 100	50
	Alu, Stahl verzinkt, Faserzement	30 - 50	40
	Kunststoff	15 - 30	20
	Zinkblech, Zementputz	20 - 30	25
11.	Abdichtung gegen nichtdrückendes Wasser	30 - 60	40
12.	Außenanstriche		
	Kalkfarbe	6 - 8	7
	Kunststoffdispersionsfarben	10 - 25	20
	Mineralfarbe	10 - 25	15
	Öl- und Kunstharz	5 - 20	8
	Imprägnierung auf Mauerwerk	15 - 25	20
	Imprägnierungen auf Holz	10 - 20	15
	Kunststoffbeschichtungen auf Beton	15 - 30	20
13.	Außenputze		
	Zementputz, Kalkzementputz	20 - 50	40
	Kunststoffputz	25 - 35	30
	WDVS	25 - 45	30
14.	Bekleidungen auf Unterkonstruktion		
	Naturstein, Schiefer-, Kunststeinplatten	60 - 100	80
	Kupferblech	70 - 100	80

6.13

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	Faserzementplatten, Bleiblech	40 - 60	55
	Aluminium	50 - 100	60
	Zinkblech, Stahlblech, verzinkt	30 - 60	45
	Kunststoff	30 - 50	40
	Glas	40 - 70	50
	Unterkonstruktion Edelstahl	80 - 120	100
	Unterkonstruktion Stahl	30 - 60	45
	Unterkonstruktion Holz	30 - 50	35
	15. Wärmedämmung, belüftet	25 - 35	30
	16. Geländer, Gitter, Leitern, Roste, außen		
	Edelstahl	80 - 120	100
	Aluminium, Stahl, Hartholz	30 - 60	45
	Weichholz, Holzwerkstoff beschichtet	25 - 50	35
Außentüren, -fenster	17. Rahmen / Flügel		
	Hartholz, Aluminium	40 - 60	50
	Weichholz	30 - 50	40
	Stahl, verzinkt	40 - 50	45
	Kunststoff	40 - 60	50
	18. Verglasung, Abdichtung		
	Einfachverglasung	60 - 100	80
	Mehrscheiben-Isolierglas	20 - 30	25
	Verkittung	8 - 15	10
	Glasabdichtung durch Dichtprofile	15 - 25	20
	Glasabdichtung durch Dichtstoffe (Silicone o. ä.)	10 - 25	12
	Flügeldichtungsprofile	15 - 25	18
	19. Beschläge		
	Einfache Beschläge	30 - 50	40
	Drehkipp-, Hebedrehkipp-, Schwingflügel-, Schiebebeschläge	20 - 30	25
	Türschlösser	20 - 30	25
Türschließer	20 - 30	22	
20. Sonnenschutz außen			
Feststehend aus Leichtmetall	50 - 100	60	
Beweglich, Aluminium oder Kunststoff	20 - 30	25	
Markisen	10 - 20	15	

6.14

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
Nicht-tragende Konstruktion, innen	21. Trennwände Klinker, Ziegel, Kalksandstein, Leichtbeton, Porenbeton mit Putz Gipskarton auf Unterkonstruktion: - Leichtmetall, Holz	80 - 150 35 - 60	100 50
	22. Innenanstriche Kalkfarbanstrich Leim- und Kunststoffdispersionsfarben Mineralfarbe Öl- und Lackfarbanstrich, Latex Lasuren, Beizen	10 - 20 10 - 25 15 - 25 20 - 25 10 - 15	15 15 20 18 12
	23. Innentüren Stahl, Weichholz, Feuerschutz T 30, T 90 Ganzglas Sperrholz, Leichtmetall Einfache Beschläge Panikverschlüsse, Türschließer, Schiebe- und Falttürbeschläge	60 - 80 55 - 65 40 - 60 55 - 70 30 - 40	70 60 55 60 35
	24. Geländer, Gitter, Leitern, Roste, innen Stahl, Aluminium Holz, Holzwerkstoff	60 - 90 50 - 80	70 60
	25. Fensterbänke innen Naturstein, Keramik, Hartholz Weichholz, Aluminium, Stahl, Kunststoff	80 - 150 30 - 60	100 50
	26. Bodenaufbauten Böden unter Oberböden (Verbundestrich und Estrich auf Trennschicht) Estrich als endgültiger Verschleißboden: (Zement-, Hartstoff- und Gussasphaltestrich) Schwimmender Estrich Schwingboden Holz	60 - 100 40 - 60 25 - 50 40 - 50	80 50 30 45
	27. Bodenbeläge Naturstein hart Naturstein weich, Betonwerkstein, Kunststein Hartholz, Keramik	80 - 150 60 - 100 50 - 70	100 70 60

6.15

Bauteil / Bauteilschicht		Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	Weichholz	30 - 50	40
	PVC, Linoleum	15 - 25	20
	Textil	8 - 20	10
	Versiegelungen, Lack	8 - 10	8
	Imprägnierungen, Öl, Wachs	3 - 5	4
	28. Deckenbekleidungen, abgehängte Decken		
	Holz, Holzwerkstoff	60 - 80	70
	Gipskarton, Mineralfaserplatten, Kunststoff, Aluminium	30 - 60	45
	Unter- und Abhängekonstruktion - Metall	50 - 100	70
	- Holz	30 - 60	50
Nicht-tragende Konstruktion, Dächer	29. Flachdachabdichtungen ohne Schutzschichten	15 - 30	20
	mit Schutzschichten (bekiest, begrünt)	20 - 40	30
	30. Dachentwässerung, innenliegend		
	Innenabläufe aus Edelstahl, Kunststoff, Guss	25 - 50	40
	Innenliegende Rinnen, Zinkblech, Kunststoff	20 - 30	25
	31. Lichtkuppeln	20 - 30	25
	32. Dacheindeckungen geneigter Dächer		
Zinkblech	25 - 40	35	
Faserzementwellplatten, kleinformatige Faserzementplatten	30 - 50	40	
Dachziegel, Betondachsteine	40 - 60	50	
Schieferplatten	60 - 100	70	
Kupfer	40 - 100	50	
33. Dachentwässerung, außenliegend			
Kunststoff	15 - 30	20	
Zinkblech	20 - 30	25	
Kupferblech	40 - 100	50	
34. Wärmedämmung	25 - 35	30	
Installationen und betriebstechnische Anlagen	35. Wasseranlagen		
	Grundleitungen, Abwasserleitungen	30 - 40	35
	Kaltwasserleitungen	30 - 60	40
	Warmwasserleitungen	15 - 30	25
	Sanitärobjekte	20 - 30	25

6.16

	Bauteil / Bauteilschicht	Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	Mess-/Steuer-/Regelanlagen	12 - 15	10
	36. Heizungsanlagen		
	Brennstoffbehälter	15 - 30	20
	Brenner mit Gebläse	10 - 20	12
	Zentrale Wassererwärmer, Heizkessel	15 - 25	20
	Erdwärmetauscher	50 - 80	60
	Pumpen, Motoren, Wärmepumpen	10 - 15	12
	Heizleitungen	30 - 50	40
	Heizflächen und Armaturen	20 - 30	25
	Mess-, Steuer-, Regelanlagen	10 - 15	12
	37. Raumlufttechnische Anlagen		
	Raumlufttechnische Geräte	10 - 20	15
	Raumlufttechnische Kälteanlagen	10 - 25	15
	Wärmerückgewinnungsanlagen	15 - 25	20
	Filteranlagen, allgemein	12 - 20	15
	Mess-, Steuer-, Regelanlagen	10 - 20	15
	Luftleitungen	30 - 40	35
	38. Elektrische Starkstromanlagen		
	Hoch- und Mittelspannungsschaltungen	20 - 30	25
	Transformatoren	20 - 30	25
	Niederspannungsanlagen	20 - 30	25
	Leitungen, Kabel, Verteilungen	20 - 30	25
	Schalter	10 - 20	15
	Blitzschutzanlagen	20 - 30	25
	Mess-, Steuer-, Regelanlagen	10 - 20	15
	39. Aufzugsanlagen	20 - 35	30
Außenanlagen	40. Einfriedungen, Zäune, Palisaden, Schranken, Tore		
	Weichholz, imprägniert	15 - 25	20
	Hartholz	25 - 35	30
	Metall verzinkt, kunststoffummantelt	30 - 40	35
	Betonfertigteile	60 - 80	70
	41. Abwasserleitungen, Abläufe, Schächte, Bauwerke		
	Leitungen:		
	- Steinzeug	80 - 100	90
	- Beton, Stahlbeton (Schmutzwasser)	50 - 100	70

6.17

Bauteil / Bauteilschicht		Lebenserwartung von - bis [a]	mittlere Lebenserwartung [a]
	- Beton, Stahlbeton (Regenwasser) - Ortbeton mit Innenauskleidung - Kunststoff Schächte, Bauwerke - Beton - Kanalklinker - Kunststoff-Fertigteile Schachtabdeckungen - Gusseisen - Stahlbeton	50 - 100 80 - 100 40 - 50 60 - 80 80 - 100 40 - 50 60 - 100 40 - 60	60 90 45 70 90 45 80 50
42.	Verkehrsanlagen: Wege, Straßen, befahrbare Plätze, Höfe, Kfz-Stellplätze Betondecke Asphaltdecke Gepflasterte Flächen - Naturstein hart - Beton, Klinker, Kunststeinplatten, Naturstein weich auf weichem Unterbau - Beton, Klinker, Kunststeinplatten, Naturstein weich auf Betonunterbau	20 - 30 15 - 25 80 - 150 20 - 40 40 - 60	25 20 100 30 50
43.	Beleuchtung Außenanlagen Leuchtenmaste, Lichtrohrleitungen - Gußeisen, Stahl verzinkt, Aluminium - Edelstahl Seile - Stahl, nicht rostend - Kunststoff, glasfaserverstärkt Beleuchtungskörper Erdverlegte Kabel Schaltschränke und Uhren	30 - 40 60 - 100 60 - 80 40 - 60 20 - 30 20 - 30 12 - 18	35 80 70 50 25 25 15

Tabelle 6.3: Lebenserwartung von Bauteilen/Elementen (nach [SIA D 0123], [IEMB 1998], [BMBau 1994], [LBB 1995], [Wert R 91], [VDI 2067] und [IPBau 1994])

6.18

11.2.1: MI-Werte

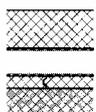
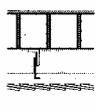
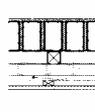
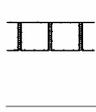
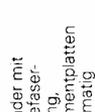
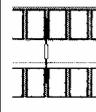
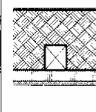
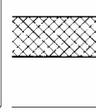
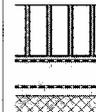
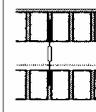
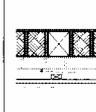
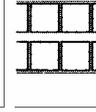
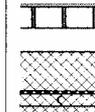
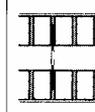
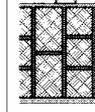
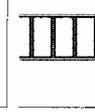
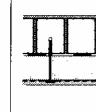
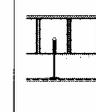
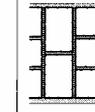
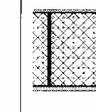
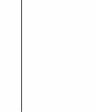
	MI-Werte (Module) ohne MI Transport	MI abiot. kg/kg	MI biot. kg/kg	MI Wasser kg/kg	MI Luft kg/kg	MI Boden kg/kg	el. Energie Brennstoff kWh/t
Metalle	Aluminium (primär)	8,45		24,6	0,000		16302
	(Strom)	76,93		1354,1	9,781		
	(Strom inkl.)	85,38		1378,6	9,781		
	Aluminium (sekundär)	0,59		10,3	0,000		609
	(Strom)	2,86		50,6	0,365		
	(Strom inkl.)	3,45		60,9	0,365		
	Aluminium (70 % primär, 30 % sekundär)	6,09		20,3	0,000		11594
	(Strom)	54,71		963,0	6,957		
	(Strom inkl.)	60,80		983,3	6,957		
	Blei	15,60					k.A.
	(Strom)						
	(Strom inkl.)						
	Roheisen (auch Minimalabschätzung für Gusseisen)	4,66		6,6	0,920		186
	(Strom)	0,89		15,5	0,112		
	(Strom inkl.)	5,55		22,1	1,032		
	Kupfer (primär; abgeschätzt)						3000
	(Strom)						
	(Strom inkl.)	500,00		260,0	2,000		
	Kupfer (sekundär)	4,04		6,3	0,000		1196
	(Strom)	5,62		99,3	0,717		
(Strom inkl.)	9,66		105,6	0,717			
Kupfer (50 % primär; 50 % sekundär)						2100	
(Strom)							
(Strom inkl.)	250,00		180,0	1,400			
Stahl (Oxygenstahl)	4,89		7,9	1,030		441	
(Strom)	2,08		36,7	0,265			
(Strom inkl.)	6,97		44,6	1,295			
Stahl (Elektrostahl)	0,16		0,9	0,150		681	
(Strom)	3,20		56,6	0,409			
(Strom inkl.)	3,36		57,5	0,559			
Stahl (83 % Oxygenstahl, 17 % Elektrostahl)	4,08		6,8	0,880		482	
(Strom)	2,27		40,1	0,289			
(Strom inkl.)	6,35		46,8	1,169			
V2A Stahl (18 % Cr, 9 % Ni)						k.A.	
(Strom)							
(Strom inkl.)	20,86		43,7	5,390			
V4A Stahl (17 % Cr, 12 % Ni)						k.A.	
(Strom)							
(Strom inkl.)	24,39		57,1	7,020			
Zink	23,10					k.A.	
(Strom)							
(Strom inkl.)							
Mineralische Grund- und Rohstoffe	Gips (gemahlen)	1,33		1,5	0,000		106
	(Strom)	0,50		8,8	0,064		
	(Strom inkl.)	1,83		10,3	0,064		
	Kalkstein/Dolomit (gebrochen)	1,19		1,1	0,000		53
	(Strom)	0,25		4,5	0,030		
	(Strom inkl.)	1,44		5,6	0,030		
Kalkstein/Dolomit (gemahlen)	1,19		1,1	0,000		103	
(Strom)	0,47		8,6	0,060			
(Strom inkl.)	1,66		9,7	0,060			
Chem. Erzeug- nisse und Zwi- schenprodukte	Polyethylen (PE)						
	(Strom)						
	(Strom inkl.)	5,40		64,9	2,100		
	PVC (Pulver)	2,60		21,9	0,000		1153
(Strom)	5,42		95,8	0,692			
(Strom inkl.)	8,02		117,7	0,692			
PVC (Schaum); Mittelwert APME	9,33		369,0	9,503		6794	
(Strom)	8,01		310,4	2,070			
(Strom inkl.)	17,34		679,4	11,573			
Baustoffe	Beton B25	1,22		1,4	0,030	0,02	24
	(Strom)	0,11		2,0	0,014	0,00	
	(Strom inkl.)	1,33		3,4	0,044	0,02	
	Dachziegel						k.A.
	(Strom)						
	(Strom inkl.)	2,11		5,3	0,065		
	Dämmstoff: EPS	5,72		27,3	2,960		1219
	(Strom)	5,24		105,7	0,740		
	(Strom inkl.)	10,96		133,1	3,700		
	Dämmstoff: XPS	4,42		17,2	2,430		1424
	(Strom)	6,84		123,8	0,870		
	(Strom inkl.)	11,26		141,1	3,300		
	Dämmstoff: PU Hartschaum (PUR)	6,48		461,5	4,287		1778
	(Strom)	0,84		26,7	1,843		
	(Strom inkl.)	7,32		488,2	6,130		
Dämmstoff: Steinwolle	1,94		3,1	1,420		439	
(Strom)	2,06		36,6	0,270			
(Strom inkl.)	4,00		39,7	1,690			
Dämmstoff: Glaswolle	2,27		3,8	1,490		511	
(Strom)	2,39		42,2	0,310			
(Strom inkl.)	4,66		46,0	1,800			

11.2.1: MI-Werte

MI-Werte (Module) ohne MI Transport	MI abiot. kg/kg	MI biot. kg/kg	MI Wasser kg/kg	MI Luft kg/kg	MI Boden kg/kg	el. Energie Brennstoff kWh/t
Dämmstoff: Isofloc (Strom) (Strom inkl.)	1,56 0,15 1,71		4,1 2,6 6,7	0,250 0,020 0,270		31
Dämmstoff: Schaumglas (Strom) (Strom inkl.)	3,03 3,88 6,71		4,2 148,4 152,6	1,810 0,989 2,799		2327
Dämmstoff: Perlit (Strom) (Strom inkl.)	1,70 0,34 2,04		1,0 5,8 6,8	0,000 0,043 0,043		65
Flachglas (Strom) (Strom inkl.)	2,33 2,96 5,29		4,5 11,7 16,2	0,690 0,742 1,432	0,13 0,13 0,26	86
Granit(platten) geschliffen u. poliert (Strom) (Strom inkl.)	1,79 0,13 1,92		1,1 2,2 3,4	0,576 0,016 0,593		27
Kalksandstein (Strom) (Strom inkl.)	1,19 0,09 1,28		1,7 0,4 2,0	0,000 0,013 0,013		20
Kanalisationssteinzeug (Strom) (Strom inkl.)	1,04 1,84 2,88		0,3 32,7 32,9	0,000 0,240 0,240		392
Mörtel* (Strom) (Strom inkl.)						inkl.
Porenbeton 400 kg/m³ (Strom) (Strom inkl.)	1,76 0,75 2,51		2,0 44,6 46,6	0,165 0,098 0,263		165
Porenbeton 500 kg/m³ (Strom) (Strom inkl.)	1,61 0,67 2,28		1,8 44,0 45,7	0,131 0,089 0,219		148
Porenbeton 600 kg/m³ (Strom) (Strom inkl.)	1,52 0,58 2,10		1,5 42,8 44,3	0,092 0,077 0,169		128
Porenbeton 500 kg/m³; bewehrt (Strom) (Strom inkl.)	1,93 0,71 2,64		2,2 44,8 46,9	0,185 0,093 0,278		155
Porenbeton 600 kg/m³; bewehrt (Strom) (Strom inkl.)	1,78 0,59 2,37		1,9 42,9 44,8	0,154 0,076 0,230		127
Innenputz* (Strom) (Strom inkl.)	1,18 0,09 1,27		0,4 1,5 1,9	0,020 0,001 0,021		18
Außenputz* (Strom) (Strom inkl.)	1,27 0,15 1,42		0,7 2,7 3,4	0,040 0,000 0,040		33
Eisenportland Zement (72 % Portlandzement; 24 % Hüttensand; 4 % Gips) (Strom) (Strom inkl.)	1,84 0,95 2,79		2,2 16,6 18,8	0,173 0,125 0,298		253
Hüttenzement (40 % Portlandzement; 56 % Hüttensand; 4 % Gips) (Strom) (Strom inkl.)	1,07 1,15 2,22		1,4 19,9 21,3	0,096 0,159 0,254		363
Portland-Zement (Strom) (Strom inkl.)	2,42 0,80 3,22		2,8 14,2 17,0	0,230 0,102 0,332		171
Ziegel porosiert (Sägemehl) (Strom) (Strom inkl.)	1,69 0,28 1,97		0,4 5,0 5,4	0,012 0,026 0,038		60
Ziegel porosiert (PS/Vollziegel) (Strom) (Strom inkl.)	1,83 0,29 2,11		0,6 5,1 5,7	0,010 0,038 0,047		62
Sonstiges Kiefernholz (geschnitt., getrock.) (Strom) (Strom inkl.)	0,33 0,53 0,86	5,51 0,00 5,51	0,5 9,4 10,0	0,060 0,069 0,129		113
Fichtenholz (geschnitt., getrock.) (Strom) (Strom inkl.)	0,17 0,51 0,68	4,72 0,00 4,72	0,3 9,1 9,4	0,090 0,066 0,156		109
Douglasholz (geschnitt., getrock.) (Strom) (Strom inkl.)	0,13 0,50 0,63	4,37 0,00 4,37	0,3 9,0 9,2	0,100 0,066 0,166		108
mitteldichte Faserplatte (MDF) (Strom) (Strom inkl.)	0,30 1,67 1,96		3,2 29,6 32,9	0,264 0,217 0,481		355
Hartfaserplatte (Strom) (Strom inkl.)	0,22 2,68 2,91		1,4 47,8 49,1	0,629 0,351 0,980		572
Sperrholz(platte) (Strom) (Strom inkl.)	0,76 1,23 2,00	9,13 0,00 9,13	2,4 21,2 23,6	0,386 0,156 0,541		254
Linoleum (Strom) (Strom inkl.)	1,99 0,02 2,01	0,35 0,00 0,35	6,6 0,0 6,7	1,989 0,003 1,992		4

* Quelle: interne Daten des Wuppertal Instituts

Plattensystem / Mehrschichten DZ	Bleichen System Unterbauteil EO	Decken / Böden EO	Flechtlicher E1	Steiflicher E1
<p>Betonplatte mit Polystyrol-Innendämmung und Zementunterlagsboden</p> <p>D2.01</p> <p>Betonplatte mit Perimeterdämmung aus Schaumglas und Holzboden</p> <p>D2.02</p> <p>Betonplatte mit Perimeterdämmung aus Schaumglasschotter, Tonbodenplatten</p> <p>D2.03</p> <p>Hohldecke über Hohlraum mit Glaswoll-Innendämmung, Zementunterlagsboden</p> <p>D2.04</p>	<p>Betondecke mit Innendämmung aus Polystyrol, Anhydrit-Unterlagsboden</p> <p>E0.05</p> <p>Betondecke mit Innendämmung aus Glaswolle, Zement-Unterlagsboden</p> <p>E0.06</p> <p>Betondecke mit Aussendämmung aus Glaswolle, Holzboden</p> <p>E0.07</p> <p>Betondecke mit Aussendämmung aus Schichtplatten Steinwolle/ Holzwolle</p> <p>E0.08</p>	<p>Betondecke, Glaswolle-TSD, Zementunterlagsboden</p> <p>E0.09</p> <p>Elementdecke mit Überbeton Glaswolle-TSD, Zementunterlagsboden</p> <p>E0.10</p> <p>Tonhourdisdecke mit Steinwoll-TSD, Zementunterlagsboden</p> <p>E0.11</p> <p>Holzbaikendecke mit Zementplattenbeschwering, Glaswoll-TSD und Holzboden</p> <p>E0.12</p> <p>Holzbaiken-Betonverbunddecke, Steinwoll-TSD, Anhydritunterlagsboden</p> <p>E0.13</p> <p>Holz-Kastenelemente, Holzfaser-TSD, Holzfaserplatten</p> <p>E0.14</p>	<p>Betondecke mit Umkehrdach aus extrudierten Polystyrol-schaumplatten</p> <p>E1.15</p> <p>Betondecke mit Schaumglas und Bitumen-DB begehbar</p> <p>E1.16</p> <p>Betondecke mit EPS-Dämmung und Polyolefine-DB, Extensivbegrünung</p> <p>E1.17</p> <p>Betondecke mit Steinwolle und Bitumen-DB, bekest</p> <p>E1.18</p> <p>Betondecke mit Steinwolle und hinterlüftetem Holzdach mit PVC-DB bekest</p> <p>E1.19</p> <p>Holzbaikendecke mit Cellulosefasern und Trauzinkblech hinterlüftet</p> <p>E1.20</p> <p>Holzbaikendecke mit Glaswolle und Bitumen-DB, Extensivbegrünung</p> <p>E1.21</p> <p>Holzbaikendecke mit EPS-Dämmung und PVC-DB, Extensivbegrünung</p> <p>E1.22</p> <p>Holzbaikendecke mit Steinwolle und PVC-DB, Extensivbegrünung</p> <p>E1.23</p>	<p>Kaltdach mit Steinwolle und Folien-Unterdach, Well-Faserzement</p> <p>E1.24</p> <p>Warmdach mit Cellulosefasern und Holzfaser-Unterdach, Tonziegel</p> <p>E1.25</p> <p>Warmdach mit Glaswolle und Holzfaser-Unterdach, Faserzementtschindeln</p> <p>E1.26</p> <p>Kaltdach ohne Unterdach mit Glaswolle 2-lagig, Trauzinkblech</p> <p>E1.27</p> <p>Kaltdach ohne Unterdach mit Steinwolle, Kupferblech</p> <p>E1.28</p> <p>Warmdach mit Glaswolle 2-lagig oberhalb, Tonziegel</p> <p>E1.29</p> <p>Warmdach mit Polystyrol oberhalb, Faserzement-Wellplatten</p> <p>E1.30</p> <p>Warmdach mit Weichfaserplatte oberhalb, Tonziegel</p> <p>E1.31</p> <p>Warmdach mit Steinwolle einlagig, Faserzementschiefer</p> <p>E1.32</p>

Aussenwände unter Terrain E3		Aussenwände über Terrain E4		Innenwände E6		Trennwände M1	
	E3.33 Betonwand mit Perimeterdämmung aus extrudiertem Polystyrolschaum und Zementsickerplatten		E4.38 Backstein mit Steinwoll-Aussendämmung, Faserzementschindeln		E4.47 Holzständer mit Glaswoll-Aussendämmung, Holzverkleidung		E6.52 Kalksandstein Sichtmauerwerk
	E3.34 Betonwand mit Perimeterdämmung aus extrudiertem Polystyrolschaum		E4.39 Kalksandstein mit Glaswoll-Aussendämmung, Holzverkleidung		E4.48 Holzständer mit Cellulosefaser-Dämmung, Faserzementplatten grossformatig		E6.53 Backstein verputzt
	E3.35 Betonwand mit Perimeterdämmung aus Schaumglas und EPS-Sickerplatten		E4.40 Kalksandstein Sichtmauerwerk zweischalig mit Steinwolle		E4.49 Holzständer mit Leichtblechmaufschichtung und Schilfplatte		E6.54 Sichtbeton
	E3.36 Kalksandsteinmauer mit Perimeterdämmung aus Schaumglas und EPS-Sickerplatten		E4.41 Backstein zweischalig mit Steinwolle, innen verputzt		E4.50 Holzständer mit Lehmblockaufschichtung, Steinwoll-Aussendämmung, Holzverkleidung		M1.61 Metalständerwand mit Glaswolle, Gipskartonbeplankung
	E3.37 Betonwand mit Innendämmung aus Schaumglas und Vormauerung		E4.42 Backstein zweischalig mit Glaswolle, beidseitig verputzt		E4.51 Holzständer mit Leichtblechmauerwerk		M1.62 Metalständerwand mit Steinwolle, Beplankung, Vollgipsplatten
			E4.43 Backstein mit Aussendämmung aus Steinwolle verputzt				M1.63 Doppel-Metalständer mit Glaswolle, Gipskartonbeplankung
			E4.44 Backstein mit Aussendämmung aus EPS verputzt				M1.64 Trennwand nicht-tragend Backstein verputzt
			E4.45 Monolithisches Backsteinmauerwerk verputzt				M1.65 Trennwand nicht-tragend Backstein verputzt
			E4.46 Porenbeton verputzt				
							
							
							
							

Warmdach mit Cellulosefasern und Holzfaser-Unterdach, Tonziegel

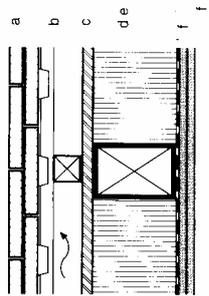
E1.25



Hinweise der Autoren
 Luftschalldämmeigenschaften für Nutzung in MFH genügend.
 Für Tonziegel ungenügende Qualität der Indexdaten.
 Das Produkt Celluloseflocken als Ganzes gilt gemäss BAG als giftlosfrei.
 Die diffusionsoffene Dichtungsbahn wird durch eine PE-Folie angenähert.

Gesamtbeurteilung
 Mittlerer Treibhauseffekt.
 Kleine Versauerung.
 Ökologisch / toxikologisch relevante Bestandteile vorhanden.
 Bei guter technischer Gestaltung lange Lebensdauer der Dachhaut.
 Kleines Schadenpotential bei unsorgfältiger Detailplanung.
 Kleines Schadenpotential bei unsorgfältiger Ausführung.
 Mittlerer Entsorgungsaufwand.

Technische Daten
 k-Wert (W/m²K) **0.26**
 Phasenverschiebung (h) 7 / 12
 Amplitudendämpfung (-) 53 / 13
 Kondensat / Austrocknung (g/m²a) kein Kon.
 Luftschalldämmass R_w (dB) **> 57**
 Celluloseflocken 60 kg/m³, λ = 0.04 W/mK.
 Holz unbehandelt. Biberschwanz-Doppeldeckung



	Konstruktion		Spez. Baustoffdaten Herstellung		Nutzungszweck	Umweltwirkungen Herstellung + Erneuerung		Hinweise Entsorgung	
	EPD Nr.	EPD (kWh/m ²)	CO ₂ -eq. (kg/m ²)	SO ₂ -eq. (kg/m ²)		CO ₂ -eq. (kg/m ²)	SO ₂ -eq. (kg/m ²)	Abfallkategorie mit Entsorgung	Abfallkategorie ohne Entsorgung
a	1	74.0	1.06	329	45	540	1.79	Verwertbar	Inerstoffdeponie
b	1	5.3	5.02	274	45	32	0.18	Verwertbar	Unschädlich
c	1	2.2	6.8	5.07	80	52	0.18	--	Unschädlich
d	1	12.3	5.01	281	80	43	0.23	Verwertbar	Unschädlich
e	1	16.0	7.9	9.08	40	22	0.28	Verwertbar	Unschädlich
f	1	0.3	8.04	2727	30	27	0.22	--*	Unschädlich
g	M5	2.5	22.5	1.13	30	265	1.46	--	Reaktordeponie
h									
i	Total	129				982	4.34		

Erstellung + Herstellung

Treibhauseffekt (g CO₂-eq/m²a)

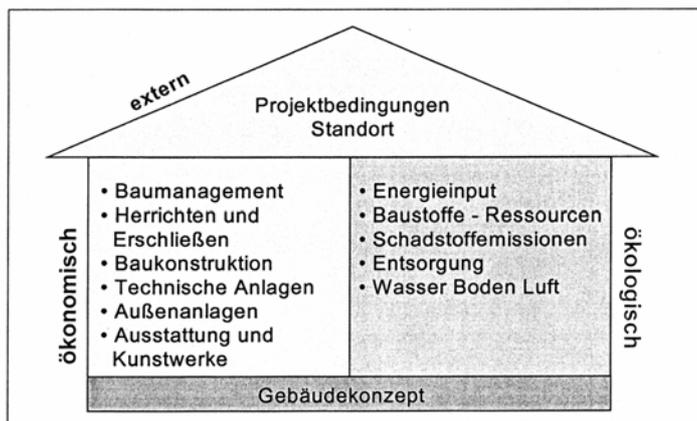
Versauerung (g SO₂-eq/m²a)

Primärenergie-Inhalt

nicht erneuerbar 589 [MJ/m²]
 erneuerbar 595 [MJ/m²]

9 Vergleichskonstruktionen

PVC – Dichtungsbahn				8.07	
D093.08 Dichtungsbahnen					
Baustoff	Dichte	Technische Daten		Hinweise	
		1000 [kg/m ³]			
		Daten		Hinweise	
		Strom-Mix Schweiz	Strom-Mix UCPTE		
Herstellung	Treibhauseffekt [g CO ₂ eq./kg] CO ₂ – neutral mit CO ₂ – Bindung	2043	2161	Module PVC-Dichtungsbahn Bestandteile / Hinweise Gute Datenqualität der von Hersteller gelieferten Sachbilanz. Datenqualität der Rohstoffe in Ökoinventaren ungenügend.	
	Versäuerung [g SO ₂ eq./kg]	14.27	14.99		
	Primärenergie [MJ/kg] nicht erneuerbar erneuerbar	51.6 2.2	52.7 2.3		
Quelle		Hersteller (neu)		Datenqualität ungenügend	
		Daten / Kommentare		Hinweise	
Verarbeitung	Emissionen aus D093	Lösungsmittelfreie Applikation möglich.			
	Ökologisch / toxikologisch relevante Bestandteile nach D093	35 Massen % kennzeichnungspflichtige Weichmacher, Giftklasse 4 <2 Massen% kennzeichnungspflichtige Stabilisatoren, Giftklasse 2		Stabilisator: anorganische Bleiverbindung Dichtungsbahnen mit Versiegelung gegen Weichmacherverlust erhältlich.	
Entsorgung	mit Verwertung	Verwertbar		Rücknahme und Verwertung durch Hersteller garantiert.	
	ohne Verwertung	Nicht unschädlich		Höchstwerte für unschädliche Vernichtbarkeit überschritten.	
Deklarationsraaster		Vorhanden		Sarnafil	
Inhaltsstoffe					



6.8 Beispiel-Auszug Hauptkriterien aus Bewertungssystem ÖÖB

Bewertungsmatrix nach Abschluss der Vorplanung

1. Projektbedingungen		2. Standort		3. Gebäudekonzept		4. Energieinput		5. Baustoffe Ressourcen		6. Schadstoffemissionen		7. Entsorgung		8. Wasser Boden Luft	
1 Marktchancen	50	Lage	227,4	Soziale Qualität	404	1 Nutzung	200	MIPS abiotisch	237,5	Baustoffherstellung	176	Altsubstanz Grundstück	80	Wasser	70
2 Timing	50	Rechtliche Randbedingungen	100	Geometrie	388	2 Nutzung		MIPS biotisch	225	Gebäudeerstellung	80			Boden	120
3 Finanzierung und Wirtschaftlichkeit	148	Grundstück	220	Brandschutz	30	3		MIPS Wasser	250					Luft	132
Σ	248		547,4	Baureparatur	140	4		MIPS Luft	100						
				Baunterhaltung	160	Σ	200		812,5		256		80		322
				Σ	1131										

Ergebnis gesamt 4.746
 mögliche Punktzahl 6.420
 durchschnittliche Erfüllungspunktzahl 7,4

9. Baumanagement		10. Herrichten und Erschließen Kgr. 200		11. Baukonstruktion 300 Kgr.		12. Technische Anlagen Kgr. 400		13. Außenanlagen Kgr. 500		14. Ausstattung und Kunstwerke Kgr. 600/750	
1 710 Bauherrenaufgaben	250	Erschließen	80	300 Baukonstruktion	594	400 Technische Anlagen	510				
2 720 Vorbereitung Objektplanung	24										
Σ	274		80		594		510		0		0

6.9 Beispiel-Auszug Bewertungsmatrix aus Bewertungssystem ÖÖB

Bewertungsmatrix vor Baubeginn

1. Projektbedingungen		2. Standort		3. Gebäudekonzept		4. Energieinput		5. Baustoffe Ressourcen		6. Schadstoffemissionen		7. Entsorgung		8. Boden Wasser Luft	
1 Marktchancen	50	Lage	227,4	Soziale Qualität	404	1 Herstellungenergie	362	MIPS abiotisch	237,5	Baustoffherstellung	176	Abfallvermeidung	22	Boden	120
2 Finanzierung und Wirtschaftlichkeit	164	Rechtliche Randbedingungen	100	Geometrie	388	2 Nutzung	260	MIPS biotisch	225	Gebäudeerstellung	240	Altsubstanz Grundstück	80	Luft	132
3 Timing	40	Grundstück	220	Brandschutz	30	3		MIPS Wasser	250	Nutzung	222	Baustofforganisation	140	Wasser	195
4				Gebäudeelementierung	140	4		MIPS Luft	100						
5				Baunterhaltung	160	Σ	622		812,5		638		302		448
Σ	254		547,4	Σ	1131										

Ergebnis gesamt 7.440
 mögliche Punktzahl 9.520
 durchschnittliche Erfüllungspunktzahl 7,8

9. Baumanagement		10. Herrichten und Erschließen Kgr. 200		11. Baukonstruktion 300 Kgr.		12. Technische Anlagen Kgr. 400		13. Außenanlagen Kgr. 500		14. Ausstattung, Kunstwerke Kgr. 600/750	
1 720 Vorbereitung Objektplanung	24	Herrichten	80	310 Baugrube	24	410 Abwasser, Wasser, Gas	216	510 Geländeflächen	48	610 Ausstattung	0
2 Arch. / Ing.-Leistungen / Gutachten / Beratung	116	Ausgleichsabgaben	80	320 Gründung	42	420 Wärmeverorgungsanlagen	160	520 befestigte Wege	36	Kunstobjekte, künstl. gestaltete Bauteile	0
3 710 Bauherrenaufgaben	748	Erschließen	94	330 Außenwände	162	430 Lufttechn. Anlagen	108	530 Baukonstruktionen	28	Wettbewerbe / Honorare	0
4				340 Innenwände	132	440 Starkstromanlagen	90	T. Anlagen, Einbauten, Sonstiges	32		
5				350 Decken	132	450 Fernwärme- / Informationstechnik	0				
6				360 Dächer	72	460 Fördertechnik	0				
7				370 Bauk. Einbauten	6	470 Nutzungssp. Anlagen	0				
8				380 sonstige	24	480 Gebäudeautomation	0				
9				Mengenoptimierung	210						
Σ	889		254		804		594		144		0

6.10 Beispiel-Auszug Bewertungsmatrix für Beispielprojekt aus Bewertungssystem ÖÖB