
Forschungsprogramm "Rationelle Energienutzung in Gebäuden"

Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen

Patrick Steinle
Annick Lalive d'Epinay

ETH Zürich

Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31:
Energy Related Environmental Impact of Buildings

Mit Unterstützung des
Bundesamtes für Energie

November 1999

Impressum

Projekttitel:	IEA CBS Annex 31, "Energy Related Environmental Impact of Buildings"
Titel Teilprojekt:	Bau-Umweltbelastungskennwerte zur Abschätzung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden in frühen Planungsphasen
Auftraggeber:	Bundesamt für Energie, BfE
Projektleitung:	Annick Lalive d'Epinay Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz Laboratorium für Technische Chemie Eidgenössische Technische Hochschule ETH 8092 Zürich
Bearbeitung:	Patrick Steinle
Bezug:	Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz Laboratorium für Technische Chemie Eidgenössische Technische Hochschule ETH 8092 Zürich

1. Auflage, November 1999

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wird mittels europaweit erhältlichen Gebäudeökobilanzen ein Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog (BUKK) entworfen, der in frühen Planungsstadien Schätzwerte zur Umweltbelastung von Gebäuden liefern soll. Die in den Katalog aufgenommenen Gebäude (neun Büro- zwei Schul- und acht Wohnhäuser) weisen grosse Diskrepanzen in der Umweltbelastung auf, die zum Teil methodisch bedingt sind (unterschiedliche Systemgrenzen, verschiedene Bewertungsmethoden). Eindeutig liess sich aber nachweisen, dass insbesondere bei Bürogebäuden und Niedrigenergie-Wohnhäusern neben der Betriebsenergie auch die Materialwahl für ein umweltverträgliches Bauen relevant ist. Für die Gebäudecharakterisierung wird die Kategorie „Umweltverträglichkeitsanspruch“ (UVA) eingeführt, da der erklärte Wille der Planer und Bauherren zum umweltschonenden Bauen eindeutig positiv korreliert ist mit tatsächlich niedrigerer Umweltbelastung. Das Referenzgebäude „Stahlrain“ konnte im Vergleich als moderner Bürobau mit guten, entsprechend dem UVA der Planer aber nicht exzellenten Umweltverträglichkeitswerten eingestuft werden.

Aufgrund der gemachten Erfahrungen beim Erstellen des BUKK und beim Vergleich der darin enthaltenen Gebäudedaten werden Empfehlungen gemacht für die Gestaltung eines breiter abgestützten, möglichst benutzerfreundlichen BUKK: Standardisierung der Gebäudeerfassung und möglichst präzise Charakterisierung der erfassten Objekte sind dabei die vordringlichsten Aufgaben.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung.....	1
Ziel.....	2
Bestehende Instrumente.....	3
Baukostenplanung nach CRB.....	3
Umweltverträglichkeitsbewertung mittels BUKK: Zur Kostenplanung analoges Vorgehen	6
Entwurf BUKK mit vorhandenen Ökobilanzen von Büro- Schul- und Wohngebäuden	8
Methodik.....	8
Resultate und Diskussion.....	10
Wohngebäude	10
Büro- und Schulgebäude	14
Schlussfolgerungen - Empfehlungen zum Erstellen eines anwenderfreundlichen BUKK's	19
Danksagung	21
Literatur	21
Anhang: Entwurf BUKK	24

Einleitung

Zur möglichst objektiven Erfassung der Umweltverträglichkeit von Gebäuden wird vermehrt auf die Methodik der Ökobilanzierung (Lebenszyklusanalyse) zurückgegriffen. Durch die Analyse der Energie- und Stoffflüsse lassen sich die Umweltwirkungen eines Gebäudes erfassen, bewerten und gegebenenfalls mit Planungsvarianten oder anderen Gebäuden vergleichen.

Allerdings müssen zur korrekten Ökobilanzierung sehr detaillierte Angaben über das zu untersuchende Gebäude vorliegen, kann doch z.B. auch die Material- und Produktwahl zur Innenausstattung relativ grosse Diskrepanzen in den Umweltwirkungen nach sich ziehen (z.B. bei den Bodenbelägen, [1]). Andererseits ist es wünschenswert, schon möglichst früh im Planungsprozess Anhaltspunkte zur Umweltverträglichkeit des geplanten Gebäudes zu erhalten, sind doch dann Änderungen noch eher möglich. Zudem fallen viele umweltrelevante Entscheide in den frühen Planungsphasen [2]. Diese Entscheide implizieren oft eine ganze Reihe von weiteren Entscheidungen und bergen die Gefahr, in späteren Planungsphasen nur noch suboptimale Lösungen bezüglich Umweltverträglichkeit zuzulassen.

In Europa werden in verschiedenen Ländern Anstrengungen unternommen, nicht nur bestehende Gebäude durch Software-basierte Instrumente (EQUER, Eco-Quantum, Ecopro, SIA D0123, [3, 4]) möglichst einfach und präzise zu erfassen und zu analysieren, sondern auch in frühen Planungsphasen Entscheidungshilfen zur umweltverträglichen Planung zu bieten. Dies geschieht oft mit Hilfe von nicht-ökobilanzbasierten Instrumenten (z.B. Checklisten, [2]) oder das Instrument ist als Unterstützung für die Fragestellungen beim Bauentscheid gedacht (z.B. LESOSIP [5] oder Ecopt [6], untersuchen Standortwahl, Neubau versus Umnutzung etc.).

Das Schweizer Projekt OGIP ([7], <http://www.ogip.ch>) verfolgt die Strategie der Einbindung von ökobilanzbasierten Umweltbelastungsdaten in die Kostenstruktur des CRB¹ ([8], <http://www.crb.ch>). Dieser Ansatz hat den Vorteil der Integration von Informationen und Optimierungsmöglichkeiten bezüglich Umweltbelastung in ein bestehendes und in der Baubranche akzeptiertes Konzept. Die CRB Kostenplanung mit der Elementmethode ermöglicht, von einer ersten Grobabschätzung bis zur definitiven

¹ Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung

Abrechnung über alle Planungsphasen mit fortschreitender Genauigkeit die Baukosten zu ermitteln. Dabei wird in den frühen Planungsphasen mit Kennwerten gearbeitet, ermittelt durch die Erfassung bestehender Gebäude. In späteren Planungsphasen, wenn die Materialwahl bereits weit fortgeschritten ist, werden Richtwerte der Verbände für die einzelnen Leistungen herangezogen.

OGIP hat bisher insbesondere für diese zweite Phase ein Software-basiertes Instrument entwickelt, das zur Zeit in der Evaluationsphase steckt. Später soll mit dessen Hilfe auch ein Kennwerte-Katalog aufgebaut werden. Ein erster Entwurf zu einem solchen Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog (BUKK) wird vorgelegt. Die bei der Erstellung des BUKK's angetroffenen Schwierigkeiten praktischer und theoretischer Art werden diskutiert und Vorschläge zur Erstellung eines verbesserten BUKK's gemacht.

Ziel

Wie in der Einleitung erwähnt, war das Ziel dieser Arbeit die Erstellung eines BUKK's mittels der dazu europaweit erhältlichen Gebäude-Ökobilanzen. Dabei wurde insbesondere nach Ökobilanzen von Bürogebäuden gesucht, wozu bisher nur wenig Daten erhältlich sind. Aus dem Wohnbereich wurden einige Gebäude zum Vergleich herangezogen.

Der so erstellte BUKK diene zwei Zwecken: Einordnung der Resultate der detaillierten Ökobilanz des Bürogebäudes „Stahlrain“ [9], sowie zur Überprüfung der praktischen Realisierbarkeit und des Nutzens eines auf nationaler Ebene systematisch erstellten BUKK's.

Bestehende Instrumente

Die bestehenden, Ökobilanz-basierten Instrumente zur Bewertung/Optimierung der Umweltbelastung durch Gebäude lassen sich grob in zwei Gruppen gliedern: Zur ersten Gruppe gehören Instrumente wie Ecopt und LESOSIP, die den Bauherrn² beim Bauentscheid unterstützen, Vor- und Nachteile von Um- oder Neubauten aufzeigen, die Standortwahl bewerten, und helfen sollen, die optimale Gebäudegrösse zu eruieren.

Zur zweiten Gruppe gehören EQUER, Eco-Quantum, Ecopro, SIA D0123 sowie OGIP, mithin Instrumente, die einerseits den Energieverbrauch eines geplanten Gebäudes aufgrund der Klimadaten des Standorts sowie des Aufbaus der Gebäudehülle berechnen, andererseits auch die nicht-energierelevanten Gebäudeteile in eine detaillierte, mit den Ökoinventaren für Energiesysteme [10] und für Baustoffe [11] verknüpfte Materialbilanz aufnehmen und daraus eine nach Lebensphasen und Gebäudeteilen gegliederte Ökobilanz erstellen.

Dazwischen, zwischen dem Wunsch des Bauherrn nach einer bestimmten, neu zu erstellenden Gebäudefläche mit einem gewissen Ausbaustandard und dem detailliert geplanten Gebäude, klafft eine Lücke im Planungsprozess, die bisher mit der Ökobilanz-Methodik nicht abgedeckt wird. Zumindest OGIP erhebt den Anspruch, diese Abdeckung zu erreichen – analog zur Baukostenplanung des CRB, die deshalb hier kurz vorgestellt werden soll.

Baukostenplanung nach CRB

Die Baukostenplanung mit der Elementmethode bezweckt die möglichst präzise Kostenschätzung für ein geplantes Bauwerk. Dabei sollen mit fortschreitender Planung und somit genauerem Wissen über das Bauwerk auch immer genauere Kosten(ab)schätzungen und –berechnungen erfolgen, und zwar auf insgesamt bis zu sechs Stufen. Auf den ersten vier Stufen wird dabei auf den Baukostenkennwerte-Katalog (BKK) zurückgegriffen [8], in dem – nach Bauwerksarten gegliedert –

bestehende Gebäude mit Plänen, Fotos, Ausführungsbeschreibungen nach der Elementkostengliederung und mit Kostenauswertungen dokumentiert sind. Die Elementkostengliederung des CRB erfasst ein Gebäude als hierarchisch aufgebaut aus (funktionalen) Berechnungselementen (z. B. bestimmter Türrahmentyp). Mehrere Berechnungselemente bilden zusammen ein Gebäudeelement (z. B. Innenwände). Die Elemente ihrerseits werden in Elementgruppen (z. B. Rohbau Gebäude oberhalb Bodenkante) zusammengefasst. Unter Makroelementen werden sechs Elementgruppen verstanden, deren ungefähre Ausmasse schon in einem sehr frühen Planungsstadium bekannt sind. Auf dieser Hierarchie beruht auch die Kostenplanung (siehe auch Abb. 1):

- Eine erste Abschätzung kann bereits erfolgen, wenn das zu bauende Gebäudevolumen bestimmt ist. Dazu werden Vergleichsgebäude aus dem BKK herangezogen und deren Kubikmeterpreis als Kennwert genommen (allenfalls ein Mittelwert mehrerer Gebäude oder Anpassung des Kennwerts an besondere lokale Verhältnisse und Erfahrungswerte des Planers).
- Sobald die ungefähre Volumetrie (Formgebung) des Gebäudes bestimmt ist, können auch für die Makroelemente Vergleichszahlen aus dem BKK herangezogen werden.
- Im nächsten Schritt werden die Baukosten über die Elementgruppen (Grundstück, Bauvorbereitung, Installationen, Rohbau Gebäude etc) abgeschätzt.
- Als letzte Stufe der Kostenschätzung enthält der BKK Vergleichswerte für die einzelnen Elemente (Dach, Fassade, Innenwände etc.). Auch dieser Schritt ist möglich, bevor die Konstruktionen und Materialien im Detail bekannt sind.
- Für die nächste Projektierungsstufe, das Bauprojekt, wird eine wesentlich genauere Kostenberechnung verlangt. Da zu diesem Zeitpunkt das Gebäude schon genau spezifiziert ist, wird nun nicht mehr mit Kennwerten, sondern mit Richtwerten der Verbände für die einzelnen zur Erstellung des Gebäudes benötigten Leistungen gearbeitet. Diese Leistungen, die sogenannten Normpositionen, werden herangezogen, um die kleinste Einheit der Elementmethode, die

² Zur Vereinfachung der Schreibweise wird im vorliegenden Text bei geschlechtsspezifischen Bezeichnungen jeweils die männliche Form gewählt. Es werden damit aber immer beide Geschlechter angesprochen.

Berechnungselemente, zu berechnen. Auch dazu bietet das CRB einen Katalog (BEK) an, mit Richtpreisen für eine Vielzahl von Berechnungselementen.

- Die letzte Stufe der Kostenberechnung erfolgt „post festum“, mit der Abrechnung. Durch die Kostenauswertung können die bezahlten Leistungen den einzelnen Berechnungselementen, Elementen, Elementgruppen und Makroelementen zugeordnet werden. Die evaluierten Gebäude können ihrerseits wieder in den BKK aufgenommen werden.

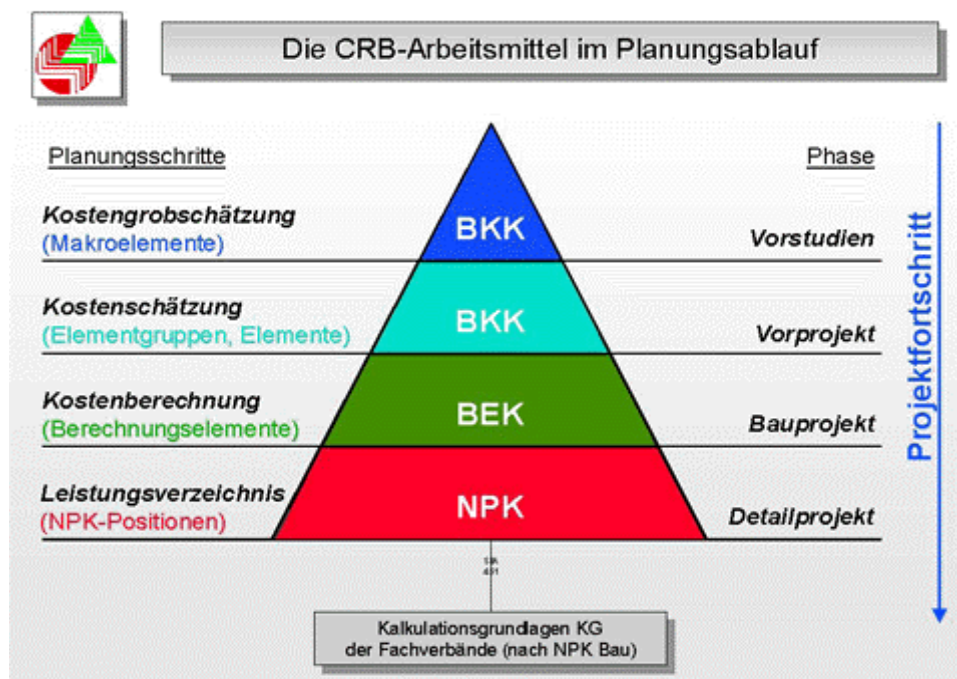


Abb. 1: Die CRB-Arbeitsmittel im Planungsablauf. Quelle: <http://www.ogip.ch>

Die Elementmethode des CRB arbeitet also anfänglich mit einem „top-down“ Ansatz, der zur Kostenabschätzung angesichts der grossen Unsicherheiten über die Ausführung des Gebäudes Vergleichswerte anderer (möglichst ähnlicher) Gebäude heranzieht. Zur Optimierung eines Projektes können die Konstruktionsweisen der im BKK beschriebenen Gebäude und deren Auswirkungen auf die Kosten verglichen werden. Sind die Konstruktions- und Materialwahl getroffen, werden die Gebäudekosten „bottom-up“ berechnet, aufgrund von Richtpreisen für die zu beziehenden Bauleistungen.

Umweltverträglichkeitsbewertung mittels BUKK: Zur Kostenplanung analoges Vorgehen

Will man nebst den Kosten auch die Umweltbelastung eines Gebäudes möglichst über den gesamten Planungsprozess abschätzen (und optimieren) können, bietet sich eine Anlehnung an die Elementmethode des CRB aus den bereits weiter oben erwähnten Gründen an:

- Die Methode geniesst einen hohen Bekanntheitsgrad und gute Akzeptanz bei (Schweizer) Planern.
- Die Machbarkeit des „bottom-up“ Vorgehens zur Bestimmung der Umweltbelastung durch bestehende oder detailliert geplante Gebäude ist mehrfach nachgewiesen. [3].
- Der „top-down“ Ansatz zur Abschätzung der Umweltbelastung in frühen Planungsphasen ist sinnvoll, da:
 - keine falsche Genauigkeit durch unsichere Hochrechnungen vorgespiegelt wird
 - der Vergleich mit BUKK-Daten einfach durchführbar ist.

Allerdings sind die Schwierigkeiten beim Einbezug von Umweltbelastungswerten in einen entsprechenden Kennwerte-Katalog nicht zu unterschätzen. In folgenden Punkten scheint die Divergenz zu den Kostenkennwerten am grössten zu sein:

- Die Gebäudepreise sind durch die Marktkräfte einem starken Nivellierungsdruck unterworfen. Bezüglich Funktion, Nutzfläche, Ausbaustandard und Standort vergleichbare Gebäude werden auch ähnlich viel kosten, unabhängig von der Konstruktionsart und Materialwahl: Die Planer können sich hier keine grossen Diskrepanzen leisten, der Anreiz zur ständigen Kostenminimierung ist sehr gross. Das Gleiche gilt in abgeschwächter Form auch für einzelne Gebäudeteile: Um langfristig am Markt bestehen zu können, darf z.B. eine Stahlbeton-Tragkonstruktion nicht deutlich teurer sein als eine gleich leistungsfähige Holzkonstruktion, und ein teures Fenster muss zumindest geringere Unterhaltskosten verursachen als die günstigeren Konkurrenzprodukte. Auch bezüglich Energieverbrauch besteht ein gewisser Druck zur Uniformität auf tiefem Niveau, einerseits über die Kosten, andererseits über die obligatorische

Selbstdeklaration der Energiekennzahlen nach SIA 380/1 [12]. Entsprechende ökonomische Anreize oder Kennzahlen bezüglich Umweltbelastung fehlen weitgehend, was das Anstreben günstiger Werte in diesem Bereich mehr oder weniger zur Privatsache macht. Dementsprechend sind zwischen funktionell vergleichbaren Gebäuden bezüglich Umweltbelastung grössere Unterschiede zu erwarten als bezüglich Kosten.

- Das oben angeführte Fenster-Beispiel beruht auf dem Lebenszyklusgedanken: Während dieser bei der Umweltbelastungsbewertung ganz selbstverständlich im Vordergrund steht, hat sich das selbe Denken im Kostenbereich bei vielen Planern anscheinend erst unzulänglich durchgesetzt. So dient auch die CRB-Elementemethode lediglich zur Abschätzung der Baukosten; durch eine kostengünstige Bauweise bedingte höhere Unterhaltskosten werden durch die Methode nicht berücksichtigt. Ein dermassen nonchalantes Vorgehen lässt sich bei der Umweltbelastungsbewertung kaum rechtfertigen, der Einbezug von Umweltbelastungen während der Nutzungsphase, die aus Konstruktion- und Materialwahl folgen, ist allerdings eine komplexe Aufgabe.
- Die durch ein Gebäude verursachte Umweltbelastung ist teilweise standortabhängig. Natürlich spielt der Standort auch bei den Kosten eine Rolle, doch hier wirkt wiederum ein ausgleichender Druck des Markts, so dass z.B. die aus einer dezentralen Lage stammenden höheren Transportkosten oft durch tiefere Baulandpreise kompensiert werden und umgekehrt. Die Umweltbelastung des selben Gebäudes kann je nach Standort sehr verschieden ausfallen, in Abhängigkeit des herrschenden Klimas, der vorhandenen Energien (bzw. der Art deren Bereitstellung) und der Verfügbarkeit verschiedener Baumaterialien. So ist etwa die Verwendung von rotem feuerländischem Granit zur Fassadenverkleidung in Punta Arenas anders zu gewichten als in Riehen.
- Ein zusätzliches Problem stellt sich bei der Erfassung und Bewertung der Umweltbelastung. Auch hier ist die Erfassung der Kosten bedeutend einfacher: Sämtliche angefallenen (internen) Kosten werden mit grosser Sicherheit in Rechnung gestellt, somit erfasst und fallen meist in der selben oder einer einfach konvertierbaren Einheit an. Die totale Umweltbelastung hingegen ist i) schwer und kaum je vollständig zu erfassen, und ii) fällt in vielen verschiedenen Einheiten an, deren Konversion und Aggregation problematisch und umstritten ist. Aus

Praktikabilitätsgründen ist hier eindeutig eine Vollaggregation auf eine Einheit vorzuziehen. Solange kein grundlegender Konsens besteht, wie diese Aggregation vorzunehmen ist, ist es allerdings wünschbar, dass der BUKK auch den Zugriff auf einzelne Umweltwirkungskategorien erlaubt.

All diese Schwierigkeiten führen zweifellos zu einer grossen Unsicherheit in der Abschätzung der Umweltbelastung durch ein Gebäude in dessen frühen Planungsphasen. Der Anspruch des CRB, bereits die erste Kostenabschätzung mit einer Genauigkeit von $\pm 20\%$ durchzuführen, wird für die Umweltbelastung nicht einlösbar sein. Allerdings ist angesichts der heute herrschenden völligen Ungewissheit zu Planungsbeginn schon eine Voraussage mit einer Genauigkeit von $\pm 40\%$ ein erstrebenswertes Ziel. Zudem wird, je umfassender der BUKK, desto grösser die Chance für die Planer, ein oder mehrere ähnliche Gebäude beschrieben zu finden und desto genauer die Voraussage.

Entwurf BUKK mit vorhandenen Ökobilanzen von Büro-, Schul- und Wohngebäuden

Zur Einordnung der Resultate der Ökobilanz des Bürogebäudes Stahlrain [9] sowie als Vorläufermodell für einen möglichst systematisch und mit grösseren finanziellen und personellen Ressourcen erhobenen BUKK wurden europaweit Ökobilanzen von Büro-, Schul- und Wohngebäuden zusammengetragen, soweit möglich vereinheitlicht und analysiert. Trotz grosser Schwierigkeiten, verursacht insbesondere durch die verschiedenen Erfassungs- und Bewertungsmethoden, können einige generelle Aussagen zur Umweltbelastung durch Gebäude gemacht werden und für einige Wirkungskategorien die je nach Gebäudetyp ungefähr zu erwartenden Umweltbelastungen angegeben werden.

Methodik

Die Datenbeschaffung erfolgte durch Literaturrecherche und persönliche Nachfrage bei Personen und Institutionen, die in Forschung und Praxis auf dem Gebiet des

umweltschonenden Bauens tätig sind. Dabei konnten viele Kontakte genutzt werden, die durch die Mitarbeit von A. Lalive d'Épinay beim IEA Annex 31 geschaffen worden waren. Gesucht wurde nach möglichst umfassenden Ökobilanzen von Gebäuden. Diese sollten wenn möglich sowohl nach Lebensphasen (Bau, Erneuerung, Nutzung und Entsorgung) als auch innerhalb der Phasen Bau und Erneuerung nach Gebäudeelementen (Dach, Fassade, Öffnungen, ...) gegliedert sein. Gewünscht war die Angabe der Umweltbelastungen in möglichst vielen Wirkungskategorien, insbesondere aber das Treibhaus- Versauerungs- und Überdüngungspotential³, das Sommersmogbildungspotential sowie der Primärenergiebedarf. Diese Wirkungskategorien erwiesen sich als eine Art kleinster gemeinsamer Nenner. Andere Wirkungskategorien waren bei jeweils zuwenig Gebäuden angegeben, so dass kein Vergleich möglich war. Leider waren auch vollaggregierte Daten nur zu wenigen Gebäuden erhältlich, so dass darauf verzichtet werden musste. Zur Normalisierung werden die Umweltwirkungen jeweils pro m² Energiebezugsfläche (EBF) und Jahr angegeben.

Die Gebäude wurden zwar mit unterschiedlichen Bilanzierungsinstrumenten erfasst. Die Resultate sind insgesamt dennoch vergleichbar, da sie einerseits auf der gleichen Datengrundlage aufbauen (Ökoinventare für Energiesysteme [10] und für Baumaterialien [11]), andererseits auch die Materialerfassung, Energieverbrauchsberechnungen und Gebäudeerneuerungszyklen ähnlich durchführen. Für die vorliegende Studie wurde bei den Bürogebäuden für die Nutzungsphase generell mit Schweizer Strommix gerechnet, um den Vergleich mit dem Referenzgebäude „Stahlrain“ zu erleichtern. Für Herstellung und Erneuerung der Baumaterialien wurde mit den ortsüblichen Energiequellen gerechnet (UCPTE- oder Schweizer Strommix).

Ökobilanzen von Wohnbauten wurden bereits recht viele durchgeführt [13, 14]. In dieser Arbeit wurden einige als Beispiele aufgenommen und dienen einerseits als Vergleich zu den Resultaten der Bürogebäude, andererseits spannen sie den weiten Raum auf zwischen der Umweltbelastung durch neue, bewusst umweltschonend erstellte und genutzte Gebäude einerseits und älteren Gebäuden, die insbesondere einen hohen Energiebedarf aufweisen.

Ökobilanzen von Bürogebäuden und Schulen gibt es derzeit erst sehr wenige. Ein

³ Der Text befolgt so weit als möglich die Regeln der neuen deutschen Rechtschreibung. Die Autoren behalten sich allerdings gewisse Anpassungen an ihr ästhetisches Empfinden vor.

Grossteil davon konnte eingesehen und als Datengrundlage verwendet werden.

Resultate und Diskussion

Der Entwurf des BUKK ist im Anhang enthalten, mit einer Übersichtstabelle, die die Gebäudebeschreibungen enthält, sowie mit den Umweltbelastungskennwerten für Beispiel-Gebäude. Im Folgenden werden insbesondere Vergleiche zwischen den Gebäudedaten angestellt und verallgemeinerbare Aussagen gemacht.

Wohngebäude. Betrachtet man die totale Umweltbelastung, die durch acht verschiedene Wohngebäude (Tab. 1 im Anhang) in vier Wirkungskategorien verursacht wird, so lassen sich diese grob in zwei Gruppen einteilen (Abb. 2): Die erste Gruppe, bestehend aus den Gebäuden W 1, W 2 und W 8 verursacht relativ grosse Umweltwirkungen, die zweite Gruppe (W 3 – W 7, Abb. 2, kleines Bild) verursacht in den einzelnen Kategorien lediglich 15 bis 60% der Umweltbelastung des Referenzgebäudes W 1.

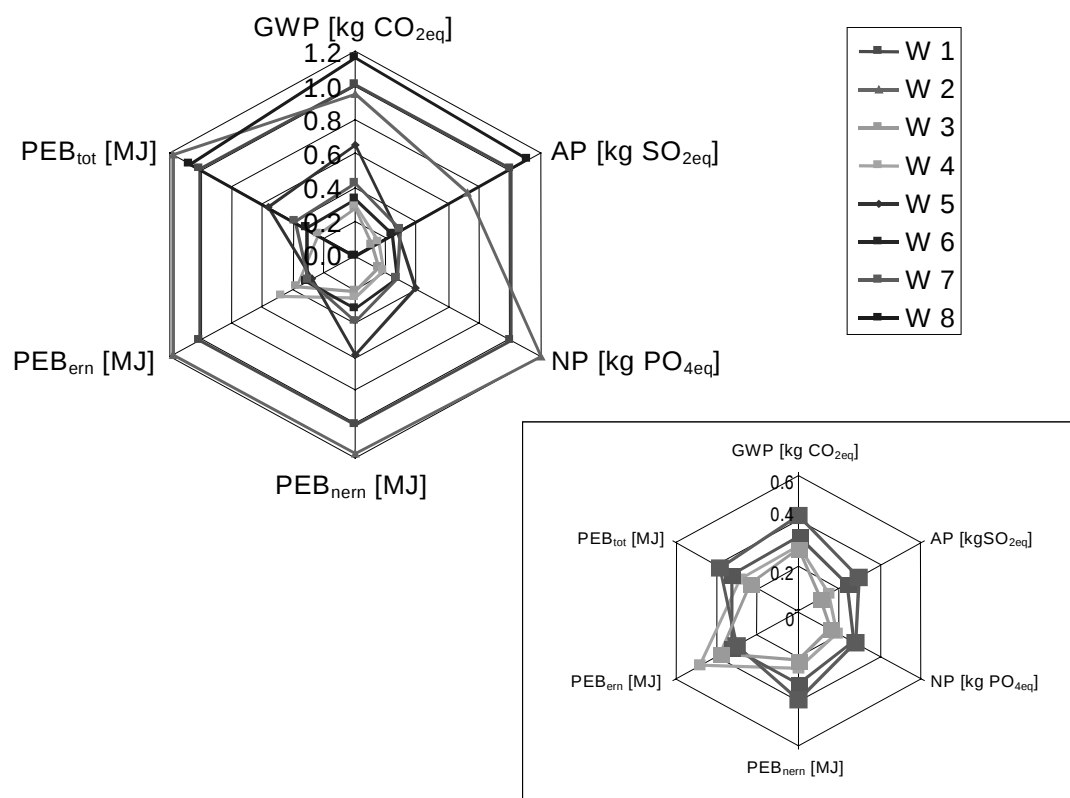


Abb. 2: Gesamtbelastung pro m² EBF und Jahr durch acht Wohnhäuser in vier Wirkungskategorien. Als Referenz (Belastung = 1) wurde W 1 gewählt. GWP: Treibhauspotential; AP: Versauerungspotential; NP: Überdüngungspotential; PEB: Primärenergiebedarf (tot: total; ern: erneuerbar; nern: nicht erneuerbar).

Die Diskrepanz zwischen den zwei Gebäudegruppen korreliert mit dem unterschiedlichen Umweltverträglichkeitsanspruch (UVA): Wie Tabelle 1 zu entnehmen ist, handelt es sich bei W 3 – W 7 um Gebäude bzw. Gebäudevarianten, die als Niedrigenergiehäuser bezeichnet werden können, bei deren Bau also insbesondere auf das Einhalten niedriger Energiekennzahlen geachtet wurde. Dass dieses Ziel erreicht wurde, zeigt Abb. 3: In allen vier untersuchten Wirkungskategorien fällt die Belastung durch die Nutzungsphase für die zweite Gebäudegruppe deutlich geringer aus als für die erste. Für eine weitere Verbesserung der Umweltverträglichkeit bei Niedrigenergiehäusern ist in Zukunft sicher auch die Baumaterial-Herstellung stärker zu beachten, die in einigen Wirkungskategorien bereits zur dominierenden Phase geworden ist.

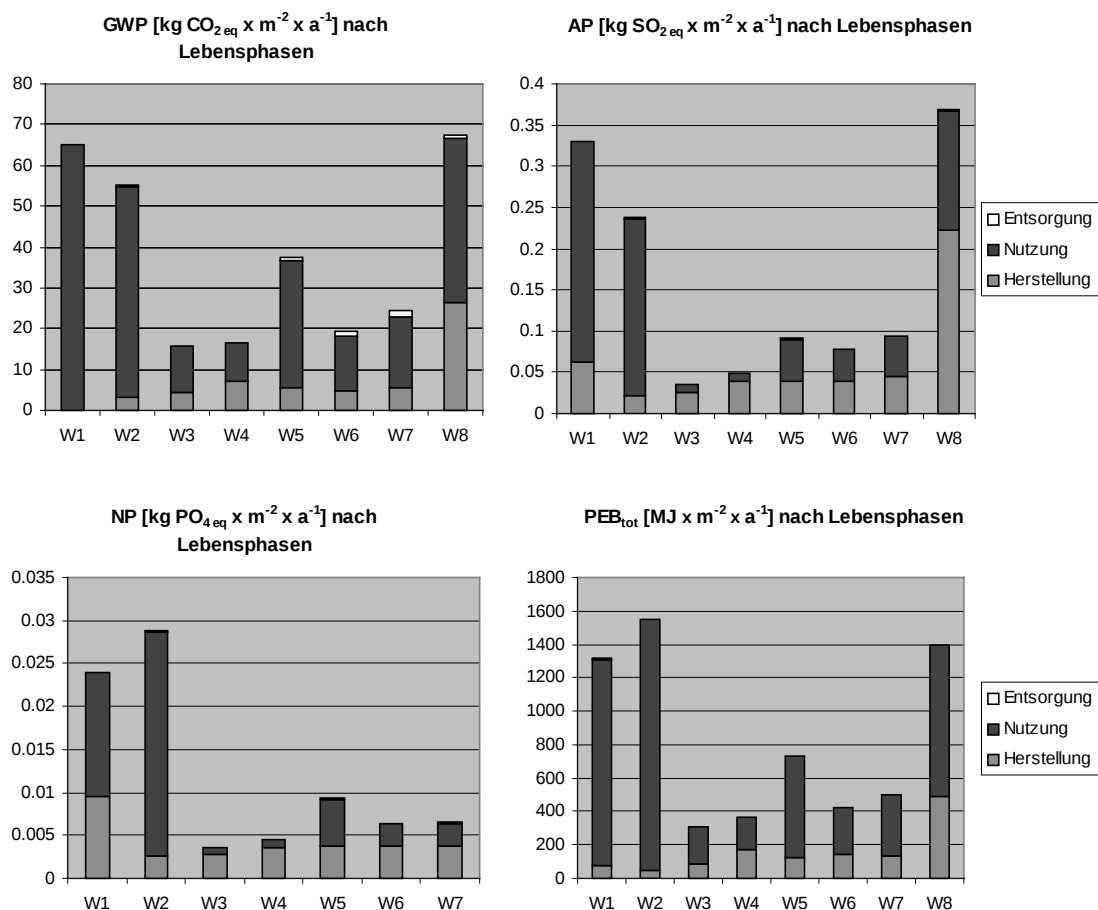


Abb. 3: Umweltwirkung von acht Wohngebäuden in vier Wirkungskategorien, gegliedert nach Lebensphasen.

Abbildung 3 zeigt auch einige methodische Schwierigkeiten auf, die einem korrekten Vergleich verschiedener Gebäude noch entgegenstehen: Der Brauch, beim Bauen verwendetes Holz als CO₂-Gutschrift zu verbuchen, kann dazu führen, dass durch die

Gebäudeherstellung kein, oder sogar ein negatives Treibhauspotential entsteht (z.B. bei W 1). Dies ist insofern inkorrekt, als das Holz früher oder später – Wiederverwendung beim Abbruch hin oder her – verbrannt oder deponiert wird und somit höchstens als CO₂-neutral zu gewichten ist. Auch das Gutschreiben oder Nichtanrechnen von hypothetisch rezyklierbaren Produkten ist problematisch, da keine Garantie besteht, dass von dieser Rezyklierbarkeit in Zukunft auch Gebrauch gemacht wird [15]. Korrekt ist wohl einzig, bei tatsächlich eingebauten Recyclingprodukten deren dadurch erfolgende Wiederverwendung zu berücksichtigen [16].

Ausserdem wird die Entsorgung in den meisten Fällen gar nicht, oder nur über die dazu benötigte Energie berücksichtigt. Emissionen von Stoffen aus Deponien werden nicht einbezogen, was vermutlich zu einer massiven Unterschätzung der Umweltbelastung durch die Entsorgung führt (vergleiche dazu Abb. 7, [16]).

Leider tauchen auch Programmfehler der Bilanzierungsinstrumente auf, so ist das grosse Versauerungspotential in der Herstellung von W 8 vermutlich auf einen solchen Fehler zurückzuführen.

Insbesondere bei Niedrigenergiehäusern ist für einen weiteren Fortschritt in der Umweltverträglichkeit auch die Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des Gebäudes stärker zu beachten. Die Zuordnung der Umweltwirkungen zu den Elementen bzw. Elementgruppen der Gebäude (Abb. 4 und 5) zeigt, dass insbesondere das Element „Decken, Böden, Treppen und Balkone“ sowie die Wände stark ins Gewicht fallen. Unterschätzt werden wohl – des hölzernen Dachstuhls wegen – auch die Dächer. Nicht vernachlässigbar ist auch die Haustechnik [17]. Die Diskrepanz zwischen W 3 sowie W 4 und den übrigen Gebäuden rührt einerseits vom geringen Erfassungsgrad des Elementes „Decken, Böden, Treppen und Balkone“ bei ersteren her, wurden doch für diese zwei Häuser lediglich die Gebäudehüllen bilanziert, andererseits schlägt insbesondere bei W 4 die aufwendige transparente Wärmedämmung in der Elementgruppe „Wände total“ stark zu Buche.

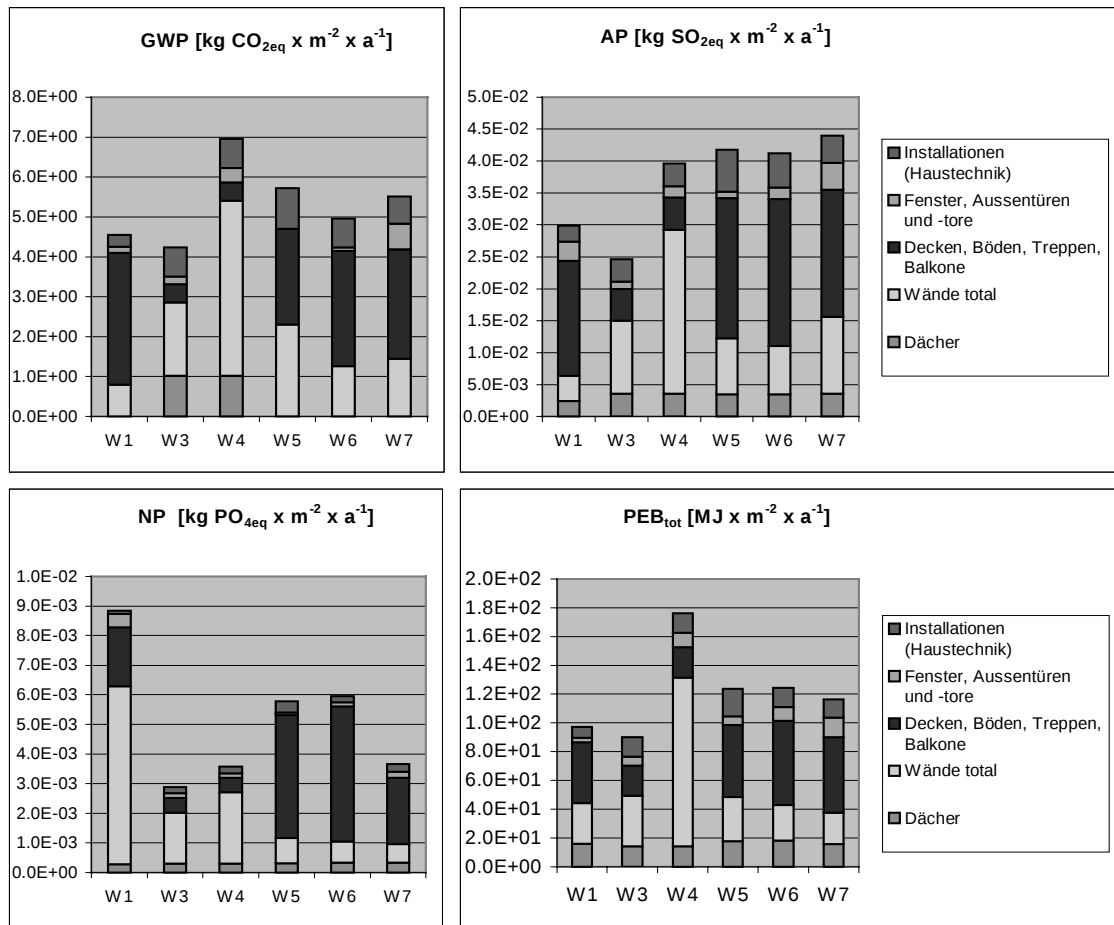


Abb. 4: Umweltwirkung der Herstellung und Erneuerung von sechs Wohngebäuden in vier Wirkungskategorien, gegliedert nach Elementgruppen.

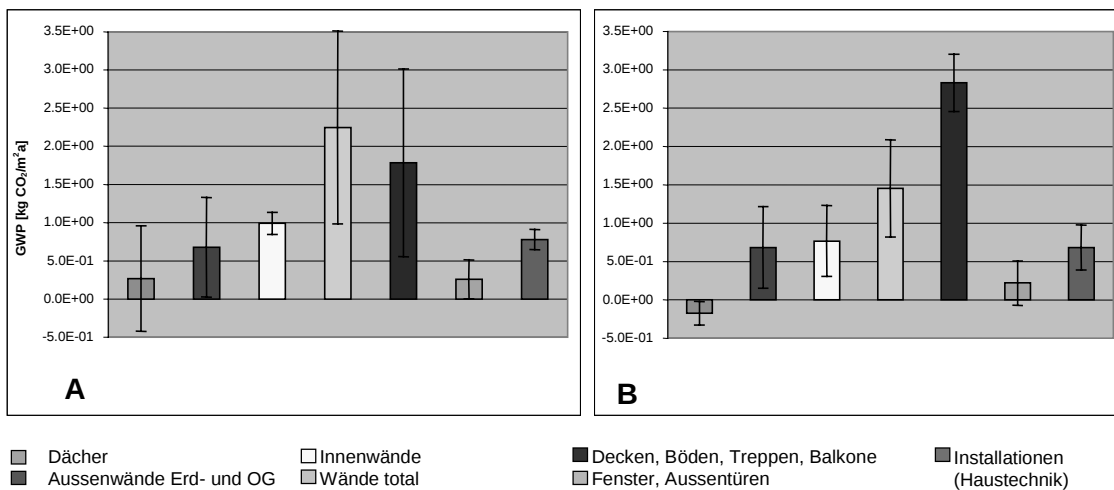


Abb. 5: Durchschnittlicher Anteil der Elemente und Elementgruppen am Treibhauspotential aus der Herstellung und Erneuerung von sechs Wohngebäuden. Fehlerbalken: Standardabweichung, A: Alle sechs Wohngebäude, B: ohne W 3 und W 4.

Büro- und Schulgebäude: Bei den untersuchten neun Büro- und zwei Schulgebäuden war die Heterogenität der Resultate bedeutend grösser als bei den Wohngebäuden. Dies wird bereits in Abb. 6 offensichtlich: Die Gesamtumweltbelastung in fünf ausgewählten Wirkungskategorien variiert zwischen den einzelnen Gebäuden z.T. um mehr als einen Faktor 10. Diese Unterschiede sind zum Teil methodisch bedingt. Es gilt hier aber klar festzuhalten, dass tatsächlich grosse Unterschiede in der Umweltbelastung durch die verschiedenen Gebäude bestehen.

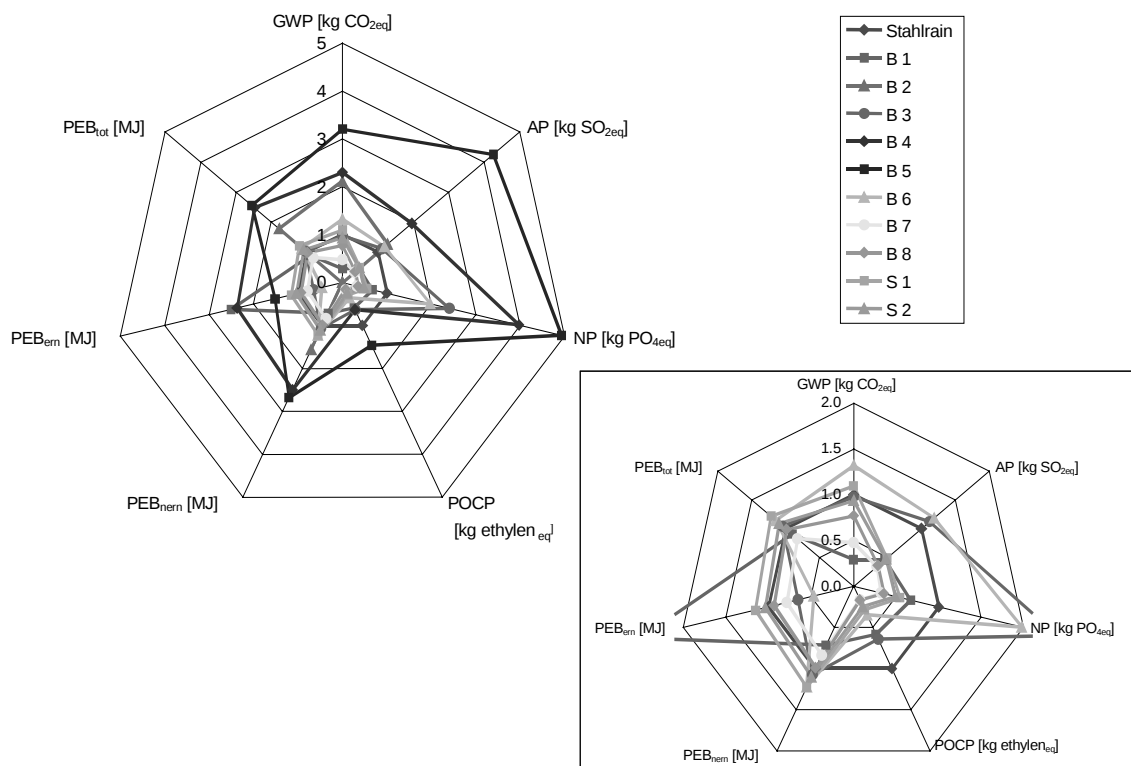


Abb. 6: Gesamtbelastung pro m² EBF und Jahr durch neun Bürogebäude und zwei Schulhäuser in fünf Wirkungskategorien. Als Referenz (Belastung = 1) wurde das Bürogebäude Stahlrain [9] gewählt. POCP: Sommersmogbildungspotential, kleines Bild: Vergrößerung innerer Bereich.

Vergleicht man Abb. 6 mit der Charakterisierung der Bürogebäude im Anhang (Tab. 2), so zeigt sich z.B., dass die Gebäude B 2, B 4 und B 5, die in einigen Wirkungskategorien gegenüber dem Referenzgebäude Stahlrain deutlich höhere Werte aufweisen, auch keineswegs den Anspruch erheben, besonders umweltverträglich zu

sein. Sie können den eher konventionellen Stahl-Glas oder Betonkonstruktionen zugeordnet werden. Die Gebäuden, die besonders gut abschneiden, sind ihrerseits eine recht heterogene Gruppe. B 1 ist ein umweltschonender Pionierbau; der „Ausreisser“ in der Wirkungskategorie PEB_{em} stammt von der installierten Holzschnitzelfeuerung.

Die tiefen Werte der Gebäude B 7, B 8, S 1 sowie S 2 rühren hingegen zu einem grossen Teil vom niedrigen Erfassungsgrad her, wurde doch nur eine grobe Materialbilanz v.a. der Gebäudehüllen erstellt. Dies zeigt sich auch in Abb. 7: Die Dominanz der Nutzungsphase für die oben erwähnte Gebäudegruppe hängt vermutlich stark mit der nur groben Erfassung der anderen drei Phasen zusammen.

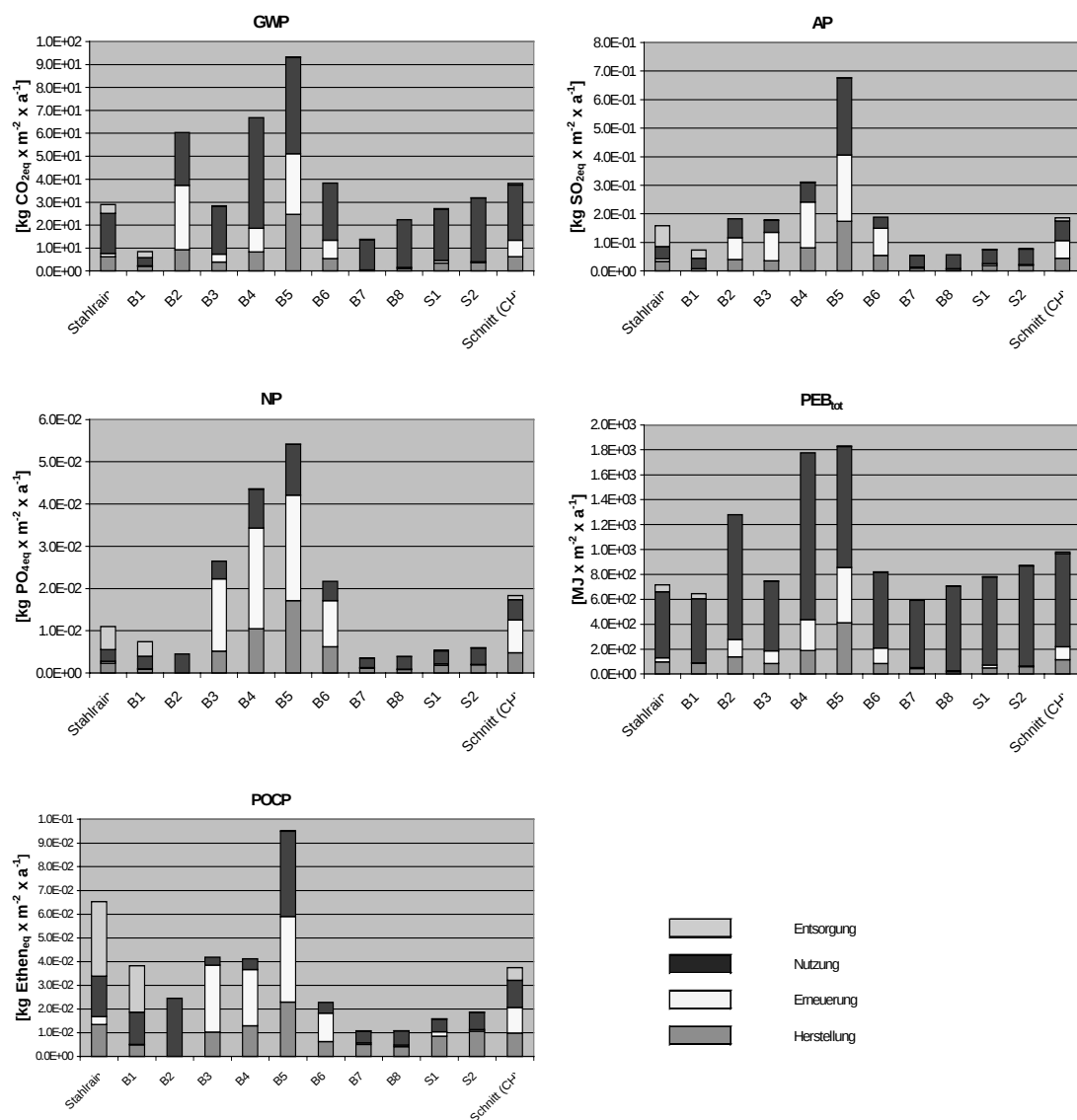


Abb. 7: Umweltwirkung von neun Bürogebäuden und zwei Schulhäusern in fünf Wirkungskategorien, gegliedert nach Lebensphasen.

Vermutlich methodisch bedingt sind auch die Unterschiede bezüglich Erneuerung und Entsorgung: Während die Entsorgung nur beim Stahlrain und B 1 auch „stofflich“ erfasst wurde [9, 16], wurden bei den anderen Gebäuden jeweils nur die zum Abbruch/Rückbau aufzuwendende Energie berücksichtigt, dementsprechend scheint diese Phase fälschlicherweise vernachlässigbar. Die Erneuerungsphase fällt bei den Gebäuden B 3 – B 7 etwa gleich stark ins Gewicht wie die Herstellung. Dies zeugt einerseits wohl von der Gründlichkeit der Erfassung und Berechnung, andererseits herrscht bei den andern Gebäuden wohl ein etwas übertriebener Optimismus bezüglich der Lebensdauer der einzelnen Gebäudeelemente.

Die stark energieverbrauchsabhängigen Wirkungskategorien GWP und PEB einerseits, sowie die stärker materialabhängigen Kategorien AP, NP und POCP andererseits weisen vergleichbare Muster auf, wobei beim POCP der grosse Anteil der Entsorgungsphase auffällt. Bei beiden Gruppen bleibt die „Rangliste“ der Gebäude zwar ungefähr gleich, hingegen sind bei AP, NP und POCP die absoluten Unterschiede wesentlich grösser. Dies rührt daher, dass die Daten in Abb. 7 nicht nur methodisch bedingte Differenzen und die Gebäudequalität widerspiegeln, sondern auch den Standort: Die zur Herstellung und Erneuerung der Baumaterialien benötigte Elektrizität wurde für die Gebäude B 1, B 2, B 3, B 7, B 8, S 1 und S 2 aus dem Schweizerischen Netz bezogen. Deshalb schneiden diese Gebäude bei AP, NP und POCP deutlich besser ab als die Gebäude B 3 - B 6 (UCPTE-Strommix).

Wie bei den Wohngebäuden resultiert auch bei den Büro- und Schulgebäuden ein grosser Teil der gesamten Umweltbelastung aus der Nutzungsphase. Allerdings liegt die Ursache der Belastung stärker beim Stromverbrauch als bei der Gebäudebeheizung.

Betrachtet man nicht die absoluten Belastungen durch Herstellung und Erneuerung, sondern den relativen Anteil, den die einzelnen Gebäudeelemente daran haben (Abb. 8), so sieht man ebenfalls deutliche Unterschiede zwischen den Wirkungskategorien. Generell wichtig ist wie bei den Wohnbauten das (betonreiche) Element „Decken, Böden, Treppen und Balkone“. Etwas weniger wichtig scheinen die Wände (hier aufgeteilt in Fassade und Innenwände), wichtiger als bei den Wohnbauten ist die Haustechnik. Auf dieser Datengrundlage lassen sich - angesichts der grossen Varianz – noch keine Elemente als eindeutig vernachlässigbar bezeichnen, was an sich ein erstrebenswertes Ziel zur Vereinfachung der Gebäudeökobilanzierung wäre.

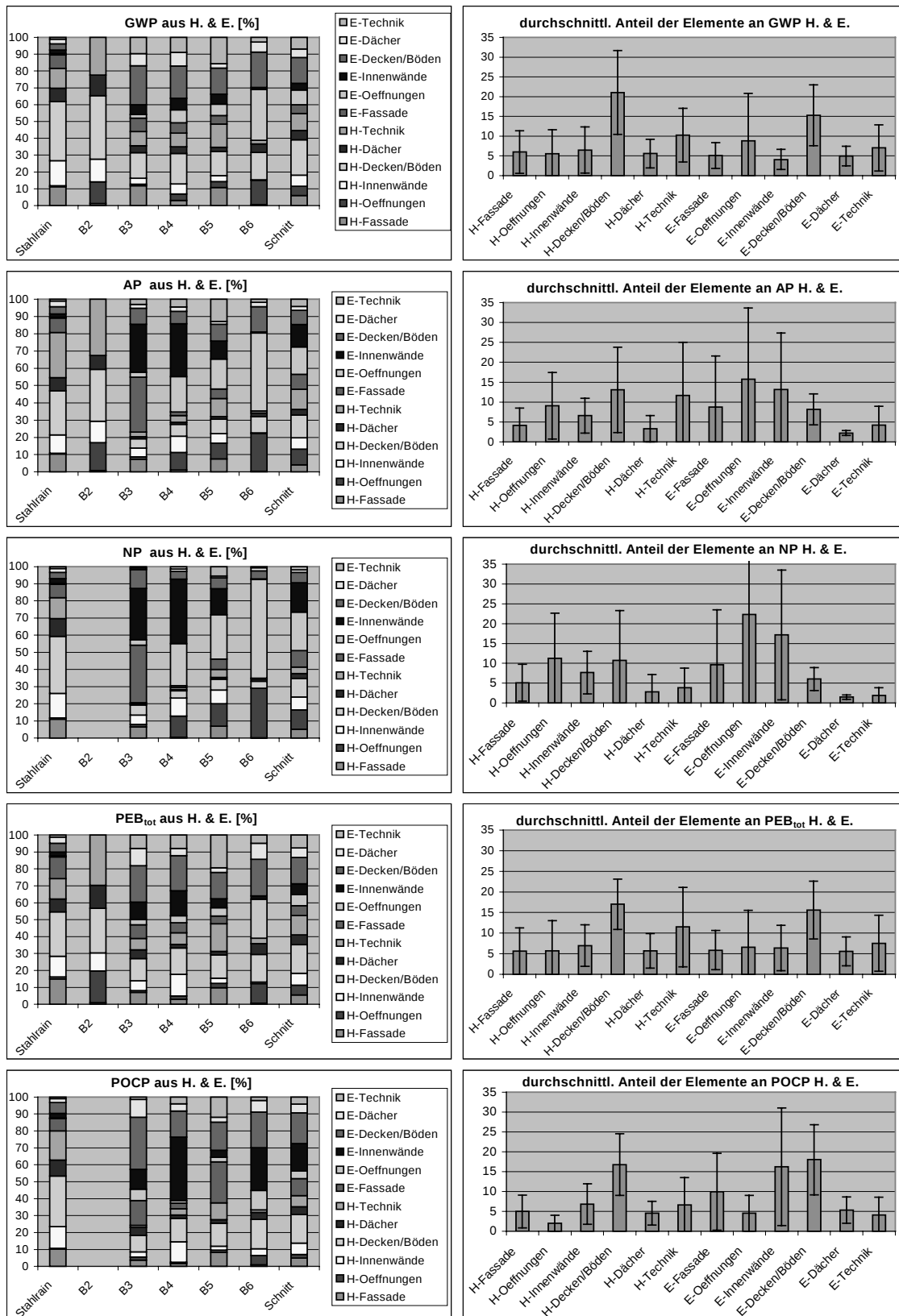


Abb. 8: Umweltwirkung der Herstellung und Erneuerung (H. & E.) von sechs Bürogebäuden in fünf Wirkungskategorien, gegliedert nach Elementen. Rechte Spalte: Mittelwerte aller Gebäude und Standardabweichungen.

Die grosse Varianz wird natürlich stark von der unterschiedlichen Gewichtung/Erfassung der Erneuerung beeinflusst, die je nach Gebäude und Wirkungskategorie zwischen 75 und 0% ausmachen kann. Auch hier sei bei allen methodischen Einschränkungen wieder betont, dass die unterschiedlichen Anteile der Elemente durchaus auf Gebäudespezifika rückführbar sind: So erstaunt kaum, dass die Fassade und Innenwände des Jahrhundertwende-Baus B 3 durch die Erneuerung (Anstriche, Gips) grosse Umweltbelastungen bewirken, währenddem die „Glashäuser“ B 4 – B 6 insbesondere mit Herstellung und Erneuerung der Fensterflächen zu Buche schlagen (v.a. Kategorien AP und NP).

Das Referenzgebäude Stahlrain liegt bei der Gesamt-Umweltbelastung (Abb. 6) bei den meisten Wirkungskategorien etwa in der Mitte – allerdings in der Mitte eines sehr langgezogenen Feldes, mit bis zu fünf mal höheren bzw. drei mal kleineren Belastungen (Kategorie NP). Am schlechtesten schneidet der Stahlrain beim POCP ab (zweithöchstes Sommersmogbildungspotential pro m^2 und Jahr), am besten bei PEB_{nem} (drittkleinsten Bedarf an nicht-erneuerbarer Primärenergie). Das relativ schlechte Abschneiden bezüglich POCP ist nicht erstaunlich, da POCP insbesondere aus der Entsorgung resultiert, die einzig bei Stahlrain und B 1 vollständig erfasst wurde. Das gute Abschneiden beim Primärenergiebedarf weist auf die fortschrittliche und energieeffiziente Bauweise hin.

Ein Teil der Abweichung gegen unten erklärt sich auch aus der vollständigeren Erfassung der Baumaterialien, ein Teil der Abweichung gegen oben aus der wohl zu optimistischen Einschätzung der Erneuerungsbedürftigkeit, was etwa in Abb. 8 deutlich wird (kleiner Anteil an Belastung durch Erneuerung der Gebäudeelemente).

Insgesamt bestätigen die beigezogenen Bau-Umweltbelastungskennwerte anderer – nicht unbedingt ideal vergleichbarer – Bürogebäude die Resultate der Oekobilanz des Stahlrains, kommen sie doch etwa dort zu liegen, wo man sie gemäss UVA der Planer auch erwarten würde. Optimierungsmöglichkeiten hätten wohl insbesondere bei der Verwendung erneuerbarer Energieträger sowie – soweit konstruktiv möglich – beim Einsparen von (unterhaltsarmem, aber energieintensivem und „entsorgungsungünstigem“) Stahlbeton gesucht werden müssen.

Schlussfolgerungen - Empfehlungen zum Erstellen eines anwenderfreundlichen BUKK's

Aufgrund dieses ersten Versuchs ist die Erstellung eines umfassenden BUKK als Ergänzung des BKK des CRB zu empfehlen, da ein solcher die realistische Einschätzung der Umweltbelastung durch Gebäude in deren frühen Planungsphase stark erleichtern würde.

Die Erfahrungen beim Entwurf dieses ersten, provisorischen BUKK haben gezeigt, dass die Umweltwirkungen von Gebäuden gleicher Funktion sich in den verschiedenen Wirkungskategorien aus folgenden Gründen unterscheiden können:

- Die Gebäude haben einen unterschiedlichen Energiebedarf pro Flächen- und Zeiteinheit, und/oder sie sind aus verschiedenen umweltverträglichen und/oder verschiedenen dauerhaften Materialien konstruiert.
- Die Gebäude stehen an verschiedenen Standorten, beziehen daher die benötigten Energien (Elektrizität) und Materialien aus unterschiedlichen Quellen.
- Die Gebäude wurden verschieden erfasst (Ziehung der Systemgrenzen): Detaillierungsgrad der Materialbilanz, Einbezug von Umgebung, Infrastruktur und Benutzerverhalten.
- Die Material- und Energiebilanz der Gebäude wurde verschieden ausgewertet: Verknüpfung mit unterschiedlichen Ökoinventardaten (alt/neu), Angabe verschiedener Wirkungskategorien und unterschiedlich durchgeführte Vollaggregationen.

Bei den zwei letzten Punkten ist klar, dass die daraus resultierenden Unterschiede möglichst zu eliminieren sind, um die Daten in einem umfassend angelegten, anwenderfreundlichen BUKK vergleichbar zu machen. Der Weg dazu ist eine vollständige Standardisierung der Gebäudeerfassung (Systemgrenzen, Detaillierungsgrad), und der Ökobilanzierung (Verknüpfung mit Inventardaten, Auswertung, gewählte Kategorien). Vorzuziehen sind dabei vorläufig möglichst umfassende und insbesondere detaillierte Bilanzierungen, da in vielen Punkten die Datengrundlage noch nicht ausreicht, um gut abgestützte Entscheide über zulässige Vereinfachungen (Vernachlässigungen) zu ermöglichen. Solche Vereinfachungen können hingegen zu einem späteren Zeitpunkt, auf einer soliden Datenbasis, ohne weiteres getroffen werden.

Sollen auch Gebäudeökobilanzen mit nicht-normgemässen Systemgrenzen aufgenommen werden (andere Grenzziehungen können aufgrund verschiedener Ziele und Zwecke durchaus sinnvoll sein), so sind die daraus resultierenden Unterschiede soweit als möglich quantitativ abzuschätzen und anzugeben, allenfalls lässt sich gar an die Einführung von „Ausgleichsfaktoren“ zur Normierung von Ökobilanzen mit unterschiedlichem Erfassungsgrad der Gebäude denken. Zusätzliche Schwierigkeiten wie die Berücksichtigung des Benutzerverhaltens (Energiekonsum, Mobilität) sind hingegen möglichst zu umgehen, zumal sie auf lange Frist (Lebensdauer der Gebäude 80-100 Jahre) kaum vorhersagbar sind.

Der zweite Punkt, die Standortabhängigkeit, gibt mehr Probleme auf. Zwar könnten auch die aus dem Standort resultierenden Unterschiede eliminiert werden (Verwendung gleicher Klimadaten, Energie- und Materialherstellung und –transport standardisieren). Allerdings ginge damit ein (zu) grosser Verlust an gebäudespezifischer, umweltrelevanter Information einher: Der an einem Ort verfügbare Strommix und das vorherrschende Klima setzen wichtige Rahmenbedingungen, innerhalb derer die bezüglich Umweltverträglichkeit optimale bauliche Lösung (auch architektonisch) zu suchen ist. Das Vernachlässigen dieser standortspezifischen Rahmenbedingungen zugunsten der direkteren Vergleichbarkeit von Gebäuden macht insofern keinen Sinn, als dass Bauwerke ihre realen Wirkungen immer nur in ihrem jeweiligen räumlichen Kontext entfalten und dessen Missachtung zu unangepassten, suboptimalen Lösungen führen kann.

Wichtig ist hingegen, dass die im BUKK enthaltenen Gebäude möglichst genau charakterisiert werden, damit Unterschiede bezüglich Funktion, Lebensdauer, Ausbaustandard, Umweltverträglichkeitsanspruch, Standort und allenfalls auch Erfassungsgrad für den Vergleich der Kennwerte berücksichtigt werden können, bzw. damit aus der erwünschten grossen Anzahl von Gebäuden die ähnlichsten zum Vergleich herangezogen werden können.

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen „Datenlieferanten“ herzlichst für ihre spontane Bereitschaft zur Zusammenarbeit bedanken. Da die Daten weitgehend anonymisiert wurden, müssen es leider auch meine Kontaktpersonen bleiben. Kurt Christen von der Architekturabteilung der ETH Zürich danke ich für seine fundierten Auskünfte zur Elementmethodik des CRB. Der Projektleiterin, Annick Lalive d'Epinay gilt mein Dank für Ihre stete Bereitschaft zur Diskussion und für mannigfache Hilfestellungen, Professor Hungerbühler und seiner Forschungsgruppe für die freundliche Aufnahme während dieses Projektes.

Literatur

- [1] Jönsson, A. 1995. Life cycle assessment of flooring materials. Chalmers University of Technology, Göteborg, Schweden.
- [2] Koch, P., Seiler, B., Ott, W., Lalive d'Epinay, A., Gilgen, D. und Gugerli, H. 1998. Instrumente für ökologisches Bauen im Vergleich. Ein Leitfaden für das Planungsteam. SIA D0152. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich.
- [3] Pulli, R. 1998. Überblick über die Ökobilanzierung von Gebäuden. ETH Zürich, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich.
- [4] Regener. 1997. European methodology for the evaluation of environmental impact of buildings – Regener project final report. European commission, directorate general XII for science, research and development, programme APAS.
- [5] Rittmeyer, P., Gay, J.-B. und von Deschwanden, O. 1999. Développement durable et bâtiment: LESOSIP, un nouvel outil d'évaluation. In: Lalive d'Epinay, A. und Quack, D. (Hrsg.): Ökologische Bewertung von Gebäuden zwischen Forschung und Praxis. ETH Zürich, Laboratorium für techn. Chemie, Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich. ISBN 3-906734-09-9

- [6] Kohler, N., Barth, B., Bieber, H., Eiermann, O., Haida, A., Heitz, S., Hermann, M., Klingele, M., Koch, M., Kukul, E., Kruspe, P., Lützkendorf, Th. und Tanz, K. 1996. KOBEEK – Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien. ifib Universität Karlsruhe, Englerstrasse 7, 76128 Karlsruhe, D.
- [7] Kohler, N., Barth, B., Bieber, H., Eiermann, O., Haida, A., Heitz, S., Hermann, M., Klingele, M., Koch, M., Kukul, E., Holliger, M., Frischknecht, R., Stritz, A., Weibel, Th., Goeggel, H. P. und Sachs, S. 1996. Schlussbericht BEW Forschungsprojekt OGIP/DATO – Optimierung von Gesamtenergieverbrauch, Umweltbelastung und Baukosten. ifib Universität Karlsruhe, Englerstrasse 7, 76128 Karlsruhe, D.
- [8] Goeggel, H. P. 1999. Kostenplanung mit der Elementmethode – Hochbau. Schweizerische Zentralstelle für Baurationalisierung, Zentralstrasse 153, 8040 Zürich.
- [9] Lalive d'Épinay, A. 2000. Ökobilanzen von Gebäuden in frühen Planungsphasen (Arbeitstitel), Dissertation Abteilung für Umweltnaturwissenschaften, ETH Zürich, im Druck
- [10] Frischknecht, R., Bollens, U., Bosshart, St., Ciot, M., Ciseri, L., Doka, G., Fones, R., Gantner, U., Hischier, R. und Martin, A. 1996. Oekoinventar von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz, Institut für Energietechnik, Laboratorium für Energiesysteme, Gruppe Energie - Stoffe - Umwelt, 3. Auflage, ENET, Bern.
- [11] Weibel, Th. und Stritz, A. 1995. Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien - Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. Institut für Energietechnik, ETH Zürich, Zürich.
- [12] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein. 1988. Energie im Hochbau. Norm SIA 380/1. SIA, Selnastrasse 16, 8039 Zürich.
- [13] Kohler, N. et al. 1994. Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer. Schlussbericht Forschungsprojekt BEW. ifib Universität Karlsruhe, Englerstrasse 7, 76128 Karlsruhe, D.
- [14] Quack, D. 1999. Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden anhand des Demonstrationsprojekts Niedrigenergiehäuser Heidenheim – eine Oekobilanz. Dissertation an der rheinisch-westfälischen Universität Aachen, Aachen, D.
- [15] Lützkendorf, Th. 1999. Vorschlag zur Ermittlung und Interpretation eines Recycling-Potentials bei der Beschreibung und Bewertung von

Gebäudeentwürfen. IEA Annex 31, Arbeitspapier, unveröffentlicht. Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie, Bauhaus-Universität Weimar, Weimar, D.

- [16] Doka, G. 2000. Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien – Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. ETH Zürich, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich.

- [17] Baumann, T. und Itschner, L. 1998. Umweltrelevanz der Haustechnik. Eine Entscheidungsgrundlage. ETH Zürich, Professur für Sicherheit und Umweltschutz in der Chemie, Universitätsstrasse 31, 8092 Zürich. ISBN 3-906734-04-8

Anhang: Bau-Umweltbelastungskennwerte-Katalog BUKK

Die Daten des ersten – noch sehr wenig umfassenden und unvollständigen – BUKK werden im Folgenden wiedergegeben, gegliedert in zwei Teile – die Charakterisierung der Gebäude und deren eigentliche Umweltbelastungskennwerte, anhand der für die Studie verwendeten Referenzgebäude (Wohnen: W 1, Büro: Stahlrain). Sobald eine grössere Anzahl von Gebäuden erfasst sind, bietet sich die detailliertere Gliederung nach CRB an:

010 Wohnen	060 Handel und Verwaltung	130 Verkehrsanlagen
020 Unterricht, Bildung und Forschung	070 Justiz und Polizei	140 Militär- und Schutzbauten
030 Industrie und Gewerbe	080 Fürsorge und Gesundheit	150 Kultus
040 Land- und Forstwirtschaft	110 Gastgewerbe und Fremdenverkehr	160 Kultur und Geselligkeit
050 Technische Anlagen	120 Freizeit, Sport und Erholung	

Charakterisierung der Gebäude

Tabelle 1: Wohngebäude

	Funktion, Typologie	Konstruktionsbeschreibung	Ausbau-standard	Umweltver-träglichkeits Anspruch ¹	Standort	Bau-jahr	Energiekenn-zahl Wärme [MJ*m ⁻² *a ⁻¹]	Energiekenn-zahl Elektrizität [MJ * m ⁻² * a ⁻¹]	Energie-bezugsfläche [m ²]	Erfassungsgrad
W 1 ²	Appartmenthaus	Fundament: Beton, Aussenwände Doppelbacksteinwände mit Glaswolle, Betonböden, Giebeldach, Innenwände Backstein oder Beton, Doppelverglasung	tief (Stand 50er Jahre)	Kein besonderer Anspruch	Basel	1950	386	100	972	hoch (rel. einfache Konstruktion)
W 2	Einfamilienhaus, freistehend, hypothetisch	Fundament: Beton; Aussenwände: Beton, Glaswolle, PLACOMUR; Betonböden; Ziegeldach; Innenwände: Beton; Doppelverglasung	durchschnittl.	Kein besonderer Anspruch	Frankreich	1997	1040	114	110	hoch, detaillierte Beschreibung

W 3	Freistehendes Einfamilienhaus	Minergie-EFH; Doppelverglasung; Aussenwände Holzschale, Steinwolle 16cm, Backstein; Fundament Beton; Innenwände Backstein/Gipskarton	eher tief	Hoher Anspruch v.a. bezügl. Energieverbrauch	Orma-lingen	1995	72	56	181	mittel, detaillierte Beschreibung der energierelevanten Gebäudeteile, Vernachlässigung des Rests
W 4	= W 3 mit transparenter Wärmedämmung	Minergie-EFH mit transparenter Wärmedämmung; Doppelverglasung; Aussenwände Holzschale, Steinwolle 16cm, Backstein; Fundament Beton; Innenwände Backstein/Gipskarton	eher tief	Hoher Anspruch (Minergie) v.a. bezügl. Energieverbrauch	Orma-lingen	1995	72	56	181	mittel, detaillierte Beschreibung der energierelevanten Gebäudeteile, Vernachlässigung des Rests
W 5	Doppelhaus-hälfte	Niedrigenergiehaus; Fundament Beton; Aussen- und Innenwände Backstein; Betonböden; Doppelverglasung; Dachstuhl Holz mit Ziegeln;	durchschnittl.	mittelhoher Anspruch v.a. bezügl. Energieverbrauch	Heiden-heim	1991	306	10	177	hoch
W 6	Doppelhaus-hälfte, wie W 5, andere Gebäudehülle	Niedrigenergiehaus; Fundament Beton; Aussen- und Innenwände Kalksandstein, Dämmung 20cm; Betonböden; Dreifachverglasung; Dachstuhl Holz mit Ziegeln;	durchschnittl.	Hoher Anspruch v.a. bezügl. Energieverbrauch	Heiden-heim	1991	167	22	176	hoch
W 7	Doppelhaus-hälfte, wie W 5, andere Gebäudehülle	Niedrigenergiehaus; Fundament Beton; Aussenwände Porenbeton, 12cm Dämmung; Innenwände und Böden Beton; Dreifachverglasung; Dachstuhl Holz mit Ziegeln;	durchschnittl.	Hoher Anspruch v.a. bezügl. Energieverbrauch	Heiden-heim	1991	194	31	178	hoch
W 8	Durchschnittswert 50 zufällig ausgewählter Gebäude [11]		durchschnittl.	Kein besonderer Anspruch	Deutsch-land	1950-1994				mittel-hoch

¹ erklärte Absicht der Planer und Bauherren, ein überdurchschnittlich umweltverträgliches Bauwerk zu erstellen

² dieses Gebäude ist in [4] beschrieben und dient auch in dieser Arbeit als Referenz-Gebäude

Tabelle 2: Büro- und Schulgebäude

	Funktion, Typologie	Konstruktionsbeschreibung	Ausbau- standard	Umweltver- träglichkeits Anspruch	Stand- ort ¹	Bau- jahr	Energiekenn- zahl Wärme [MJ * m ⁻² * a ⁻¹]	Energiekenn- zahl Elektrizität [MJ * m ⁻² * a ⁻¹]	Energie- bezugsfläche [m ²]	Erfassungsgrad
Stahl- rain	Bürogebäude, beidseitige Büros mit Mittelgang, zuoberst Cafeteria und Ateliers	Beton- und Stahlkonstruktion, vorgehängte Eternit- Fassade	eher tief	Anspruch modern und umwelt- schonend		1993	175	117	3088	hoch, sowohl nach Lebensphasen (inkl. Entsorgung) als auch Elementweise sehr detailliert
B 1	Bürogebäude, kubisch mit gedecktem Innenhof, Cafeteria und Ateliers	Tragstruktur Stahlsäulen, Holzfassade, Innenwände Kalksandstein	eher tief	hoher UVA, Pionierbau		1991	125	80	4385	mittel, Hauptmaterialien erfasst, Auswertung nach Lebensphasen
B 2	Grosser Bürokomplex, kammförmiger Hauptflügel mit Kantine und Parkhaus, zwei unterschiedliche Seitenflügel mit Mittelgängen	Beton- und Stahlkonstruktion	hoch	gewisser UVA vorhanden		1997	165	306	23856	Angesichts der Grösse und techn. Ausrüstung des Baus hoch, detaillierte Erfassung der Elemente, Erneuerung und Entsorgung nicht berücksichtigt.
B 3	Grosser städtischer Jahrhundertwendebau, Bürogebäude	Vollmauerwerk, Holzböden	mittel	umweltver- trägliche Bauweise, kein besonderer UVA		1905	217	84	4877	Mittel-hoch, keine Baupläne und Abrechnungen mehr vorhanden, dafür langjährige Erfahrung zu Energieverbrauch und Erneuerung
B 4	Bürogebäude ²	Stahl-Glas-Konstruktion ²	hoch	kein bes. UVA		1995	650	212	6307	Mittel-hoch, recht detaillierte Erfassung der Elemente
B 5	Büro-Hochhaus ²	Stahl-Glas-Konstruktion ²	hoch	kein bes. UVA		1997	590	518	41548	Mittel, einige Elemente nicht erfasst

B 6	Bürogebäude ²	Stahlbeton-Skelett, Glasfassaden ²	hoch	kein bes. UVA		1994	283	76	3426	Mittel, relativ grobe Erfassung der Elemente
B 7	Bürogebäude mit grossem, verglastem Patio	Stahlbetonbau	mittel	gewisser UVA, Planungs- auflagen		Bau- projekt	104	144	7740	Grob, v.a. Gebäudehülle, kaum nicht-energierelevante Elemente, Entsorgung nur energetisch erfasst
B 8	Bürogebäude, 5 Etagen, Mittelgang, beidseitig Büros	Stahlbetonbau	eher tief	kein besonderer UVA		Hypo- thetisch 90er Jahre	209	144	5040	Grob, v.a. Gebäudehülle, kaum nicht-energierelevante Elemente, Entsorgung nur energetisch erfasst
S 1	Schulgebäude, grosszügige, einstöckige Anlage, mit Kantine	Stahlbetonbau, passive Sonnenenergienutzung	mittel	gewisser UVA, Planungs- auflagen		Bau- projekt	230	144	9175	Grob, v.a. Gebäudehülle, kaum nicht-energierelevante Elemente, Entsorgung nur energetisch erfasst
S 2	Schulgebäude, zweistöckig, mit Mittelgang, Kantine	Stahlbetonbau	mittel	kein besonderer UVA		1991	302	144	8163	Grob, v.a. Gebäudehülle, kaum nicht-energierelevante Elemente, Entsorgung nur energetisch erfasst

¹ Aus Anonymisierungsgründen nicht aufgeführt

² Keine genaueren Angaben erhältlich

Bau-Umweltbelastungskennwerte

Wohngebäude

Als Beispiel werden hier die Umweltbelastungskennwerte des Wohngebäudes 1 (W1) angegeben.

Wohngebäude W1									
Umweltwirkungen $m^{-2}_{(EBF)} a^{-1}$ gegliedert nach Phasen:									
	GWP [kg CO _{2eq}]	AP [kg SO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]	PEB _{nerm} [MJ]	PEB _{erm} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg Körpergewicht]	Aquat. Ökotoxizität [kg Wasser]
Herstellung + Erneuerung	-1.40E+01	4.03E-01	7.04E-02	1.31E-01	1.89E+02	2.10E+01	2.09E+02	7.34E-01	1.73E-01
Herstellung	-7.23E+00	6.24E-02	9.50E-03	1.31E-01	6.85E+01	6.75E+00	7.53E+01		
Erneuerung:	-6.81E+00	3.41E-01	6.09E-02		1.20E+02	1.42E+01	1.34E+02		
Nutzung	6.50E+01	2.68E-01	1.44E-02	5.26E-02	1.11E+03	1.24E+02	1.24E+03	5.68E-01	2.06E-01
Entsorgung	1.96E-02	2.00E-04		1.00E-04	1.10E+00	1.20E-01	1.22E+00	3.00E-04	3.00E-04
Gesamt	5.10E+01	6.71E-01	8.48E-02	1.84E-01	1.30E+03	1.45E+02	1.45E+03	1.30E+00	3.80E-01
Umweltwirkungen $m^{-2}_{(EBF)} a^{-1}$ der Elemente:									
Elementgruppe	EKG-Index	GWP [kg CO _{2eq}]	AP [kg SO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	PEB _{nerm} [MJ]	PEB _{erm} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]		
Dächer	E1		2.40E-03	2.80E-04	1.10E+01	5.00E+00	1.60E+01		
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	7.00E-01	1.00E-02	1.30E-03	1.10E+01	2.40E+00	1.34E+01		
Innenwände	E6	1.00E-01	3.00E-03	5.00E-03	8.00E+00	7.00E+00	1.50E+01		
Wände total		8.00E-01	4.00E-03	6.00E-03	1.90E+01	9.40E+00	2.84E+01		
Decken, Böden, Treppen, Balkone	D2, E0 1&2, E2, E3, M	3.30E+00	1.80E-02	2.00E-03	3.20E+01	1.00E+01	4.20E+01		
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	1.50E-01	3.00E-03	4.50E-04	3.00E+00	3.30E-01	3.33E+00		
Installationen (Haustechnik)	I	3.00E-01	2.50E-03	1.00E-04	7.00E+00	3.20E-01	7.32E+00		
Herstellung		4.55E+00	3.89E-02	9.13E-03	7.20E+01	2.51E+01	9.71E+01		

Elementgruppe	EKG-Index	GWP [kg CO _{2eq}]	AP [kg SO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	PEB _{nem} [MJ]	PEB _{em} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]		
Dächer	E1	-1.11E+00	2.60E-03	2.10E-04	1.40E+01	6.00E+00	2.00E+01		
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	7.00E-01	5.00E-02	8.70E-03	2.50E+01	2.30E+00	2.73E+01		
Innenwände	E6	-5.80E-01	1.90E-02	3.60E-02	1.10E+01	1.20E+01	2.30E+01		
Wände total		1.20E-01	2.40E-02	4.50E-02	3.60E+01	1.43E+01	5.03E+01		
Decken, Böden, Treppen, Balkone	D2, E0 1&2, E2, E3, M	2.30E+00	7.80E-02	1.40E-02	5.30E+01	9.00E+00	6.20E+01		
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	3.00E-01	8.00E-03	1.35E-03	8.00E+00	3.00E-01	8.30E+00		
Installationen (Haustechnik)	I	9.00E-01	4.00E-03	3.00E-04	1.60E+01	3.50E-01	1.64E+01		
Erneuerung		2.51E+00	1.62E-01	6.06E-02	1.27E+02	3.00E+01	1.57E+02		

Büro- und Schulgebäude

Als Beispiel werden hier die Umweltbelastungskennwerte des Bürogebäudes Stahlrain [9] angegeben.

Bürogebäude Stahlrain											
Umweltwirkungen m⁻²_(EBF) a⁻¹ gegliedert nach Phasen:											
Gebäudelebensphase:		UBP'97 *1000	EI'95	GWP [kg CO _{2eq}]	ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Herstellung + Erneuerung		7.10E+00	3.28E-02	7.56E+00	3.30E-06	4.22E-02	2.74E-03	1.92E-04	4.99E-06	4.41E-02	1.64E-02
Herstellung		5.62E+00	2.68E-02	6.20E+00	2.47E-06	3.42E-02	2.27E-03	1.70E-04	3.02E-06	3.50E-02	1.33E-02
Erneuerung		1.48E+00	5.93E-03	1.36E+00	8.29E-07	8.02E-03	4.74E-04	2.12E-05	1.97E-06	9.11E-03	3.15E-03
Nutzung		1.50E+01	2.34E-02	1.74E+01	8.23E-06	4.31E-02	2.73E-03	8.91E-05	2.31E-06	4.29E-02	1.70E-02
Entsorgung		1.16E+01	2.26E-02	3.95E+00	4.00E-06	7.32E-02	5.46E-03	5.66E-05	7.71E-08	8.48E-02	3.15E-02

Gesamt		3.37E+01	7.87E-02	2.89E+01	1.55E-05	1.59E-01	1.09E-02	3.37E-04	7.38E-06	1.72E-01	6.50E-02
Nutzung UCPT				3.00E+01	9.93E-06	1.36E-01	5.77E-03				3.29E-02
Gesamt UCPT				4.16E+01	1.74E-05	2.52E-01	1.40E-02				8.11E-02
Umweltwirkungen m⁻²_(EBF) a⁻¹ der Elemente:											
Element(-gruppe):	EKG-Index	UBP'97 *1000	EI'95	GWP CO _{2eq}	[kg ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	D2	1.30E-02	4.88E-05	2.10E-02	4.85E-09	6.65E-05	7.78E-06	2.86E-07	2.21E-09	6.24E-05	4.05E-05
Decken	E0 1	1.18E+00	4.54E-03	1.71E+00	6.61E-07	6.11E-03	6.47E-04	2.64E-05	2.07E-07	5.88E-03	4.16E-03
Treppen & Balkone	E0 2	2.03E-01	1.12E-03	2.00E-01	4.27E-08	1.91E-03	5.41E-05	7.58E-06	6.89E-08	1.93E-03	2.43E-04
Dächer	E1	7.89E-01	2.63E-03	8.28E-01	3.88E-07	4.65E-03	3.59E-04	1.47E-05	1.09E-07	4.62E-03	1.97E-03
Stützen	E2	4.60E-01	3.98E-03	5.91E-01	1.42E-07	2.25E-03	1.70E-04	3.46E-05	2.25E-07	2.30E-03	8.23E-04
Aussenwände zu Untergeschossen	E3	1.36E-01	5.17E-04	2.01E-01	6.68E-08	7.33E-04	7.34E-05	3.06E-06	2.56E-08	7.01E-04	3.95E-04
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	1.63E+00	5.91E-03	1.48E+00	8.28E-07	8.05E-03	5.28E-04	1.33E-05	2.84E-06	9.56E-03	2.97E-03
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	6.25E-02	1.73E-04	1.03E-01	1.62E-08	3.08E-04	3.29E-05	8.66E-07	4.08E-09	3.16E-04	1.40E-04
Innenwände (Rohbau)	E6	3.35E-01	1.15E-03	4.99E-01	1.31E-07	1.91E-03	1.78E-04	6.21E-06	5.27E-08	1.84E-03	9.56E-04
Trennwände und Innentüren	M1	3.50E-01	2.90E-03	4.25E-01	9.60E-08	1.96E-03	1.38E-04	2.48E-05	1.55E-07	2.00E-03	6.57E-04
Schutzelemente	M2	5.37E-02	5.12E-04	6.11E-02	1.76E-08	2.70E-04	1.66E-05	4.53E-06	3.17E-08	2.83E-04	7.99E-05
Bodenbeläge	M3	6.21E-02	1.54E-04	8.32E-02	3.05E-08	3.37E-04	3.79E-05	5.74E-07	2.45E-09	3.26E-04	1.95E-04
Wandverkleidungen	M4	1.60E-01	1.26E-03	7.69E-02	2.22E-08	4.46E-04	2.58E-05	1.22E-05	4.03E-08	4.44E-04	1.35E-04
Deckenverkleidungen	M5	3.47E-01	2.31E-03	2.98E-01	1.48E-07	1.68E-03	1.02E-04	1.29E-05	7.50E-07	2.11E-03	5.69E-04
Installationen (Haustechnik)	I	1.32E+00	5.54E-03	9.85E-01	7.02E-07	1.16E-02	3.69E-04	2.94E-05	4.79E-07	1.18E-02	3.08E-03
Herstellung + Erneuerung		7.10E+00	3.28E-02	7.56E+00	3.30E-06	4.22E-02	2.74E-03	1.92E-04	4.99E-06	4.41E-02	1.64E-02
Element(-gruppe):	EKG-Index	UBP'97 *1000	EI'95	GWP CO _{2eq}	[kg ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	D2	1.30E-02	4.88E-05	2.10E-02	4.85E-09	6.65E-05	7.78E-06	2.86E-07	2.21E-09	6.24E-05	4.05E-05
Decken	E0 1	1.07E+00	4.14E-03	1.62E+00	4.70E-07	5.39E-03	6.05E-04	2.49E-05	2.01E-07	5.11E-03	3.41E-03
Treppen & Balkone	E0 2	1.83E-01	1.06E-03	1.61E-01	3.80E-08	1.81E-03	4.41E-05	7.30E-06	6.84E-08	1.84E-03	2.04E-04
Dächer	E1	6.04E-01	2.13E-03	6.14E-01	2.78E-07	3.24E-03	2.95E-04	1.29E-05	8.44E-08	3.20E-03	1.60E-03

Stützen	E2	4.60E-01	3.98E-03	5.91E-01	1.42E-07	2.25E-03	1.70E-04	3.46E-05	2.25E-07	2.30E-03	8.23E-04
Aussenwände zu Untergeschossen	E3	1.26E-01	4.91E-04	1.89E-01	6.38E-08	6.53E-04	7.00E-05	2.97E-06	2.44E-08	6.21E-04	3.78E-04
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	8.99E-01	3.29E-03	8.64E-01	4.49E-07	4.43E-03	3.11E-04	8.78E-06	1.44E-06	5.17E-03	1.74E-03
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	3.32E-02	9.37E-05	4.58E-02	9.31E-09	1.70E-04	1.83E-05	4.66E-07	2.55E-09	1.82E-04	8.27E-05
Innenwände (Rohbau)	E6	3.01E-01	1.06E-03	4.59E-01	1.17E-07	1.64E-03	1.65E-04	5.90E-06	4.89E-08	1.57E-03	8.88E-04
Trennwände und Innentüren	M1	2.88E-01	2.71E-03	3.89E-01	9.09E-08	1.70E-03	1.18E-04	2.47E-05	1.55E-07	1.75E-03	5.58E-04
Schutzelemente	M2	4.81E-02	4.60E-04	5.70E-02	1.50E-08	2.40E-04	1.54E-05	4.08E-06	2.73E-08	2.50E-04	7.29E-05
Bodenbeläge	M3	5.81E-02	1.44E-04	7.81E-02	2.96E-08	3.07E-04	3.63E-05	5.45E-07	2.10E-09	2.96E-04	1.87E-04
Wandverkleidungen	M4	1.40E-01	1.15E-03	5.16E-02	1.51E-08	3.33E-04	1.84E-05	1.14E-05	3.24E-08	3.30E-04	9.48E-05
Deckenverkleidungen	M5	1.76E-01	1.18E-03	1.53E-01	7.50E-08	8.52E-04	5.18E-05	6.70E-06	3.76E-07	1.07E-03	2.89E-04
Installationen (Haustechnik)	I	1.22E+00	4.88E-03	9.06E-01	6.70E-07	1.11E-02	3.39E-04	2.49E-05	3.36E-07	1.13E-02	2.91E-03
Herstellung		5.62E+00	2.68E-02	6.20E+00	2.47E-06	3.42E-02	2.27E-03	1.70E-04	3.02E-06	3.50E-02	1.33E-02
Element(-gruppe):	EKG-Index	UBP'97 *1000	EI'95	GWP CO _{2eq}	[kg ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	D2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Decken	E0 1	1.17E-01	4.00E-04	9.01E-02	1.91E-07	7.27E-04	4.18E-05	1.52E-06	6.16E-09	7.73E-04	7.51E-04
Treppen & Balkone	E0 2	2.00E-02	5.40E-05	3.91E-02	4.66E-09	9.46E-05	9.97E-06	2.77E-07	5.54E-10	9.14E-05	3.91E-05
Dächer	E1	1.86E-01	5.05E-04	2.14E-01	1.10E-07	1.41E-03	6.43E-05	1.85E-06	2.43E-08	1.41E-03	3.72E-04
Stützen	E2	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Aussenwände zu Untergeschossen	E3	1.02E-02	2.62E-05	1.20E-02	2.99E-09	8.00E-05	3.37E-06	9.06E-08	1.23E-09	8.00E-05	1.65E-05
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	7.34E-01	2.62E-03	6.13E-01	3.79E-07	3.62E-03	2.17E-04	4.52E-06	1.40E-06	4.39E-03	1.24E-03
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	2.93E-02	7.91E-05	5.71E-02	6.85E-09	1.38E-04	1.46E-05	4.00E-07	1.53E-09	1.34E-04	5.70E-05
Innenwände (Rohbau)	E6	3.49E-02	9.01E-05	4.06E-02	1.38E-08	2.65E-04	1.32E-05	3.09E-07	3.89E-09	2.65E-04	6.80E-05
Trennwände und Innentüren	M1	6.14E-02	1.88E-04	3.64E-02	5.12E-09	2.61E-04	2.03E-05	1.02E-07	2.77E-10	2.51E-04	9.95E-05
Schutzelemente	M2	5.55E-03	5.23E-05	4.13E-03	2.52E-09	2.96E-05	1.22E-06	4.52E-07	4.49E-09	3.22E-05	7.01E-06
Bodenbeläge	M3	4.01E-03	9.83E-06	5.10E-03	9.44E-10	3.02E-05	1.62E-06	2.87E-08	3.50E-10	2.94E-05	8.14E-06
Wandverkleidungen	M4	1.98E-02	1.12E-04	2.54E-02	7.09E-09	1.13E-04	7.42E-06	8.33E-07	7.96E-09	1.14E-04	3.97E-05
Deckenverkleidungen	M5	1.71E-01	1.13E-03	1.46E-01	7.34E-08	8.24E-04	5.00E-05	6.23E-06	3.73E-07	1.04E-03	2.80E-04
Installationen (Haustechnik)	I	9.21E-02	6.64E-04	7.89E-02	3.24E-08	4.37E-04	2.97E-05	4.58E-06	1.42E-07	4.95E-04	1.72E-04
Erneuerung		1.48E+00	5.93E-03	1.36E+00	8.29E-07	8.02E-03	4.74E-04	2.12E-05	1.97E-06	9.11E-03	3.15E-03

Element(-gruppe):	EKG-Index	UBP'97 *1000	EI'95	GWP CO _{2eq}	[kg ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	D2	5.64E-02	9.14E-05	2.25E-02	2.55E-08	2.13E-04	3.48E-05	1.87E-07	4.67E-10	2.84E-04	2.02E-04
Decken	E0 1	4.14E+00	6.55E-03	1.66E+00	1.79E-06	1.49E-02	2.44E-03	1.45E-05	3.36E-08	2.00E-02	1.41E-02
Treppen & Balkone	E0 2	5.38E-02	7.33E-05	1.68E-02	1.79E-08	1.52E-04	2.49E-05	2.26E-07	3.30E-10	1.95E-04	1.44E-04
Dächer	E1	1.27E+00	2.02E-03	5.51E-01	5.33E-07	4.80E-03	7.28E-04	4.17E-06	1.09E-08	6.71E-03	4.20E-03
Stützen	E2	3.47E-01	6.10E-04	1.51E-01	1.70E-07	1.43E-03	2.34E-04	1.24E-06	3.02E-09	1.88E-03	1.35E-03
Aussenwände zu Untergeschossen	E3	4.68E-01	7.61E-04	1.84E-01	2.08E-07	1.85E-03	2.83E-04	1.53E-06	3.81E-09	2.43E-03	1.64E-03
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	E4	1.05E+00	1.87E-03	2.87E-01	3.23E-07	7.69E-03	4.39E-04	2.42E-06	6.05E-09	8.61E-03	2.54E-03
Fenster, Aussentüren und -tore	E5	4.40E-02	5.49E-05	4.34E-02	8.45E-10	5.37E-05	1.17E-05	3.46E-07	2.96E-10	4.63E-05	4.01E-05
Innenwände (Rohbau)	E6	1.05E+00	1.75E-03	3.64E-01	4.12E-07	5.35E-03	5.60E-04	3.04E-06	7.60E-09	6.55E-03	3.25E-03
Trennwände und Innentüren	M1	1.58E+00	3.95E-03	3.71E-02	4.17E-08	2.71E-02	5.36E-05	4.00E-07	9.09E-10	2.71E-02	3.11E-04
Schutzelemente	M2	1.18E-02	7.79E-04	1.32E-02	8.36E-09	5.82E-05	6.61E-06	8.27E-06	2.68E-10	6.57E-05	4.02E-05
Bodenbeläge	M3	1.89E-01	9.59E-05	2.31E-02	2.88E-08	2.05E-04	3.22E-05	2.40E-07	7.97E-10	3.16E-04	1.89E-04
Wandverkleidungen	M4	1.78E-01	1.68E-03	2.30E-02	1.53E-08	2.37E-03	1.05E-05	1.44E-05	5.68E-10	2.39E-03	6.50E-05
Deckenverkleidungen	M5	2.27E-01	5.45E-04	4.65E-02	1.15E-08	3.53E-03	2.25E-05	1.80E-07	3.68E-10	3.54E-03	1.02E-04
Installationen (Haustechnik)	I	9.51E-01	1.75E-03	5.23E-01	4.13E-07	3.49E-03	5.75E-04	5.55E-06	8.20E-09	4.63E-03	3.30E-03
Entsorgung		1.16E+01	2.26E-02	3.95E+00	4.00E-06	7.32E-02	5.46E-03	5.66E-05	7.71E-08	8.48E-02	3.15E-02
		UBP'97 *1000	EI'95	GWP CO _{2eq}	[kg ODP [kg R11 _{eq}]	AP [kgSO _{2eq}]	NP [kg PO _{4eq}]	Schwermetalle [kg Pb _{eq}]	Karzinogene [kg PAH _{eq}]	Wintersmog [kg SO _{2eq}]	Sommersmog [kg ethylen _{eq}]
Nutzung		1.50E+01	2.34E-02	1.74E+01	8.23E-06	4.31E-02	2.73E-03	8.91E-05	2.31E-06	4.29E-02	1.70E-02

Bürogebäude Stahlrain							
Umweltwirkungen m ⁻² a ⁻¹ gegliedert nach Phasen:							
Gebäudelebensphase:	PEB _{nerm} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Herstellung + Erneuerung	8.60E+01	7.93E+00	9.39E+01	3.96E+00	1.31E+03	2.06E-02	5.19E+02
Herstellung	6.98E+01	6.72E+00	7.65E+01	3.16E+00	1.14E+03	1.71E-02	4.47E+02
Erneuerung	1.62E+01	1.21E+00	1.74E+01	8.01E-01	1.71E+02	3.54E-03	7.21E+01

Nutzung	4.70E+02	5.97E+01	5.30E+02	3.15E+00	1.29E+03	1.96E-02	5.20E+02
Entsorgung	5.32E+01	4.17E-01	5.36E+01	4.86E-01	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02
Gesamt	6.09E+02	6.81E+01	6.78E+02	7.60E+00	2.75E+03	1.47E+02	1.19E+03
Nutzung UCPT	5.60E+02		6.19E+02				
Gesamt UCPT	7.29E+02		8.04E+02				
Umweltwirkungen m⁻²_(EBF) a⁻¹ der Elemente:							
Element(-gruppe):	PEB _{ner} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	1.63E-01	2.37E-02		3.52E-03	2.17E+00	2.85E-05	8.34E-01
Decken	1.74E+01	1.88E+00		4.07E-01	2.21E+02	3.61E-03	8.99E+01
Treppen & Balkone	3.14E+00	1.02E-01		1.31E-01	6.00E+01	5.20E-04	2.27E+01
Dächer	1.34E+01	1.27E+00		3.06E-01	1.13E+02	2.26E-03	4.60E+01
Stützen	9.33E+00	3.96E-01		4.61E-01	2.35E+02	1.77E-03	8.68E+01
Außenwände zu Untergeschossen	2.17E+00	2.53E-01		3.89E-02	2.34E+01	3.01E-04	9.13E+00
Außenwände zu Erd- und Obergeschossen	2.17E+00	2.53E-01		3.89E-02	2.34E+01	3.01E-04	9.13E+00
Fenster, Aussentüren und -tore	1.72E+00	5.87E-01		1.68E-02	1.23E+01	9.04E-05	4.70E+00
Innenwände (Rohbau)	5.21E+00	5.93E-01		8.51E-02	5.07E+01	6.93E-04	1.99E+01
Trennwände und Innentüren	6.78E+00	5.05E-01		3.37E-01	1.71E+02	1.23E-03	6.32E+01
Schutzelemente	1.07E+00	3.56E-02		8.47E-02	2.69E+01	2.70E-04	1.01E+01
Bodenbeläge	7.91E-01	1.84E-01		1.15E-02	7.64E+00	1.16E-04	3.06E+00
Wandverkleidungen	1.08E+00	5.05E-02		3.21E-01	1.77E+01	1.96E-03	8.03E+00
Deckenverkleidungen	5.24E+00	1.03E+00		7.70E-01	9.01E+01	2.08E-03	3.71E+01
Installationen (Haustechnik)	1.64E+01	7.65E-01		9.47E-01	2.57E+02	5.39E-03	1.08E+02
Herstellung + Erneuerung	8.60E+01	7.93E+00		3.96E+00	1.31E+03	2.06E-02	5.19E+02
Element(-gruppe):	PEB _{ner} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	1.63E-01	2.37E-02		3.52E-03	2.17E+00	2.85E-05	8.34E-01
Decken	1.45E+01	1.81E+00		3.26E-01	1.88E+02	2.68E-03	7.38E+01

Treppen & Balkone	2.58E+00	9.56E-02		1.26E-01	5.60E+01	4.91E-04	2.12E+01
Dächer	8.86E+00	1.14E+00		2.52E-01	8.39E+01	1.83E-03	3.40E+01
Stützen	9.33E+00	3.96E-01		4.61E-01	2.35E+02	1.77E-03	8.68E+01
Aussenwände zu Untergeschossen	1.94E+00	2.46E-01		3.64E-02	2.19E+01	2.81E-04	8.55E+00
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	1.17E+00	1.33E-01		1.99E-02	1.32E+01	1.61E-04	5.07E+00
Fenster, Aussentüren und -tore	8.98E-01	5.77E-01		9.44E-03	6.47E+00	4.84E-05	2.46E+00
Innenwände (Rohbau)	4.45E+00	5.65E-01		7.67E-02	4.59E+01	6.28E-04	1.80E+01
Trennwände und Innentüren	5.73E+00	3.72E-01		3.24E-01	1.64E+02	1.14E-03	6.01E+01
Schutzelemente	9.95E-01	3.06E-02		6.68E-02	2.59E+01	2.24E-04	9.63E+00
Bodenbeläge	6.90E-01	1.78E-01		1.07E-02	7.16E+00	1.09E-04	2.87E+00
Wandverkleidungen	7.54E-01	3.43E-02		2.89E-01	1.52E+01	1.87E-03	6.94E+00
Deckenverkleidungen	2.68E+00	5.16E-01		3.88E-01	4.67E+01	1.05E-03	1.92E+01
Installationen (Haustechnik)	1.50E+01	6.00E-01		7.69E-01	2.30E+02	4.77E-03	9.72E+01
Herstellung	6.98E+01	6.72E+00		3.16E+00	1.14E+03	1.71E-02	4.47E+02
Element(-gruppe):	PEB _{nerm} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Decken	2.88E+00	6.73E-02		8.13E-02	3.34E+01	9.35E-04	1.61E+01
Treppen & Balkone	5.62E-01	6.66E-03		4.77E-03	4.01E+00	2.87E-05	1.52E+00
Dächer	4.52E+00	1.31E-01		5.43E-02	2.93E+01	4.25E-04	1.20E+01
Stützen	0.00E+00	0.00E+00		0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Aussenwände zu Untergeschossen	2.28E-01	7.01E-03		2.55E-03	1.46E+00	1.98E-05	5.75E-01
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	9.97E-01	1.20E-01		1.90E-02	1.02E+01	1.40E-04	4.05E+00
Fenster, Aussentüren und -tore	8.20E-01	1.02E-02		7.36E-03	5.87E+00	4.21E-05	2.23E+00
Innenwände (Rohbau)	7.60E-01	2.78E-02		8.43E-03	4.77E+00	6.55E-05	1.91E+00
Trennwände und Innentüren	1.05E+00	1.33E-01		1.30E-02	7.13E+00	9.10E-05	3.15E+00
Schutzelemente	7.52E-02	5.06E-03		1.78E-02	1.05E+00	4.57E-05	4.72E-01
Bodenbeläge	1.01E-01	6.27E-03		8.19E-04	4.75E-01	6.91E-06	1.88E-01
Wandverkleidungen	3.23E-01	1.62E-02		3.19E-02	2.49E+00	9.06E-05	1.09E+00
Deckenverkleidungen	2.56E+00	5.12E-01		3.82E-01	4.35E+01	1.03E-03	1.80E+01
Installationen (Haustechnik)	1.35E+00	1.64E-01		1.78E-01	2.70E+01	6.16E-04	1.08E+01

Erneuerung	1.62E+01	1.21E+00		8.01E-01	1.71E+02	3.54E-03	7.21E+01
Element(-gruppe):	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Fundamente & Bodenplatten	3.48E-01	2.55E-03		2.94E-03	9.39E-01	9.39E-01	9.39E-01
Decken	2.45E+01	1.84E-01		2.12E-01	6.73E+01	6.73E+01	6.73E+01
Treppen & Balkone	2.44E-01	1.49E-03		2.12E-03	6.64E-01	6.64E-01	6.64E-01
Dächer	7.35E+00	7.25E-02		6.66E-02	2.01E+01	2.01E+01	2.01E+01
Stützen	2.32E+00	1.52E-02		1.93E-02	6.23E+00	6.23E+00	6.23E+00
Aussenwände zu Untergeschossen	2.84E+00	2.08E-02		2.40E-02	7.65E+00	7.65E+00	7.65E+00
Aussenwände zu Erd- und Obergeschossen	2.84E+00	2.08E-02		2.40E-02	7.65E+00	7.65E+00	7.65E+00
Fenster, Aussentüren und -tore	1.54E-02	2.23E-04		1.68E-03	6.60E-02	6.60E-02	6.60E-02
Innenwände (Rohbau)	5.63E+00	4.18E-02		4.83E-02	1.52E+01	1.52E+01	1.52E+01
Trennwände und Innentüren	5.74E-01	5.23E-03		1.41E-02	1.64E+00	1.64E+00	1.64E+00
Schutzelemente	1.10E-01	1.11E-03		2.36E-03	7.71E-01	7.71E-01	7.71E-01
Bodenbeläge	4.09E-01	6.74E-03		4.20E-03	1.17E+00	1.17E+00	1.17E+00
Wandverkleidungen	2.08E-01	3.22E-03		5.24E-03	1.41E+00	1.41E+00	1.41E+00
Deckenverkleidungen	1.60E-01	1.21E-03		3.32E-03	4.76E-01	4.76E-01	4.76E-01
Installationen (Haustechnik)	5.64E+00	4.04E-02		5.59E-02	1.60E+01	1.60E+01	1.60E+01
Entsorgung	5.32E+01	4.17E-01		4.86E-01	1.47E+02	1.47E+02	1.47E+02
	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{ern} [MJ]	PEB _{tot} [MJ]	Humantoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Aquat. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Terr. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]	Sed. Ökotoxizität [kg 1,4-DCB _{eq}]
Nutzung	4.70E+02	5.97E+01		3.15E+00	1.29E+03	1.96E-02	5.20E+02