

# Ökologische und ökonomische Untersuchung und Bewertung der Wohngebäude München-Friedens- promenade und Messestadt Riem

D. Kellenberger, K. Richter, H.-J. Althaus | EMPA Dübendorf,  
Abteilung Holz und Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit, Gruppe Ökologie





# Inhalt

| Inhalt |  |    |          |  |    |
|--------|--|----|----------|--|----|
| 1      | Abkürzungsverzeichnis  | 4  | 9        | Resultate  | 26 |
| 2      | Begriffsverzeichnis  | 4  | 9.1      | Überblick  | 26 |
| 3      | Zusammenfassung  | 5  | 9.2      | Beziehungen zwischen den Resultaten                            | 26 |
| 4      | Einleitung   | 6  | 9.3      | Ökologie   | 26 |
| 4.1    | Hintergrund / Auftrag  | 6  | 9.3.1    | Betrieb der Gebäude  | 26 |
| 4.2    | Definition der Energiestandards                              | 6  | 9.3.2    | Bauteile der Gebäudehülle                                      | 28 |
| 4.3    | Kurzbeschreibung Gebäude 1 bis 5 an der Friedenspromenade    | 6  | 9.3.3    | Gesamtbetrachtung der Bauteile der Gebäudehülle und Betrieb    | 32 |
| 4.4    | Kurzbeschreibung Holzhaus „Messestadt Riem“                  | 7  | 9.3.4    | Bauteilvergleich anhand verschiedener Aussenwandkonstruktionen | 35 |
| 4.5    | Kurzbeschreibung Referenzgebäude „Friedenspromenade“         | 7  | 9.4      | Ökonomie   | 41 |
| 4.6    | Kurzbeschreibung Referenzgebäude „Messestadt Riem“           | 7  | 9.4.1    | Allgemeines  | 41 |
| 5      | Methodik und Vorgehen  | 8  | 9.4.2    | Betrieb der Gebäude  | 42 |
| 5.1    | Einleitung   | 8  | 9.4.3    | Bauteile der Gebäudehülle                                      | 42 |
| 5.2    | Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz                           | 8  | 9.4.4    | Gesamtbetrachtung der Bauteile der Gebäudehülle und Betrieb    | 42 |
| 5.2.1  | Beschreibung   | 8  | 9.4.5    | Bauteilvergleich anhand verschiedener Aussenwandkonstruktionen | 44 |
| 5.2.2  | Aufbau einer Ökobilanz                                       | 8  | 9.5      | Entsorgung   | 45 |
| 5.2.3  | Nutzen einer Ökobilanz                                       | 9  | 9.6      | Einfluss Lebensdauer   | 46 |
| 5.3    | Zieldefinition   | 9  | 9.7      | Zusammenfassung der Resultate                                  | 48 |
| 5.4    | Systemgrenzen und Randbedingungen                            | 9  | 9.7.1    | Ökologie   | 48 |
| 5.5    | Sachbilanz   | 10 | 9.7.2    | Ökonomie   | 49 |
| 5.6    | Wirkungsabschätzung  | 15 | 9.7.3    | Entsorgung   | 49 |
| 5.7    | Vorgehen   | 16 | 9.7.4    | Einfluss Lebensdauer   | 49 |
| 6      | Materialien und Zuordnung                                    | 18 | 10       | Unsicherheit   | 50 |
| 7      | Weitere Grundlagen   | 20 | 11       | Ausblick   | 50 |
| 7.1    | Lebensdauer und Verschnittanteil der Baumaterialien/Bauteile | 20 | 12       | Schlussbemerkungen   | 51 |
| 7.2    | Fenster (Anteil Glas, Randverbund und Rahmen)                | 20 | 13       | Literaturverzeichnis   | 51 |
| 7.3    | Entsorgung und Transporte                                    | 23 | Anhang 1 |  | 52 |
| 7.3.1  | Entsorgung   | 23 | Anhang 2 |  | 56 |
| 7.3.2  | Transporte   | 23 | Anhang 3 |  | 60 |
| 7.4    | Heizungssystem inkl. Anschaffungs- und Betriebskosten        | 23 | Anhang 4 |  | 64 |
| 7.5    | Warmwasser   | 24 | Anhang 5 |  | 68 |
| 8      | Strombedarf der Wärmerückgewinnung                           | 25 |          |  |    |

# 1 Abkürzungsverzeichnis

|         |  |
|---------|--|
| a       | Jahr   |
| CHF     | Schweizer Franken  |
| DIN     | Deutsche Industrienorm   |
| EDIP    | Environmental Database of Building Products (Brunner et al. (2001))    |
| EG      | Erdgeschoss  |
| EPS     | Expandiertes Polystyrol  |
| GJ      | Gigajoule  |
| GmbH    | Gesellschaft mit beschränkter Haftung                                  |
| ISO     | International Organization for Standardization                         |
| KVA     | Kehrichtverbrennungsanlage (Müllverbrennungsanlage)                    |
| K       | Kelvin   |
| Kg      | Kilogramm  |
| KPunkte | Kilopunkte   |
| KT/115  | Tina Künniger, Abteilung 115, EMPA Dübendorf                           |
| kW      | Kilowatt   |
| kWh     | Kilowattstunde   |
| MJ      | Megajoule  |
| MW      | Megawatt   |
| OG      | Obergeschoss   |
| PC-CH   | Portlandzement Schweiz   |
| PE      | Polyethylen  |
| PUR     | Polyurethan  |
| PVC     | Polyvinylchlorid   |
| SWM     | Stadtwerke München   |
| UBP     | Umweltbelastungspunkte   |
| WSVO 95 | Wärmeschutzverordnung aus dem Jahre 1995                               |
| WSN     | Wärmeschutznachweis  |
| 2-WS N  | 2-fach Wärmeschutzverglasung 4/16/4, Scheibenzwischenraum luftgefüllt  |
| 2-WS S  | 2-fach Wärmeschutzverglasung 4/16/4, Scheibenzwischenraum argongefüllt |

# 2 Begriffsverzeichnis

**LowNOx>100kW** | Diese Bezeichnung wird für den Kessel-Typ einer Öl- oder Gasfeuerung verwendet. Der Kessel besitzt eine spezielle Rezirkulations-Brennkammer mit hochwirksamen, nachgeschalteten Lamellenheizflächen. Der Schadstoffausstoß von Kohlenmonoxid, Stickoxiden (NOx) und Ruß kann dadurch reduziert werden. Die Anlagenleistung ist grösser als 100kW.

**Strom, Niederspannung ab Netz, DE** | Dieser Strommix beschreibt den durchschnittlichen Niederspannungsstrom, welcher in deutschen Haushaltungen bezogen wird. Er setzt sich zusammen aus dem deutschen Konsummix und den Verteilverlusten. Der deutsche Konsummix setzt sich zusammen aus den Stromimporten nach und den verschiedenen Stromproduktionsarten innerhalb Deutschland.

**Bauteile der Gebäudehülle** | Aussenbauteile oder wärmeübertragende Umfassungsflächen oder heizwärmebedarfsrelevante Bauteile. Beispielsweise Aussenwand Nord, Eingangstüre Treppenhaus, Fenster Ost, Decke über 3. Obergeschoss, etc.

**Bauteilgruppen** | Zusammenfassung aller Bauteile in die Kategorien „Wände“, „Abseitenwände“, „Fenster“, „Dächer/Decken“, „Decken Luft von unten“ und „Bauteile der Grundfläche“

**Bezeichnung „Wände“ in WSN** | Aussenwände oder Aussenwandkonstruktionen

**Bezeichnung „Abseitenwände“ in WSN** | Abgrenzende Flächen zu Gebäudeteilen mit niedriger Innentemperatur

**Bezeichnung „Fenster“ in WSN** | Fenster, Fenstertüren und Aussentüren

**Bezeichnung „Dächer/Decken“ in WSN** | Dach- und Dachdeckenflächen

**Bezeichnung „Decken, Luft von unten“ in WSN** | Decken nach unten gegen Aussenluft

**Bezeichnung „Bauteile der Grundfläche“ in WSN** | Unterer Gebäudeabschluss einschliesslich erdberührter Flächen

**Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung** | Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung =  $0,32 \times V$ , in m<sup>2</sup>, wobei V beheizte Bauwerksvolumen in m<sup>3</sup> bedeutet und die lichte Raumhöhe  $\geq 2.6\text{m}$  sein muss.

**Effektiver U-Wert** | Scheinbarer U-Wert unter Berücksichtigung von Transmissionsverlusten und solaren Gewinnen.

**Nettotransmissionsverluste** | Differenz der Transmissionsverluste und der solaren Gewinne durch ein Bauteil

**Backstein (schweiz. Bezeichnung)** | Mauerziegel

**1 kWh** | = 3.6 MJ

# Zusammenfassung

Im Auftrag der GEWOFAG (Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG) hat die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt in Dübendorf, Schweiz) einen ökologischen und ökonomischen Vergleich der Bauteile der Gebäudehülle (Aussenhülle) von folgenden Mehrfamilienbauten in München vorgenommen: fünf primär aus mineralischen Materialien erstellte Gebäude in Niedrigenergiebauweise, einem mehrheitlich aus Holz erstellten Gebäude in Niedrigstenergiebauweise, und zwei aus mineralischen Materialien in konventioneller Bauweise erstellten Häusern. Dabei wurden im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse die Umweltindikatoren Primärenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-Emission, und Umweltbelastungspunkte (UBP) nach der „Methode der ökologischen Knappheit“ untersucht. Als ökonomischer Indikator dienten die Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile der Gebäudehülle sowie die Betriebskosten. Die Entsorgung der Baustoffe der Gebäude nach Ablauf einer angenommenen Lebensdauer von 50 Jahren ist einerseits in die Umweltindikatoren eingeflossen, andererseits wurde die Entsorgungsart (Bauabfall in Inertstoffdeponie oder in Müllverbrennung) dargestellt und diskutiert. Die Baumaterialien und deren Eigenschaften wurden mehrheitlich aus den Wärmeschutznachweisen der entsprechenden Gebäude entnommen.

Die Frage, ob sich der bauliche Mehraufwand zur Erreichung eines besseren Wärmeschutzes durch die Einsparungen im Heizwärmebedarf rechtfertigen lässt, kann auch unter den Randbedingungen einer Lebenszyklusbetrachtung nur situativ beantwortet werden. Dies bedeutet für die untersuchten Bauteile, dass kein linearer Zusammenhang zwischen den Auswirkungen aus den materiellen Aufwendungen und den Auswirkungen aus dem Betrieb der Gebäude feststellbar war.

Von den betrachteten Aussenwänden sind bezüglich Primärenergiebedarf zwei Konstruktionen zu favorisieren. Die Tragkonstruktion mit Wärmedämmfunktion (Porenbeton) erhält sein gutes Gesamtergebnis über 50 Jahre, mehrheitlich aufgrund des tiefen Primärenergiebedarfs aus der Erstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile. Eine der untersuchten Wandkonstruktionen, bestehend aus einer Tragkonstruktion (17.5 cm Ziegel) und einer separaten Dämmschicht (18 cm Mineralwolle), verursacht aufgrund eines tiefen U-Wertes den geringsten Primärenergiebedarf während der Betriebsphase von 50 Jahren.

Die Bewertung verschiedener Aussenwandkonstruktionen (ohne Betrieb) nach CO<sub>2</sub>-Emissionen, Umweltbelastungspunkte und Kosten (einmalige Investitionskosten) gibt der Holzständerkonstruktion mit Zellulosefaserdämmung im Vergleich zu den anderen Konstruktionen den Vorrang.

Der Einfluss einer Verkürzung der Lebensdauer der Dämmschicht einer Aussenwandkonstruktion von 25 auf 20 Jahre, führt je nach Indikator zu einer 20%igen Erhöhung der gesamten Umweltauswirkungen (beinhaltet Erstellung, Ersatz und Entsorgung des Bauteils und die Auswirkungen aus dem Betrieb über 50 Jahre). Damit zeigt sich, dass durch einen handwerklich einwandfreien Einbau der Bauteile und durch die Wahl von langlebigen Konstruktionen die Umweltauswirkungen und Kosten erheblich reduziert werden können.

Eine vorsichtige, alle Indikatoren umfassende Beurteilung, unter Berücksichtigung der gewählten Systemgrenzen, stellt die Holzständerkonstruktion den anderen Aussenwänden voran. Dabei ist zu beachten, dass in dieser Studie die Kosten für die Erstellung, sowie die Nutzungsdauern der Bauteile bei optimalem Einbau und Unterhalt berücksichtigt wurden. Die Aufwendungen im Bereich Haustechnik, Brandschutz und Schallschutz sind, sofern sie nicht heizwärmebedarfsrelevant sind, bei keinem der Gebäude in die Betrachtung eingeflossen.

# 4 Einleitung

## 4.1 Hintergrund / Auftrag

Die GEWOFAG errichtet im Rahmen des experimentellen Wohnungsbaus fünf Wohngebäude mit öffentlich geförderten Wohnungen an der Felicitas-Füss-Strasse im Neubaugebiet an der Friedenspromenade und ein Wohngebäude im Messegelände München-Riem. Fördermittelgeber sind Bund, Freistaat Bayern und Landeshauptstadt München.

Ziel des Wohnungsbauprojektes ist es, kostengünstig Wohngebäude zu erstellen, die auf unterschiedliche Weise den Standards der Niedrigenergiebauweise entsprechen. Alle Gebäude an der Friedenspromenade haben gleiche Abmessungen und sind der Himmelsrichtung nach gleich orientiert, unterscheiden sich jedoch hinsichtlich Materialisierung und gewissen Ausstattungsmerkmalen. Die Häuser an der Friedenspromenade und das Holzhaus „Messestadt Riem“ waren im Jahre 2002 bezugsfertig.

Die EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt) in Dübendorf (CH) hat von der GEWOFAG den Auftrag erhalten, für das Bauvorhaben Friedenspromenade eine gebäudebasierte ökologische Kosten- / Nutzenbilanz zu erstellen. Fünf Gebäude, erstellt aus unterschiedlichen Materialien (Friedenspromenade), sollen einem Holzhaus (München-Riem) und zwei Referenzgebäuden (Friedenspromenade und Messestadt Riem) gegenübergestellt werden. Die Beurteilung umfasst:

- Ökobilanzierung der Bauteile der Gebäudehülle
- Verteilung der Heizaufwendungen auf die Bauteile der Gebäudehülle
- Vergleich der typischen Aussenwände
- Systembewertung in Bezug auf den Primärenergiebedarf, die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die anfallende Abfallmenge und die Investitions-, Betriebs- und Entsorgungskosten

Die Studie soll insbesondere die Frage untersuchen, ob sich der bauliche Mehraufwand zur Erreichung eines besseren Wärmeschutzes durch die Einsparungen im Heizwärmebedarf unter den Randbedingungen einer Lebenszyklusbetrachtung rechtfertigen lässt. Damit beschränkt sich die Untersuchung auf die Bauteile der Gebäudehülle. Die anderen Bauteile (Bsp. Innenwände, Installationen, etc.) haben keinen Einfluss auf den Wärmeverlust, welcher in der Betriebsphase durch Heizenergie gedeckt werden muss.

## 4.2 Definition der Energiestandards

Ein nach der Mindestanforderung der Wärmeschutzverordnung von 1995 gebautes Haus benötigt je nach Oberflächen-Volumen-Verhältnis und je nach Lüftungsverhalten im Durchschnitt zwischen 80 und 130 kWh (290 – 470 MJ) Endenergie je m<sup>2</sup> Wohnfläche und Jahr.<sup>1)</sup>

Die Begriffe Niedrigenergie- und Niedrigstenergiehaus sind weder rechtlich geschützt noch klar definiert<sup>2)</sup>. Die entsprechenden Definitionen sind somit nur Richtwerte.

Als Niedrigenergiehäuser werden üblicherweise die Gebäude bezeichnet, deren Heizwärmebedarf 25% unter den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung von 1995 liegt. Dies entspricht etwa den Anforderungen der Energieeinsparverordnung 2000.<sup>3)</sup>

Minimalenergiehäuser (oder Niedrigstenergiehäuser) haben einen Heizwärmebedarf, der unter 50 kWh (180 MJ) pro m<sup>2</sup> und Jahr liegt.<sup>3)</sup>

Bei Passivhäusern liegt der Heizwärmebedarf unter 15 kWh (54 MJ) pro m<sup>2</sup> und Jahr.<sup>3)</sup>

## 4.3 Kurzbeschreibung fünf Gebäude an der Friedenspromenade

Das Baugrundstück an der Felicitas-Füss-Strasse liegt in 81827 München und ist erreichbar über die Friedenspromenade. Der Neubau der Wohnanlage besteht insgesamt aus 5 gleich grossen Häusern und einer Tiefgarage. Die Häuser haben die Abmessung ca. 28.00 \* 14.00 m und bestehen aus KG, EG – 4 OG. Das 4. OG ist jeweils als zurückgesetztes Terrassengeschoss geplant. Die Tiefgarage liegt zwischen den Häusern 1 und 2 „Felicitas-Füss-Strasse 7 und 9“. Die Tiefgaragenrampe liegt in der nordwestlichen Ecke des Grundstücks mit Zufahrtsmöglichkeit von der Felicitas-Füss-Strasse.

1) [http://www.energynet.de/Bauen\\_-\\_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH](http://www.energynet.de/Bauen_-_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH), Zugriff Jan. 2004

2) [http://www.energynet.de/Bauen\\_-\\_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH](http://www.energynet.de/Bauen_-_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH), Zugriff Jan. 2004

3) [http://www.energynet.de/Bauen\\_-\\_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH](http://www.energynet.de/Bauen_-_Heizung-Warme/Energiesparhaus/energiesparhaus.html#NEH), Zugriff Jan. 2004

#### **4.4 Kurzbeschreibung Holzhaus „Messestadt Riem“**

Das im „München Modell“ (sozial gebundenes Eigenheim) geförderte, dreigeschossige Mehrfamilienhaus in Holzbauweise in Niedrigstenergiestandard beinhaltet neun Wohneinheiten, davon sechs Maisonetten mit Laubengängerschliessung. Das Gebäude liegt in der Messestadt Riem an der Georg Kerschensteiner-Strasse 12 in München. Die Wohnfläche der Familienwohnungen beträgt zusammen 940m<sup>2</sup>. Die Grundrisse sind variabel, jede Wohnung verfügt über einen eigenen Gartenanteil. Die modular vorgefertigte Holzskelett-Tafelbauweise (System Kaufmann) steht auf einem Massivkeller.

#### **4.5 Kurzbeschreibung Referenzgebäude „Friedenspromenade“**

Im Bereich der Gartenstadt Trudering entsteht östlich der Friedenspromenade zwischen Ottilien- und Markgrafenstrasse ein neues Wohngebiet. Das Baugrundstück ist von der Friedenspromenade aus über einen neuen verkehrsberuhigten Strassenstich (mit Wendehammer) zu erreichen. In einer Gebäudereihe von sechs 5-geschossigen Wohnungsbauten entstehen 132 Wohnungen als Teil einer Wohnanlage. Zwischen den einzelnen Häusern liegt eine eingeschossige Gemeinschaftstiefgarage. Im Rahmen dieses Projektes wurde ein in der Grösse vergleichbares Haus untersucht mit Abmessung ca. 28.00 \* 14.00m.

#### **4.6 Kurzbeschreibung Referenzgebäude „Messestadt Riem“**

Die Wohnanlage liegt in der Messestadt Riem und ist in Grösse, Lage und Ausrichtung vergleichbar mit den Gebäuden 1 bis 5 an der Friedenspromenade. Die Anlage besteht aus 124 Wohneinheiten. Alle Wohnungen werden über Laubengänge erschlossen. Das Pultdach ist extensiv begrünt. Das untersuchte Haus besitzt die Abmessung ca. 42.00 \* 11.30m.

# 5 Methodik und Vorgehen

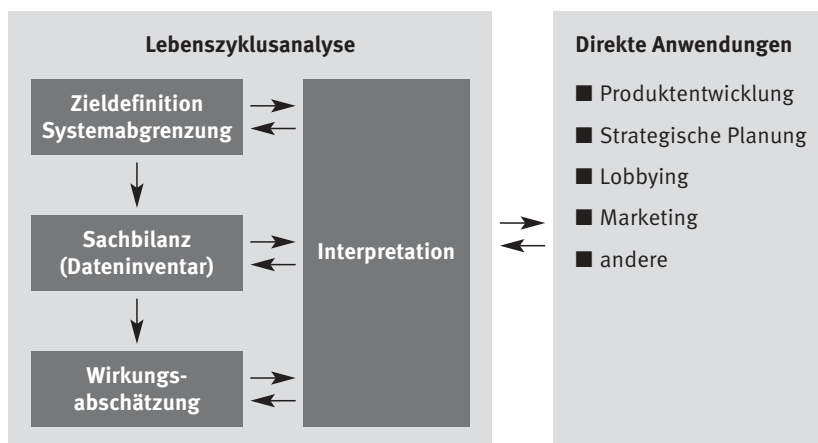
## 5.1 Einleitung

Diese Studie lehnt sich an die Methode der Lebenszyklusanalyse (LCA) nach ISO 14040ff (Vergl. Kapitel 5.2). Zieldefinition und Systemabgrenzung erfolgen in Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber. Für ausgewählte, mit der Zieldefinition in Zusammenhang stehende Gebäudeteile und Gebäudefunktionen werden Sachbilanzen (Dateninventare) erstellt, die anhand dreier ökologischer Indikatoren sowie der Kosten bei Bau, Betrieb und Entsorgung und der Abfallmassen bewertet werden.

werden Produkte mit demselben Zweck oder derselben Funktion hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Umwelt verglichen.

Die von Produkten ausgehenden Auswirkungen auf die Umwelt lassen sich aber nur dann vollständig beschreiben, wenn der gesamte Lebenszyklus des Produktes betrachtet wird: Von der Herstellung über die Nutzungsphase bis zur Verwertung am Ende der Nutzungsdauer. Einbezogen werden dabei auch alle Transporte. Bei der Entsorgung wird der Gesichtspunkt des Recyclings der Wertstoffe ebenso berücksichtigt wie die möglichen Umweltbelastungen durch Deponierung oder Verbrennung.

Abb. 1 | Lebenszyklusanalyse in vier Teilschritten nach ISO 14040



## 5.2.2 Aufbau einer Ökobilanz

Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Vorgehens sind wichtige Qualitätskriterien einer Ökobilanz.

In der Ziel- und Rahmenfestlegung wird daher – unter Einbeziehung aller betroffenen Kreise – entschieden, welche Produkte unter welchen Rahmenbedingungen bilanziert und miteinander verglichen werden.

In der Sachbilanz werden verschiedene Arten der Umweltbelastungen, die während des Lebens-

## 5.2 Lebenszyklusanalyse oder Ökobilanz

### 5.2.1 Beschreibung

Vereinfacht ausgedrückt ist eine Ökobilanz das „Umweltprotokoll“ eines Produktes; denn sie beschreibt die Auswirkungen auf die Umwelt, die im Zusammenhang mit dem Produkt entstehen. Man kann Ökobilanzen für einzelne Wirtschaftsgüter oder – was der Regelfall ist – als vergleichende Ökobilanzen erstellen. Das heisst, es

wegs eines Produktes anfallen -wie Rohstoffentnahmen, Schadstoffausstoß – quantifiziert und über den Lebensweg des Produktes zusammengefasst.

In der Wirkungsabschätzung als drittem Schritt einer Ökobilanz wird die Vielfalt an Einzelergebnissen aus der Sachbilanz einer überschaubaren Anzahl von Umweltwirkungskategorien (z.B. Treibhauseffekt, Versauerung, Verbrauch von Rohstoff- und Energievorräten, Emissionen, Umweltbelastungspunkten, etc.) zugeordnet und hinsichtlich ihrer Umweltwirkung quantifiziert.



### 5.2.3 Nutzen einer Ökobilanz

Ziel von Ökobilanzen ist es, trotz aller Komplexität der zu erhebenden Energie- und Stoffflüsse möglichst objektive Massstäbe zu erarbeiten, die es erlauben, alternative Materialien in funktionsgleichen Anwendungen zu bilanzieren und zu vergleichen. Ökobilanzen haben dabei gleich mehrere Funktionen:

- Sie können im Zuge der Produktverantwortung zur Entwicklung von Produkten mit besserer Umweltverträglichkeit genutzt werden.
- Sie können Entscheidungsprozesse unterstützen.
- Sie können zur Aufdeckung von Schwachstellen führen und helfen, Rohstoffe zu sparen, die Produktion zu modernisieren und die Herstellungskosten zu senken.
- Sie können auch das Marketing von Unternehmen beeinflussen, indem beispielsweise Unternehmen durch eine Ökobilanz die Umweltverträglichkeit ihrer Produkte bewerten und mit den Ergebnissen werben.

### 5.3 Zieldefinition

Das übergeordnete Ziel dieser Studie ist es, in Bezug auf die investierten Materialien und die Betriebsphasen einen ökologischen und ökonomischen Vergleich der wärmeübertragenden Umfassungsflächen von acht Häusern zu machen.

Die Unterschiede in den ökologischen und ökonomischen Auswirkungen aus der Herstellung der wärmeübertragenden Umfassungsflächen der acht Häuser sowie aus dem Betrieb der Häuser sollen diskutiert werden. Es wird eine Aussage zu den für die Unterschiede verantwortlichen Bauteilgruppen erwartet.

Konkrete Empfehlungen zur „besten“ Bauteilkonstruktion innerhalb der einflussreichsten Bauteilgruppe in Funktion der zu untersuchenden Indikatoren sollen erarbeitet werden.

Anhand der untersuchten verschiedenen Bauteilkonstruktionen innerhalb einer Bauteilgruppe soll eine Aussage gemacht werden, wie sich ökologische und ökonomische Einsparungen bei den Materialien auf die Betriebsphase auswirken.

Zudem soll vom ökologischen Standpunkt aus ein Zusammenhang zwischen den Wärmegewinnen aus einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung und den entsprechenden dazu notwendigen Aufwendungen (elektrische Energie) anhand des Holzhauses „Messestadt Riem“ erarbeitet werden.

### 5.4 Systemgrenzen und Randbedingungen

Die Bauteile der Aussenhülle von acht Häusern in München werden bewertet und verglichen. Die für die Dateninventare nötigen Bauteile und -materialien werden aus den Wärmeschutznachweisen entnommen.

Um vergleichende Aussagen zu machen ist es notwendig, sachlich korrekte Vergleichseinheiten zu definieren. Die so genannten funktionellen Einheiten für den vorliegenden Gebäudevergleich sind:

- Bauteilfläche ( $m^2$ ) als Grundlage für den Vergleich zwischen den Bauteilen in der gleichen Bauteilgruppe und
- Gebäudenutzfläche ( $m^2$ ) nach WSV 95 als Grundlage für den Vergleich der Gebäude untereinander.

Das System „Gebäude“ wird für die Sach- und Wirkbilanz durch folgende Punkte eindeutig beschrieben (Systemabgrenzung):

Die untersuchten Baustoffe, die Betriebsphase und der Rückbau der Gebäude beinhalten die in Abb. 2 dargestellten Vorketten mit den entsprechenden Produkten und Prozessen.

Die Lebensdauer der Gebäude wurde mit 50 Jahre angenommen, was bei ökologischen Betrachtungen in Europa üblich ist.

Die berücksichtigten Material- und Energieflüsse begrenzen sich auf die wärmeschutzrelevante Aussenhülle, da nur diese Konstruktionen eine Verknüpfung der Auswirkungen aus den Materialien mit den Auswirkungen aus dem Betrieb zulassen.

Die Transporte der Materialien vom Fabrikator zur Baustelle und, nach „Lebensende“, vom Gebäude zur Entsorgungsstelle werden im Vergleich mitberücksichtigt.

Der Heizbetrieb der einzelnen Gebäude fliesst aufgrund des gerechneten Jahresheizwärmebedarfes und der Lebensdauer der Gebäude in den Vergleich ein.

Im Vergleich nicht berücksichtigt sind allfällige Innenraumemissionen.

Die Bauten unterscheiden sich deshalb grundsätzlich nur in der Wahl der Baustoffe. Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ hat zudem eine etwa 10% kleinere Nutzfläche als die Häuser 1, 2, 4, 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 13 und 15“ der Friedenspromenade.

Der errechnete Jahresheizwärmebedarf des Holzhauses liegt etwa 70% unter dem in der WSV0 95 geforderten Wert. Es ist damit sicher als Niedrigenergiehaus einzu-

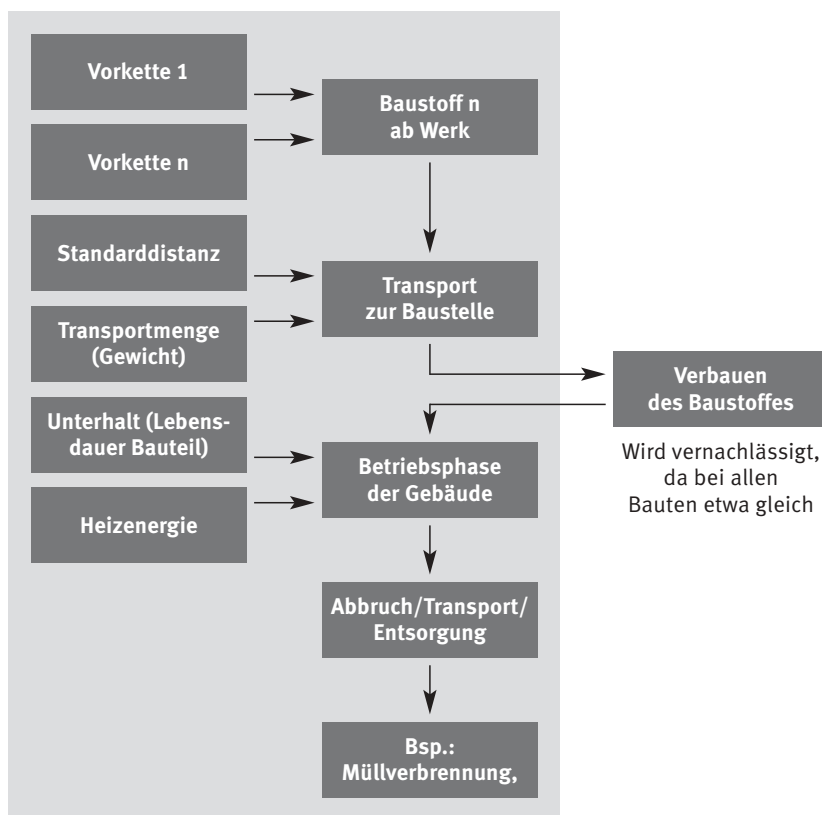
stufen, erfüllt aber rechnerisch auch die inoffizielle Anforderung eines Niedrigstenergiehauses (kleiner 50 kWh/m<sup>2</sup>a, Vergl. Kapitel 4.2)

Neben den sechs Neubauten werden zwei konventionelle Massivbauten, die die Vorgaben der WSV0 95 erfüllen, als Referenzgebäude mit untersucht und den energetisch optimierten Gebäuden gegenübergestellt.

Die acht in diesem Projekt bewerteten Gebäude sind in den folgenden Tab. 1 bis Tab. 8 mit den wichtigsten Komponenten charakterisiert. Für die Komponenten, Systemteile und die Betriebsfunktionen werden unter Beachtung der Festlegungen in Kapitel 5.4 die Energie- und Stoffflüsse ermittelt, welche unter Anwendung der bewerteten Sachbilanzdaten aus ecoinvent v 1.01<sup>4)</sup> und EDIP (Brunner et al. (2001) eine Gesamtbewertung ergeben.

Das für die ökologische Beurteilung angenommene Heizsystem ist für alle Gebäude eine Gasfeuerung mit einem bestimmten Kessel-Typ welcher eine spezielle Rezirkulations-Brennkammer mit hochwirksamen, nachgeschalteten Lamellenheizflächen besitzt. Der Schadstoffausstoß von Kohlenmonoxid, Stickoxiden (NOx) und Ruß kann dadurch reduziert werden. Die Anlagenleistung ist, falls das Gebäude an die Fernwärme angeschlossen ist, grösser als 100kW, sonst kleiner 100kW. Es wurden keine weiteren Infrastrukturelemente (Bsp. Rohre, Elektroinstallationen, etc.) berücksichtigt.

Abb. 2 | Systemgrenze Baustoffe



## 5.5 Sachbilanz

Die Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13 und 15“ an der Friedenspromenade haben in etwa die gleichen Abmessungen und sind gleich ausgerichtet. Die Berechnung des jährlichen Heizwärmebedarfes nach WSV0 95 hat gezeigt, dass dieser etwa 20% unter den vorgeschriebenen Werten liegt. Damit entspricht der Energiestandard etwa dem der Niedrigenergiebauweise. Die angestrebte Energieeinsparung soll weitgehend durch Baustoffauswahl und Konstruktion am Gebäude selbst und nicht durch aufwendige Geräte (z.B. Wärmerückgewinnung) erreicht werden.

Die Bauten unterscheiden sich deshalb grundsätzlich nur in der Wahl der Baustoffe. Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ hat zudem eine etwa 10% kleinere Nutzfläche als die Häuser 1, 2, 4, 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 13 und 15“ der Friedenspromenade.

4) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

**Tab. 1 | Charakterisierung Haus 1 „Felicitas-Füss-Straße 7“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigenergie (vergleichbar mit MINERGIE in der CH)  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Porenbeton   |
| <b>Abseitenwände</b>   | Kellertüren und Innenwand Treppenhaus Kellergeschoss Stahlbeton und Tektalan  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton, letzte Decke über 4. OG aus Porenbeton  |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | Stahlbeton mit Polystyrol, Tektalan und mineralische Dämmung  |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol und mineralische Wärmedämmung   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1612.83 m <sup>2</sup>  |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | Vorhanden, doch nicht berücksichtigt, da keine Angaben zu Heizwärmegewinnen aufgrund Solaranlage vorhanden (Heisswasser aus Solaranlage wird für Warmwasser und Heizung verwendet)                            |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Zentralentlüftungssystem  |

**Tab. 2 | Charakterisierung Haus 2 „Felicitas-Füss-Straße 9“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigenergie (vergleichbar mit MINERGIE in der CH)  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Ziegel, mit Vollwärmeschutz (mineralisch)  |
| <b>Abseitenwände</b>   | Kellertüren und Innenwand Treppenhaus KG: Ziegel mit Tektalan, Innenwand  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung   |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | nicht vorhanden   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol und Kellerdecke auch Tektalan   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1612.48 m <sup>2</sup>  |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | Vorhanden, doch nicht berücksichtigt, da keine Angaben zu Heizwärmegewinnen aufgrund Solaranlage vorhanden (Heisswasser aus Solaranlage wird für Warmwasser und Heizung verwendet)                            |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Kleinentlüfter  |

**Tab. 3 | Charakterisierung Haus 3 „Felicitas-Füss-Straße 11“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigenergie (vergleichbar mit MINERGIE in der CH)  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Kalksandstein, mit Vollwärmeschutz (mineralisch)   |
| <b>Abseitenwände</b>   | Kellertüren und Innenwand Trockenraum/Treppenhaus Ziegel und Stahlbeton mit Tektalan  |
| <b>Fenster</b>   | Kastenfenster (Verglasung / Rahmen Holz)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung   |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | nicht vorhanden   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol und Kellerdecke auch Tektalan   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1392.77 m <sup>2</sup>  |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | Vorhanden, doch nicht berücksichtigt, da keine Angaben zu Heizwärmegewinnen aufgrund Solaranlage vorhanden (Heisswasser aus Solaranlage wird für Warmwasser und Heizung verwendet)                            |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Zentralentlüftungssystem  |

**Tab. 4 | Charakterisierung Haus 4 „Felicitas-Füss-Straße 13“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigenergie (vergleichbar mit MINERGIE in der CH)  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Ziegel, mit Vollwärmeschutz (Mineralwolle)   |
| <b>Abseitenwände</b>   | Kellertüren und Innenwand Trockenraum/Treppenhaus Ziegel und Stahlbeton mit Tektalan  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung   |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | nicht vorhanden   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol und Kellerdecke auch Tektalan   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1605.24 m <sup>2</sup>  |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | Vorhanden, doch nicht berücksichtigt, da keine Angaben zu Heizwärmegewinnen aufgrund Solaranlage vorhanden (Heisswasser aus Solaranlage wird für Warmwasser und Heizung verwendet)                            |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Kleinentlüfter  |

**Tab. 5 | Charakterisierung Haus 5 „Felicitas-Füss-Straße 15“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigenergie (vergleichbar mit MINERGIE in der CH)  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Stahlbeton und Mauerwerk aus Ziegel, mit Vollwärmeschutz (mineralisch)   |
| <b>Abseitenwände</b>   | Kellertüren und Innenwand Trockenraum/Treppenhaus Ziegel und Stahlbeton mit Polystyrol  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung   |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | nicht vorhanden   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol und Kellerdecke auch Tektalan   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1620.9 m <sup>2</sup>   |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | Vorhanden, doch nicht berücksichtigt, da keine Angaben zu Heizwärmegewinnen aufgrund Solaranlage vorhanden (Heisswasser aus Solaranlage wird für Warmwasser und Heizung verwendet)                            |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Zentralentlüftungssystem  |

**Tab. 6 | Charakterisierung Holzhaus „Messestadt Riem“ (Eigenschaften)**

|  |  |
|--|--|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 38 m * 9 m (= 342 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 3  |
| <b>Energiestandard</b>                                       | Niedrigstenergiestandard   |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Holzständerkonstruktion mit Zellulosefaser-Wärmedämmung   |
| <b>Abseitenwände</b>   | nur Kellertüren  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)   |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Holztragkonstruktion, Zellulose- und Mineralfaserdämmung   |
| <b>Decken Luft von unten (Bsp. Decke über Laubengang)</b>    | Holzkonstruktion mit mineralischer Dämmung   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Holzkonstruktion und mineralische Dämmung (auch wenig Polystyrol)   |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 998 m <sup>2</sup>   |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Fernwärme Geothermie (heute noch Industriegasheizung LowNOxKOND.>100 kW)   |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)   |
| <b>Solaranlage</b>   |  |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind. Die Aufwendungen der Fernwärmeinfrastruktur wurde aufgrund fehlender Angaben vernachlässigt. |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist.      |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ≥ 80%  |

**Tab. 7 | Charakterisierung Referenzgebäude „Messestadt Riem“ (Eigenschaften)**

|  |  |
|--|--|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 42 m * 11.3 m (= 474.6 m <sup>2</sup> )  |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 3  |
| <b>Energiestandard</b>                                       | WSV95  |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Ziegel, mit Vollwärmeschutz (Polystyrol)  |
| <b>Abseitenwände</b>   | Innenwand Stahlbeton und Polystyrol  |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Holz)   |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung  |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | Stahlbeton mit Polystyrolämmung  |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol  |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1212.63 m <sup>2</sup>   |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Fernwärme Geothermie (heute noch Industriegasheizung LowNOxKOND.>100 kW)   |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)   |
| <b>Solaranlage</b>   | Optional vorgeschalteter Solarpufferspeicher 4000l für die Solar-Kombianlage 60m <sup>2</sup> . Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass dieses Warmwasser nicht für Heizzwecke verwendet wird.             |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind. Die Aufwendungen der Fernwärmeinfrastruktur wurde aufgrund fehlender Angaben vernachlässigt. |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist.      |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Kleinentlüfter   |

**Tab. 8 | Charakterisierung Referenzgebäude „Friedenspromenade“ (Eigenschaften)**

|  |   |
|--|---|
| <b>Abmessung</b>   | ca. 28 m * 14 m (= 252 m <sup>2</sup> )   |
| <b>Anzahl Geschosse</b>                                      | 5   |
| <b>Energiestandard</b>                                       | WSV95   |
| <b>Aussenwände</b>   | Aussenwand über Oberkante Gelände: Mauerwerk aus Ziegel, mit Vollwärmeschutz (Polystyrol)   |
| <b>Abseitenwände</b>   | Treppenhauswand Stahlbeton und Mineralwolle   |
| <b>Fenster</b>   | Fenster (Verglasung / Rahmen Kunststoff)  |
| <b>Dächer/Decken</b>   | Geschossdecken: Stahlbeton; Polystyrol-Schall- und Wärmedämmung und Bitumendach   |
| <b>Decken Luft von unten</b>                                 | nicht vorhanden   |
| <b>Bauteile der Grundfläche</b>                              | Stahlbeton mit Polystyrol, mineralischer Dämmung und ungedämmt  |
| <b>Nutzfläche nach Wärmeschutzverordnung</b>                 | 1675.4 m <sup>2</sup>   |
| <b>Verwendetes Heizsystem für ökol. Beurteilung</b>          | Gasheizung LowNOx KOND.<100 kW  |
| <b>Fenstertyp</b>  | Wärmeschutzverglasung (2-WS N)  |
| <b>Solaranlage</b>   | nicht vorhanden   |
| <b>Infrastruktur Heizung / Lüftung</b>                       | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass die Unterschiede zwischen den Gebäudeinfrastrukturen sehr klein sind.   |
| <b>Energie für Warmwasseraufbereitung</b>                    | Nicht berücksichtigt, da angenommen wurde, dass der Warmwasserverbrauch bei allen Gebäuden etwa gleich gross ist und da der Zusammenhang zwischen Energieverlusten über Bauteile und Warmwasser marginal ist. |
| <b>Entlüftung innenliegender Bäder, WC's und Kochnischen</b> | Kleinentlüfter  |

## 5.6 Wirkungsabschätzung

Ein wichtiger Teil der Arbeit ist die sachlich korrekte Ermittlung der untenstehenden Umwelt- und Kostenauswirkungen für die zusammengetragenen Materialmassen und Heizenergieverluste:

Das Szenario „Entsorgung in Müllverbrennung“ (Doka (2003)) geht davon aus, dass die Hauptaufgabe einer Müllverbrennungsanlage die Entsorgung ist. Somit wird die im Abfall gespeicherte Energie keinem weiteren Produkt (Bsp. „Strom ab Müllverbrennung“ oder „Wärme, ab Müllverbrennung“) angelastet, obwohl die Energie in

**Tab. 9 | Umweltindikatoren mit Beschreibung**

| Umweltindikator   | Beschreibung  |
|---|---|
| Primärenergie (PE) [MJ]   | Summe der Energieinhalte aller Energieträger, die am Markt gehandelt werden können. Dazu zählen alle nichterneuerbaren und erneuerbaren Primärenergieträger und energetisch nutzbaren fossilen sowie natürlichen Rohstoffe, die Wasser- und Windkraft. Nicht gezählt werden die energetisch verwertbaren Abfälle, passivsolare Gewinne und Solarenergie aus Kleinanlagen, die direkt am Ort der Erzeugung verwendet werden.   |
| CO <sub>2</sub> (-Emissionen) [kg]  | Direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen. Das in Biomasse gespeicherte CO <sub>2</sub> wird als Ressource aus Luft bilanziert.   |
| Umweltbelastungspunkte (UBP) nach der Methode der ökologischen Knappheit, Ökofaktoren 1997 [Punkte] | Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf der Grundannahme, dass die Höhe des totalen Flusses (zum Beispiel Jahresfracht) eines Stoffes und der umweltpolitisch als kritisch oder gerade noch tolerierbar befundene Fluss des Stoffes (die Bestimmung der kritischen und tolerierbaren Flüsse geschieht aufgrund schweizerischer Grenzwerte, welche in den meisten Fällen mit den deutschen übereinstimmen) dessen ökologische Relevanz bestimmen. Bsp.: Entsorgung von 1 kg eines Baustoffes in eine Inertstoffdeponie erhält 500 Punkte, Emission von 1 kg CO <sub>2</sub> in die Luft erhält 200 Punkte. Gemäss BUWAL (1998) und Frischknecht et al. (2003). |
| Kosten [€]  | Kostenermittlung der Häuser 1 und 4 „Felicitas-Füss-Strasse 7 und 13“ durch eigene Berechnungen basierend auf Marktdurchschnittspreisen da keine Werte für die Bauteile der Gebäudehülle vorhanden sind. Die Bauteilpreise für die Häuser 2, 3 und 5 „Felicitas-Füss-Strasse 9, 11 und 15“, das Referenzgebäude „Friedenspromenade“ und das Referenzgebäude „Messestadt Riem“ wurden von den gerechneten Kosten für die Häuser 1 und 4 „Felicitas-Füss-Strasse 7 und 13“ abgeleitet. Das Holzhaus „Messestadt Riem“ wurde von den verantwortlichen Architekten gerechnet.   |
| Entsorgung [kg Material]  | Für die in Betracht gezogenen Baumaterialien wird ein „worst-case“ Szenario mit nur zwei Entsorgungsarten modelliert: Müllverbrennungsanlage für brennbare Stoffe und Inertstoffdeponie für mineralische Stoffe. Der Entsorgungsprozess ist als ganzes in der Bewertung berücksichtigt. Die zu entsorgenden Massen werden, unterteilt nach Entsorgungsart, noch zusätzlich ausgewiesen.   |

Die bewerteten Sachbilanzdaten (Bsp. Primärenergie oder Umweltbelastungspunkte pro kg Porenbeton) aus der ecoinvent Datenbank (Version 1.01<sup>5)</sup>) werden aufgrund von Modellannahmen berechnet. Diese Modelle dienen dazu, „Regeln“ aufzustellen um innerhalb gewisser Materialgruppen (Bsp. Holz) eine konsistente Datenlage zu erhalten. Dies soll anhand der Primärenergie von Holz über den gesamten Lebenszyklus erklärt werden:

Solange das Holz ein Konsumgut ist, beinhaltet das Produkt einerseits den Energieinhalt des Holzes und andererseits die gesamte für die Herstellung nötige Energie. Nach Ablauf der Nutzungsdauer gibt es verschiedene Wege der Entsorgung. Neben der Verbrennung in einer Müllverbrennung kann das Holz auch zur Energiegewinnung durch ein Kraftwerk oder, falls unbehandelt, auch durch Kompostierung entsorgt werden.

Realität in solchen Produkten genutzt wird. Alle Emissionen aus den Vorketten und der Entsorgung, sowie die investierten Energien und der Energieinhalt, werden dem Holzprodukt angelastet. Damit gilt die Nutzung von Strom und Fernwärme, bereitgestellt aus der Müllverbrennung, als belastungsfrei. Diesen Ansatz nennt man „Cut-off-Ansatz“.

5) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

Der Indikator Umweltbelastungspunkte ist die einzige vollaggregierte Grösse (sämtliche Umweltwirkungen in einem einzigen Wert), die eine Gesamtaussage zu den Umweltwirkungen zulässt. Nachfolgend eine Beschreibung der Methode (aus Winzeler et al. (2002)):

Ökofaktoren sind für verschiedene Umweltbereiche definiert worden. Dabei wird unterschieden in

- Emissionen in die Luft
- Emissionen in die Oberflächengewässer
- Emissionen in Boden und Grundwasser
- Deponierung von Abfällen
- Ressourcenverbrauch (Primärenergieträger)

Keine Ökofaktoren gibt es für die Bereiche Landnutzung, Geruch, Lärm und direkte radioaktive Strahlung. Bei den Schadstoffen fehlen unter anderem die persistenten organischen Schadstoffe (POP) sowie die endokrin wirksamen Substanzen.“

Die Umweltbelastungspunkte für die Deponierung von Abfällen in Inertstoff-, Reaktor- und Reststoffdeponien wird in der „Methode der ökologischen Knappheit“ aufgrund der aktuellen Abfallflüsse in der Schweiz und der aufgrund der neuen „technischen Verordnung über Abfälle (TVA)“ zu reduzierenden Abfallflüsse eher hoch bewertet (500 Umweltbelastungspunkte pro kg zu deponierendes Material).

Die „Methode der ökologischen Knappheit“ weist der Verbrennung von Holz in einer Müllverbrennungsanlage ebenfalls eine hohe Umweltbelastung zu (345 Umweltbelastungspunkte pro kg unbehandeltes Holz) Diese Belastung berücksichtigt alle Emissionen, wobei CO<sub>2</sub> für den grössten Teil der Belastung verantwortlich ist. Da die selbe Menge CO<sub>2</sub>, die bei der Verbrennung von Holz freigesetzt wird beim Holzwachstum aus der Luft entnommen wurde, resultiert die hohe Belastung der Holzverbrennung aber nicht in einer hohen Belastung des gesamten Lebenszyklus von Holz.

Vollaggregierende Bewertungsmethoden wie die „Methode der ökologischen Knappheit“ sind gemäss ISO 14'000 ff nur für interne Vergleiche von LCA Ergebnissen zu verwenden.

## 5.7 Vorgehen

Das schrittweise Vorgehen im Rahmen des Projektes ist in Abb. 3 grafisch dargestellt.

Die Materialisierung der Bauteile der Gebäudehülle erfolgt in erster Linie aus den Wärmeschutznachweisen und bei Bedarf aus den Ausführungsplänen und den Objektangeboten. Die Wärmeverluste werden ebenfalls den Wärmeschutznachweisen entnommen.

Die in der Datenbank ecoinvent v 1.016 bewerteten Energie- und Stoffflüsse von Baustoffen beinhalten alle Lebensphasen von der Ressourcennahme bis zum Fabrikator (beinhaltet somit Ressourcennahme, Rohstoffaufbereitung und -verarbeitung). Der Transport der Materialien vom Fabrikator bis zur Baustelle wird für die betrachteten Gebäude und ihren Standort zusätzlich bilanziert.

Die in der Datenbank ecoinvent v 1.016 bewerteten Energiesysteme berücksichtigen die Energie- und Stoffflüsse von der Rohstoffentnahme bis zum Wärmebezug ab Heizung. Der gerechnete Heizwärmebedarf der Gebäude über eine Betriebsdauer von 50 Jahren dient als Grundlage zur Berechnung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen aus der Betriebsphase.

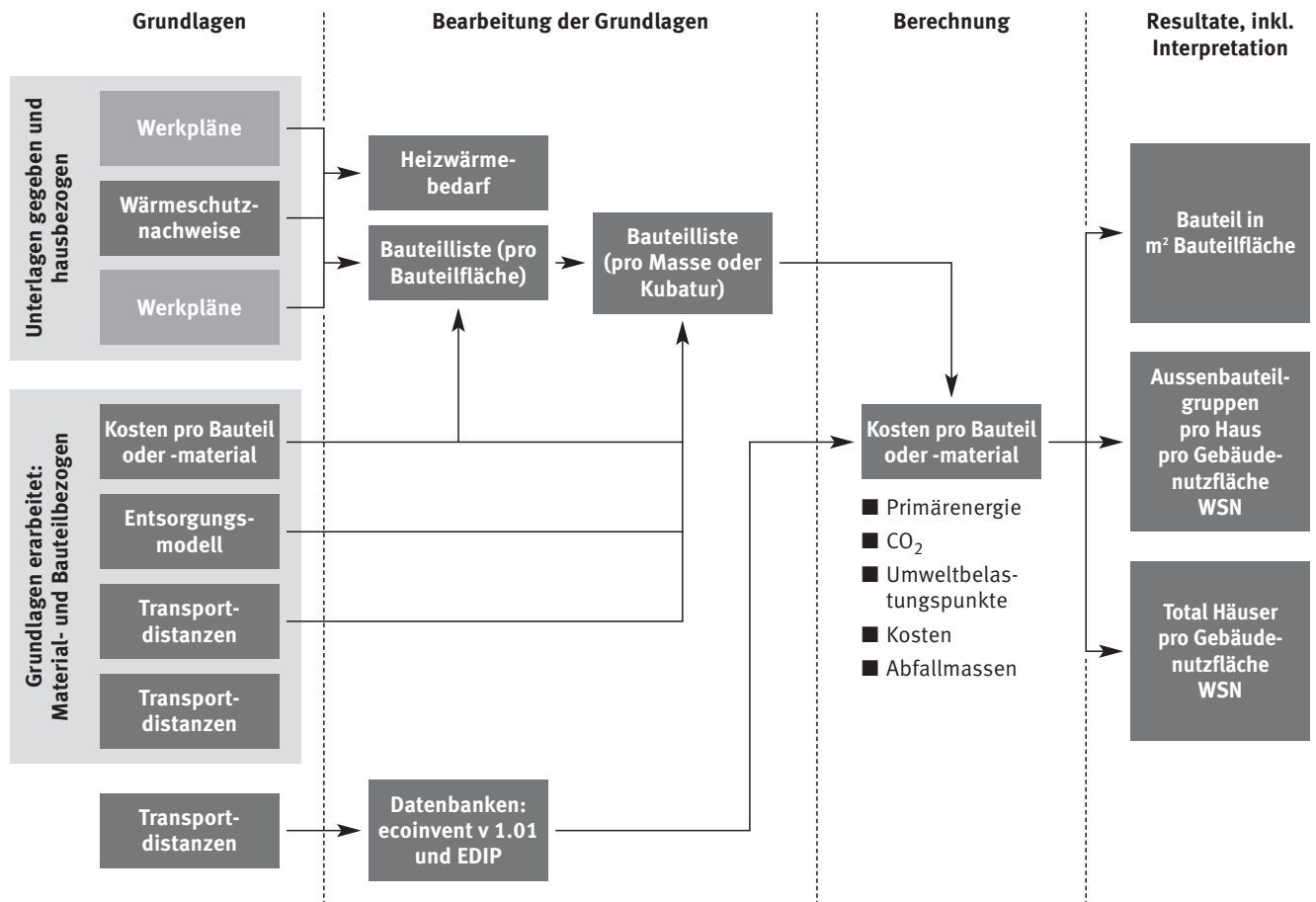
Die Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle nach 50 Jahren wird zusätzlich berechnet und fliesst dann in die Gesamtbewertung der Bauteile der Gebäudehülle ein. Die betrachteten Entsorgungswege beschränken sich auf eine „Deponierung in Inertstoffdeponie“ für die mineralischen Baustoffe und eine „Entsorgung in die Müllverbrennung“ für nicht-mineralische Baustoffe. Die zu entsorgenden Massen pro Kategorie werden als zusätzliches Bewertungskriterium dargestellt.

Neben der Materialbewertung der Wandkonstruktionen pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche werden die Wärmeverluste über 50 Jahre diesen Bauteilen zugeordnet. Die Verluste entsprechen dabei der Summe der Transmissionsverluste und der solaren Gewinne.

Die nach den unterschiedlichen Bewertungsansätzen vorliegenden teil- oder vollaggregierte Daten erlauben es, eine Aussage über das gesamte Gebäude oder nur Aussenbauteilgruppen pro m<sup>2</sup> Nutzfläche und einzelner Bauteile (Aussenwände) pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche zu machen.



**Abb. 3 | Vorgehen im Rahmen der Bearbeitung**  
 (Quelle ecoinvent v 1.01; siehe <sup>6)</sup> und Quelle EDIP; siehe Brunner et al. (2001))



6) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

## 6 Materialien und Zuordnung

Die in dieser Studie verwendeten Unterlagen sind in erster Linie die Wärmeschutznachweise. Diese Nachweise beinhalten die Berechnung der Jahres-Heizwärmebedarfe (Transmissions- und Lüftungsverluste und interne und solare Gewinne) und die Bauteile der Gebäudehülle mit den entsprechenden Materialien und ihren Kennwerten. Bei Bedarf wurden Werkpläne, Baubeschreibungen, mündliche Auskünfte und die Angebote herbeigezogen.

Folgende Wärmeschutznachweise standen uns zur Verfügung und liegen dieser Beurteilung zugrunde:

- Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; auf der Grundlage der Ausschreibung, Neubau eines Wohngebäudes an der Felicitas-Füss-Strasse 7, Haus 1, Februar 2002
- Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; auf der Grundlage der Ausschreibung, Neubau eines Wohngebäudes an der Felicitas-Füss-Strasse 9, Haus 2, Februar 2002
- Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; auf der Grundlage der Ausschreibung, Neubau eines Wohngebäudes an der Felicitas-Füss-Strasse 11, Haus 3, Februar 2002
- Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; auf der Grundlage der Ausschreibung, Neubau eines Wohngebäudes an der Felicitas-Füss-Strasse 13, Haus 4, Februar 2002
- Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; auf der Grundlage der Ausschreibung, Neubau eines Wohngebäudes an der Felicitas-Füss-Strasse 15, Haus 5, Februar 2002
- Holzhaus „Messestadt Riem“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; Neubau Wohnanlage Messestadt Riem, WA 10, Haus A, Dezember 2002
- Referenzhaus „Messestadt Riem“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; Neubau einer Wohnanlage mit 124 Wohneinheiten in München-Riem; Juni 1998
- Referenzhaus „Friedenspromenade“:  
Nachweis des Wärmeschutzes nach DIN 4108 und nach der Wärmeschutzverordnung vom 16.08.1994; Neubau eines Wohngebäudes, November 1997

Tab. 10 zeigt die Liste der vorhandenen Sachbilanzen für Materialien (und Entsorgungsprozesse), denen die Materialien aus den Wärmeschutznachweisen zugeordnet wurden.

**Tab. 10 | Materialienliste mit Modulen aus ecoinvent v 1.01<sup>7)</sup> und EDIP (EMI2510\_00\_1) (Brunner et al. (2001)**

| <b>Modulname aus ecoinvent v1.01 oder EDIP</b>                         | <b>Menge</b> | <b>Einheit</b> | <b>Quelle</b>   |
|--|--------------|----------------|-----------------|
| 2 WS-S Teil Glas   | 1            | m <sup>2</sup> | EMI2510_00_1    |
| 2 WS-S Teil Randverbund  | 1            | m              | EMI2510_00_1    |
| Entsorgung, Inertstoff, 5% Wasser, in Inertstoffdeponie                | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Aluminium, Produktionsmix, ab Werk                                     | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Aluminium, Produktionsmix, ab Werk                                     | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Blech walzen, Aluminium  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Armierungsstahl, ab Werk   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Aussenputz organisch   | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Backstein, ab Werk   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Bausperrgut in KVA   | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Beton, normal, ab Werk   | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Bitumendichtungsbahn, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Brettschichtholz, verleimt, Innenanwendung, Produktion                 | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, Bitumendichtungsbahn, 1.5% Wasser, in Kehrichtverbrennung  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Faserzementfassadenplatte, ab Werk                                     | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Stuckgips, ab Werk   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Gipskartonplatte   | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Flachglas, beschichtet, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Flachglas, unbeschichtet, ab Werk                                      | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Faserplatte hart, ab Werk  | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, Holz unbehandelt, 20% Wasser, in Kehrichtverbrennung       | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Holzwohle, u=20%, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Innenputz mineralisch  | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Kalkputz   | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Kalksandstein, ab Werk   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Nutzwärme, Erdgas, ab Heizkessel atm. LowNOx kond. nicht-mod. <100kW   | 1            | MJ             | ecoinvent v1.01 |
| Nutzwärme, Erdgas, ab Industriefeuerung, LowNOx>100kW                  | 1            | MJ             | ecoinvent v1.01 |
| Zellulosefasern, inklusive Einblasen, ab Werk                          | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Polycarbonat, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, Gebäude, Polyethylen/Polypropylen-Produkte, in Beseitigung | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Polystyrolplatte expandiert, ab Werk                                   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, expandiertes Polystyrol, 5% Wasser, in Kehrichtverbrennung | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Polyurethan, Schaum fest, ab Werk                                      | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, Gebäude, PVC-Produkte, in Beseitigung                      | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| PVC-Fensterrahmen  | 1            | m              | EMI2510_00_1    |
| Schnittholz, Nadelholz, gehobelt, kammergetrocknet, ab Werk            | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Schnittholz, Nadelholz, gehobelt, luftgetrocknet, ab Werk              | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Spanplatte, Innenanwendung, ab Werk                                    | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Entsorgung, Gebäude, Spanplatte, in Beseitigung                        | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Sperrholz, Innenanwendung, ab Werk                                     | 1            | m <sup>3</sup> | ecoinvent v1.01 |
| Chromstahl 18/8, ab Werk   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Steinwohle, verpackt, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Strommix   | 1            | kWh            | ecoinvent v1.01 |
| Transport, Lkw 16t   | 1            | tkm            | ecoinvent v1.01 |
| Transport, Lkw 32t   | 1            | tkm            | ecoinvent v1.01 |
| Transport, Lkw 40t   | 1            | tkm            | ecoinvent v1.01 |
| Rundkies, ab Abbau   | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Ytong  | 1            | kg             | EMI2510_00_1    |
| Zement, unspezifisch, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |
| Zementmörtel, ab Werk  | 1            | kg             | ecoinvent v1.01 |

7) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

# 7 Weitere Grundlagen

## 7.1 Lebensdauer und Verschnittanteil der Baumaterialien/Bauteile

Allen Gebäuden wird eine Lebensdauer von 50 Jahren zugrunde gelegt. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die tragenden Konstruktionen bei allen Gebäuden länger als 50 Jahre Bestand haben. Für die anderen Bauteile werden die Lebensdauern, basierend auf dem Bericht „Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen“ des Amtes für Bundesbauten in der Schweiz (Anonymous (1995)) wie in Tab. 11 dargestellt, bestimmt. Nach Absprache mit Fachleuten ist eine Anwendung auf deutsche Verhältnisse problemlos.

Die Lebensdauer der Bauteile ist in jedem Fall eine Schätzung und hängt stark von der Exposition und der Qualität der Bauausführung ab.

Bei der Erstellung eines Hauses fällt in fast allen Fällen ein gewisser Anteil Produktionsabfall an. Da diese Daten nicht verfügbar sind, wird in dieser Studie mit einem konstanten Verschnittanteil von 10% bei allen Materialien gerechnet.

Der ökologische und ökonomische Einfluss einer entsprechend verkürzten Lebensdauer einzelner Aussenwandkomponenten auf die Gesamtauswirkung (Bau und Betrieb) eines Bauteils (Lebensdauer 50 Jahre) werden in Kapitel 9.6 (Einfluss Lebensdauer) untersucht und dis-

**Tab. 11 | Lebensdauer und Anzahl Erneuerungen der Bauteile**

| Bauteil   | durchschnittliche Lebensdauer/<br>Nutzungsdauer (Jahre) | Erneuerungen innerhalb 50 Jahre<br>(inkl. Erstanschaffung) |
|---|---|--|
| Wandaufbau ausserhalb Tragkonstruktion nach aussen    | 25  | 2  |
| Wandaufbau ausserhalb Tragkonstruktion nach innen     | 40  | 2  |
| Tragkonstruktion Beton, Mauerwerk                     | 70  | 1  |
| Tragkonstruktion Gasbeton                             | 50  | 1  |
| Wand- / Bodenaufbau in Raum warm (darunter Raum kalt) | 50  | 1  |
| Wand- / Deckenaufbau in Raum kalt (Keller)            | 35  | 2  |
| Bodenaufbau aussen, zu Erdreich oder Aussenluft       | 25  | 2  |
| Dachkonstruktion nach aussen                          | 25  | 2  |
| Fenster und Brüstungen                                | 25  | 2  |
| Aussentüren, Lichtkuppeln                             | 30  | 2  |
| Paneele inkl. Pfosten                                 | 35  | 2  |

Die Anzahl Erneuerungen setzt sich aus der ersten Anschaffung plus den folgenden Erneuerungen zusammen. Dieser wiederum errechnet sich als Quotient aus 50 Jahren Gesamtgebäudelebensdauer und der Lebensdauer des Bauteils. Falls genau nach 50 Jahren wieder eine Erneuerung ansteht, wird davon ausgegangen, dass auf diese verzichtet wird. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen: Die aussen liegende Wärmedämmung (Wandaufbau ausserhalb Tragkonstruktion nach aussen) hat eine Lebensdauer von 25 Jahren und würde während der Betriebsphase rein rechnerisch (50/25) zwei mal erneuert. Da aber die zweite Erneuerung auf die 50 Jahre Gesamtgebäudelebensdauer fällt, wird auf diese Erneuerung verzichtet und das Bauteil fliesst gesamthaft nur zweimal in die Bewertung ein.

Im Falle einer Verkürzung der Lebensdauer der Wärmedämmung (Wandaufbau ausserhalb Tragkonstruktion nach aussen) von 25 Jahren auf 20 Jahre würde dies die Anzahl Erneuerungen von zwei auf drei erhöhen.

## 7.2 Fenster (Anteil Glas, Randverbund und Rahmen)

Eine Bewertung der Fenster setzt voraus, dass die Mengen der verschiedenen Materialien, aus denen die Fenster zusammengesetzt sind, bekannt sind. Die Wärmeschutznachweise beinhalten nur die Gesamtfensterflächen aufgeteilt nach Orientierung. Betreffend Häuser 1 bis 5 „Felicita-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ der Friedenspromenade und Holzhaus in München-Riem sind für alle Fenster die U-Werte der gesamten Fenster, des Glasanteils und des Rahmenanteils vermerkt. Dies hat eine Abschätzung des Verhältnisses Rahmen zu Glasfläche ermöglicht.

**Tab. 12 | Fenstergeometrie**

| Materialien                             | Haus                        | Fläche total   | U-Wert total         | U-Wert Glas          | U-Wert Rahmen        | Anteil Glas | Anteil Rahmen |
|---|-----------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------------|---------------|
| (Bezeichnung aus Wärmeschutznachweis)   |                             | m <sup>2</sup> | W/(m <sup>2</sup> K) | W/(m <sup>2</sup> K) | W/(m <sup>2</sup> K) | %           | %             |
| Fenster Nord                            | Haus                        | 82.2           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Ost                             | „Felicitas-Füss-Strasse 7“  | 15.0           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Süd                             |                             | 89.3           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster West                            |                             | 15.0           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Lichtkuppeln über Treppenhaus           |                             | 5.3            | 1.8                  | 1.9                  | 1.0                  | 88.9%       | 11.1%         |
| Eingangstüre Treppenhaus                | Haus                        | 4.9            | 1.6                  | 1.5                  | 2.0                  | 80.0%       | 20.0%         |
| Fassade Treppenhaus                     | „Felicitas-Füss-Strasse 9“  | 71.7           | 1.6                  | 1.5                  | 2.0                  | 80.0%       | 20.0%         |
| Fenster Nord                            |                             | 112.3          | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Fenster Ost                             |                             | 48.4           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Fenster Süd                             |                             | 173.3          | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Fenster West                            |                             | 25.8           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Balkontüre                              | Haus                        | 66.1           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Kastenfenster Nord                      | „Felicitas-Füss-Strasse 11“ | 40.2           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Kastenfenster Ost                       |                             | 24.8           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Kastenfenster Süd                       |                             | 70.6           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Kastenfenster West                      |                             | 24.8           | 1.1                  | 0.7                  | 2.0                  | 69.2%       | 30.8%         |
| Fenster Nord                            | Referenzgebäude             | 96.4           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Nord Schwingfenster Treppenhaus | „Friedenspromenade“         | 8.1            | 1.6                  | 1.1                  | 2.8                  | 70.6%       | 29.4%         |
| Fenster Ost                             |                             | 22.2           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Süd                             |                             | 90.2           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster West                            |                             | 22.2           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Nord                            | Haus                        | 125.5          | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Ost                             | „Felicitas-Füss-Strasse 13“ | 31.2           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Süd                             |                             | 216.2          | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster West                            |                             | 32.7           | 1.3                  | 1.1                  | 2.0                  | 77.8%       | 22.2%         |
| Fenster Nord                            | Haus                        | 45.9           | 1.0                  | 0.7                  | 2.0                  | 76.9%       | 23.1%         |
| Fenster Ost                             | „Felicitas-Füss-Strasse 15“ | 5.0            | 1.0                  | 0.7                  | 2.0                  | 76.9%       | 23.1%         |
| Fenster Süd                             |                             | 164.4          | 1.0                  | 0.7                  | 2.0                  | 76.9%       | 23.1%         |
| Fenster West                            |                             | 7.1            | 1.0                  | 0.7                  | 2.0                  | 76.9%       | 23.1%         |
| Fenster Dach Sonnentzimmer              |                             | 14.4           | 1.0                  | 0.7                  | 2.0                  | 76.9%       | 23.1%         |
| Fenster West                            | Holzhaus                    | 3.0            |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Ost                             | „Messestadt-Riem“           | 7.5            |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Nord 1                          |                             | 29.0           |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Nord 2                          |                             | 15.0           |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Süd 1                           |                             | 88.5           |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Süd 2                           |                             | 43.0           |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster OW                              | Referenzgebäude             | 135.0          |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Süd                             | „Messestadt Riem“           | 176.1          |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |
| Fenster Nord                            |                             | 148.4          |                      | 1.6                  |                      | 75.7%       | 24.3%         |

Der errechnete Rahmenanteil ist tendenziell hoch, weil zu dessen Bestimmung der Einfachheit halber die Linienzuschläge für den Randverbund nicht berücksichtigt wurden. Dieser Einfluss ist auf die Rahmenmaterialmenge sehr klein.

Für die „Friedenspromenade“ und „Messestadt Riem“ fehlen Angaben zum Gesamt-U-Wert und Rahmen-U-Wert. Entsprechend errechnet sich der Anteil Glasfläche und Rahmenfläche zur Gesamtfensterfläche für die beiden Referenzgebäude als Durchschnitt aller anderen sechs Gebäude.

**Tab. 13 | Entsorgung und Transport der Baumaterialien mit Modulen aus ecoinvent v 1.01<sup>8)</sup> und EDIP (EMI2510\_00\_1) (Brunner et al. (2001))**

| Modulname aus ecoinvent v1.01 oder EDIP                     | Voraus-sichtlicher Entsorgungsort | Entsorgungsprozess                               | Annahme Transportdistanz von Fabrikator zu Baustelle | Bemerkungen                                  |
|---|-----------------------------------|--|--|--|
| 2 WS-S Teil Glas  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
| 2 WS-S Teil Randverbund                                     | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Aluminium, Produktionsmix, ab Werk                          | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
|   | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Armierungsstahl, ab Werk                                    | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
| Aussenputz organisch  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Backstein, ab Werk  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Beton, normal, ab Werk                                      | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Bitumendichtungsbahn, ab Werk                               | KVA                               | Entsorgung, Gebäude, Bitumenbahn, in Beseitigung | 200  |  |
| Brettschichtholz, verleimt, Innenanwendung, Produktion      | KVA                               | Spanplatte in Beseitigung                        | 200  | Wenn verarbeitet als Türe oder Fensterrahmen |
|   | KVA                               | Spanplatte in Beseitigung                        | 50   | Wenn als Holzplatte verwendet                |
| Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk                             | KVA                               | Polyethylen in KVA                               | 50   |  |
| Faserzementfassadenplatte, ab Werk                          | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Stuckgips, ab Werk  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Gipskartonplatte  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Flachglas, beschichtet, ab Werk                             | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
| Flachglas, unbeschichtet, ab Werk                           | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
| Faserplatte hart, ab Werk                                   | KVA                               | Spanplatte in Beseitigung                        | 50   |  |
| Holzwohle, u=20%, ab Werk                                   | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Innenputz mineralisch                                       | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Kalkputz  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Kalksandstein, ab Werk                                      | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Zellulosefasern, inklusive Einblasen, ab Werk               | KVA                               | Bausperrgut in KVA                               | 50   |  |
| Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk                             | KVA                               | Polyethylen in KVA                               | 50   |  |
| Polycarbonat, ab Werk                                       | KVA                               | Polyethylen in KVA                               | 600  |  |
| Polystyrolplatte expandiert, ab Werk                        | KVA                               | Polystyrol in KVA                                | 200  |  |
| Polyurethan, Schaum fest, ab Werk                           | KVA                               | PVC in KVA                                       | 200  |  |
| PVC-Fensterrahmen   | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Schnittholz, Nadelholz, gehobelt, kammergetrocknet, ab Werk | KVA                               | Holz unbehandelt in KVA                          | 50   |  |
| Schnittholz, Nadelholz, gehobelt, luftgetrocknet, ab Werk   | KVA                               | Holz unbehandelt in KVA                          | 50   |  |
| Spanplatte, Innenanwendung, ab Werk                         | KVA                               | Spanplatte in Beseitigung                        | 200  |  |
| Sperrholz, Innenanwendung, ab Werk                          | KVA                               | Spanplatte in Beseitigung                        | 200  |  |
| Chromstahl 18/8, ab Werk                                    | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 600  |  |
| Steinwohle, verpackt, ab Werk                               | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Rundkies, ab Abbau  | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Ytong   | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |
| Zement, unspezifisch, ab Werk                               | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 200  |  |
| Zementmörtel, ab Werk                                       | ISD                               | Abfall in Inertstoffdeponie                      | 50   |  |

8) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

9) [www.awm.Muenchen.de/gewerbe/m2mva.htm](http://www.awm.Muenchen.de/gewerbe/m2mva.htm), Zugang 02.04.2002

## 7.3 Entsorgung und Transporte

### 7.3.1 Entsorgung

Die Entsorgung der Baumaterialien nach Abbruch der Gebäude ist aufgrund der schweizerischen Situation und nach heutigem Wissensstand in die Beurteilung eingeflossen. Eine Übertragung auf deutsche Verhältnisse ist nach Auskunft von Fachleuten für eine grundsätzliche Beurteilung problemlos. Als Grundlage dient die Entsorgungsstudie „Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien“ Doka (2000).

Die Entsorgungsprozesse werden nach Kategorie erfasst und entsprechend ausgewiesen. Es wird von der aktuellen Situation ausgegangen, wobei ein mögliches Recycling nicht berücksichtigt wurde. Dies bedeutet, dass alle mineralischen Baustoffe in Inertstoffdeponien und die organischen Materialien in Müllverbrennungsanlagen entsorgt werden.

### 7.3.2 Transporte

Da keine konkreten Angaben zu den Transportdistanzen der verwendeten Baumaterialien verfügbar sind, werden diese grob aufgrund der Häufigkeit der Produktionsstandorte geschätzt. Eine Vereinfachung wird erreicht indem die Standarddistanzen (einfache Strecke) in drei Kategorien eingeteilt werden:

- 50 km:   Umkreis München: 0 bis 50 km
- 200 km: Bundesland Bayern und angrenzendes Ausland: 50 bis 300 km
- 600km:  übriges Deutschland und Ausland: über 300 km.

Die angenommene Entsorgungsart und die angenommenen Distanzen vom Fabrikator zur Baustelle für die verwendeten Materialien sind auf der folgenden Seite tabellarisch dargestellt (Tab. 13)

Dem Produkt Brettschichtholz sind zwei Transportdistanzen zugeordnet. Für die Bearbeitung an einem Ort (Holzplatte) ist die geschätzte Distanz 50 km und bei einer Weiterverarbeitung (Bsp. Türe) beträgt diese geschätzt 200 km.

Für die LKW-Transporte der Materialien zur Baustelle wird mit einem maximalen Gesamtgewicht (Fahrzeug und Ladung) von 16 Tonnen gerechnet.

Der Transport der Abfälle von der Baustelle zur Müllverbrennungsanlage ist in den entsprechenden Entsorgungsmodulen enthalten.

Die Entsorgungskosten für Abfälle wurden gemäss Müllverbrennungsanlage Nord9 wie in Tab. 14 in die Bewertung einbezogen.

**Tab. 14 | Entsorgungskosten**

| Entsorgungskosten  | Angenommener Wert      | Quelle   |
|--|------------------------|----------|
| Reine Entsorgungskosten zwischen 97.15 und 132.94 €/t    | 0.12 €/kg<br>0.01 €/kg | 10<br>11 |
| Transport von Baustelle zu Entsorgungsstelle (ca. 20 km) | 0.13 €/kg              |          |
| Total  |                        |          |

Die Transportkosten setzen sich wie folgt zusammen:

**Tab. 15 | Herleitung der Transportkosten**

| Herleitung der Transportkosten                       | Wert                 | Quelle |
|--|----------------------|--------|
| Containerladevolumen                                 | 7 m <sup>3</sup>     | 12     |
| Durchschnittliche Dichte Ladevolumen                 | 1.8 t/m <sup>3</sup> | 10     |
| Gewicht Container voll                               | 12.6 t               | 11     |
| Preis für Transport Container (voll, offen, Zone II) | 85 €                 |        |
| Total  | 7 €/t                |        |
| aufgerundet  | 0.01 €/kg            |        |

## 7.4 Heizungssystem inkl. Anschaffungs- und Betriebskosten

Die Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ an der Friedenspromenade werden vorwiegend durch eine zentrale Gasheizung beheizt, welche im Keller eines Hauses untergebracht ist. Es wird angenommen, dass die verwendete Erdgasheizung <100kW, atmosphärisch, LowNO<sub>x</sub>, kondensierend und nicht-modulierend ist.

Der Systemwirkungsgrad des Brennwertkessels beträgt bezüglich des (unteren) Heizwertes 100%. Die Versorgungsleitungen und die entsprechenden Wärmeverluste zu den vier anderen Häusern sind aufgrund fehlender Angaben nicht in die Bewertung eingeflossen. Es wird angenommen, dass die Verluste sehr klein sind, da die Häuser sehr nah beieinander stehen. Die Verteilung innerhalb der Häuser wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da diese bei allen Häusern in etwa gleich sind.

Die Wärme für das Referenzgebäude „Friedenspromenade“ wird ebenfalls durch eine Gasheizung erbracht. Es wird angenommen, dass die Heizung vom gleichen Typ ist wie die der Häuser an der Friedenspromenade.

10) mündliche Auskunft von einer Münchner Transportfirma

11) Aussage eines Entsorgungsbetriebes in der Nähe von München

12) [www.awm.Muenchen.de/gewerbe/m2mva.htm](http://www.awm.Muenchen.de/gewerbe/m2mva.htm), Zugang 02.04.2002

Das Holzhaus in München-Riem und das Referenzgebäude „Messestadt Riem“ hängen an einem Nahwärmenetz, welches mit erdgasbefeuerten Heizkessel gespeist wird. Es ist vorgesehen, dass ab 2004 diese Erdgas-Heizkessel nur noch als Reserve und für den Spitzenbedarf eingesetzt werden. Die Grundlast der Wärmeversorgung soll dann eine Geothermieanlage übernehmen (SWM (2003)). Diese Studie geht für die Bewertung von einer Versorgung mit Wärme aus Erdgas aus.

Die Leistung der Erdgasfeuerung beträgt bis zu 30 MW. Somit wird für die Bewertung eine LowNOx Industrie-feuerung mit einer Leistung von über 100 kW eingesetzt. Dieser Heizungstyp rechnet mit einem Wirkungsgrad von etwa 0.9. Die Wärmeverluste über die Versorgungsleitungen betragen nach Auskunft der SWM-Versorgungs GmbH weniger als 3%. Entsprechend fließt dieser Verlust in die Berechnung ein. Die Aufwendungen für die Infrastruktur (Leitungen verlegen, Isolationen anbringen, Hauszugänge, etc.) werden aufgrund fehlender Angaben nicht berücksichtigt. Die Verteilungsinfrastruktur innerhalb der Häuser wird ebenfalls nicht berücksichtigt, da angenommen wird, dass diese bei allen Häusern in etwa gleich sind.

Die Heizkosten für Deutschland leiten sich aus den Heizkosten für die Schweiz ab. Eine grobe Plausibilitätsprüfung hat ergeben, dass die so errechneten Preise denen von München entsprechen. Die für die Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ an der Friedenspromenade und das Referenzgebäude „Friedenspromenade“ gerechneten Kosten (Tab. 16) beinhalten Anschaffung und Betrieb und beziehen sich auf einen MJ Energie (Wärme) von der Erdgasheizung.

**Tab. 16 | Herleitung der Heizkosten für die Schweiz<sup>13)</sup> und Umrechnung von CHF. auf €**

| Zusammensetzung der jährlichen Kosten für einen Wärmebedarf von 80'000 kWh bzw. 288'000 MJ                         | CHF/a bzw. CHF/MJ | €/a bzw. €/MJ |
|--|-------------------|---------------|
| Schätzung Anschaffungskosten für Heizsystem und Installationen: CHF 40'000.– (Lebensdauerannahme Anlage: 15 Jahre) | 2'700             | 1'700         |
| Raumbedarfskosten (pro m <sup>3</sup> ca. CHF. 300.–)  | 1'200             |               |
| Jährlicher Unterhalt, Wartung und Kontrollen (Schätzung)   | 1'000             |               |
| Energiekosten (CHF. 0.06 / kWh)  | 4'800             |               |
| Total  | 9'700             |               |
| Kosten pro MJ  | 0.034             | 0.021         |

13) <http://www.iba-aarau.ch/upload/pdf/RNJKHNNHYYW.pdf>, Stand Januar 2003

Die Kosten für die Wärme aus Fernwärme für das Holzhaus „Messestadt Riem“ und das Referenzhaus „Messestadt Riem“ wurden uns von den Stadtwerken München wie folgt angegeben:

**Tab. 17 | Heizkosten pro MJ Energie (Wärme) ab Fernwärmeversorgung**

|   | € / MJ |
|---|--------|
| Arbeitspreis (4.35 Cent/kWh)  | 0.012  |
| Jahresgrundpreis 26.90 €/kW*a (Annahme Anschlusswert 100 kW und Wärmebedarf 80'000 kWh/a) | 0.009  |
| Total Kosten pro MJ (Endenergie)  | 0.021  |

## 7.5 Warmwasser

Der Warmwasserverbrauch wurde nicht berücksichtigt, da der Verbrauch vorwiegend vom Verhalten der BewohnerInnen abhängt und nicht von der Konstruktion. Es wird davon ausgegangen, dass der Verbrauch pro m<sup>2</sup> Nutzfläche für alle Häuser gleich ist.



## 8 Strombedarf der Wärmerückgewinnung

Von den acht in dieser Studie untersuchten Gebäuden besitzt nur das Holzhaus „Messestadt Riem“ eine mechanisch betriebene Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wirkungsgrad  $\eta_w \geq 80\%$ ). Der Wärmeschutznachweis (nach WSVO 95) rechnet mit einer theoretischen Einsparung von 35% des Lüftungswärmebedarfes ohne Lüftungsanlage.

Weil keine Ermittlung der Wärmeeinsparungen durch die Lüftungsanlage (Monitoring des Lüftungsverhaltens der BewohnerInnen) und des entsprechenden Strombedarfs während der Betriebsphase vorgenommen wurde, müssen diese abgeschätzt werden.

Das Holzhaus in München Riem hat grob berechnet einen jährlichen Lüftungswärmegegewinn von 19'000 kWh/a. Dabei beträgt das anrechenbare Luftvolumen 2'495 m<sup>3</sup>, der Anlagen-Luftwechsel inkl. Korrekturfaktor der Lüftungswärmegegewinne 0.4 Wechsel pro Stunde, der Wärmebereitstellungsgrad des Lüftungsgerätes 0.8 und die mittleren Heizgradtage 2'900 Kd (= 69.9 kWh/a).

Für die Lüftungsanlage wurde eine volumenbezogene spezifische Ventilatorleistung von 0.48 W/(m<sup>3</sup>/h) angenommen. Ein stündlicher Luftwechsel von 998 m<sup>3</sup>/h und eine Betriebsdauer von 5'500 Stunden pro Jahr (Heizperiode) ergeben einen jährlichen Luftwechsel von 5'489'000 m<sup>3</sup>/a.

Unter diesen Annahmen ergibt sich ein jährlicher Strombedarf von 2'635 kWh/a.

Die Bewertung des oben genannten Wärmegegewinnes und des entsprechenden Strombedarfs ergibt einen Vergleich der in Abb. 4 auf der nächsten Seite dargestellt ist.

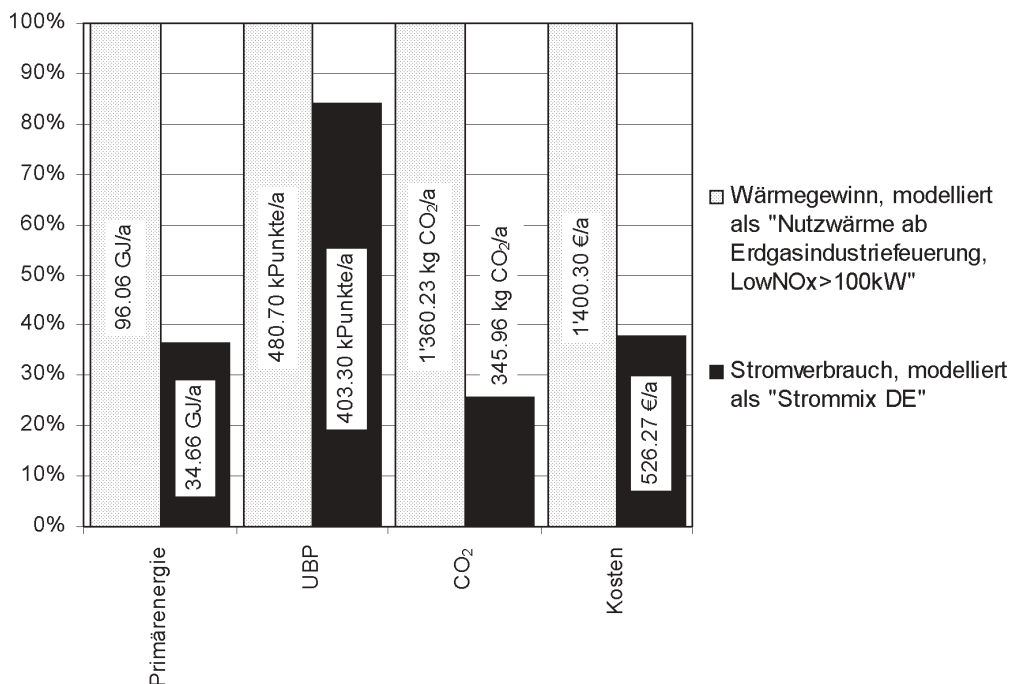
Das Resultat ist ein Reduktionsanteil je nach Indikator zwischen 15% (UBP) und 75% (CO<sub>2</sub>-Emissionen).

Der viel höhere Anteil Umweltauswirkungen pro MJ Strombedarf im Vergleich zur „Nutzwärme ab Erdgasindustriefeuerung“ pro MJ, gründet zum einen im relativ tiefen Wirkungsgrad der Stromproduktion und zum anderen in der Zusammensetzung des deutschen Stromversorgungsmixes. Der durchschnittliche deutsche Strom besteht zu je einem Viertel aus Strom aus Steinkohlekraftwerken, einem Viertel aus Braunkohlekraftwerken, einem Viertel aus Atomstrom und einem Viertel aus Importstrom (beinhaltet auch den Anteil erneuerbarer und nicht erneuerbarer Energieträger). Die Auswirkungen aus der Verbrennung dieses Mixes fossiler Energieträger sind höher als die aus der Verbrennung von Gas.

Der proportional sehr viel höhere Anteil Umweltbelastungspunkte pro MJ Stromverbrauch im Vergleich zur „Nutzwärme ab Erdgasindustriefeuerung“ pro MJ gründet vorwiegend auf der Kernenergie im Strommix, deren radioaktive Abfälle bei Anwendung der „Methode der ökologischen Knappheit“ sehr hoch bewertet werden.

Mit den getroffenen Annahmen zeigt sich wie in Abb. 4 auf folgender Seite dargestellt, dass bezüglich aller untersuchten Indikatoren aus ökologischer und ökonomischer Sicht die Wärmerückgewinnung sinnvoll war. Es ist aber grundsätzlich zu bedenken, dass bei einer schlechteren Ventilatorleistung oder kleinerem Luftwechsel für gewisse Indikatoren eine Wärmerückgewinnung keine Vorteile mehr bringt.

Abb. 4 | Reduktion der Umweltauswirkungen aus Wärmerückgewinnung (aus<sup>14</sup>) (UBP<sup>15</sup>)



14) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

15) Definition Umweltbelastungspunkte, Vergl. Kapitel 4.4

# 9 Resultate

## 9.1 Überblick

Die erarbeiteten Resultate sind in Form von Diagrammen dargestellt und unterteilt in die Indikatoren Ökologie (Primärenergie, Umweltbelastungspunkte und CO<sub>2</sub>-Emissionen), Ökonomie (Investitions-, Entsorgungs- und Betriebskosten für Heizung) und Entsorgung (Masse pro Entsorgungsweg). Innerhalb dieser Kapitel werden die Ergebnisse wie folgt strukturiert:

- Gebäude: Vergleich der Summe der Bauteile der Gebäudehülle der acht Gebäude pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bezüglich Auswirkungen aus den Material- und Heizenergieaufwendungen.
- Aussenbauteilgruppen: Vergleich der acht Gebäude pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bezüglich Auswirkungen aus den Materialien, unterteilt in Bauteilgruppen (Bsp. Wände, Fenster, etc.).
- Bauteile: Vergleich der einzelnen Bauteile pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche für alle Gebäude bezüglich Auswirkungen aus den Material- und Heizenergieaufwendungen.

## 9.2 Beziehungen zwischen den Resultaten

Die Umweltwirkungen der Gebäude werden pro m<sup>2</sup> Nutzfläche abgebildet. Unterschiedliche Nutzflächen bei gleicher Gebäudegrundfläche (im Fall der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ an der Friedenspromenade sind es 28 m \* 14 m = 392 m<sup>2</sup>) können bezüglich eines Indikators Ursache für unterschiedliche Rangordnungen sein.

Als Beispiel: Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ hat (bei ähnlich grosser Hüllfläche) eine viel kleinere Nutzfläche (ca. 1'400 m<sup>2</sup>) als Häuser 1, 2, 4, 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 13 und 15“ (ca. 1'600 m<sup>2</sup>). Die Umweltwirkungen pro m<sup>2</sup> Nutzfläche von Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ sind somit generell etwa 15% höher als die der anderen Häuser.

Die Wirkung der Bauteile wird pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche dargestellt. Die Umweltwirkungen des gesamten Gebäudes über 50 Jahre werden über die Nettotransmissionsverluste (Differenz aus Transmissionswärmeverluste und solare Gewinne) auf den m<sup>2</sup> Gebäudehülle verteilt. Weil das Verhalten der Bewohner und Bewohnerinnen für die Lüftungswärmeverluste und die internen Wärmegewinne verantwortlich sind, und somit kein Zusammenhang zu den Baukonstruktionen besteht, werden diese Wärmeflüsse nicht berücksichtigt. Damit ist auch ein gebäudeübergreifender Bauteilvergleich (Bsp. Aussenwand Häuser 1 und 2 „Felicitas-Füss-Strasse 7 und 9“) möglich.

## 9.3 Ökologie

### 9.3.1 Betrieb der Gebäude

Die Resultatdiskussion beschränkt sich in diesem Kapitel auf die Umweltauswirkungen aus dem Betrieb (Heizungsaufwendungen) über 50 Jahre. Grundlage dafür sind Diagramme mit den acht Gebäuden auf der x-Achse und den Umweltauswirkungen auf der y-Achse.

Abb. 5 zeigt den Primärenergiebedarf aus der Deckung der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre.

Abb. 6 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Deckung der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre.

Abb. 5 | Primärenergiebedarf für die Deckung der Nettotransmissionsverluste in MJ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche

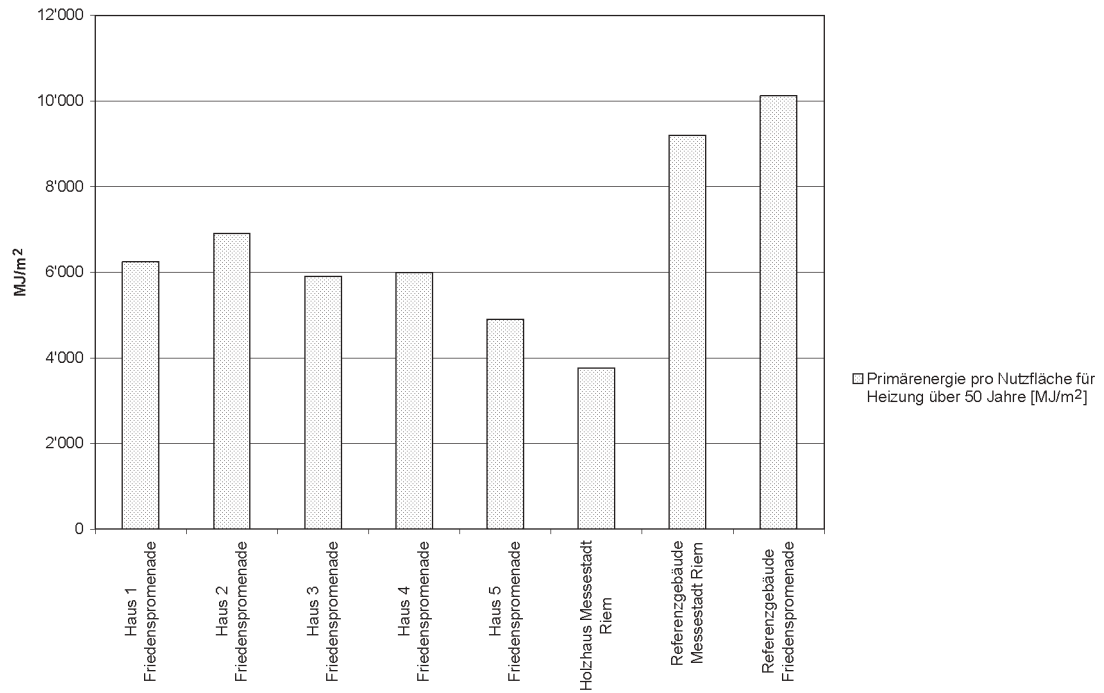
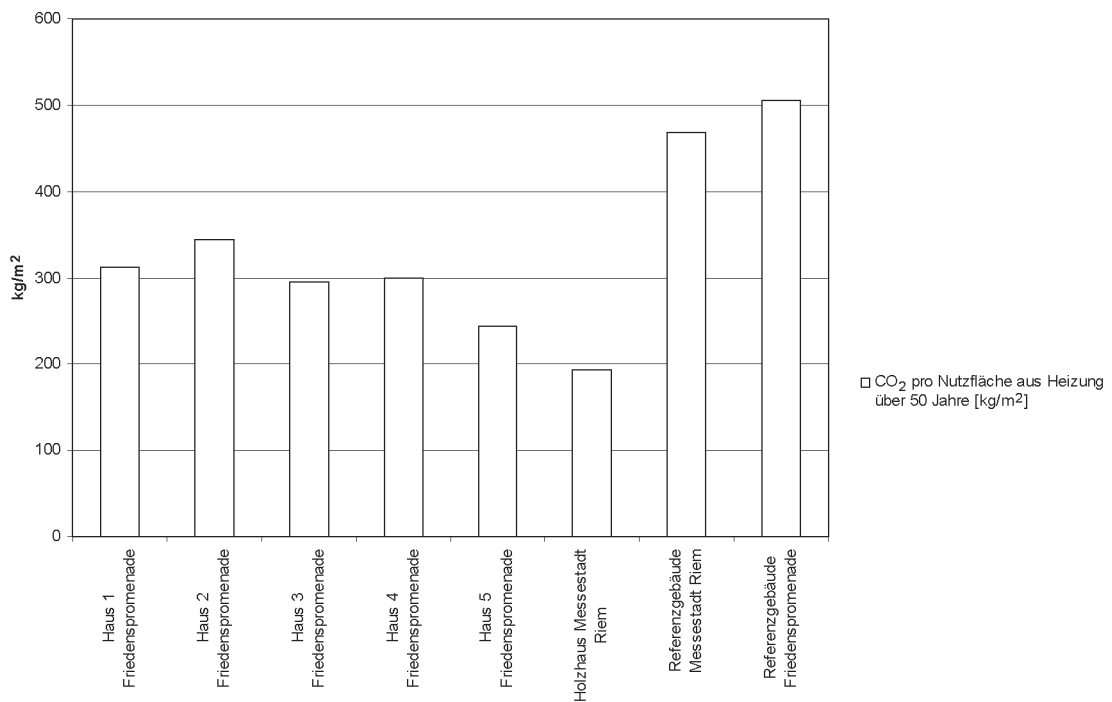


Abb. 6 | CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Deckung der Nettotransmissionsverluste in kg pro m<sup>2</sup> Nutzfläche



**Abb. 7 | Umweltbelastungspunkte (UBP) aus der Deckung der Nettotransmissionsverluste in Punkte pro m<sup>2</sup> Nutzfläche**

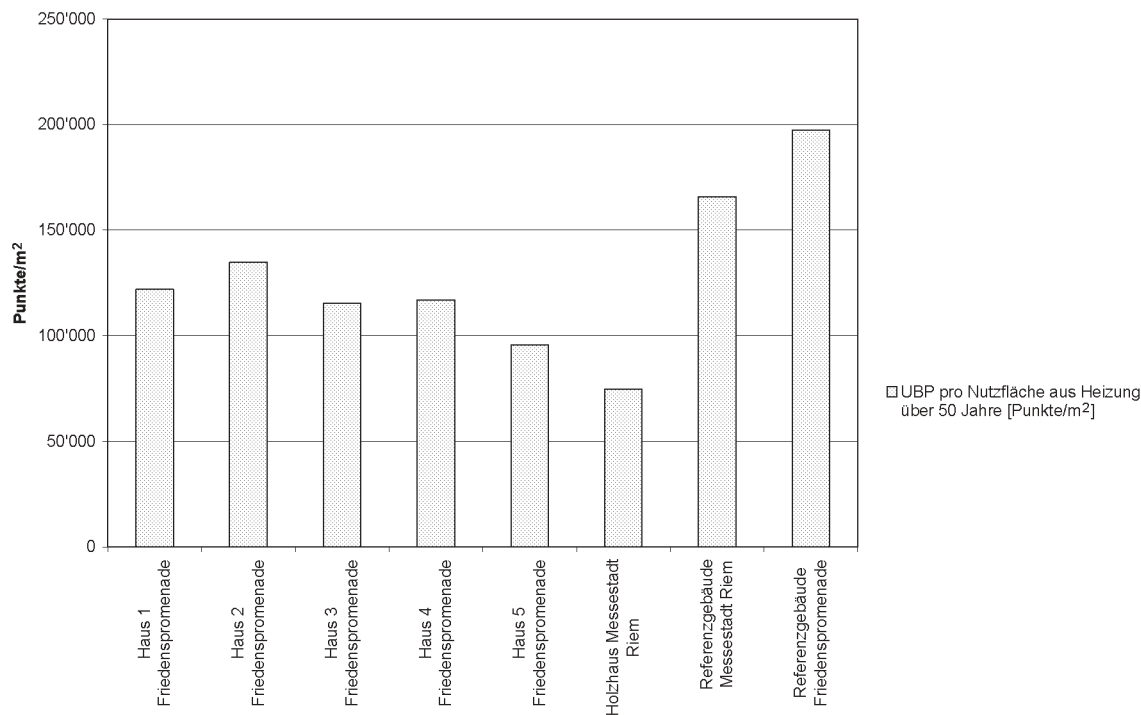


Abb. 7 zeigt die Umweltbelastungspunkte aus der Deckung der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre.

Mit Ausnahme des Holzhauses und Referenzhauses „Messestadt Riem“ werden alle Gebäude mit einer zentralen Gasheizung geheizt. Die beiden verbleibenden Gebäude sind an ein Fernwärmenetz angeschlossen. Diese Wärme wird durch eine Industriegasfeuerung produziert. Der Unterschied der beiden Feuerungen ist aus ökologischer Sicht sehr klein. Entsprechend korreliert die Rangfolge aus den Nettotransmissionsverlusten über die Bauteile der Gebäudehülle pro m<sup>2</sup> Nutzfläche mit der Rangfolge aus den entsprechenden Umweltwirkungen.

### 9.3.2 Bauteile der Gebäudehülle

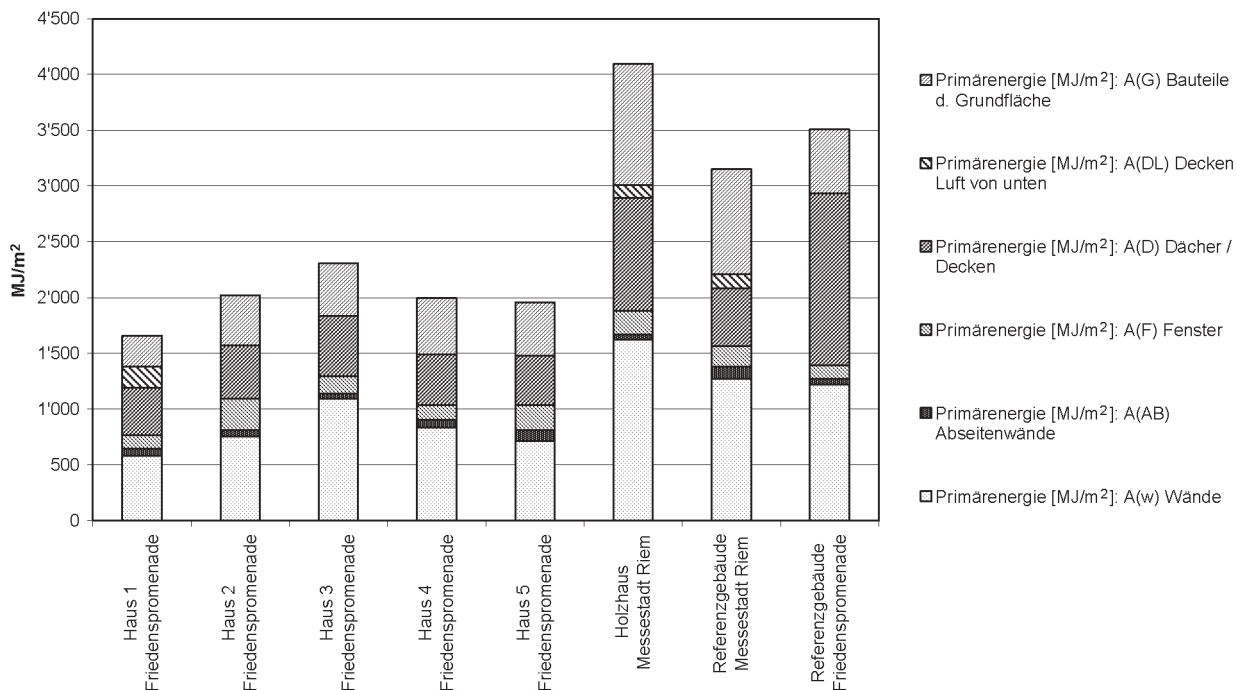
Dieses Kapitel beschränkt sich auf die Auswirkungen aus den Materialinvestitionen über 50 Jahre. Als Grundlage dient je ein Diagramm pro Indikator (Primärenergie, CO<sub>2</sub> und Umweltbelastungspunkte) mit den jeweils acht Gebäuden auf der x-Achse und den Umweltauswirkungen, unterteilt in Bauteilgruppen auf der y-Achse.

Die Bauteilgruppeneinteilung und deren Beschreibung wurden den Wärmeschutznachweisen entnommen. „Abseitenwände“ sind in diesem Zusammenhang als abgrenzende Flächen zu Gebäudeteilen mit niedrigen Innentemperaturen zu verstehen. „Bauteile der Grundfläche“ bilden den unteren Gebäudeabschluss einschliesslich erdberührender Flächen.

Abb. 8 zeigt den Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien der Bauteile der Gebäudehülle.

Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien in Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ der Friedenspromenade ist im Vergleich zu den anderen Häusern am geringsten, was vor allem am tieferen Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Wände und der Bauteile der Grundfläche liegt.

**Abb. 8 | Primärenergiebedarf aus Produktion, Ersatz und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle in MJ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche**

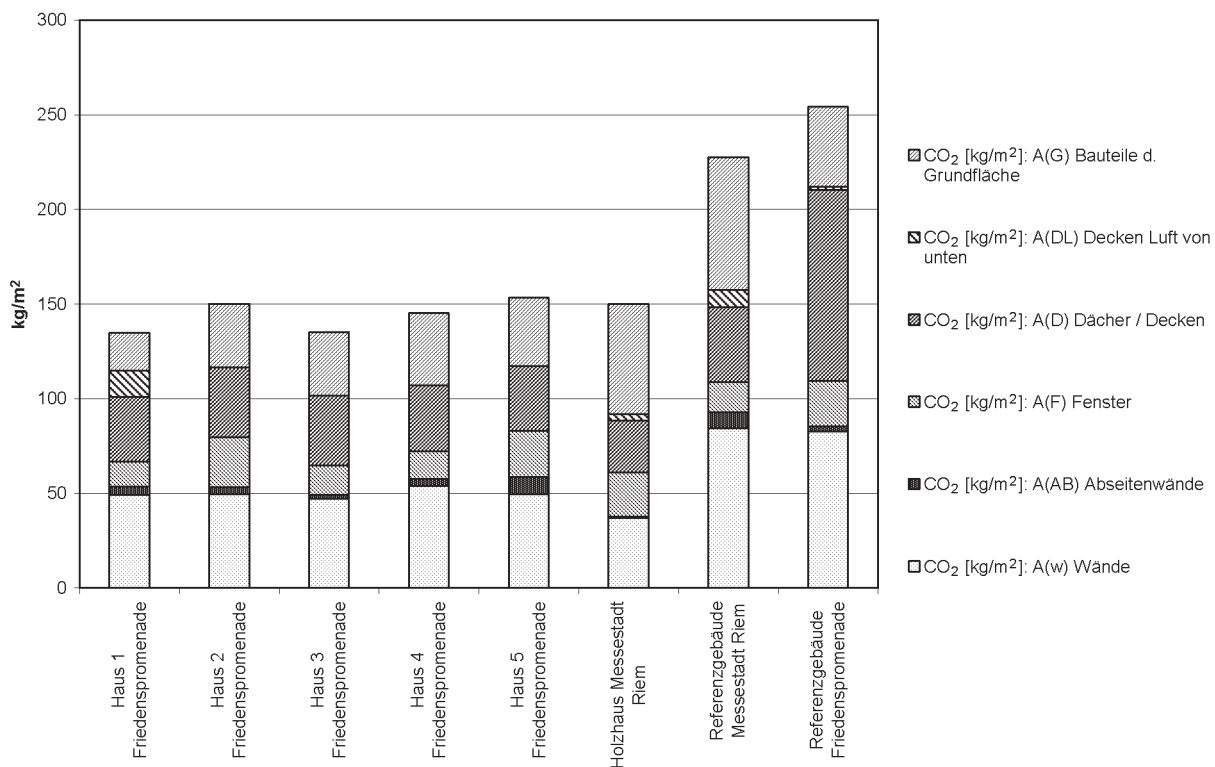


Der Baustein Porenbeton (zwischen 30 und 40 cm) in den Wandkonstruktionen von Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ der Friedenspromenade ist verantwortlich für das gute Resultat im Vergleich zu den anderen Gebäuden. Der Baustoff Kalksandstein (17.5 cm) mit Mineralwolle-dämmung (16 cm mineralische Faserdämmstoffe) in den Wandkonstruktionen und die kleinere Nutzfläche pro ähnlicher Umfassungsfläche (Vergl. Kapitel 9.2) von Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ verursacht den im Vergleich zu Häuser 1, 2, 4, 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 13 und 15“ hohen Primärenergiebedarf. Die Ergebnisbeeinflussenden Baustoffe der Aussenwandkonstruktionen von Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“ sind Ziegel mit einer Dicke von 24 cm und einer Dichte von 1'400 kg/m<sup>3</sup> und Mineralwollendämmung (12 cm, Dichte 50 kg/m<sup>3</sup>), von Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“ ebenfalls Ziegel mit einer Dicke von 24 cm und einer Dichte von 1'400 kg/m<sup>3</sup> und Mineralwollendämmplatten (10 bis 12 cm, Dichte 50 kg/m<sup>3</sup>) und von Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“ Ziegel mit einer Dicke zwischen 17 und 18 cm und einer Dichte von 1'400 kg/m<sup>3</sup> und mineralische Faserdämmplatten (16 bis 18 cm, Dichte 50 kg/m<sup>3</sup>).

Auffallend im Gesamtvergleich ist ferner der viel grössere Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung des Dachs des Referenzgebäudes „Friedenspromenade“. Eine Analyse der Materialzusammensetzung hat ergeben, dass für die Berechnung des jährlichen Heizwärmebedarfs fünf Lagen Bitumen (Bitumenanstrich und -dachbahn) berücksichtigt wurden (nach Wärmeschutznachweis).

Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien im Holzhaus „Messestadt Riem“ ist im Vergleich zu den anderen 7 Häusern am höchsten. Ausschlaggebend sind die Wände, die Dächer/Decken und die Bauteile der Grundfläche. Das Baumaterial Holz besitzt im Gegensatz zu den mineralischen Baustoffen einen Heizwert, der praktisch dem ausgewiesenen Primärenergiebedarf entspricht. Durch den Cut-Off-Ansatz in ecoinvent v 1.01<sup>16</sup> bleibt die im Holz gespeicherte Energie, welche bei der Verbrennung in der Müllverbrennungsanlage als Wärme oder zur Stromerzeugung genutzt wird, dem Holz angelastet.

Abb. 9 | CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Produktion, Ersatz und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle in kg/m<sup>2</sup> Nutzfläche



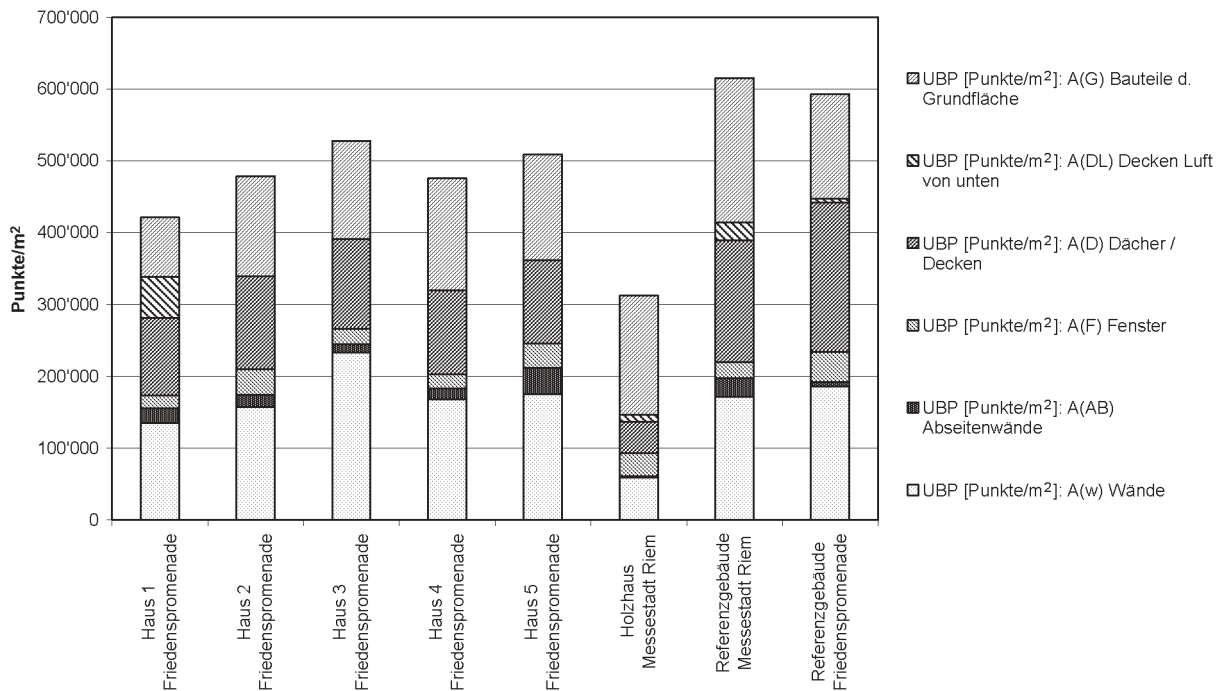
Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien der „Bauteile der Grundfläche“ hat ergeben, dass Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ der Friedenspromenade den kleinsten Anteil am Gesamtprimärenergiebedarf im Vergleich zu den anderen Gebäuden hat. Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien der Kellerdecke von Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ wird einerseits aufgrund der grossen Fläche, und andererseits durch die Hauptanteile Beton, Armierungseisen und mineralische Dämmung dominiert. Die Kellerdecke von Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ ist etwa gleich zusammengesetzt und besitzt fast den gleichen Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche. Der Unterschied wird damit durch die unterschiedlichen Kellerdeckenflächen (Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“: 200 m<sup>2</sup>, Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“: 316 m<sup>2</sup>) und die unterschiedlichen Nutzflächen (Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“: 1'612.83 m<sup>2</sup>, Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“: 1'392.77 m<sup>2</sup>) erklärbar.

Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien der „Bauteile der Grundfläche“ des Referenzgebäudes und Holzhauses „Messestadt Riem“ ist im Vergleich zu den anderen Gebäuden eher hoch. Dies liegt einerseits am höheren Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> Kellerdecke, welche beim Holzhaus vorwiegend durch Dampfsperre, Holzfußboden und Dämmung und beim Referenzgebäude „Messestadt Riem“ vorwiegend durch die Polystyrolämmung begründet ist. Andererseits sind die Kellerdeckenflächen bei diesen beiden Gebäuden grösser als bei den fünf Häusern an der Friedenspromenade.

Abb. 9 zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien der Bauteile der Gebäudehülle.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche durch die in der Gebäudehülle eingesetzten Bauteile und -materialien verursacht sind, verhalten sich mit Ausnahme der unten diskutierten Aspekte ähnlich wie der Primärenergiebedarf. Es sind auch die gleichen Gründe dafür verantwortlich, so dass hier nur auf die Unterschiede zwischen Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen eingegangen wird.

**Abb. 10 | Umweltbelastungspunkte (UBP) der Emissionen aus Produktion, Ersatz und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle in Punkte/m<sup>2</sup> Nutzfläche**



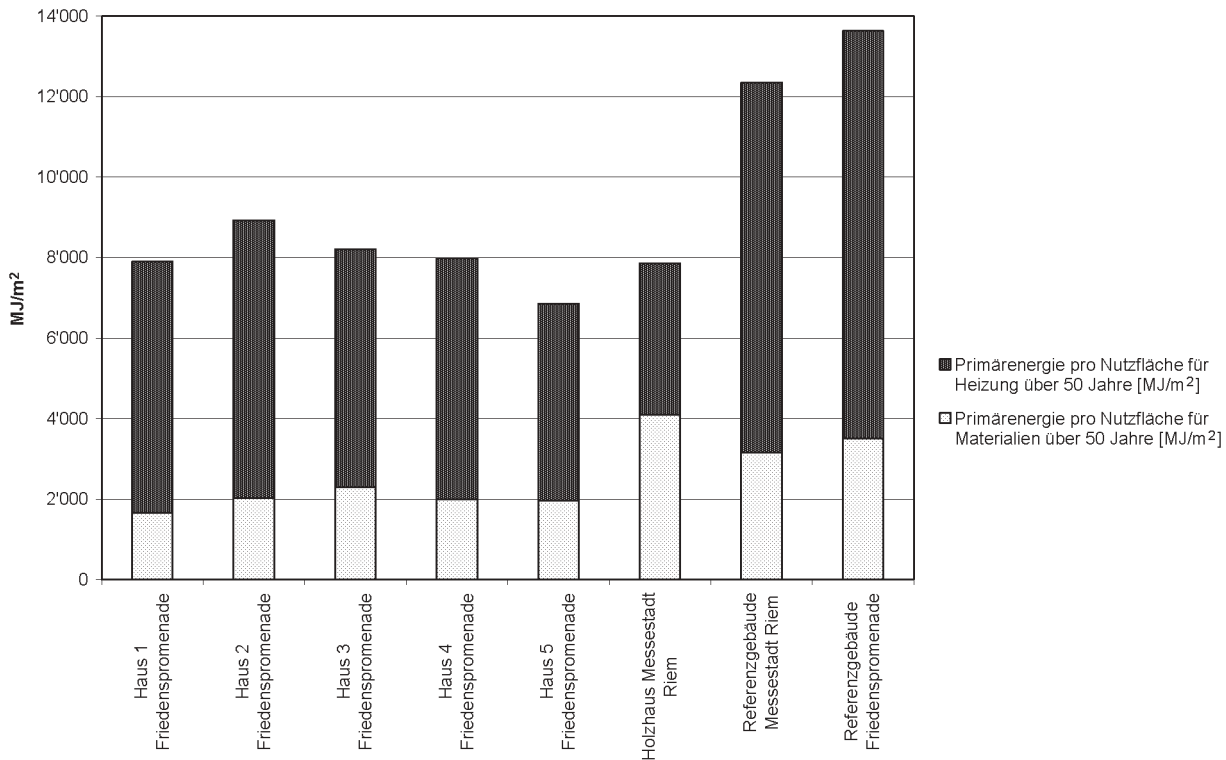
Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion und Entsorgung der Wände von Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ der Friedenspromenade und Holzhaus „Messestadt Riem“ sind im Verhältnis zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion und Entsorgung der gesamten Gebäude bedeutend kleiner als beim Primärenergiebedarf. Das im Holz der Eingangstüren und Fensterpaneele gebundene CO<sub>2</sub> bei Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ der Friedenspromenade und das in den Wandaufbauten des Holzhauses „Messestadt Riem“ gebundene CO<sub>2</sub> wird in der Erstellungs- und Betriebsphase als negative CO<sub>2</sub>-Emission behandelt. Bei der Entsorgung durch Verbrennen wird dieses dann wieder freigesetzt. Die resultierende CO<sub>2</sub>-Emission stammt somit nur aus den Aufwendungen für die Gewinnung, die Transporte und die Verarbeitung des Holzes. Das in Bezug auf Holzbaustoffe günstige Abschneiden des Holzhauses wird relativiert durch die Verwendung von Polystyrol (Fussboden gegen Erdreich) und Spanplatten (v.a. Aussenwände und Decke über Laubengang) welche bei der Entsorgung viel CO<sub>2</sub> emittieren.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion und Entsorgung der Materialien der Referenzgebäude sind höher als bei den restlichen Häusern. Dies liegt vorwiegend an den Wänden der Gebäude, darüber hinaus beim Referenzgebäude „Messestadt Riem“ an den „Bauteilen der Grundfläche“ und beim Referenzgebäude „Friedenspromenade“ am Dach. Die Wände beider Referenzgebäude bestehen mehrheitlich aus Stahlbeton und Polystyrolämmung. Die Beurteilung des Daches des Referenzgebäudes „Friedenspromenade“ beinhaltet vier Lagen Bitumen. Der hauptverantwortliche Baustoff der „Bauteile der Grundfläche“ des Referenzgebäudes „Messestadt Riem“ ist 6 cm Polystyrolwärme- und -trittschalldämmung. Zusätzlich ist die Nutzfläche des Referenzgebäudes „Messestadt Riem“ etwa 25% kleiner als die der übrigen Gebäude.

Abb. 10 zeigt die Umweltbelastungspunkte aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien für die Bauteile der Gebäudehülle.

Ein Vergleich der Rangfolge der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13 und 15“ an der Friedenspromenade anhand der Bewertung nach der „Methode der ökologischen Knappheit“ mit der Bewertung nach

**Abb. 11 | Primärenergiebedarf aus Produktion, Ersatz und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie zur Deckung der Nettotransmissionsverluste in MJ/m<sup>2</sup> Nutzfläche**



„Primärenergie“ (vergl. Abb. 8) zeigt, dass diese in etwa gleich sind. Allfällige Unterschiede liegen im Bereich einer 10% Unsicherheit, was bei den verwendeten Daten ohnehin als konservative Schätzung anzusehen ist. Die Unterschiede erklären sich aus denselben Umständen wie die Unterschiede im Primärenergiebedarf.

Die Bauteile der Gebäudehülle des Holzhauses „Messestadt Riem“ haben gesamthaft die tiefste Anzahl Umweltbelastungspunkte. Ausschlaggebend sind dabei die Bauteilkategorien „Wände“ und „Dächer/Decken“. Diese Konstruktionen bestehen aus einem sehr grossen Anteil von Holzbaustoffen, welche nach 50 Jahren mehrheitlich in einer Müllverbrennungsanlage entsorgt werden. Die „Methode der ökologischen Knappheit“ bewertet die Deponierung mineralischer Baustoffe aufgrund knappen Deponievolumens sehr hoch. Nicht-mineralische Baustoffe wie Holz, welche in der Müllverbrennungsanlage entsorgt werden können und kein Deponievolumen beanspruchen, schneiden somit methodenbedingt vorteilhaft ab, besonders wenn die Verbrennung, wie dies für Holz der Fall ist, CO<sub>2</sub> neutral ist.

### 9.3.3 Gesamtbetrachtung der Bauteile der Gebäudehülle und Betrieb

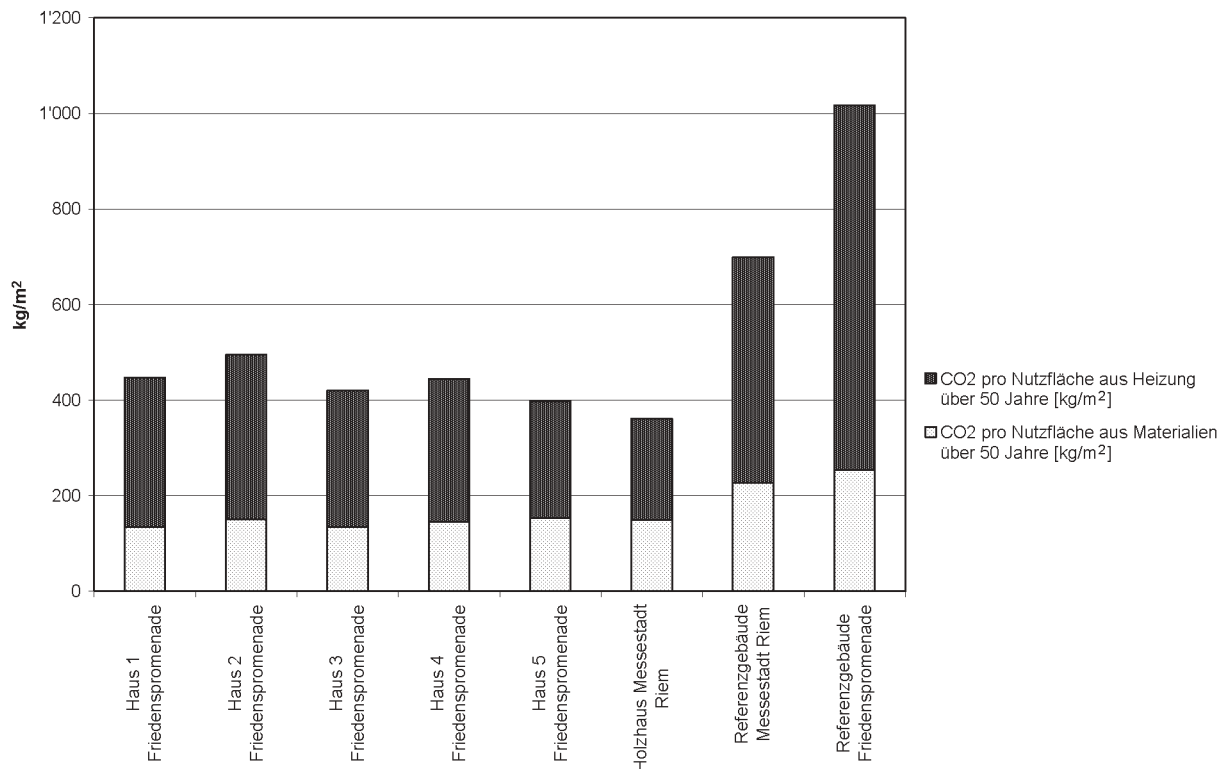
Die Resultatdiskussion in diesem Kapitel erklärt das Verhältnis der Umweltauswirkungen aus dem Betrieb (Heizungsaufwendungen) zu den Materialaufwendungen für die Gebäudehülle über 50 Jahre für alle Indikatoren. Grundlage dafür sind Diagramme mit den acht Gebäuden auf der x-Achse und den Umweltauswirkungen auf der y-Achse. Die Umweltauswirkungen sind zweiteilig dargestellt. Der helle Teil zeigt die Auswirkungen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien und der dunkle Teil die Auswirkungen aus der Betriebsphase (Heizung).

Abb. 11 zeigt den gesamten Primärenergiebedarf aus Produktion, Ersatz und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie aus dem Betrieb der Gebäude über 50 Jahre.

In der Gesamtbetrachtung schneidet Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“ an der Friedenspromenade bezüglich des Indikators Primärenergiebedarf pro m<sup>2</sup> Nutzfläche am besten ab, gefolgt vom Holzhaus „Messestadt Riem“ und den verbleibenden vier Häusern an der Friedenspromenade.



**Abb. 12 | CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Gebäudehülle sowie zur Deckung der Nettotransmissionsverluste in kg/m<sup>2</sup> Nutzfläche**



Die beiden Referenzgebäude weisen das schlechteste Gesamtergebnis auf. Ausschlaggebend bei allen Häusern ist, ausgenommen beim Holzhaus „Messestadt Riem“, der Primärenergiebedarf der Betriebsphase (vergl. Kapitel 9.3.1). Dieser Anteil trägt zwischen 70 und 80% zum gesamten Primärenergiebedarf bei.

Die Primärenergiebedarfe der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle liegen für die Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ in dieser Darstellung relativ nahe beieinander. Der auffallend höhere Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle beim Holzhaus „Messestadt Riem“ liegt an der im Holz gespeicherten Energie (vergl. 9.3.2). Das Holzhaus „Messestadt Riem“ hat von allen acht Gebäuden den geringsten Primärenergiebedarf aus dem Betrieb.

Abb. 12 zeigt die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie dem Betrieb der Gebäude über 50 Jahre.

In der Gesamtbetrachtung schneidet das Holzhaus in München-Riem bezüglich des Indikators CO<sub>2</sub>-Emissionen pro m<sup>2</sup> Nutzfläche am besten ab, gefolgt von den fünf Häusern an der Friedenspromenade. Die Referenzgebäude weisen die schlechtesten Gesamtergebnisse auf. Die Gesamtergebnisse werden bei allen Häusern durch die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Heizaufwendungen dominiert, welche etwa 65 bis knapp 80 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des gesamten Lebenszyklus pro m<sup>2</sup> Nutzfläche ausmachen.

Betreffend CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien liegen alle Häuser nahe beieinander. Die auffallend höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien bei den Referenzgebäuden stammen mehrheitlich aus den fünf Lagen Bitumen (Bitumenanstriche und -dachbahnen), welche beim Referenzgebäude „Friedenspromenade“ berücksichtigt sind, und wird beim Referenzgebäude „Messestadt Riem“ durch die markant kleinere Nutzfläche (vergl. Tab. 7) verstärkt zum Ausdruck gebracht (vergl. Kapitel 9.3.2).

**Abb. 13 | Umweltbelastungspunkte (UBP) der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie zur Deckung der Nettotransmissionsverluste in Punkte/m<sup>2</sup> Nutzfläche**

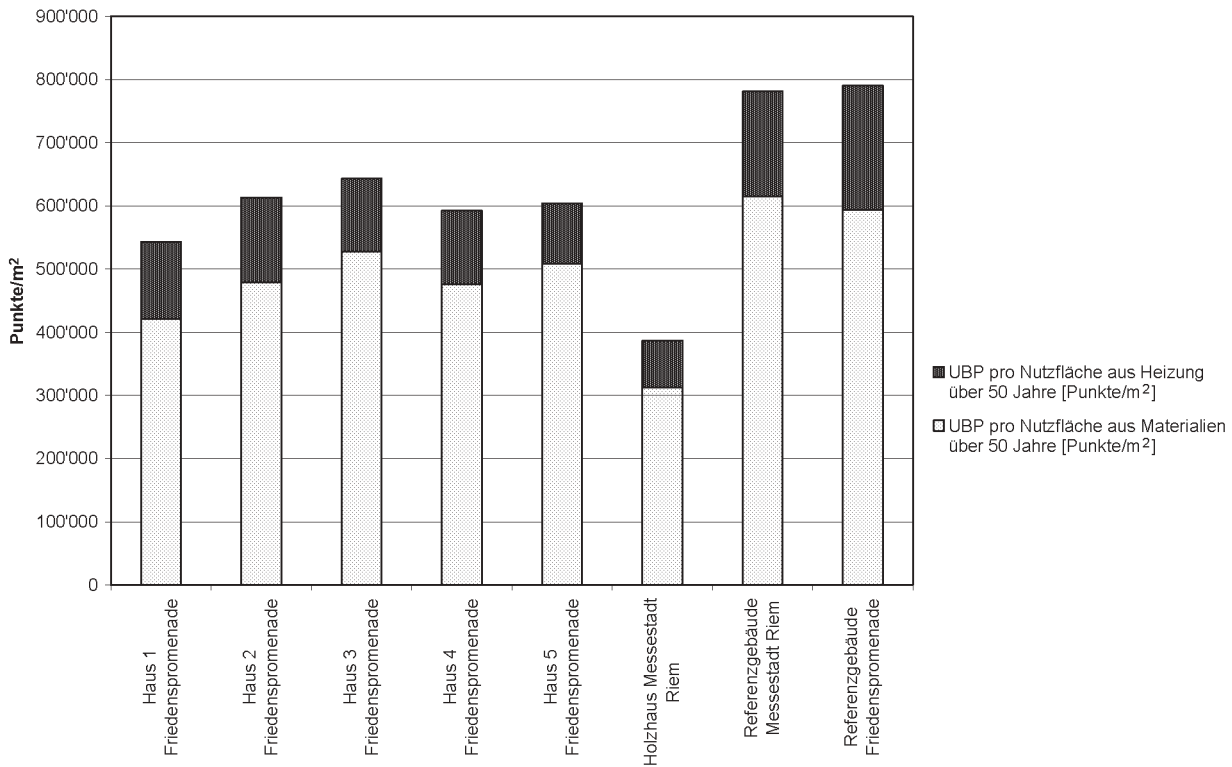


Abb. 13 zeigt die Umweltbelastungspunkte der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie des Betriebs der Gebäude über 50 Jahre.

Die Bewertung nach Umweltbelastungspunkten zeigt gesamthaft eine ähnliche Rangfolge wie die Bewertung nach Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen. Das Verhältnis der Auswirkungen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle zu den Auswirkungen aus den Heizaufwendungen hat sich deutlich auf die Seite der Materialien verschoben. So stammen etwa 70 bis 80% der Umweltbelastungspunkte aus Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle.

Dies liegt vor allem daran, dass die „Methode der ökologischen Knappheit“ die Deponierung aufgrund knappen Deponievolumens sehr hoch bewertet (500 Umweltbelastungspunkte pro kg zu entsorgendes Material (BUWAL (1998)<sup>17)</sup>). Da der weitaus grösste Anteil der Materialien aus den mineralischen Gebäuden in einer Inertstoffdeponie entsorgt wird, wird die Entsorgung der gewählten Materialien etwa 3- bis 6-mal höher bewertet als deren Produktion.

Die Bewertung der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle von Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“ schliesst bezüglich der Umweltbelastungspunkte im Vergleich zu den anderen vier Gebäuden an der Friedenspromenade trotz besserer CO<sub>2</sub>-Bilanz etwas schlechter ab. Der Grund liegt zum einen an der Gebäudenutzfläche, welche bei etwa gleichem Gebäudevolumen um etwa 15% kleiner ist. Dies bedeutet bei einer Normierung auf die Nutzfläche eine entsprechende Erhöhung der Belastung. Ein weiterer Grund sind die Staubemissionen aus der Gewinnung des Kalksteines als Rohstoff für den Kalksandstein, welcher sich negativ in der UBP Bewertungsbilanz auswirkt.

Die in UBP ausgedrückte Umweltbelastung aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle vom Holzhaus ist kleiner, weil der grösste Teil bei einem Abbruch CO<sub>2</sub> neutral verbrannt und somit weder CO<sub>2</sub> emittiert noch ein relevantes Deponievolumen beansprucht wird.

17) Die Umweltbelastungspunkte für das zu deponierende Material wird in der „Methode der ökologischen Knappheit“ aufgrund einer durchschnittlichen Baumaterialdichte von m<sup>3</sup> auf kg umgerechnet. Nur so kann eine Konsistenz mit den anderen Bewertungsmethoden, welche kg nachfragen, erreicht werden.

### 9.3.4 Bauteilvergleich anhand verschiedener Aussenwandkonstruktionen

Der Vergleich der Umweltauswirkungen aus den einzelnen Bauteilen mit der funktionellen Einheit m<sup>2</sup> Bauteilfläche erlaubt von allen untersuchten funktionellen Einheiten (Gebäude pro m<sup>2</sup> Nutzfläche, Aussenbauteilgruppen pro m<sup>2</sup> Nutzfläche) Aussagen auf Stufe der Materialien, da hier die Ursachen klarer zuzuordnen sind. Die ausführlichen Grafiken mit den Umweltauswirkungen aller Bauteile der Gebäudehülle aller Gebäude für alle Indikatoren sind aus Platzgründen in den Anhängen 1 bis 3 abgelegt.

### 9.3.4.1 Beschreibung der Aussenwandkonstruktionen

Aufgrund der genauen Bauteilbeschreibung (inkl. Materialien) und der grossen Unterschiede in den Auswirkungen beschränkt sich diese Studie auf einige unterschiedliche Aussenwandkonstruktionen.

Aussenwände sind stark der Witterung ausgesetzt und entsprechend anfällig auf konstruktionsbedingte Fehler. In Kapitel 9.6 wird der Einfluss der Lebensdauer der Dämmschicht auf die Gesamtauswirkungen anhand von zwei Aussenwänden untersucht.

**Abb. 14 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“: Aussenwand Ost und West (36.5 cm Porenbeton), U-Wert: 0.233 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)           | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>λ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---|-------------------|------------------------------|--|--|
|   | m                 | W/mK                         | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                    | 0.0150            | 0.350                        | 40   | 2  |
| Gasbeton-Plansteine, DIN 4165, 0.400      | 0.3650            | 0.090                        | 50   | 1  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk | 0.0200            | 0.870                        | 25   | 2  |

**Abb. 15 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“: Aussenwand Süd (24 cm Ziegel, 12 cm Mineralwolle), U-Wert: 0.274 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)              | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>λ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|--|-------------------|------------------------------|--|--|
|  | m                 | W/mK                         | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                       | 0,0150            | 0,350                        | 40   | 2  |
| Hochlochziegel, 1.400                        | 0,2400            | 0,580                        | 70   | 1  |
| Mineralische/Pflanzliche Faserdämmstoffe 040 | 0,1200            | 0,040                        | 25   | 2  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk    | 0,0150            | 0,870                        | 25   | 2  |

**Abb. 16 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“: Aussenwand Nord (17.5 cm Kalksandstein, 16 cm Mineralwolle), U-Wert: 0.227 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)                    | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>λ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|--|-------------------|------------------------------|--|--|
|  | m                 | W/mK                         | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                             | 0,0150            | 0,350                        | 40   | 2  |
| Kalksand-, Kalksand-Plansteine, DIN 106/1+2, 1.800 | 0,1750            | 0,990                        | 70   | 1  |
| Mineralische/Pflanzliche Faserdämmstoffe 040       | 0,1600            | 0,040                        | 25   | 2  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk          | 0,0150            | 0,870                        | 25   | 2  |

**Abb. 17 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“:  
Aussenwand Süd (24 cm Mauerwerk, 12 cm Mineralwolle), U-Wert: 0.270 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)           | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|   | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                    | 0.0150            | 0.350                                | 40   | 2  |
| Hochlochziegel, 1.200                     | 0.2400            | 0.500                                | 70   | 1  |
| Mineralwolle Dämmplatten WLG 040          | 0.1200            | 0.040                                | 25   | 2  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk | 0.0070            | 0.870                                | 25   | 2  |

**Abb. 18 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“:  
Aussenwand Nord (17.5 cm Mauerwerk, 16 cm Mineralwolle), U-Wert: 0.199 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)              | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|--|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|  | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                       | 0,015             | 0,350                                | 40   | 2  |
| Hochlochziegel, 1.400                        | 0,175             | 0,580                                | 70   | 1  |
| Mineralische/Pflanzliche Faserdämmstoffe 040 | 0,1600            | 0,040                                | 25   | 2  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk    | 0,0150            | 0,870                                | 25   | 2  |

**Abb. 19 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Holzhaus „Messestadt Riem“:  
Aussenwand Nord (26 cm Holzständerkonstruktion, Zellulosefaserdämmung), U-Wert: 0.150 W/m<sup>2</sup>K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)                                      | Dicke<br>Material                                     | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|--|---|--------------------------------------|--|--|
|  | m   | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipskartonplatten nach DIN 18180                                     | 0.0125  | 0.210                                | 40   | 2  |
| Lattung mit Mineralfaserplatten WLG 035                              | 0.0400  | 0.054                                | 40   | 2  |
| Dampfsperre z.B. PE-Folie  | 0.0002  | 0.300                                | 40   | 2  |
| Spanplatte E1  | 0.0160  | 0.150                                | 40   | 2  |
| Zellulosefaser-Wärmedämmung WLG 040 zwischen vertikalen Holzständern | 0.2600  | 0.049                                | 35   | 2  |
| <i>vertikale Holzständer (Menge Holz auf m<sup>2</sup> verteilt)</i> | <i>für ökologische Bewertung nicht berücksichtigt</i> |                                      |  |  |
| Spanplatte   | 0.0160  | 0.150                                | 25   | 2  |
| Luftschicht senkrecht  | 0.0300  | 0.176                                |  |  |
| Holz ( Fichte, Kiefer, Tanne)  | 0.0200  | 0.130                                | 25   | 2  |

**Abb. 20 | Baustoffkennwert und Lebensdauer Aussenwand Referenzhaus „Messestadt Riem“:  
Aussenwand Süd1 (24 cm Ziegel, 8cm Polystyrol Wärmedämmung), U-Wert: 0.370 W/m²K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung) | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|                                 | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Zementinnenputz                 | 0,0150            | 0,700                                | 40   | 2  |
| 24 cm Hochlochziegel 1.2        | 0,2400            | 0,500                                | 70   | 1  |
| 8 cm Wärmedämmung 040           | 0,0800            | 0,040                                | 40   | 2  |

**Abb. 21 | Baustoffkennwert und Lebensdauer Aussenwand 1 Referenzgebäude „Friedenspromenade“:  
Außenwand Ziegel (24 cm Ziegel, 8 cm Polystyrol Wärmedämmung), U-Wert: 0.382 W/m²K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung) | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|                                 | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipsputz                        | 0,0150            | 0,550                                | 40   | 2  |
| Ziegel                          | 0,2400            | 0,580                                | 70   | 1  |
| Polystyrolhartschaum 040        | 0,0800            | 0,040                                | 25   | 2  |
| Kunstharzputz                   | 0,0050            | 0,700                                | 25   | 2  |

**Abb. 22 | Baustoffkennwert und Lebensdauer Aussenwand 2 Referenzgebäude „Friedenspromenade“:  
Aussenwand Beton (20 cm Stahlbeton, 8 cm Polystyrol Wärmedämmung), U-Wert: 0.435 W/m²K**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung) | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nut-<br>zungsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|                                 | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipsputz                        | 0,0150            | 0,550                                | 40   | 2  |
| Beton normal DIN 1045           | 0,2000            | 2,100                                | 70   | 1  |
| Armierungsstahl                 | 0,0020            |                                      | 70   | 1  |
| Polystyrolhartschaum 040        | 0,0800            | 0,040                                | 25   | 2  |
| Kunstharzputz                   | 0,0050            | 0,700                                | 25   | 2  |

### 9.3.4.2 Auswirkungen aus den verschiedenen Aussenwandkonstruktionen

Jede Bewertung anhand der betrachteten Umweltindikatoren ergibt eine andere Rangfolge der acht Aussenwandkonstruktionen. Jedoch verhalten sich die Auswirkungen aus der Betriebsphase (Heizungsaufwendungen) für alle Indikatoren und Gebäude relativ zueinander gleich.

Die Differenz der Transmissionsverluste und der solaren Gewinne (=Nettotransmissionsverluste) sind Grundlage der Berechnung der Wärmeverluste pro m² Bauteilfläche. Die Verteilung erfolgt aufgrund der (effektiven) U-Werte der Konstruktionen.

Die Auswirkungen aus Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung der Konstruktionen sind je nach Indikator sehr unterschiedlich und werden deshalb im Folgenden für jeden Indikator einzeln diskutiert.

**Abb. 23 | Primärenergiebedarf aus Produktion, Ersatz und Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste in MJ/m<sup>2</sup> Bauteilfläche**

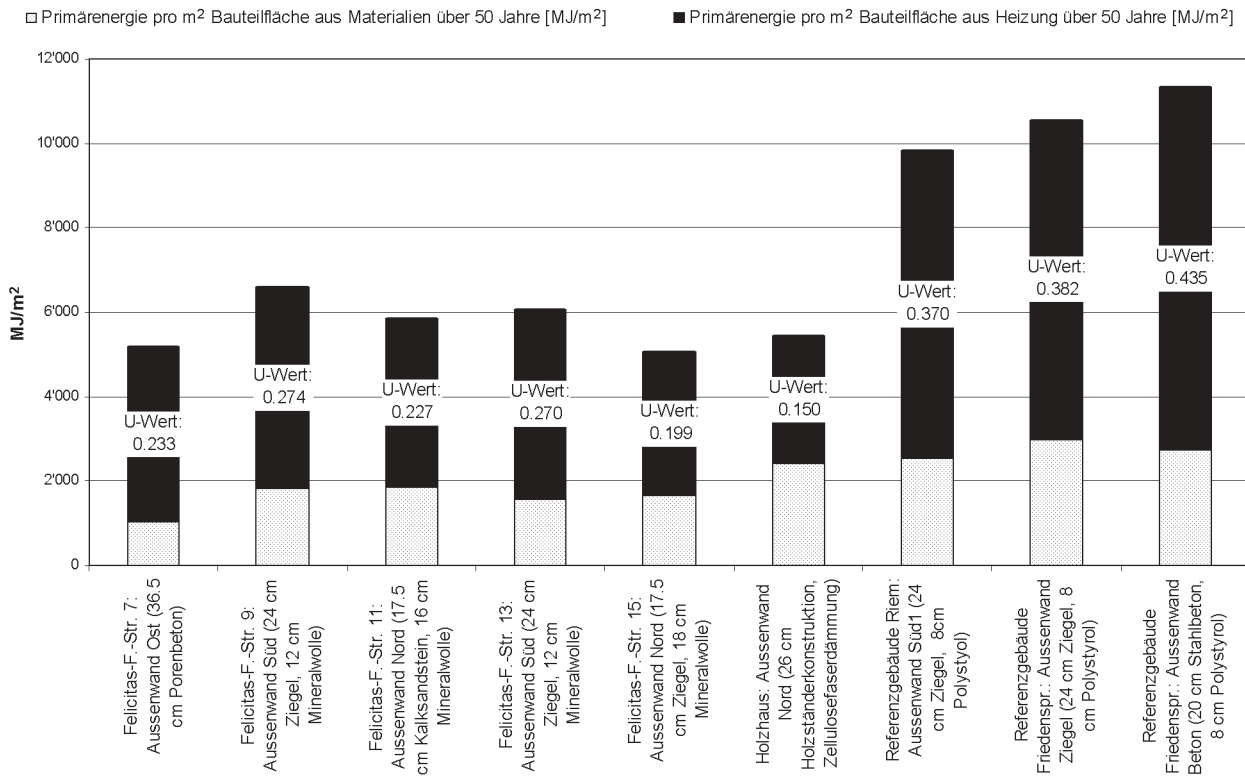


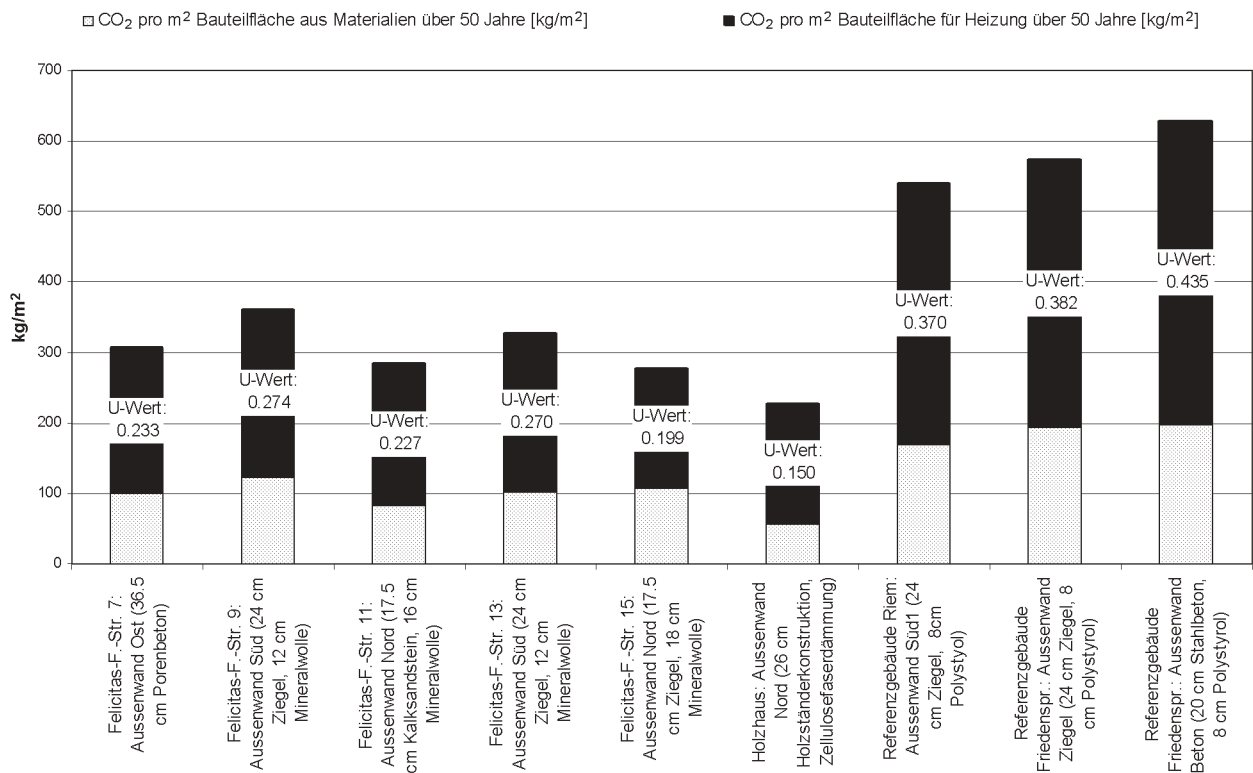
Abb. 23 zeigt den gesamte Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen über 50 Jahre.

Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der betrachteten Außenwände beträgt je nach Wandaufbau und Energiestandard zwischen 10 und 40% des gesamten Primärenergiebedarfs über 50 Jahre.

Die untersuchte Aussenwandkonstruktion des Holzhauses „Messestadt Riem“ hat einerseits einen hohen Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Materialien (vorwiegend Holzständerkonstruktion mit Zellulosefaserwärmedämmung) und andererseits einen guten Dämmwert (U-Wert: 0.150), was wiederum einen eher tiefen Primärenergiebedarf aus dem Betrieb zur Folge hat.

Die untersuchten Aussenwandkonstruktionen der Häuser 2, 4 und 5 „Felicitas-Füss-Strasse 9, 13 und 15“ an der Friedenspromenade bestehen alle vorwiegend aus einer Ziegelwand und einer Dämmschicht aus Mineralwolle. Unterschiedlich sind die Schichtdicken und die Dichte der verwendeten Ziegel. Entsprechend unterscheiden sich auch die Umweltauswirkungen. Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“ hat trotz der gleichen Materialwahl und -dicke einen etwas tieferen materialbezogenen Primärenergiebedarf als Häuser 2 und 5 „Felicitas-Füss-Strasse 9 und 15“. Dies aufgrund des geringeren Gewichts des verwendeten Steines (1'200 kg/m<sup>3</sup> statt 1'400 kg/m<sup>3</sup>). Der Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Wandkonstruktion von Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“ ist etwa vergleichbar mit der von Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“, obwohl die Schichtdicken beider Hauptbestandteile Ziegel und Steinwolle unterschiedlich sind. Eine dünnere Ziegelschicht gleicht eine dickere Mineralwollschicht aus Sicht des Primärenergiebedarfs etwa aus. Eine wichtige Folge der dickeren Mineralwollschicht ist erwartungsgemäss eine markante Reduktion des Primärenergiebedarfs der Betriebsphase.

**Abb. 24 | CO<sub>2</sub>-Emissionen der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste in kg/m<sup>2</sup> Bauteilfläche**



Die untersuchte Aussenwandkonstruktion von Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ besteht vorwiegend aus Porenbeton. Der Primärenergiebedarf für die Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung von einem Kilogramm Porenbeton ist höher als der von einem Kilogramm Ziegel. Weil die Dichte aber deutlich kleiner ist als bei Ziegel (400 kg/m<sup>3</sup> statt 1'400 kg/m<sup>3</sup> in Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“) und auch kein zusätzliches Dämmmaterial nötig ist, schneidet die Porenbetonwandkonstruktion bezüglich des Primärenergiebedarfs für die Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung, im Vergleich zu allen anderen betrachteten Materialien, am besten ab.

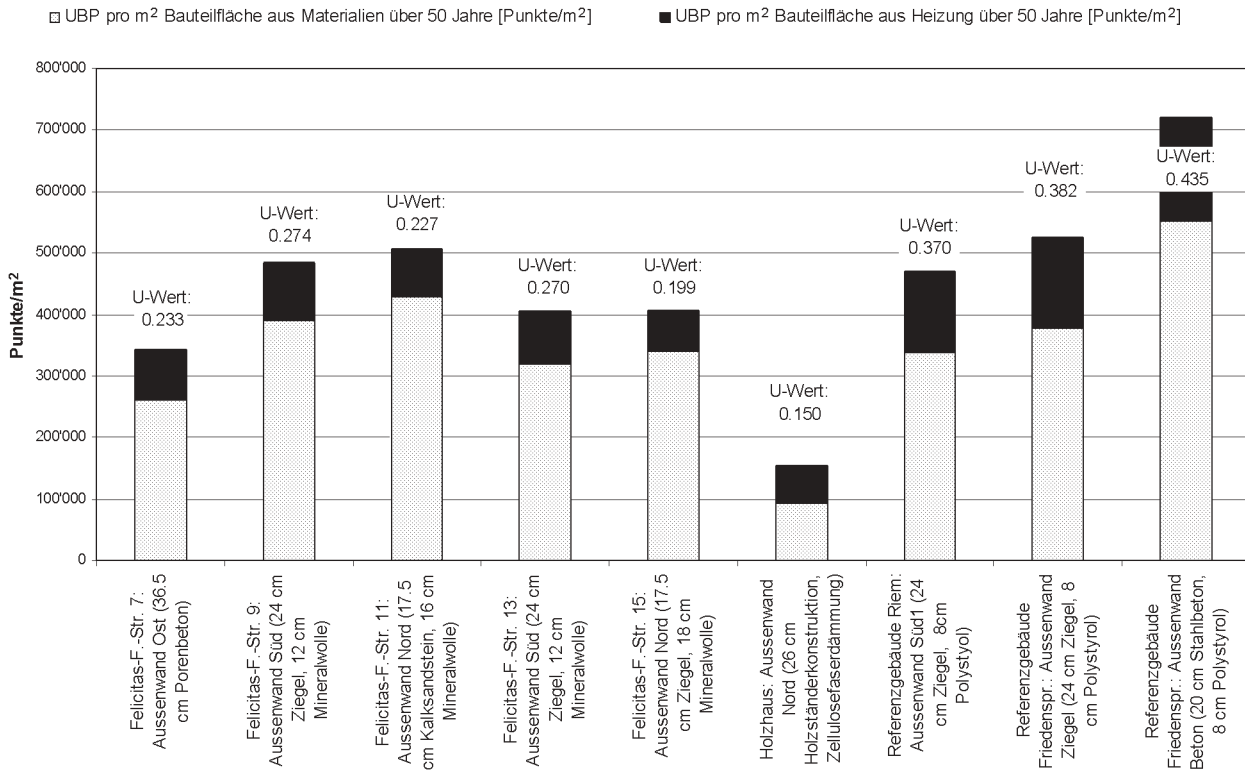
Die drei untersuchten Aussenwandkonstruktionen der beiden Referenzgebäude bestehen vorwiegend aus einer Schicht Ziegelstein oder Stahlbeton und einer Schicht Polystyrol. Die Dämmleistung aller betrachteten Konstruktionen ist schlechter als für die Wandkonstruktionen aller übrigen Gebäude, was sich im hohen Primärenergiebedarf der Betriebsphase ausdrückt.

Der Primärenergiebedarf für die Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung ist durch das verwendete Polystyrol ebenfalls bedeutend höher. Polystyrol besitzt wie Holz im Gegensatz zu den mineralischen Baustoffen einen Heizwert. Durch den Cut-Off-Ansatz in ecoinvent v 1.01<sup>18</sup> bleibt die im organischen Material gespeicherte Energie, welche bei der Verbrennung in der Müllverbrennungsanlage als Wärme oder zur Stromerzeugung genutzt werden kann, dem organischen Material angelastet (Siehe Kapitel 5.5, Beschreibung der Sachbilanzdaten)

Abb. 24 zeigt die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Produktion, Ersetzung(en) und Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen über 50 Jahre.

18) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003

**Abb. 25 | Umweltbelastungspunkte der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste in Punkte/m<sup>2</sup> Bauteilfläche**



Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der betrachteten Aussenwände liegen je nach Wandaufbau und Energiestandard zwischen 20 und 40% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen (inklusive der Kompensation der Nettotransmissionsverluste) über 50 Jahre. Auch für diesen Indikator ist für die betrachteten Konstruktionen somit die Betriebsphase ausschlaggebender.

Die untersuchte Aussenwandkonstruktion des Holzhauses „Messestadt Riem“ erreicht mit der tiefsten CO<sub>2</sub>-Emission aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung (vorwiegend Holzständerkonstruktion mit Zellulosefaserwärmedämmung) auch den besten Dämmwert aller Wandaufbauten (U-Wert: 0.150) was wiederum eine eher tiefe CO<sub>2</sub>-Emission aus dem Betrieb zur Folge hat. Die tiefe CO<sub>2</sub>-Emission aus der Holzkonstruktion gründet wie in Kapitel 9.3.2 beschrieben, in der CO<sub>2</sub>-Neutralität des Holzes über dessen gesamte Lebensdauer. Es resultieren daher nur die Emissionen Holzgewinnung, die -transporte und die -verarbeitung.

Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der untersuchten Außenwandkonstruktionen der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ der Friedenspromenade liegen alle in einem ähnlichen Bereich. Dies liegt daran, dass die Herstellung, die Transporte und die Entsorgung der gewählten Materialkombinationen für alle Gebäude an der Friedenspromenade aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Emission ähnlich sind.

Die drei untersuchten Aussenwandkonstruktionen der beiden Referenzgebäude bestehen vorwiegend aus einem Ziegelmauerwerk oder einer Stahlbetonmauer mit Polystyrol dämmung. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der verwendeten Materialien sind aufgrund des Polystyrols bedeutend höher als die der anderen Wandaufbauten. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen stammen vorwiegend aus der Verbrennung des Polystyrol in der Müllverbrennungsanlage.



Abb. 25 zeigt die Umweltbelastungspunkte aus Produktion, Ersatz und Entsorgung sowie der Kompensation der Nettotransmissionsverluste der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen über 50 Jahre.

Die Umweltbelastungspunkte der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der für die betrachteten Aussenwände verwendeten Materialien liegen je nach Wandaufbau und Energiestandard zwischen 60 und 85% der gesamten Umweltbelastungspunktezahl (inklusive der Kompensation der Nettotransmissionsverluste) über 50 Jahre. Für diesen Indikator und für die betrachteten Wandaufbauten ist somit die Materialwahl ausschlaggebend. Dies liegt wie in Kapitel 5.6 beschrieben vor allem an der „Methode der ökologischen Knappheit“.

Da der weitaus grösste Teil der Materialien aus den mineralischen Gebäuden heute in einer Inertstoffdeponie entsorgt werden, fallen hier auch die meisten Umweltbelastungspunkte an. Entsprechend ist eine Korrelation zwischen den zu entsorgenden Massen (vergl. Abb. 30 im Kapitel 9.5 (Entsorgung)) und den Umweltbelastungspunkten aus den Materialaufwendungen festzustellen. Das Holzhaus „Messestadt Riem“ schneidet aufgrund der grossen Menge Holz als Baumaterial, welches CO<sub>2</sub>-neutral in einer Verbrennungsanlage entsorgt werden kann, am besten ab. Das Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ der Friedenspromenade schneidet ebenfalls relativ gut ab, da es aus sehr leichten Materialien gebaut ist.

Ein Vergleich aller Indikatoren zeigt, dass kein linearer Zusammenhang zwischen den Auswirkungen aus den Wandkonstruktionen und den Auswirkungen aus der Betriebsphase feststellbar ist.

## 9.4 Ökonomie

### 9.4.1 Allgemeines

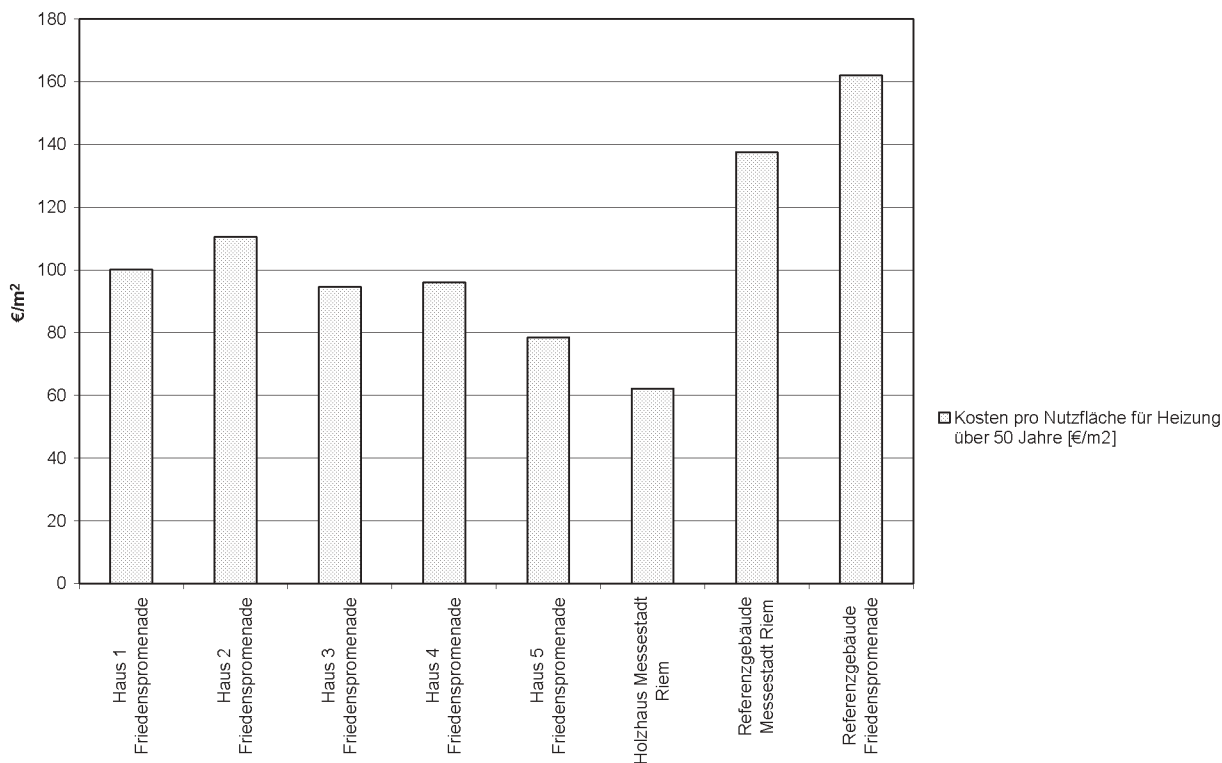
Eine fundierte Kostenschätzung für die Bauteile der Gebäudehülle, wie sie in den Wärmeschutznachweisen dargestellt sind, ist sehr schwierig. Vorhandene Schätzungen wie auch gerechnete Angebote umfassen die Kosten der Materialien für das gesamte Gebäude (inkl. Abschlussleisten, Abstandhalter, etc.) und berücksichtigen entsprechend den gesamten Arbeitsaufwand. Eine Reduktion auf das „System“ Bauteile der Gebäudehülle kann nur grob geschätzt werden. Die Kosten in dieser Studie haben folgende Quellen:

- Häuser 1 und 4 „Felicitas-Füss-Strasse 7 und 13“:  
Kostenermittlung durch eigene Berechnungen, basierend auf deutschen Marktmittelpreisen. Weil diese Preise nicht situativ sind, erlauben sie vergleichbarere Aussagen.
- Häuser 2, 3 und 5 „Felicitas-Füss-Strasse 9, 11, 15“ und Referenzgebäude „Friedenspromenade“:  
Grobe Ableitung aus oben genannter Bauteilpreisermittlung.
- Holzhaus „München-Riem“:  
Kostenermittlung durch Architekten. Es ist zu bemerken, dass hier alle notwendigen Anschlüsse und Nebenarbeiten (z.B. Fassadensockel, Randverbindungen, Aussparungen für Fenster, Türen, Treppen, Sockelleisten, Gerüste, Werkstattplanung) in den Bauteilpreisen enthalten sind.

Die Studie zeigt, dass die Preise keine konsistente Berechnungs- oder besser Ermittlungsgrundlage bieten. Aufgrund der Systemgrenzen der Erhebung bleibt unklar, wie die Preise wirklich mit den Bauteilen der Gebäudehülle korrelieren. Alle Schätzungen beinhalten zudem keine Austauscharbeiten. Sie beschränken sich auf einmalige Investitionskosten. Im Gegensatz dazu berücksichtigen die ökologischen Auswirkungen die Nutzungsdauer bedingten Erneuerungen.

Aus oben genannten Gründen wird in diesem Projekt kein Zusammenhang zwischen ökologischen und ökonomischen Bewertungen dargestellt. Wenn ein Unsicherheitsfaktor in der Kostenermittlung von +/- 20% angenommen wird, so zeigt sich, dass innerhalb der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13 und 15“ der Friedenspromenade keine vertretbaren Aussagen mehr möglich sind.

Abb. 26 | Kosten für die Deckung der Nettotransmissionsverluste über 50 Jahre in €/m<sup>2</sup> Nutzfläche



### 9.4.2 Betrieb der Gebäude

Die Resultatdiskussion beschränkt sich in diesem Kapitel auf die Kosten aus dem Betrieb (Nettotransmissionsverluste) über 50 Jahre. Grundlage dafür sind Diagramme mit den acht Gebäuden auf der x-Achse und den Kosten auf der y-Achse.

Abb. 26 zeigt die Kosten der Kompensation der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle.

Die Betriebskosten stellen die Kosten zur Kompensation der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre dar.

Mit Ausnahme des Holzhauses und Referenzhauses „Messestadt Riem“ werden alle Gebäude mit einer zentralen Gasheizung geheizt. Die beiden verbleibenden Gebäude sind an ein Fernwärmenetz angeschlossen. Diese Wärme wird durch eine Industriegasfeuerung produziert. Die Kosten pro MJ Endenergie beträgt für beide Heizsysteme 0.021 €/MJ. Entsprechend korreliert die Rangfolge aus den Nettotransmissionsverlusten über die Bauteile der Gebäudehülle pro m<sup>2</sup> Nutzfläche mit der Rangfolge der entsprechenden Kosten.

### 9.4.3 Bauteile der Gebäudehülle

Dieses Kapitel beschränkt sich auf die Kosten aus der Erstellung und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre. Abb. 28 zeigt diese Kosten für die acht Gebäude, unterteilt in Bauteilgruppen. Die Bauteilgruppeneinteilung und deren Beschreibung wurden den Wärmeschutznachweisen entnommen.

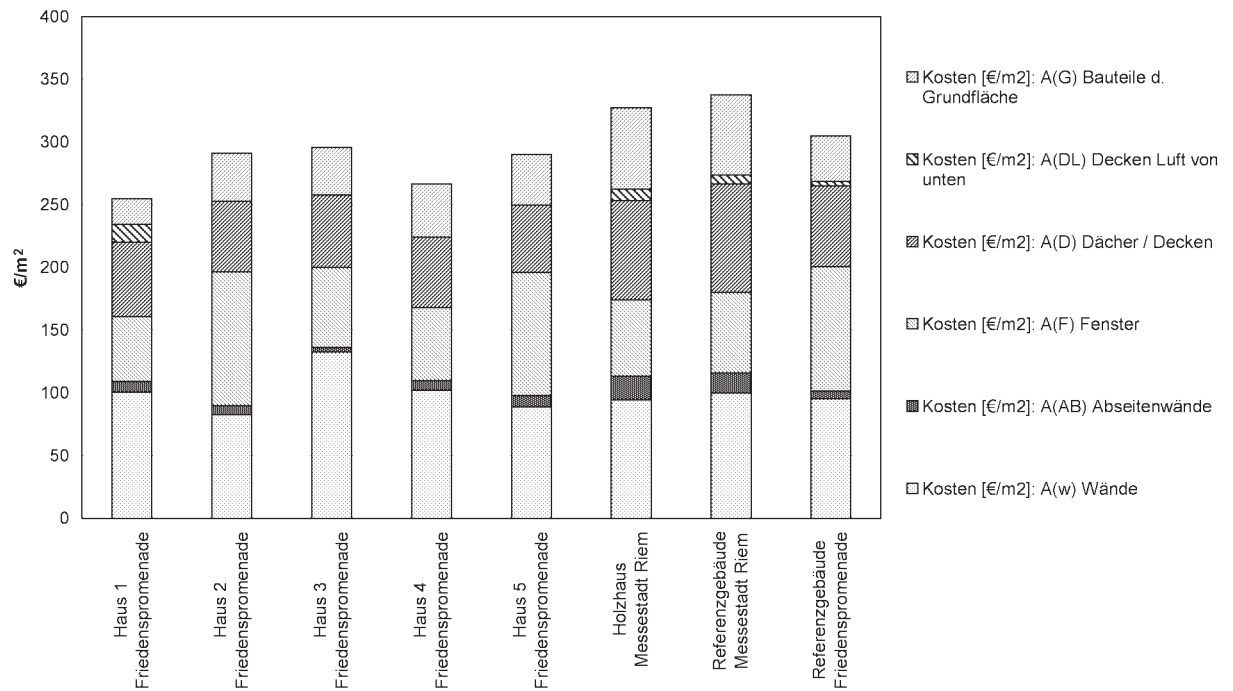
Abb. 27 zeigt Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile der Gebäudehülle unterteilt in Bauteilgruppen.

Die Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile der Gebäudehülle aller Gebäude liegen in einem Bereich von +/- 20% vom Mittelwert. Da dies etwa der geschätzten Unsicherheit entspricht, wird nicht näher auf die Unterschiede eingegangen.

### 9.4.4 Gesamtbetrachtung der Bauteile der Gebäudehülle und Betrieb

Die Resultatdiskussion in diesem Kapitel erklärt das Verhältnis der Kosten aus dem Betrieb (zur Kompensation der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle) zu den Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre (Abb. 28).

**Abb. 27 | Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile der Gebäudehülle unterteilt in Bauteilgruppen in €/m<sup>2</sup> Nutzfläche**



**Abb. 28 | Kosten aus der Produktion und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie zur Deckung der Nettotransmissionsverluste in €/m<sup>2</sup> Nutzfläche**

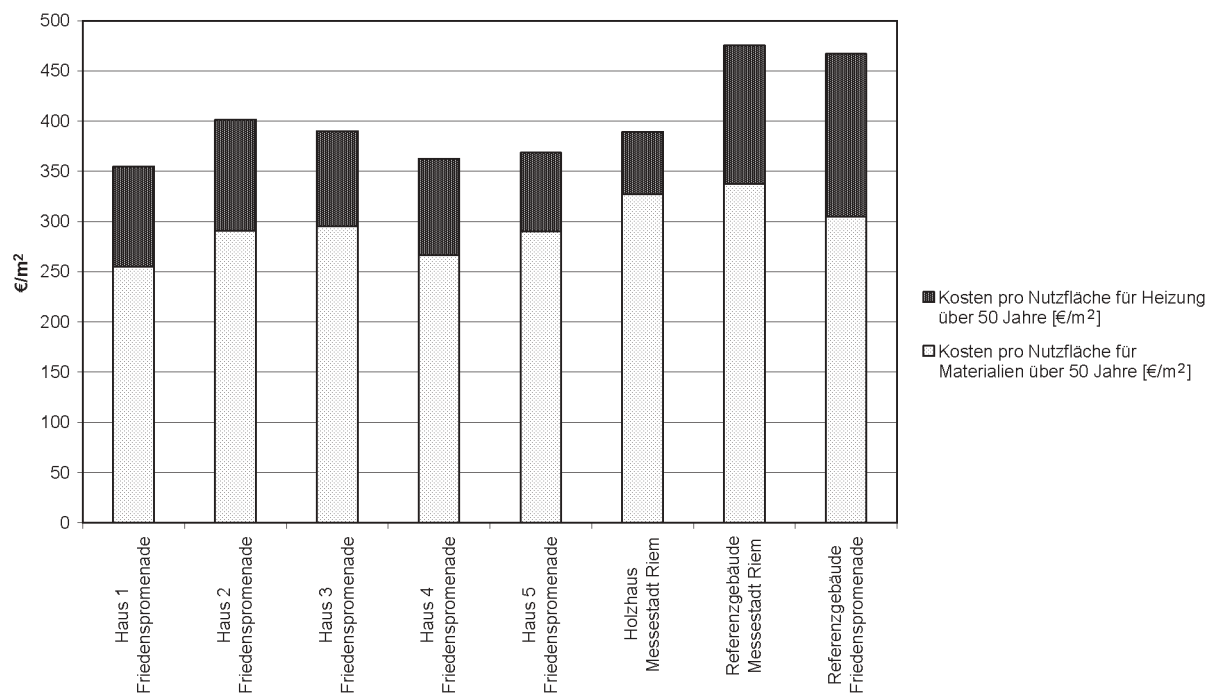
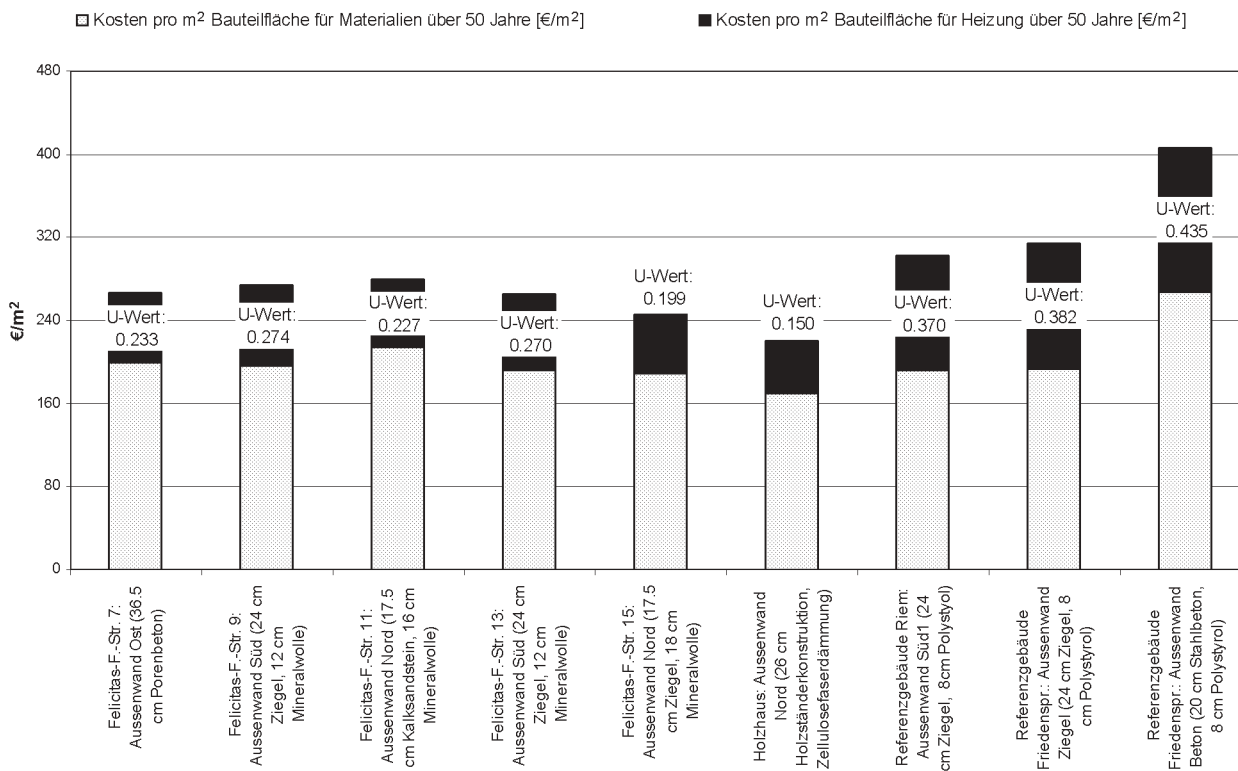


Abb. 29 | Kosten ausgewählter Aussenwände der Gebäudehülle aller Häuser in Euro pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche



Die Kosten zur Kompensation der Nettotransmissionsverluste über die Bauteile der Gebäudehülle pro m<sup>2</sup> Nutzfläche liegen im Vergleich zu den total ausgewiesenen Kosten pro m<sup>2</sup> Nutzfläche zwischen 10 und 35%, was sehr wenig ist. Dafür verantwortlich ist einerseits der Umstand, dass die Kosten zur Kompensation der Lüftungswärmeverluste hier nicht enthalten sind (für Begründung vergl. 9.2), und andererseits sind es die heute sehr tiefen Energiekosten für Gas (Arbeitspreis) von 0.012 € pro MJ Endenergie, die für diese Berechnungen über die nächsten 50 Jahre als konstant angenommen wurden. Viele Energiepreismodelle widersprechen dieser Annahme und gehen von einer unterschiedlichen Zunahme aus. Bei der Annahme, dass sich die Energiekosten bezogen auf die heutige Kaufkraft in den nächsten 50 Jahren etwa vervierfachen, kann im Mittel mit einem Anstieg von etwa 30% über die nächsten 50 Jahren gerechnet werden. Der Arbeitspreis wäre somit etwa 0.016 € pro MJ Endenergie und die Kosten für die Betriebsphase würden an Bedeutung gewinnen.

#### 9.4.5 Bauteilvergleich anhand verschiedener Aussenwandkonstruktionen

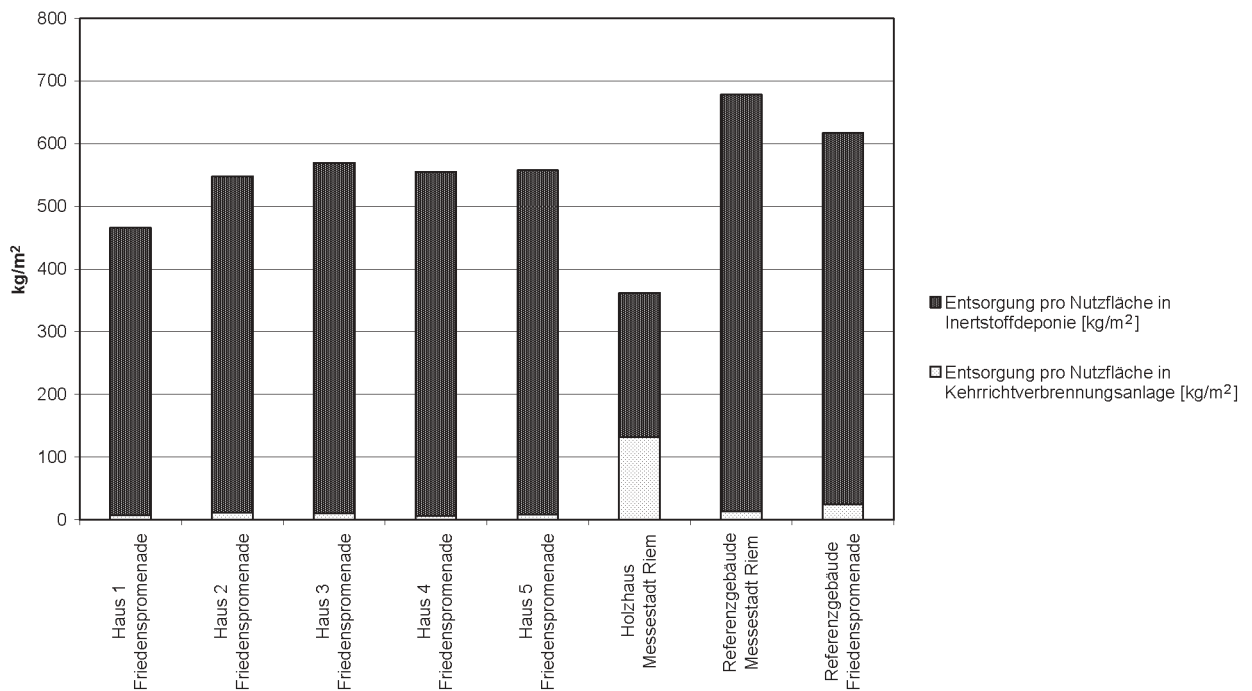
Der Vergleich der Kosten der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen bezogen auf die funktionelle Einheit m<sup>2</sup> Bauteilfläche erlaubt bei detaillierten Ausgangszahlen auch detaillierte Aussagen. Im Falle der Kosten sind die Basisdaten häufig Schätzungen und haben entsprechend eine hohe Unsicherheit. Die Diskussion beschränkt sich somit auf mögliche grosse Abweichungen.

Die ausführlichen Grafiken mit den Kosten pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche aller Gebäude sind im Anhang 4 abgelegt.

Abb. 29 zeigt die Kosten pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen über 50 Jahre.

Die Kosten der Aussenwandkonstruktionen der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13 und 15“, des Holzhauses „Messestadt Riem“, des Referenzhauses „Messestadt Riem“ und eine Aussenwandkonstruktion (Ziegelmauer) des Referenzhauses „Friedenspromenade“ liegen etwa im Unsicherheitsbereich der Ausgangsdaten von +/- 20% des Mittelwertes und werden daher nicht weiter kommentiert.

Abb. 30 | Entsorgungsmassen der Bauteile der Gebäudehülle in kg pro m<sup>2</sup> Nutzfläche



Das Verhältnis der Kosten aus der Betriebsphase (Heizaufwendungen zur Kompensation der Nettotransmissionsverluste) zu den Erstellungs- und Entsorgungskosten der Bauteile beträgt für alle Häuser an der Friedenspromenade und für das Holzhaus „Messestadt Riem“ etwa 25%. Bei den Referenzgebäuden liegt das Verhältnis zwischen 30 und 40%.

### 9.5 Entsorgung

Der Vergleich der totalen Bauteilmassen, welche nach Abbruch der Gebäude entsorgt werden müssen, ist in Abb. 30 dargestellt.

Die zu entsorgenden Massen der Häuser 1 bis 5 „Felicita-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ der Friedenspromenade und der Referenzgebäude werden zu fast 100% durch die mineralischen Baustoffe bestimmt. Weil keine einheitlichen Aussagen zu Entsorgungsszenarien für das Jahr 2050 vorliegen, wird in dieser Studie vom schlimmsten Fall ausgegangen. Die Entsorgung mineralischer Baustoffe erfolgt vollständig in Inertstoffdeponien. Die nichtmineralischen Baustoffe werden vollständig in Müllverbrennungsanlagen entsorgt.

Im Vergleich zum mineralischen Anteil ist die zu entsorgende Holzbaustoffmasse aus dem Holzhaus „Messestadt Riem“ wesentlich geringer. Dies wird bestimmt durch den Dichteunterschied zwischen mineralischen Baustoffen und Holzbaustoffen bei etwa gleichem Anteil verbautem Materialvolumen.

Kapitel 9.3.2 (Resultatdiskussion auf Grund ökologischer Bewertung) hat ergeben, dass die Masse der zu entsorgenden Baumaterialien einen wesentlichen Einfluss auf die Bewertung nach der „Methode der ökologischen Knappheit“ besitzt. Dabei berechnet diese Methode wie in Kapitel 5.6 (Beschreibung der Bewertungsgrößen) beschrieben, die Belastung aus dem benötigten Deponievolumen mittels einer durchschnittlichen Dichte für alle zu entsorgenden Materialien pro Masse. Dies führt dazu, dass ungeachtet der effektiven Dichte eines zu entsorgenden Materials dessen Masse die Bewertung in Umweltbelastungspunkten bestimmt, obwohl die Methode eigentlich das Volumen als problematisch erachtet. Dies ist ein klarer Mangel der Methode der ökologischen Knappheit. Eine Korrelation der deponierten Massen mit den Bewertungsergebnissen nach Umweltbelastungspunkten ist damit erklärbar.

Grundsätzlich sollte eine Beurteilung der zu entsorgenden Bauteile nicht allein über deren Masse geschehen, da in vielen Fällen andere ökologische Indikatoren entscheidend sind. Als Beispiele:

- Eines der wichtigsten Kriterien bei der Bewertung der Auswirkungen von Deponien ist der Landverbrauch. Somit ist das Volumen und nicht die Masse des deponierten Materials entscheidend.
- Ein wichtiges Kriterium bei der Bewertung der Auswirkungen aus der Verbrennung von Materialien ist die Zusammensetzung. Die Entsorgungskosten, welche durch die Müllverbrennungsanlagen erhoben werden, gründen auf der Masse und nicht auf der Materialzusammensetzung.

## 9.6 Einfluss Lebensdauer

Der Einfluss der Lebensdauer von gewissen Baustoffen innerhalb der Bauteile soll anhand zweier Aussenwandkonstruktionen verdeutlicht werden. Aussenwandaufbauten sind meist stark der Witterung ausgesetzt und entsprechend anfällig auf konstruktionsbedingte Fehler.

Die Lebensdauer der mineralischen Dämmung und des Aussenputzes der Aussenwand Süd von Haus Felicitas-Füss-Strasse 13 wird von 25 auf 20 Jahre reduziert, was einem 3-fachen Bedarf der Materialien innerhalb 50 Jahren gleich kommt. Bei einer Lebensdauer von 25 Jahren werden diese Materialien zweimal nachgefragt, da davon ausgegangen wird, dass nach 50 Jahren kurz vor dem Abbruch, kein Ersatz mehr gemacht wird.

Als zweites Beispiel wird beim Holzhaus die Lebensdauer der Zellulosefaser-Wärmedämmung, inklusive Abdeckung von 25 auf 20 Jahren reduziert.

**Abb. 31 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“: Aussenwand Süd (24 cm Mauerwerk, 12 cm Mineralwolle), U-Wert: 0.270 (dunkel markierte Felder: verkürzte Lebensdauer)**

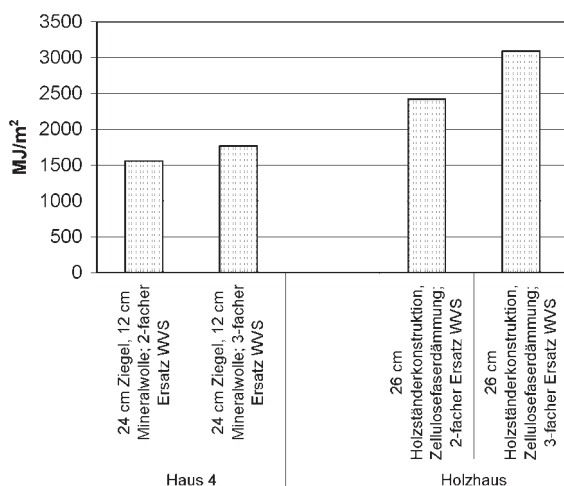
| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)           | Dicke<br>Material | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nutzun-<br>gsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|---|-------------------|--------------------------------------|--|--|
|   | m                 | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipsputz ohne Zuschlag                    | 0.0150            | 0.350                                | 40   | 2  |
| Hochlochziegel, 1.200                     | 0.2400            | 0.500                                | 70   | 1  |
| Mineralwolle Dämmplatten WLK 040          | 0.1200            | 0.040                                | 20   | 3  |
| Kalk-/Kalkzement-Putz, Putz aus hydr.Kalk | 0.0070            | 0.870                                | 20   | 3  |

**Abb. 32 | Baustoffkennwerte und Lebensdauer Aussenwand Holzhaus „Messestadt Riem“: Aussenwand Nord, Ost, West (Holz mit Zellulose Wärmedämmung), U-Wert: 0.150 (dunkel markierte Felder: verkürzte Lebensdauer)**

| Baustoff<br>(Modul-Bezeichnung)                                      | Dicke<br>Material                              | Wärme-<br>leitfähigkeit<br>$\lambda$ | Durchschnittliche<br>Lebensdauer/Nutzun-<br>gsdauer Baustoff | Anzahl Erneuerungen<br>der Baustoffe<br>(inkl. Ersteinbau) |
|--|--|--------------------------------------|--|--|
|  | m  | W/mK                                 | Jahre  |  |
| Gipskartonplatten nach DIN 18180                                     | 0.0125   | 0.210                                | 40   | 2  |
| Lattung mit Mineralfaserplatten WLK 035                              | 0.0400   | 0.054                                | 40   | 2  |
| Dampfsperre z.B. PE-Folie  | 0.0002   | 0.300                                | 40   | 2  |
| Spanplatte E1  | 0.0160   | 0.150                                | 40   | 2  |
| Zellulosefaser-Wärmedämmung WLK 040 zwischen vertikalen Holzständern | 0.2600   | 0.049                                | 20   | 3  |
| vertikale Holzständer (Menge Holz auf m <sup>2</sup> verteilt)       | für ökologische Bewertung nicht berücksichtigt |                                      |  |  |
| Spanplatte   | 0.0160   | 0.150                                | 20   | 3  |
| Luftschicht senkrecht  | 0.0300   | 0.176                                |  |  |
| Holz ( Fichte, Kiefer, Tanne)  | 0.0200   | 0.130                                | 20   | 3  |

Abb. 33 zeigt für die Aussenwand von Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“ an der Friedenspromenade und für die Aussenwand des Holzhauses „Messestadt Riem“ je zwei Situationen. Eine mit einmaligem Ersatz (-> 2-fache Nachfrage) der Wärmedämmung wie in Kapitel 9.3.4 beschrieben und eine mit zweifachem Ersatz (-> 3-fache Nachfrage).

**Abb. 33 | Vergleich Primärenergiebedarf in MJ pro m<sup>2</sup> Aussenwand über 50 Jahre (aus Erstellung, Ersatz, Erneuerung und Betrieb) mit 2- und 3-facher Erneuerung der Dämmschicht**



Im Falle des Holzhauses macht sich eine 3-fache Nachfrage der Zellulose-Dämmung inklusive gesamter vorgehängter Fassadenkonstruktion bezüglich des Primärenergiebedarfs bemerkbar. Die Auswirkungen aus Erstellung, Ersatz und Entsorgung erhöhen sich um ca. 20%. Im Falle von Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“ verändert eine zusätzliche Erneuerung der Dämmschicht den Primärenergiebedarf weniger.

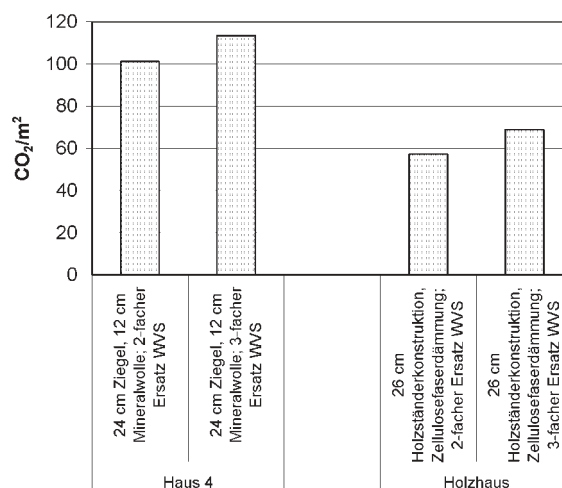
In Abb. 34 wird der Unterschied der CO<sub>2</sub>-Emissionen dargestellt. Der Unterschied in den CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt in beiden Fällen bei ungefähr 15%.

In Abb. 35 wird der Unterschied der Umweltbelastungspunkte dargestellt. Auch bei den Umweltbelastungspunkten liegen die Unterschiede unter 10% der gesamten Auswirkungen aus der Erstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile.

Auf einen ökonomischen Vergleich muss verzichtet werden, weil die Kosten nur auf Bauteilstufe und nicht auf Materialstufe vorhanden sind.

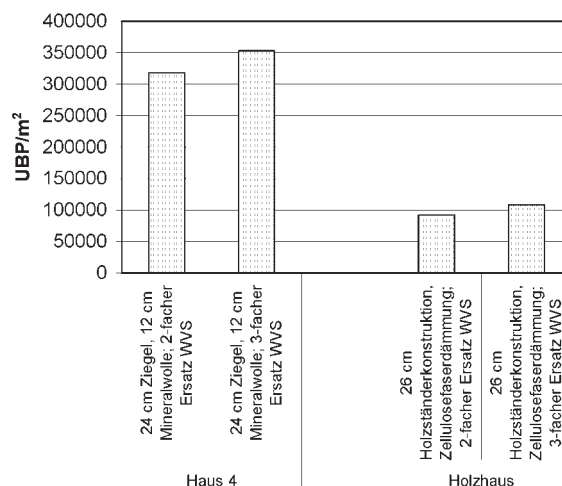
Der Einfluss einer zusätzlichen Erneuerung der Wärmedämmung hat auf die ökologischen Auswirkungen in den betrachteten Wandaufbauten einen eher kleinen Einfluss.

**Abb. 34 | Vergleich CO<sub>2</sub> in kg pro m<sup>2</sup> Aussenwand über 50 Jahre (aus Erstellung, Ersatz, Erneuerung und Betrieb) mit 2- und 3-facher Nachfrage der Dämmschicht**



Je höher die Umweltauswirkungen aus den zu ersetzenden Baustoffen, desto grösser wird auch der Einfluss auf die Gesamtauswirkungen. Beim totalen Verzicht auf Konstruktionen bestehend aus Tragkonstruktion und zusätzlicher Dämmschicht (Bsp. bei der Verwendung von Porenbeton) entfallen entsprechend ergänzende Auswirkungen vollständig. Die Wahl des Dämmsystems und die Verarbeitung sind somit von zentraler Bedeutung.

**Abb. 35 | Vergleich Umweltbelastungspunkte in UBP pro m<sup>2</sup> Aussenwand (aus Erstellung, Ersatz, Erneuerung und Betrieb) über 50 Jahre mit 2- und 3-facher Nachfrage der Dämmschicht**



## 9.7 Zusammenfassung der Resultate

### 9.7.1 Ökologie

Die Umweltauswirkungen, gemessen anhand der Indikatoren „Primärenergiebedarf“, „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ und „Umweltbelastungspunkte“ für die Betriebsphase (Kompensation der Nettotransmissionsverluste) von 50 Jahren, zeigen über alle Gebäude die gleiche Rangfolge. Die Umweltauswirkungen sind vom benötigten Heizwärmebedarf aus dem Nettotransmissionsverlust pro m<sup>2</sup> Nutzfläche und vom Heizungssystem (Bsp. Öl-, Gas-, Kohlefeuerung, etc.) abhängig. Da alle acht Gebäude mit Gas gefeuert werden, zeigt ein Vergleich der Rangfolge aus den Umweltauswirkungen und der Rangfolge aus den Nettotransmissionsverlusten über die Bauteile der Gebäudehülle eine klare Korrelation. Die Rangfolge wird angeführt vom Holzhaus „Messestadt Riem“ mit den kleinsten Wärmeverlusten, gefolgt von den 5 Gebäuden an der Friedenspromenade, und schliesst ab mit den Referenzgebäuden „Messestadt Riem“ und „Friedenspromenade“ mit den höchsten Nettotransmissionsverlusten.

Die Umweltauswirkungen gemessen anhand der Indikatoren „Primärenergiebedarf“, „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ und „Umweltbelastungspunkte“ aus der Herstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle über eine Betriebsdauer von 50 Jahren, ergibt je nach Indikator ein anderes Bild:

■ In Bezug auf den Indikator „Primärenergiebedarf“ schliesst Haus 1 „Felicita-Füss-Strasse 7“ der Friedenspromenade mit dem besten Resultat ab. Ausschlaggebend sind die Aussenwandkonstruktionen, welche vorwiegend aus Porenbeton bestehen. Deren Primärenergiebedarf ist im Vergleich zu den Konstruktionen bestehend aus Tragkonstruktion und zusätzlicher Dämmschicht (Bsp. Ziegel und Mineralwollendämmung oder Stahlbeton und Polystyrolämmung) tiefer. Das Holzhaus „Messestadt Riem“ hat den höchsten Primärenergiebedarf aus der Herstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle. Dies liegt begründet im Cut-Off-Ansatz, welcher in den Daten von ecoinvent v1.01<sup>19)</sup> angewendet wird. Dieser Ansatz besagt, dass die im Holz chemisch gespeicherte Energie auch nach der Entsorgung (mit einer Nutzung dieser Energie) dem Holz angelastet bleibt.

■ In Bezug auf den Indikator „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ liegen die Häuser 1 bis 5 „Felicita-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ der Friedenspromenade und das Holzhaus „Messestadt Riem“ nahe beieinander. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Herstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Aussenwände des Holz-

hauses sind im Vergleich zu den übrigen Gebäuden sehr tief, weil das Material Holz im gesamten Lebenszyklus CO<sub>2</sub>-neutral ist. CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen bei Holzbauteilen somit nur die Aufwendungen für die Gewinnung, die Transporte und die Verarbeitung. Die Herstellung, der Ersatz und die Entsorgung der „Bauteile der Grundfläche“ des Holzhauses verursachen im Vergleich zu den übrigen Gebäuden der Friedenspromenade eher hohe CO<sub>2</sub>-Emissionen, was an der Wahl der Perimeterdämmplatten im Bauteil „Fussboden EG gegen Erdreich“ liegt. Aufgrund des Kontaktes mit dem Erdreich wurde Polystyrol angenommen. Die Referenzgebäude „Messestadt Riem“ und „Friedenspromenade“ fallen im Vergleich zu den übrigen Gebäuden stark ab, weil die Aussenwände mit Polystyrol gedämmt sind und für eines der Dächer fünf Lagen Bitumen berücksichtigt werden.

■ In Bezug auf den Indikator „Umweltbelastungspunkte“ schliesst das Holzhaus „Messestadt Riem“ mit dem besten Resultat ab. Ausschlaggebend sind die Aussenwandkonstruktionen. Durch den grossen Anteil von Holzbaustoffen, welche nach 50 Jahren mehrheitlich in einer Kehrrichtverbrennungsanlage CO<sub>2</sub>-neutral entsorgt werden, kann knappes Deponievolumens eingespart werden.

Eine Gesamtbetrachtung der Gebäude (Gebäudehülle und Betrieb) anhand der Indikatoren „Primärenergiebedarf“, „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ und „Umweltbelastungspunkte“ aus der Herstellung, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle über eine Betriebsdauer von 50 Jahren, ergibt je nach Indikator ein anderes Bild:

■ In Bezug auf den Indikator „Primärenergiebedarf“ schliesst Haus 5 „Felicita-Füss-Strasse 15“ der Friedenspromenade mit dem besten Gesamtergebnis ab. Ausschlaggebend ist die gute Gebäudedämmung. Mit Ausnahme des Holzhauses „Messestadt Riem“ sind bei allen Gebäuden die Betriebsphasen ausschlaggebend. Der hohe Primärenergiegehalt der Holzbaustoffe im Holzhaus ist für dessen eher schlechtes Resultat verantwortlich.

■ In Bezug auf den Indikator „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ schliesst das Holzhaus „Messestadt Riem“ mit dem besten Gesamtergebnis ab. Ausschlaggebend sind die gute Gebäudedämmung, welche einen tiefen Heizwärmebedarf bewirkt, sowie der CO<sub>2</sub> neutrale Hauptbaustoff Holz.

■ In Bezug auf den Indikator „Umweltbelastungspunkte“ schliesst ebenfalls das Holzhaus „Messestadt Riem“ mit dem besten Gesamtergebnis ab. Ausschlaggebend ist dabei nicht die gute Gebäudedämmung, sondern der hohe Anteil an nicht-mineralischen Baustoffen, welche in einer Müllverbrennungsanlage CO<sub>2</sub>-neutral entsorgt werden können.

19) [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch), Version 1.01, Zugang Oktober 2003



Eine Vergleich der verschiedenen Aussenwandkonstruktionen (bzw. deren Erstellung, Ersatz, Entsorgung und Kompensation der Nettotransmissionsverluste) mit der funktionellen Einheit m<sup>2</sup> Bauteilfläche, anhand der Indikatoren „Primärenergiebedarf“, „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ und „Umweltbelastungspunkte“ über 50 Jahre, ergibt je nach Indikator ein anderes Resultat:

■ In Bezug auf den Indikator „Primärenergiebedarf“ schliessen die Aussenwände von Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ (36.5 cm Porenbeton) und von Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“ (17.5 cm Ziegel, 18 cm Mineralwolle) der Friedenspromenade mit den besten Gesamtergebnissen ab. Ausschlaggebend bei Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“ ist der tiefere Primärenergiebedarf der Aussenwandkonstruktion. Bei Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“ ist der tiefe Nettotransmissionsverlust durch die Aussenwandkonstruktion für das gute Resultat verantwortlich.

■ In Bezug auf den Indikator „CO<sub>2</sub>-Emissionen“ schliesst die Aussenwandkonstruktion des Holzhauses „Messestadt Riem“ mit dem besten Gesamtergebnis ab. Die tiefen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Holzbaustoffen und der hohe Dämmwert sind dafür verantwortlich.

■ In Bezug auf den Indikator „Umweltbelastungspunkte“ schliesst ebenfalls die Aussenwandkonstruktion des Holzhauses „Messestadt Riem“ mit dem besten Gesamtergebnis ab. Dies aufgrund der tiefen Umweltbelastungspunkte aus den Materialien und insbesondere der sehr kleinen, nach Abbruch des Gebäudes, zu deponierenden Bauteilmassen.

■ Es ist grundsätzlich kein Zusammenhang zwischen den Auswirkungen aus den Wandkonstruktionen und den Auswirkungen aus der Betriebsphase feststellbar.

### 9.7.2 Ökonomie

Die Kosten aus der Betriebsphase (Kosten zur Kompensation der Nettotransmissionsverluste) von 50 Jahren zeigt über alle Gebäude die gleiche Rangfolge wie die ökologischen Indikatoren. Die Kosten sind grundsätzlich vom Heizsystem (Bsp. Öl-, Gas-, Kohlefeuerung, etc.) abhängig. Da alle acht Gebäude mit Gas gefeuert werden und diese Kosten trotz ungleichen Systems ähnlich tief sind, bestimmen nur die Nettotransmissionsverluste die berechneten Kosten. Die Rangfolge wird angeführt vom Holzhaus „Messestadt Riem“ mit den geringsten Bauteilwärmeverlusten, gefolgt von den 5 Gebäuden an der Friedenspromenade, und schliesst ab mit den Referenzgebäuden „Messestadt Riem“ und „Friedenspromenade“ mit den höchsten Heizwärmebedarfswerten.

Die Kosten für die Erstellung der Bauteile der Gebäudehülle sind für alle Bauteile etwa die gleichen. Die Unterschiede liegen etwa im Unsicherheitsbereich. Auf eine Diskussion wird somit verzichtet.

Eine Gesamtbetrachtung der Kosten für die Bauteile der Gebäudehülle über 50 Jahre zeigt deutlich, dass die Betriebskosten nur einen Bruchteil von ca. 10 bis 35 % der Gesamtkosten pro m<sup>2</sup> Nutzfläche ausmachen. Ausschlaggebend dafür sind die heute sehr tiefen Energiekosten und die Berücksichtigung der für die Verluste durch die Bauteile verantwortlichen Nettotransmissionsverluste. Eine wahrscheinlich realistische Erhöhung der Kosten aufgrund steigender Energiepreise würde das Verhältnis zugunsten der Investitionskosten verschieben.

Der Vergleich der Kosten pro m<sup>2</sup> Bauteilfläche, verursacht durch unterschiedliche Aussenwandkonstruktionen der verschiedenen Gebäude über 50 Jahre, zeigt nur kleine Unterschiede zwischen den Häusern 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ an der Friedenspromenade. Das Verhältnis der Betriebskosten zu den Investitionskosten beträgt nur etwa 25%, was vorwiegend durch den hohen Energiestandard bedingt wird. Das Verhältnis der Betriebskosten zu den Investitionskosten für die betrachteten Aussenwände der Referenzgebäude (Ziegel und Stahlbeton mit Polystyrol-Dämmung) beträgt etwa 30 bis 40%, was in diesem Fall vorwiegend durch den tieferen Energiestandard bedingt ist.

### 9.7.3 Entsorgung

Die zu entsorgenden Bauteilkonstruktionen der Häuser 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13, 15“ der Friedenspromenade und der Referenzgebäude werden zu fast 100% durch die mineralischen Baustoffe bestimmt. Dies erfolgt nach der heutigen Praxis meist in Inertstoffdeponien. Im Vergleich dazu, ist die zu entsorgende Baustoffmasse aus dem Holzhaus „Messestadt Riem“ wesentlich tiefer. Dies wird bestimmt durch den Dichteunterschied zwischen mineralischen Baustoffen und Holzbaustoffen bei etwa gleichem Anteil verbautem Materialvolumen.

### 9.7.4 Einfluss Lebensdauer

Abhängig vom ökologischen Indikator kann die Lebensdauer der beiden untersuchten Konstruktionen bestehend aus Tragkonstruktion (Ziegel oder Holzständerkonstruktion) und zusätzlicher Dämmschicht (Mineralwolle oder Zellulosedämmung) bei einer zusätzlichen Erneuerung (statt 2 mal werden die Materialien 3 mal in die Rechnung einbezogen) über 50 Jahre einen Einfluss von bis zu 20% an den gesamten Auswirkungen aus Herstellung, Ersatz und Entsorgung der Materialien haben.

Die für die Erstellung einer Ökobilanz nötigen Sachbilanzdaten und die modellbasierten Bewertungen sind im Allgemeinen mit einer Reihe von Unsicherheitsfaktoren behaftet, auf die nachfolgend eingegangen wird und auf die bei der Beurteilung der Erkenntnisse aus Ökobilanzen zu berücksichtigen sind.

Die Basissachbilanzdaten, welche den Berechnungen zugrunde liegen, bilden eine durchschnittliche deutsche, schweizerische, europäische oder sogar globale Situation ab. Je nach Verwendung können die Unsicherheiten aus den Sachbilanzdaten somit sehr gross werden.

Die Beschreibung der Materialien in den Wärmeschutznachweisen gründen meist auf Durchschnittsangaben (Bsp. Standarddichte), was von Fall zu Fall ebenfalls grosse Unsicherheiten beinhalten kann. Die berücksichtigten Materialsichten, welche in die Wärmeschutzberechnung einfließen, werden personenabhängig unterschiedlich detailliert erfasst. Was aus der Sicht der Bauphysik wenig Einfluss hat, kann aus ökologischer und ökonomischer Sicht relevant sein.

Die Zuordnung der in den Wärmeschutznachweisen aufgeführten Materialien zu den vorhandenen Sachbilanzmodulen erfolgt jeweils nach sachlich und fachlich gründlicher Abwägung, ist aber insbesondere im Falle von nicht vorhandenen Daten mit Unsicherheiten verbunden.

Die Abschätzung der Lebensdauer ist aufgrund fehlender Erfahrungswerte oft mit ebenfalls grosser Unsicherheit behaftet. Die Auswirkungen wurden in Kapitel 9.6 anhand zweier Aussenwandkonstruktionen grob untersucht.

Für die Transporte werden Standarddistanzen verwendet, welche von Fall zu Fall grosse Unsicherheiten, Vereinfachungen und Unschärfen mit sich bringen. Die Modellierung der Entsorgungswege gründet auf der heutigen Situation, kann aber in der Zukunft sehr unterschiedlich sein (Bsp. Recycling-Anteil).

Die Methode der „ökologischen Knappheit“ bezieht sich mehrheitlich auf schweizerische Grenzwerte und ist somit nur mit entsprechendem Vorbehalt auf deutsche Verhältnisse übertragbar.

Die Berechnung der Auswirkungen all dieser Unsicherheiten auf die Resultate von Ökobilanzstudien ist sehr komplex und Gegenstand der aktuellen Forschung. Entsprechend beinhaltet diese Studie keine konkreten Aussagen dazu.

Wie aus den Unterlagen der Fernwämebetreiber Stadtwerke München (SWM (2003)) zu entnehmen ist, soll die Grundlast der Wärmeversorgung, die heute aus erdgasbefeuelten Heizkessel stammt, im Jahr 2004 durch Geothermie ersetzt werden. Diese Wärme wird als erneuerbare Wärme bezeichnet. Die verbleibenden Emissionen aus dieser Energieerzeugung und deren Vorketten stammen zum grössten Teil aus dem benötigten Stromverbrauch für die Pumpen, und sind abhängig vom Strommix. Eine genauere Untersuchung des Geothermieheizsystems und des entsprechenden Fernwärmeverteilnetzes könnte für die Beurteilung der Umweltauswirkungen noch weitere nützliche Informationen geben.

Trotz fehlender Daten kann gefolgert werden, dass eine Umstellung von Wärme aus einer Gasheizung auf Wärme aus Geothermie zu einer merklichen Reduktion der Auswirkungen aus den Heizaufwendungen beim Holzhaus München-Riem und beim Referenzhaus „Messestadt Riem“ führen dürfte. Damit würde das Holzhaus verglichen mit den anderen Häusern in Bezug auf die Indikatoren CO<sub>2</sub>-Emissionen und Umweltbelastungspunkte noch besser bewertet, wobei zu beachten ist, dass die Investitionskosten nur die Bauteile der Gebäudehülle berücksichtigen. Grundsätzlich ist das erstellte Holzhaus „Messestadt Riem“ nach Aussage der Planer um einiges teurer als die Häuser an der Friedenspromenade. Dies ist durch Investitionen in andere Bauteile wie Schalldämmung der Zwischenböden oder erhöhter Bandschutzaufwendungen begründet.

Bei der Verteilung der Gesamtheizaufwendungen auf die Aussenwände wurde der Temperaturunterschied zwischen Innen und Aussen nur soweit berücksichtigt, wie es die Wärmeschutznachweise erfordern. Die Bauteile nach Aussen und solche, welche an das ungeheizte Kellergeschoss (wärmer als Aussentemperatur) anschliessen, wurden gleich behandelt. Der Anteil der Heizverluste über die Bauteile zum Keller ist damit tendenziell etwas überschätzt.

Eine andere Indikatorenwahl kann die Aussage betreffend Umweltauswirkungen verfeinern. Der Indikator „Treibhauspotential“<sup>20)</sup> in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent (Das Treibhauspotential einer Substanz wird relativ zu Kohlendioxid in Form von kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben) beinhaltet neben den CO<sub>2</sub>-Emissionen auch weitere Emissionen. Eine Unterteilung des Primärenergiebedarfs in Energie aus nachwachsenden Quellen (Bsp. Biomasse, Wind, Wasser), Energie aus fossilen Rohstoffen (Bsp. Gas, Öl, Kohle) und Atomenergie verbessert die Aussage in Bezug auf die Umweltauswirkungen erheblich.

---

20) [www.ipcc.ch/pub/reports.htm](http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm), Zugriff Jan. 2004

## 12 Schlussbemerkungen

Die Grundidee der Studie war, anhand von fünf Gebäuden mit fast gleichen Nutzflächen, gebaut aus unterschiedlichen Materialien, die jeweils die Anforderungen der WSVO 95 um 25 % unterschreiten sollten, ökologische und ökonomische Unterschiede bezüglich Gesamtgebäude, Bauteile und Baumaterialien aufzuzeigen. Als Ergänzung sollen ein Holzhaus mit tieferem Energiestandard und zwei Referenzgebäude, welche den Anforderungen der WSVO 95 genügen, ebenfalls in den Vergleich aufgenommen werden. Als methodisch schwierig stellte sich die Datenbeschaffung bei den Referenzgebäuden heraus, da sie nicht von Anfang an in das Forschungsvorhaben eingebunden waren. Mit Hilfe von Modellrechnungen und Annahmen wurde dieser Mangel ausgeglichen. Die einbezogenen Vergleichsbauten, erstellt nach WSVO 95, rangierten in den Kosten (ohne Berücksichtigung der Unsicherheiten) und den ökologischen Indikatoren Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen in Bezug auf die Materialien (ohne Betriebsphase) wider Erwarten höher als die Gebäude, welche im Niedrig- oder sogar Niedrigstenergiestandard erstellt wurden. Dies liegt daran, dass bei den Gebäuden 1 bis 5 „Felicitas-Füss-Strasse 7, 9, 11, 13 und 15“ an der Friedenspromenade und beim Holzhaus „Messestadt Riem“ bewusst ökologisch sparsame Materialien eingesetzt wurden.

Ergänzend hat ein direkter Vergleich unterschiedlicher Aussenwandkonstruktionen (pro m<sup>2</sup>) mit unterschiedlichen U-Werten ergeben, dass ein Mehraufwand in die Konstruktionen und Materialien nicht zwangsläufig schlechtere ökologische und ökonomische Auswirkungen hat.

## 13 Literaturverzeichnis

**Anonymous (1995)** | Anonymous (1995) Nutzungszeiten von Gebäuden und Bauteilen. Amt für Bundesbauten (AfB), Bern.

**Brunner et al. (2001)** | Brunner K., Künniger T., Richter K., Werner F. and Althaus H.-J. (2001) Environmental Database of Building Products (EDIP) from auf CD.

**BUWAL (1998)** | BUWAL (1998) Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit, Ökofaktoren 1997. In: Schriftenreihe Umwelt SRU 297, Ökobilanzen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.

**Doka (2000)** | Doka G. (2000) Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien, Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. Untersuchung im Rahmen des IEA BCS Annex 31: Energy Related Environmental Impact of Buildings. Bundesamt für Energie (BfE) und Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen (ZEN), Bern, Dübendorf.

**Doka (2003)** | Doka G. (2003) Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Final report ecoinvent 2000 No. 13. EMPA St. Gallen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, Online-Version under: [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).

**Frischknecht et al. (2003)** | Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hischier R., Humbert S., Margni M., Nemecek T. and Spielmann M. (2003) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent 2000 No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, Online-Version under: [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).

**SWM (2003)** | SWM (2003) Energiegewinnung der Zukunft: Geothermie-Anlage für die Messestadt Riem. SWM-Versorgungs GmbH (Stadtwerke München), 80287 München.

**Winzeler et al. (2002)** | Winzeler R., Althaus H.-J., Hofer P. and Richter K. (2002) Evaluation der ökologischen Datenbank und Bewertungsmethodik des Programms OGIP; Holzbauteilen und Holzkonstruktionen. In: Holzforschung Schweiz. Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für Holzforschung SAH, Dübendorf.

# Anhang 1

## Primärenergiebedarf aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie des Betriebs in MJ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche

Abb. 36 | Primärenergie Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“

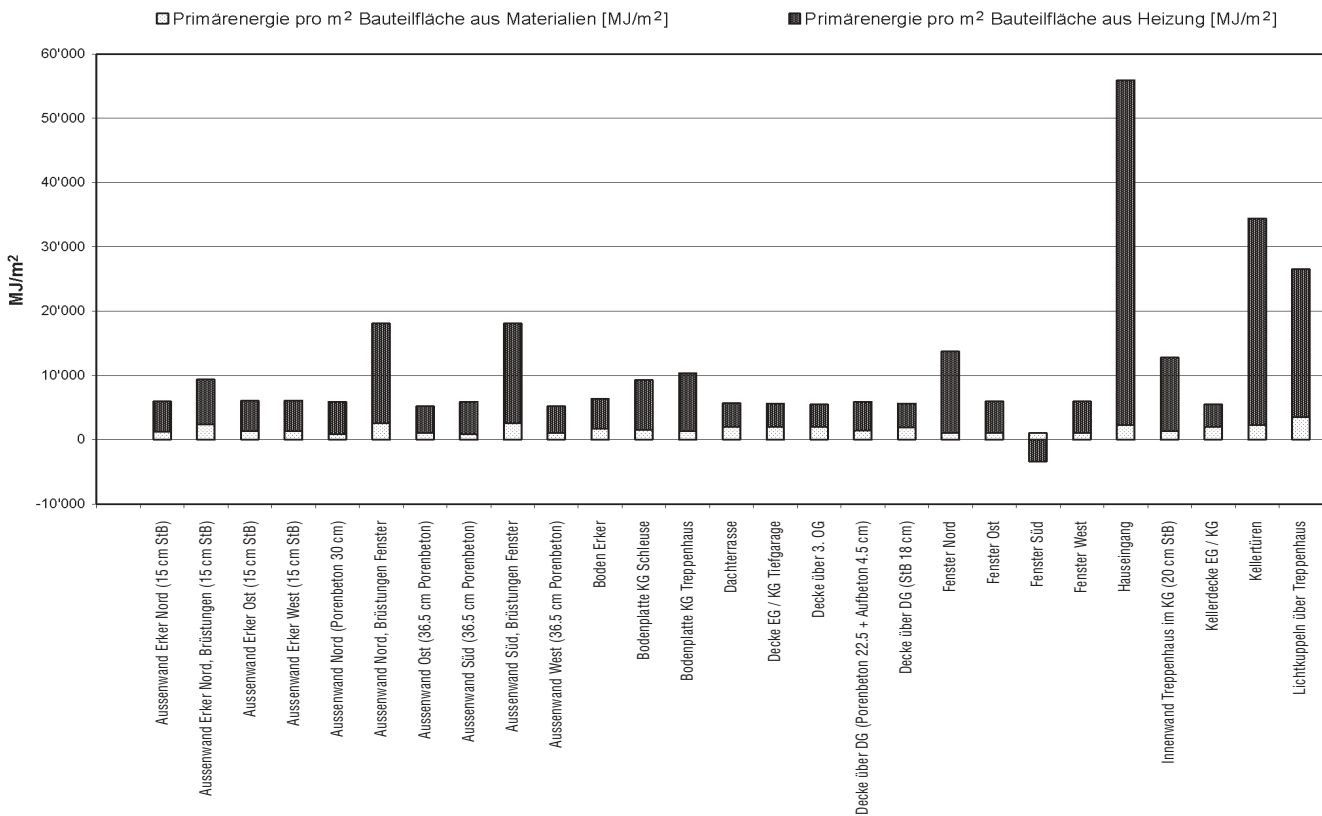


Abb. 37 | Primärenergie Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“

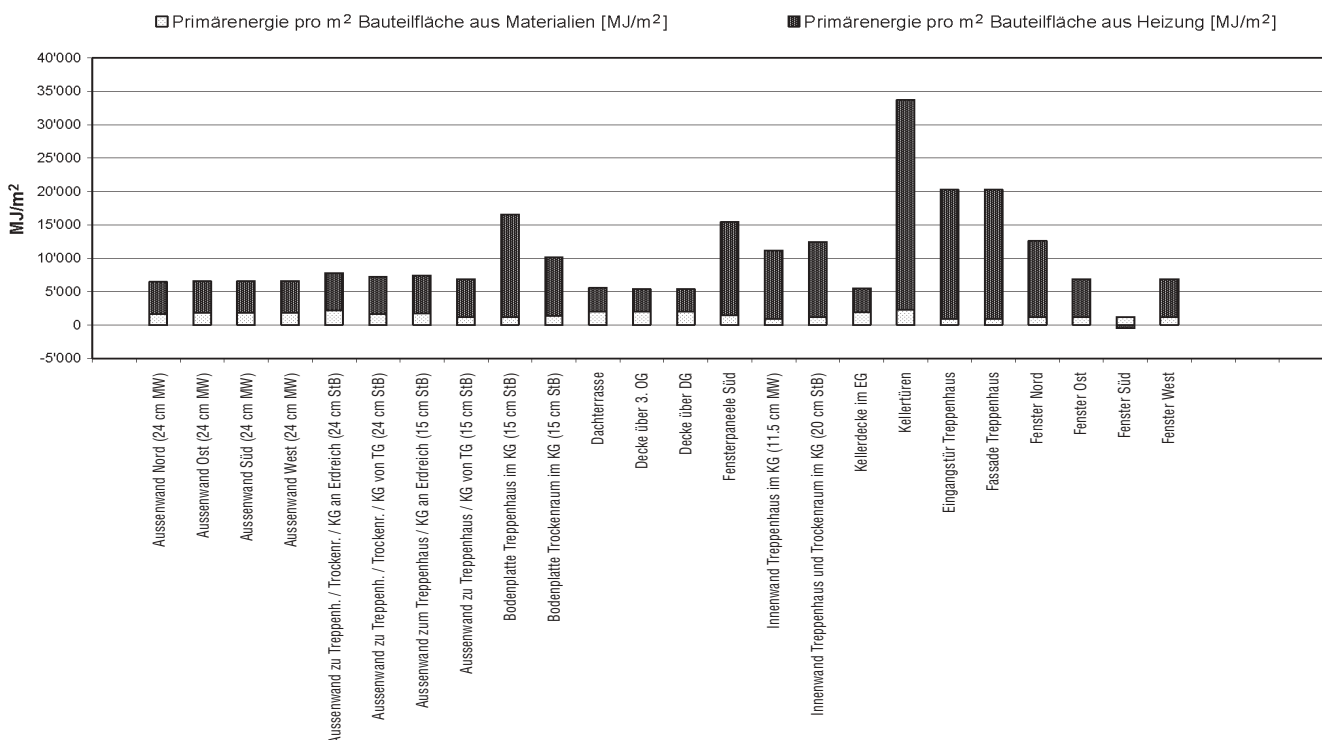


Abb. 38 | Primärenergie Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“

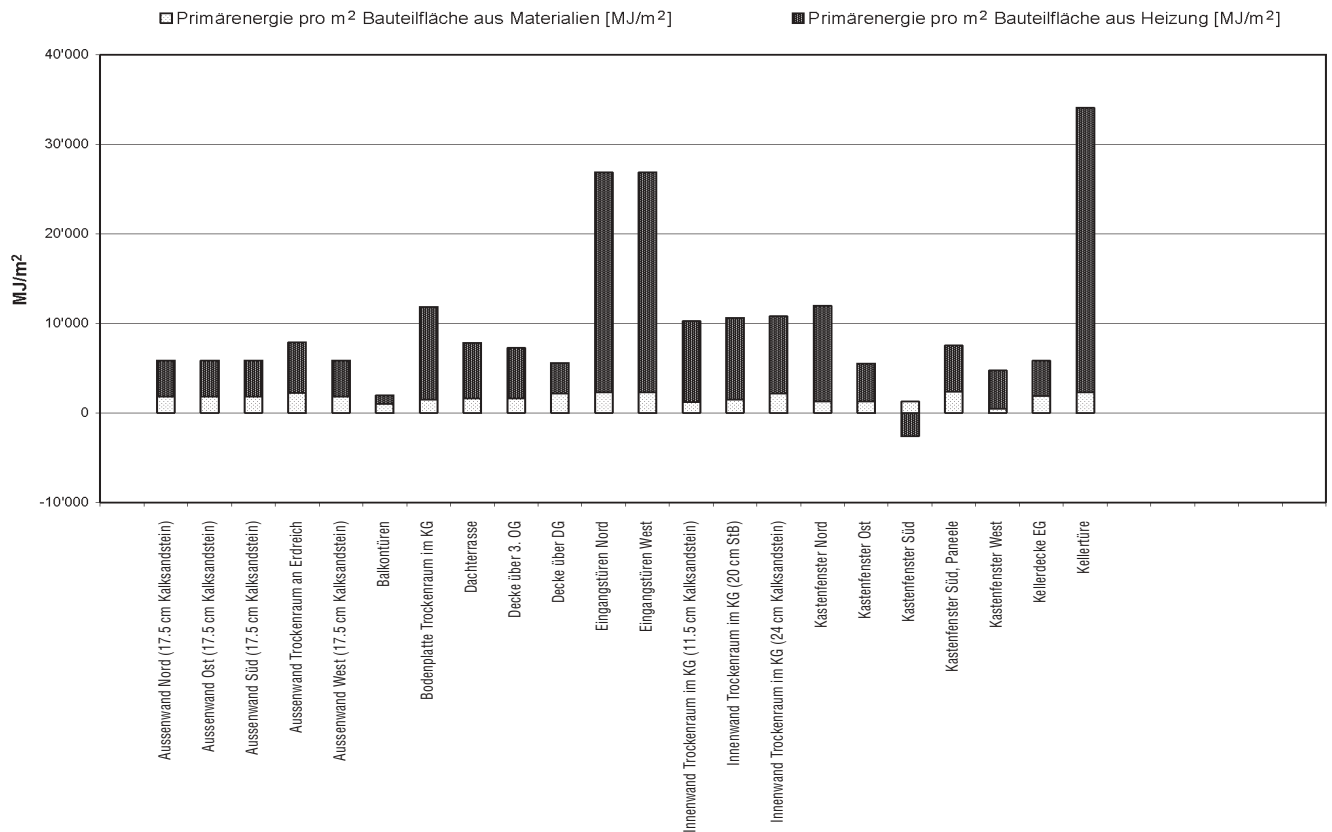


Abb. 39 | Primärenergie Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“

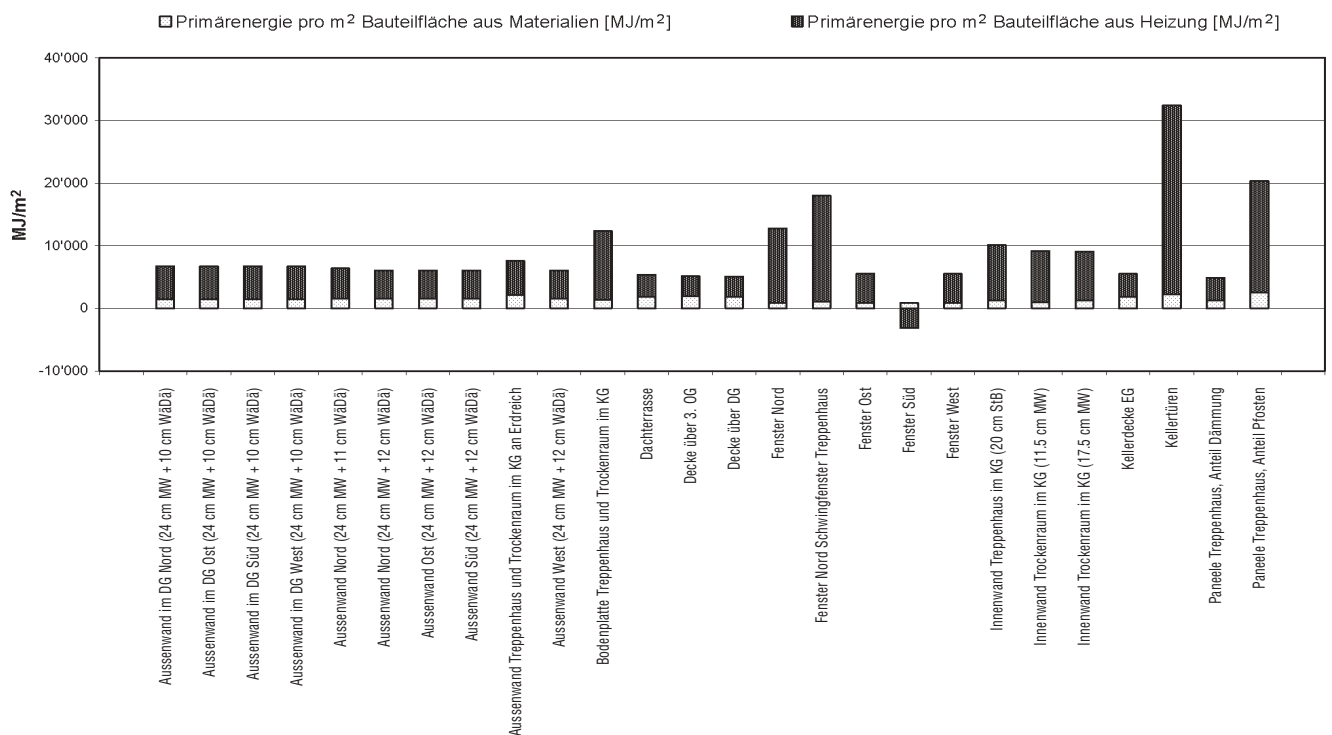


Abb. 40 | Primärenergie Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“

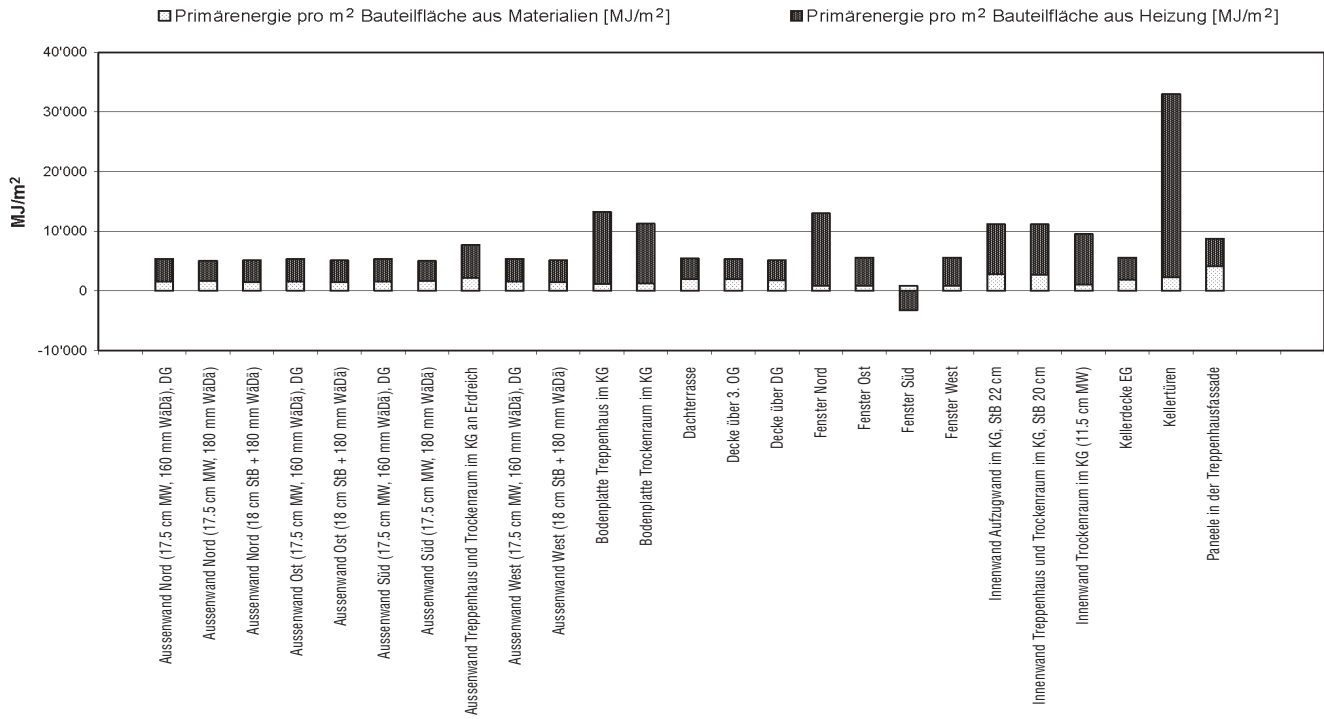


Abb. 41 | Primärenergie Holzhauses „Messestadt Riem“

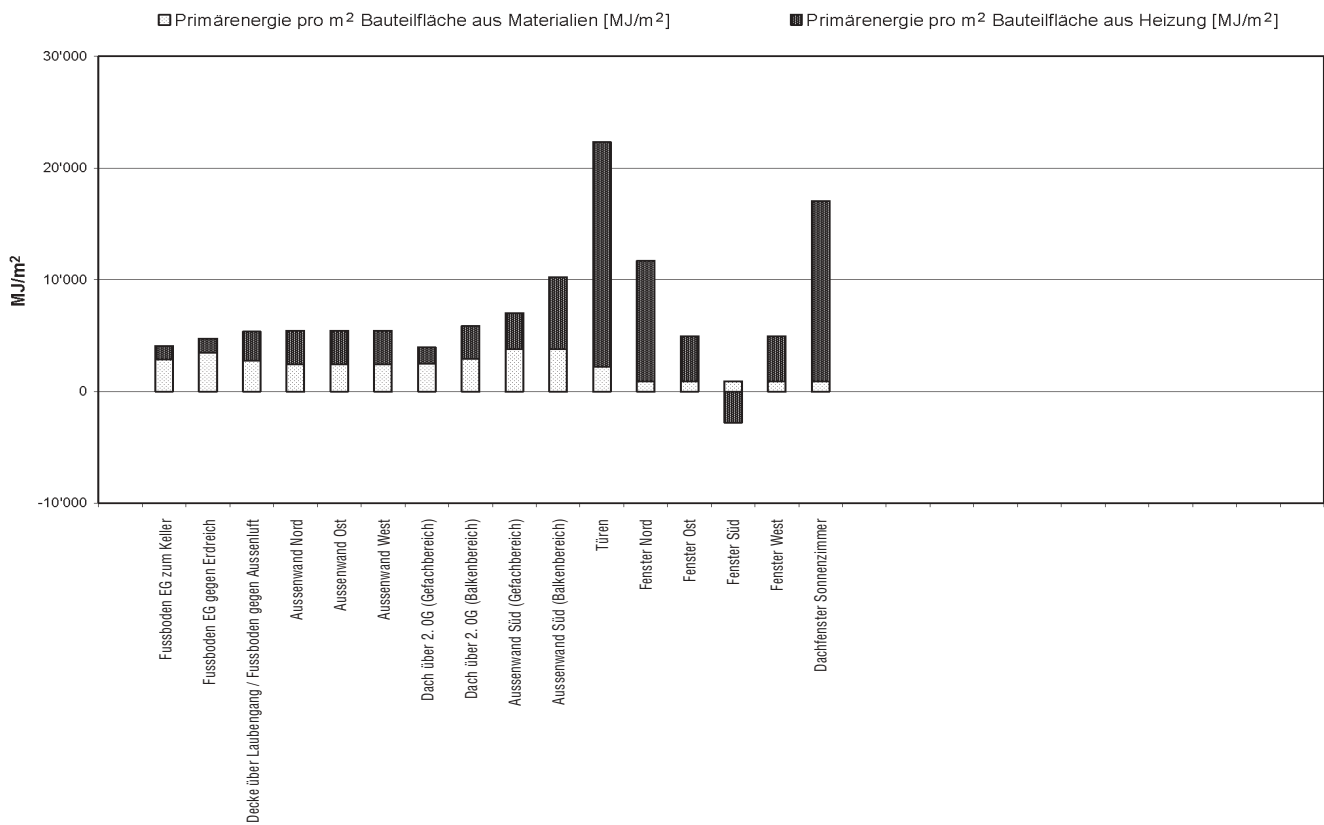


Abb. 42 | Primärenergie Referenzhaus „Messestadt Riem“

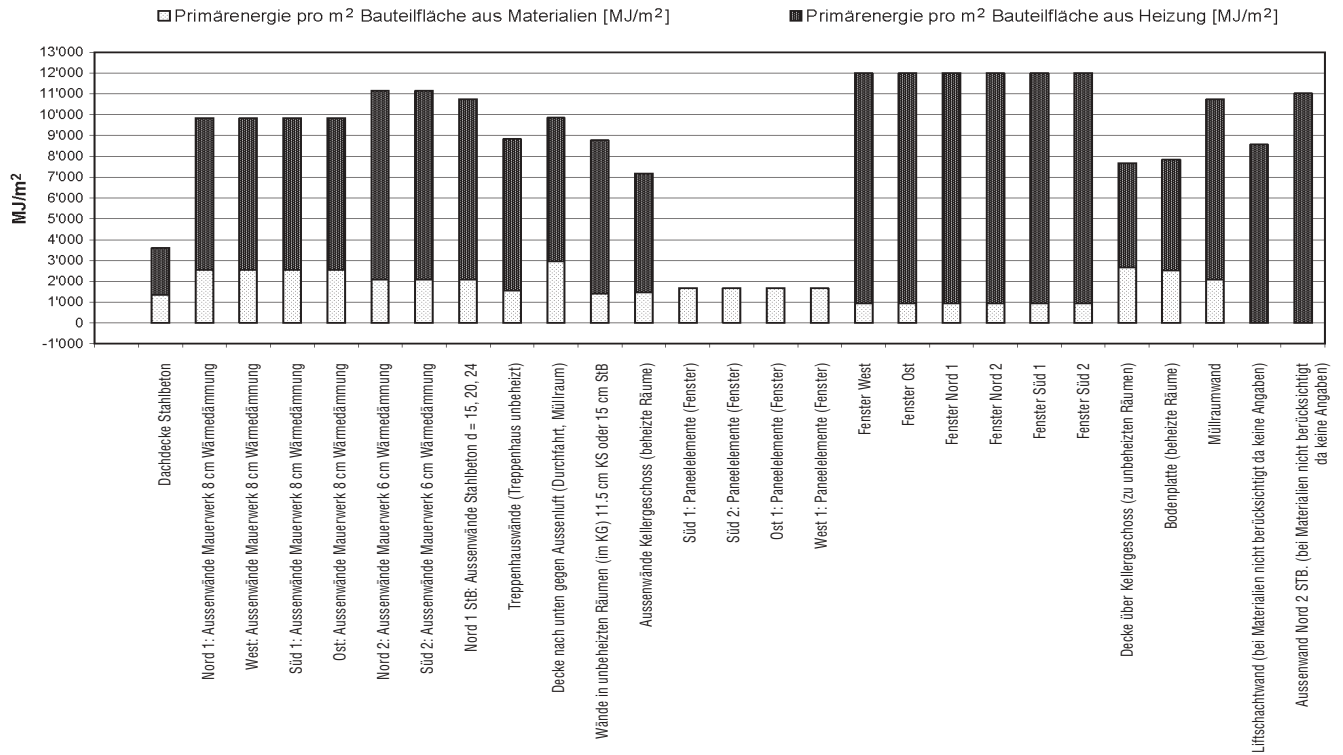
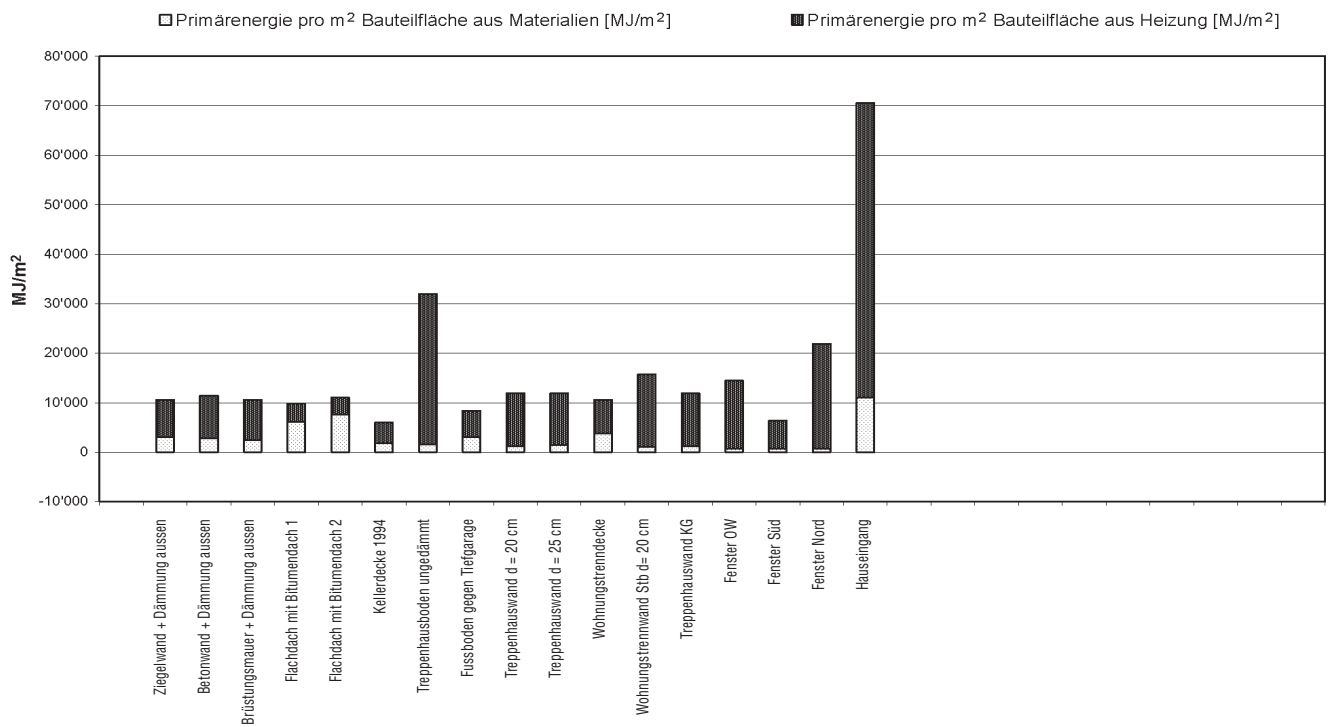


Abb. 43 | Primärenergie Referenzhaus „Friedenspromenade“



## Anhang 2

# CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Produktion, dem Ersatz und der Entsorgung der Gebäudehülle sowie des Betriebs in kg pro m<sup>2</sup> Nutzfläche

Abb. 44 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“

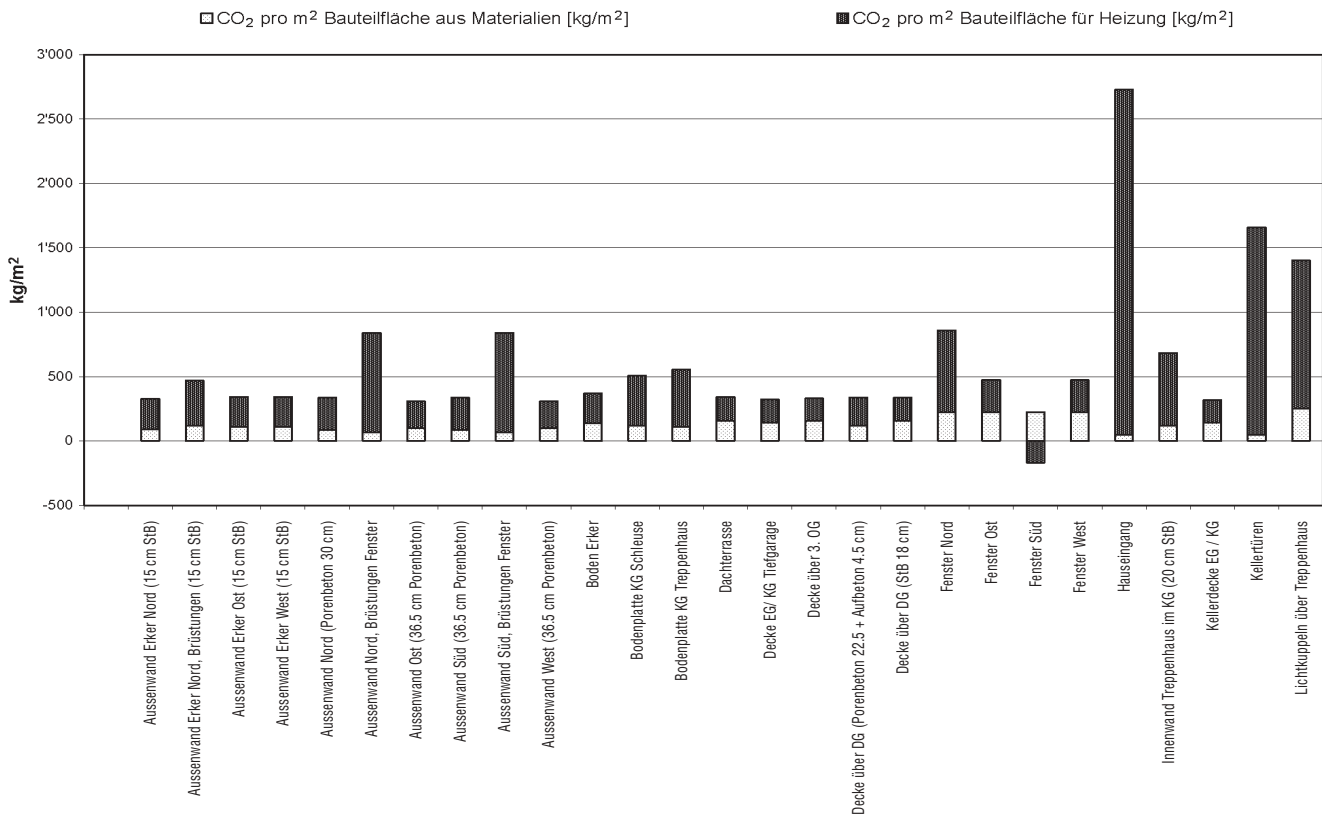


Abb. 45 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“

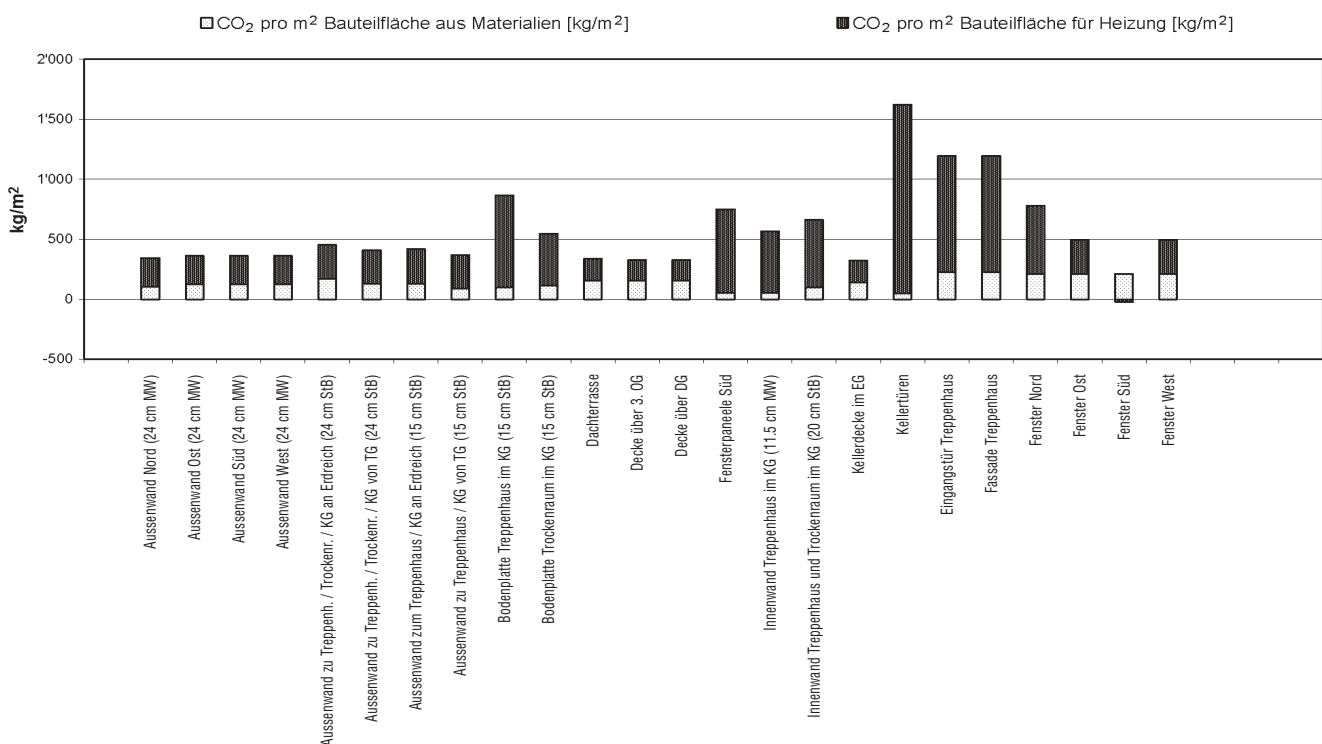




Abb. 46 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“

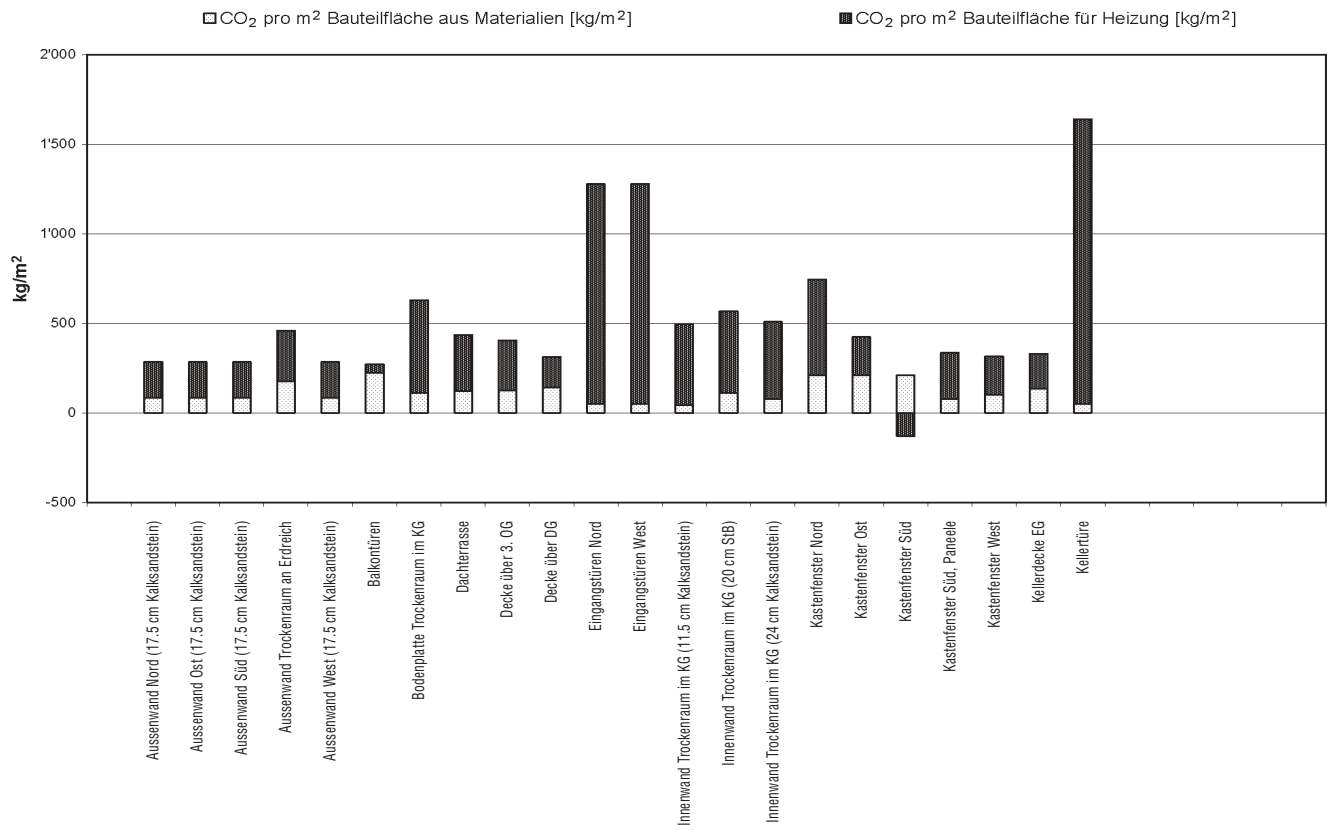


Abb. 47 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“

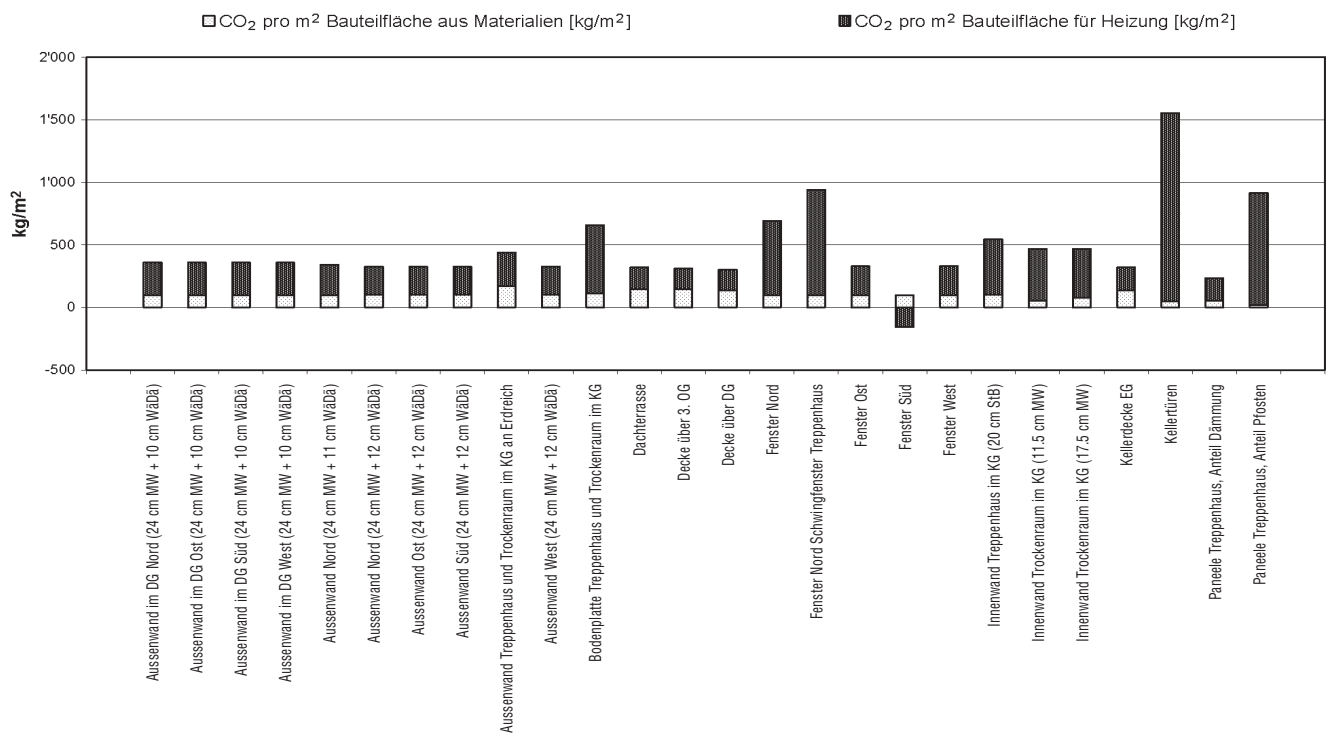


Abb. 48 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“

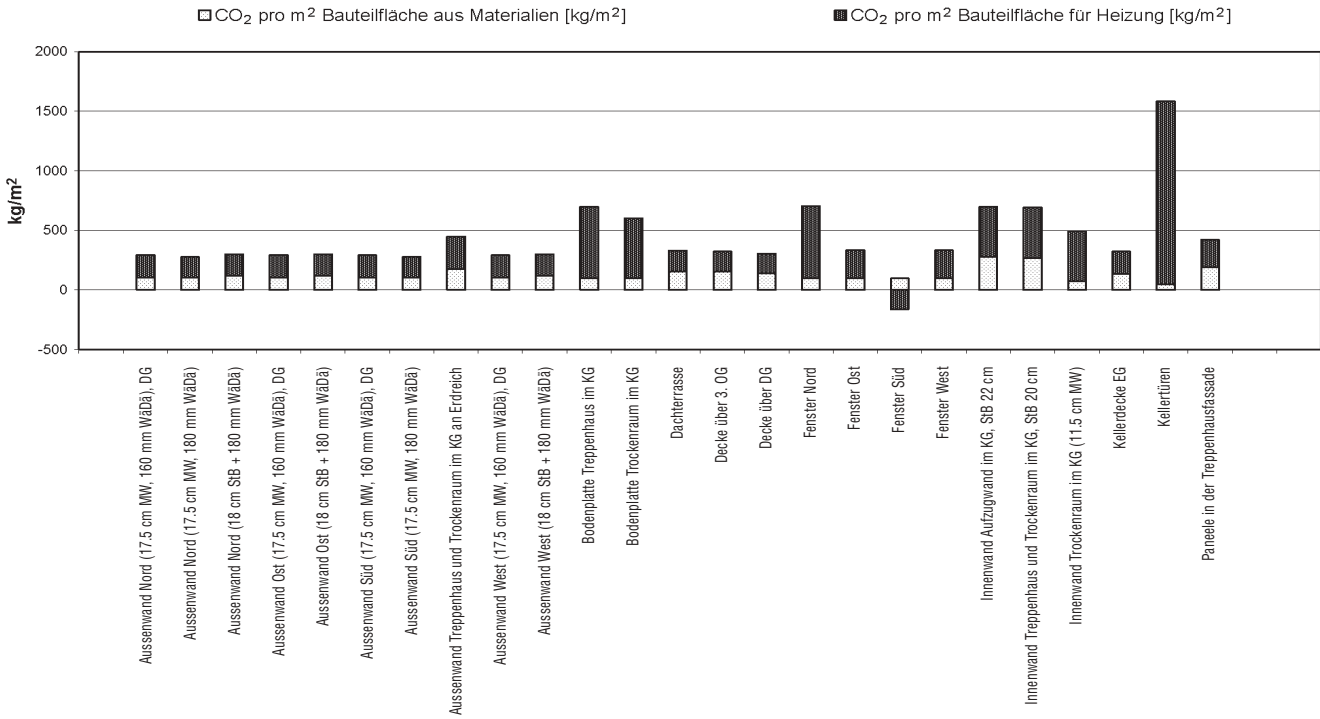


Abb. 49 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Holzhauses „Messestadt Riem“

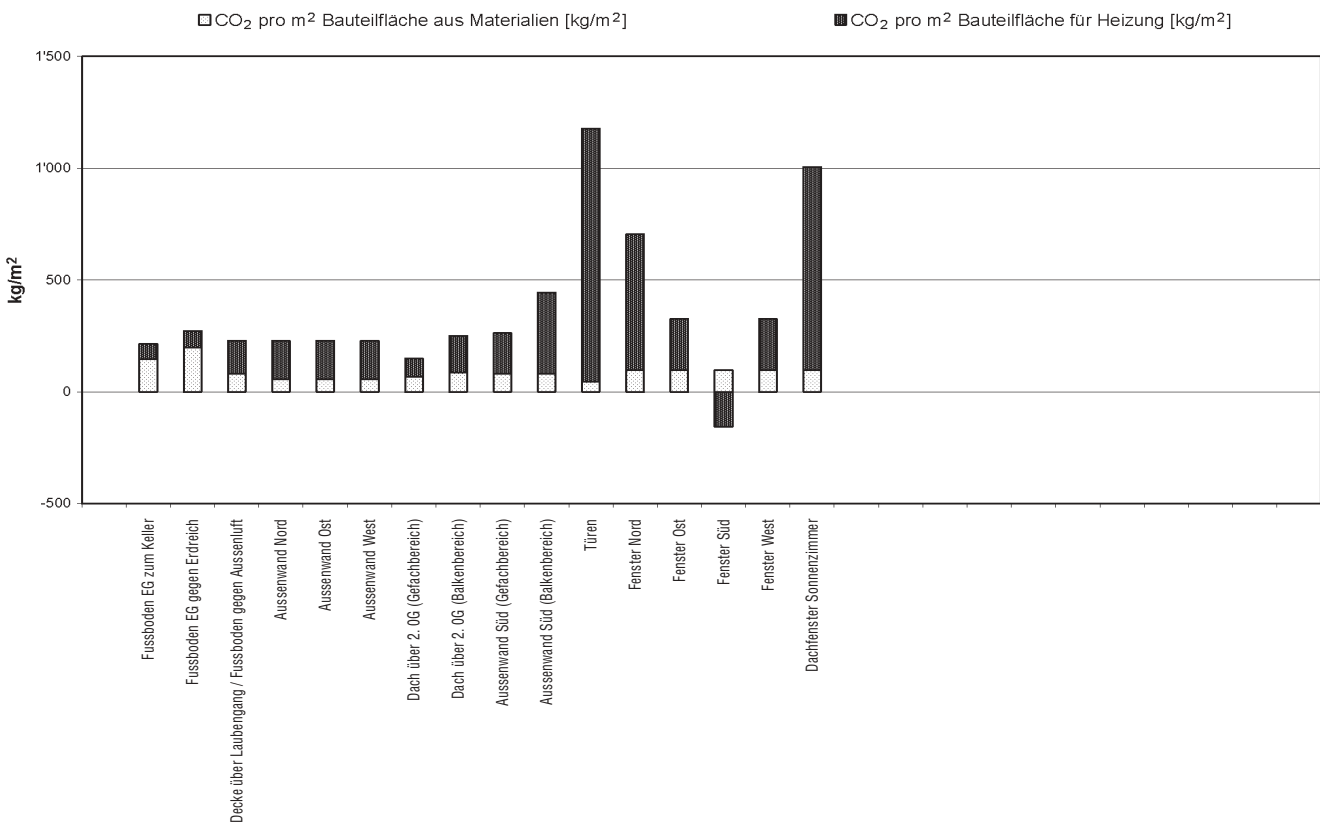


Abb. 50 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Referenzhaus „Messestadt Riem“

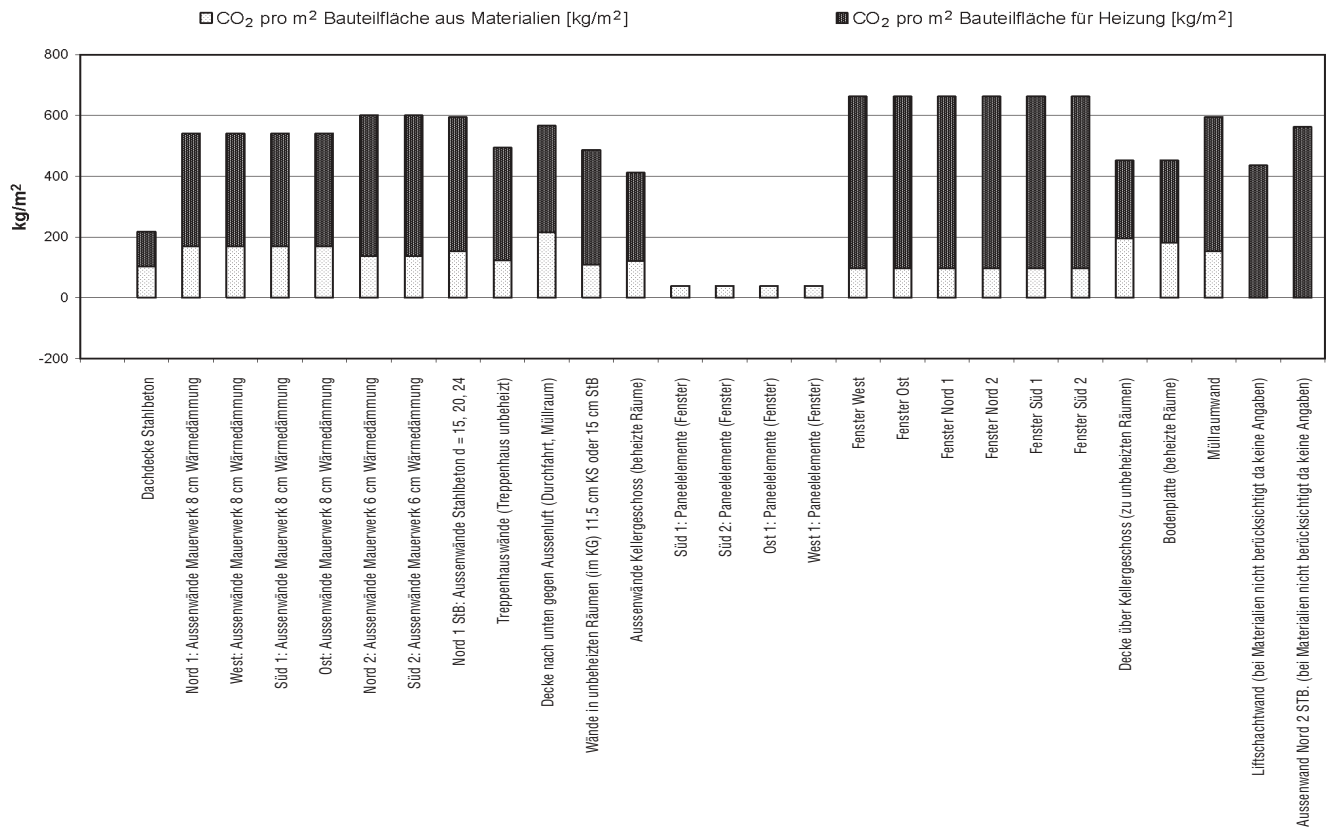
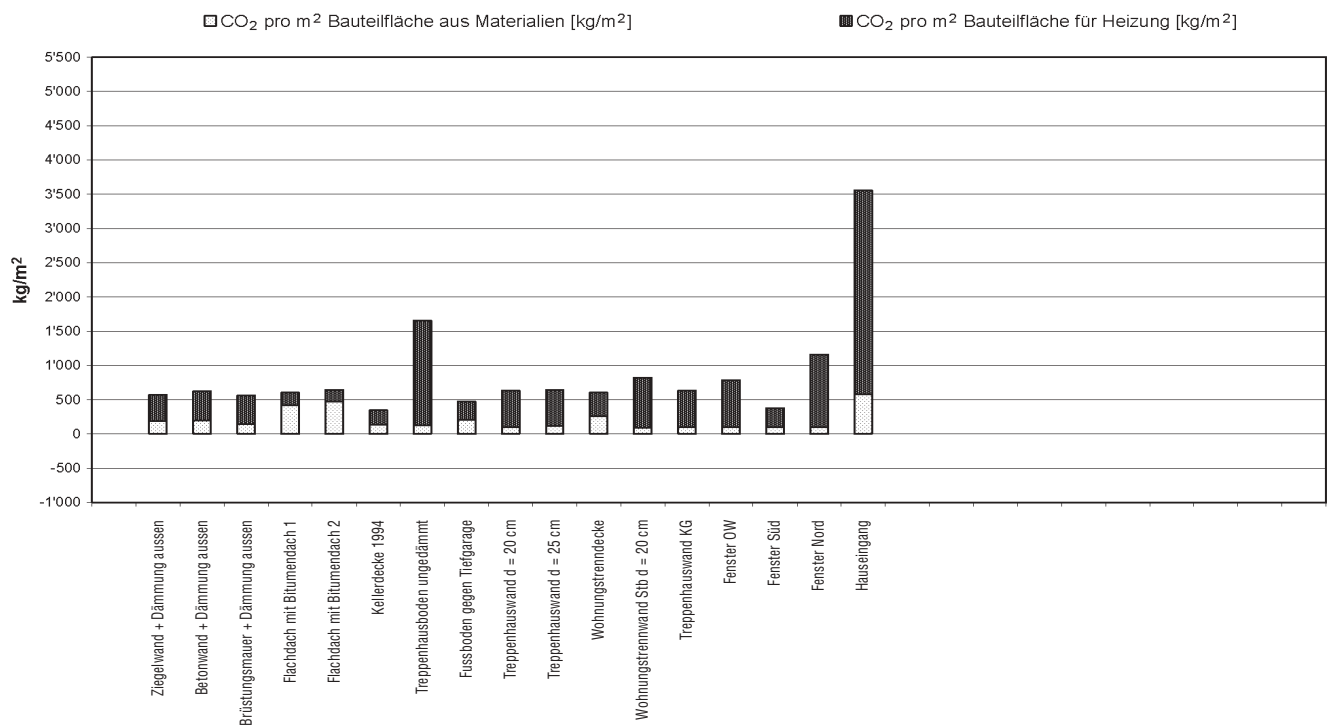


Abb. 51 | CO<sub>2</sub>-Emissionen Referenzhaus „Friedenspromenade“



## Anhang 3

# Umweltbelastungspunkte (UBP) der Produktion, des Ersatzes und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie des Betriebs in Punkte pro m<sup>2</sup> Nutzfläche

Abb. 52 | Umweltbelastungspunkte Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“

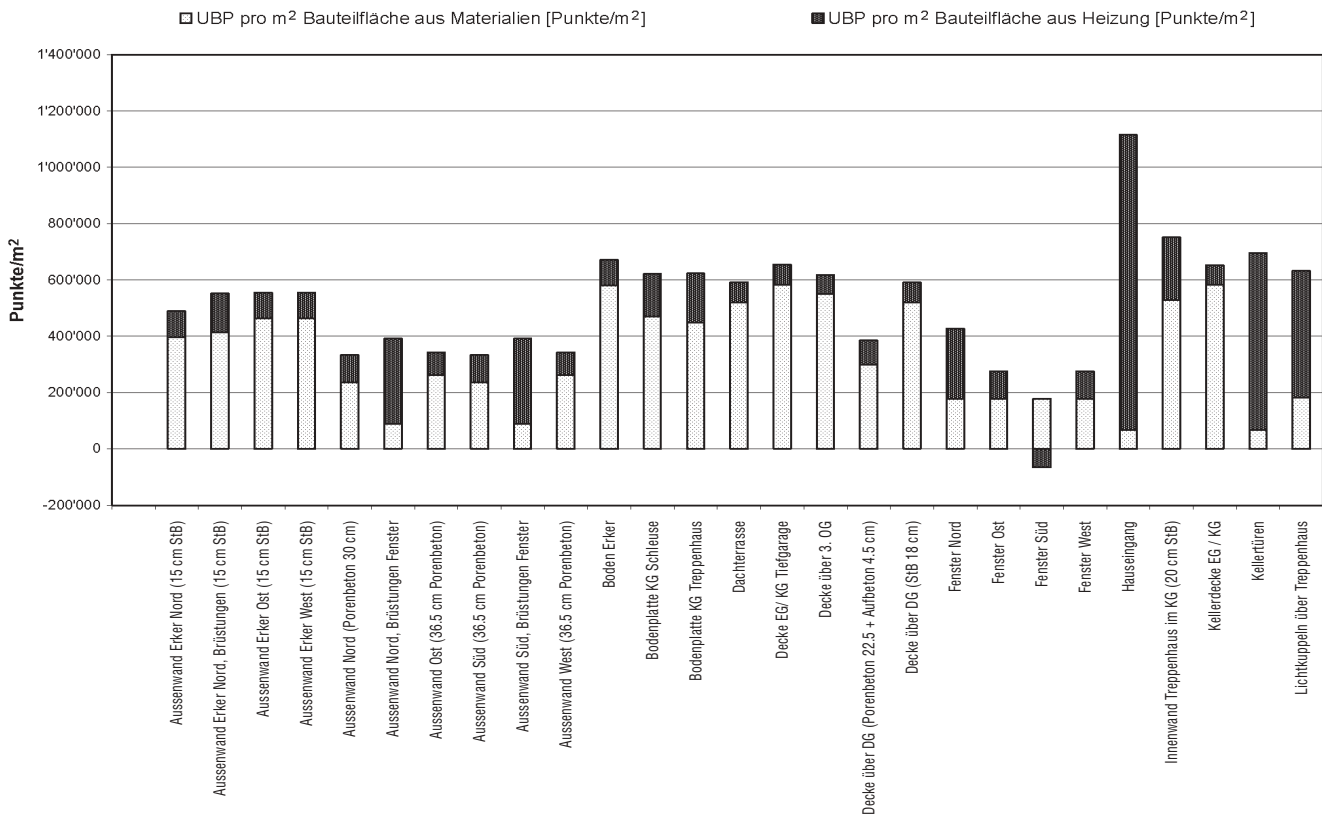


Abb. 53 | Umweltbelastungspunkte Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“

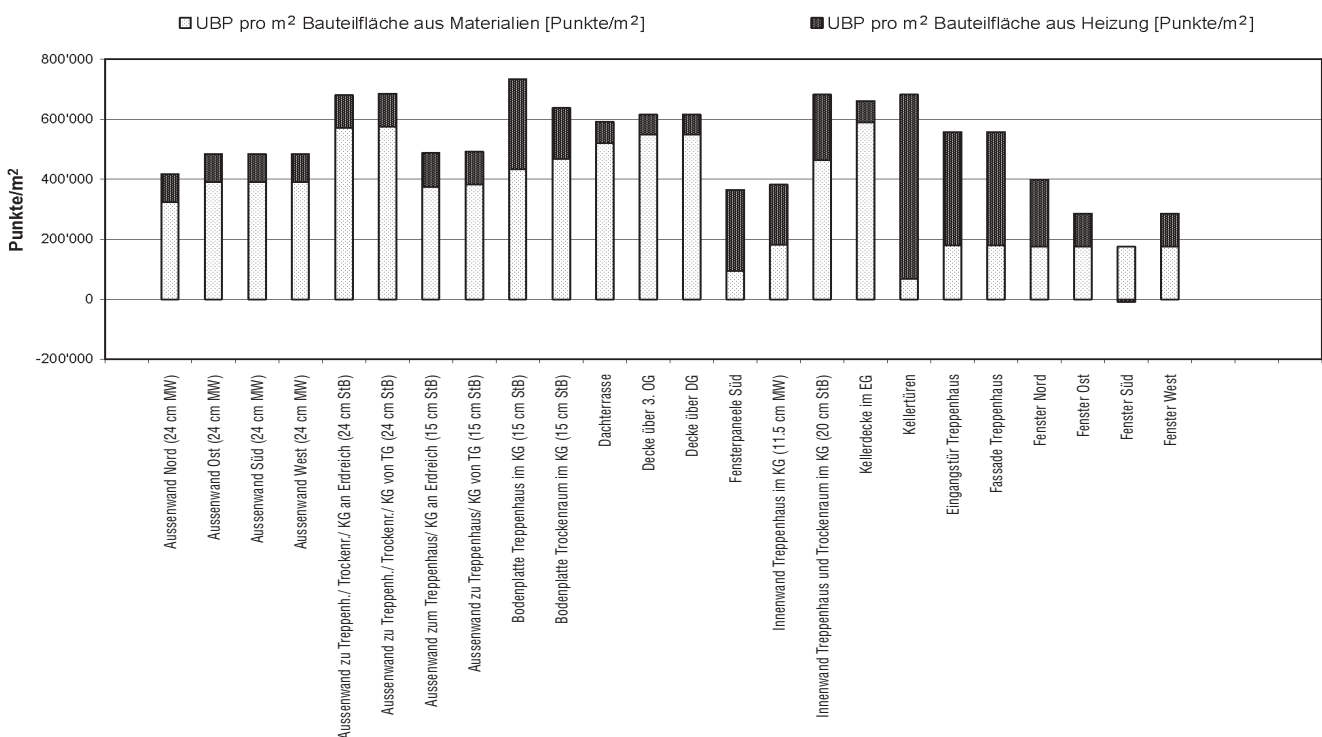


Abb. 54 | Umweltbelastungspunkte Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“

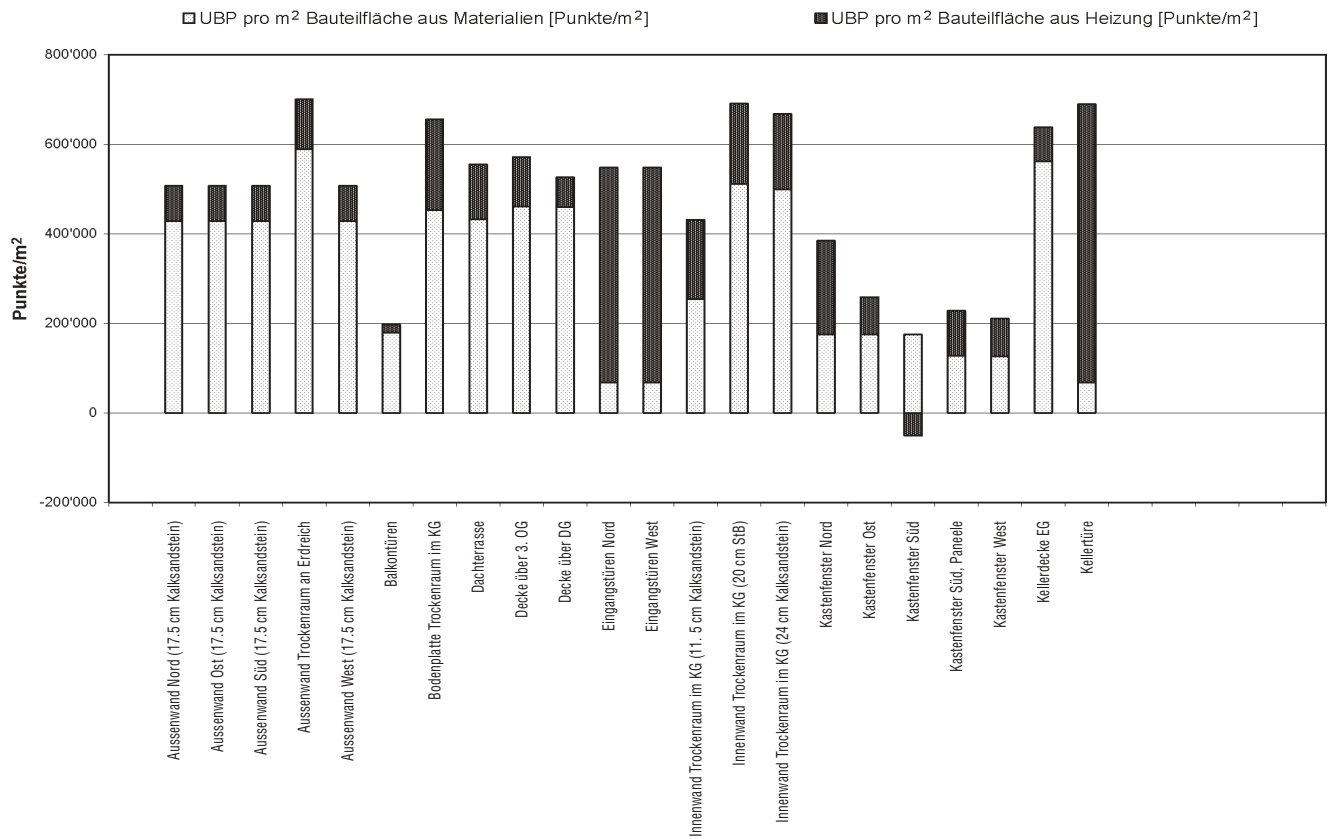


Abb. 55 | Umweltbelastungspunkte Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“

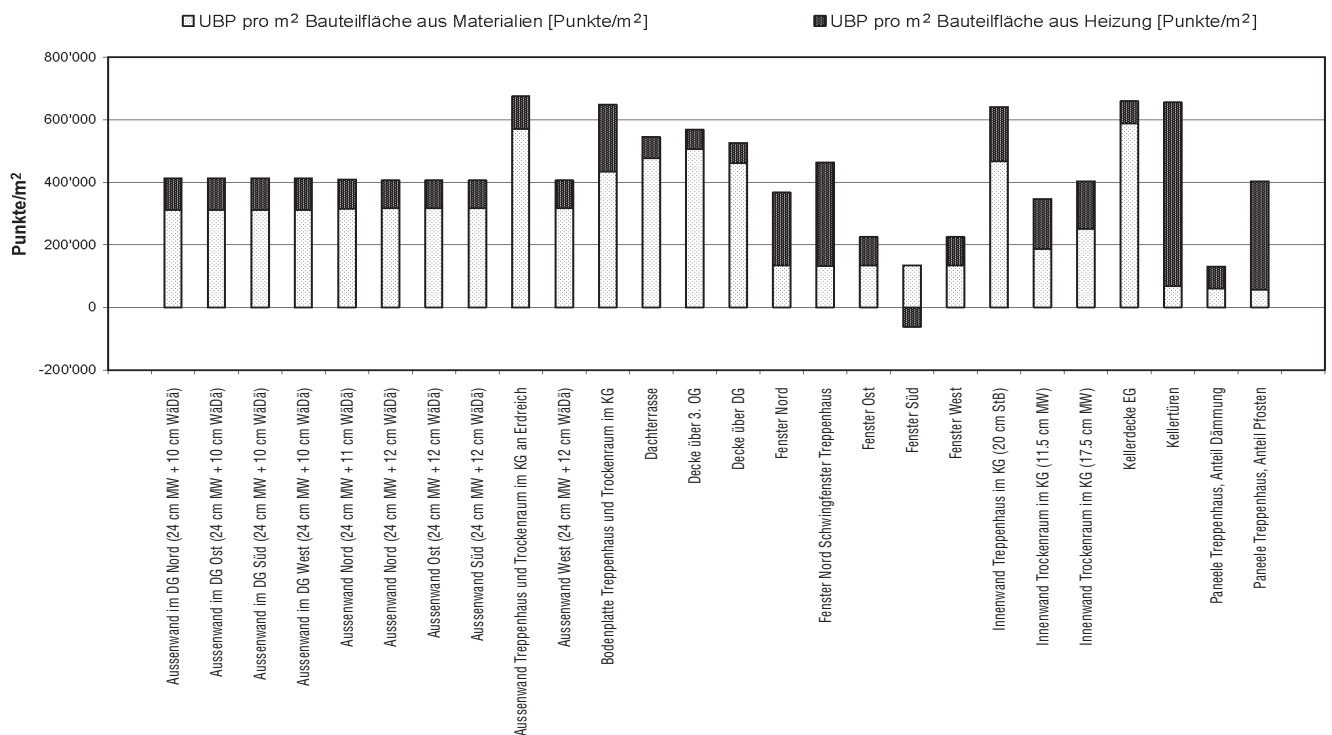


Abb. 56 | Umweltbelastungspunkte Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“

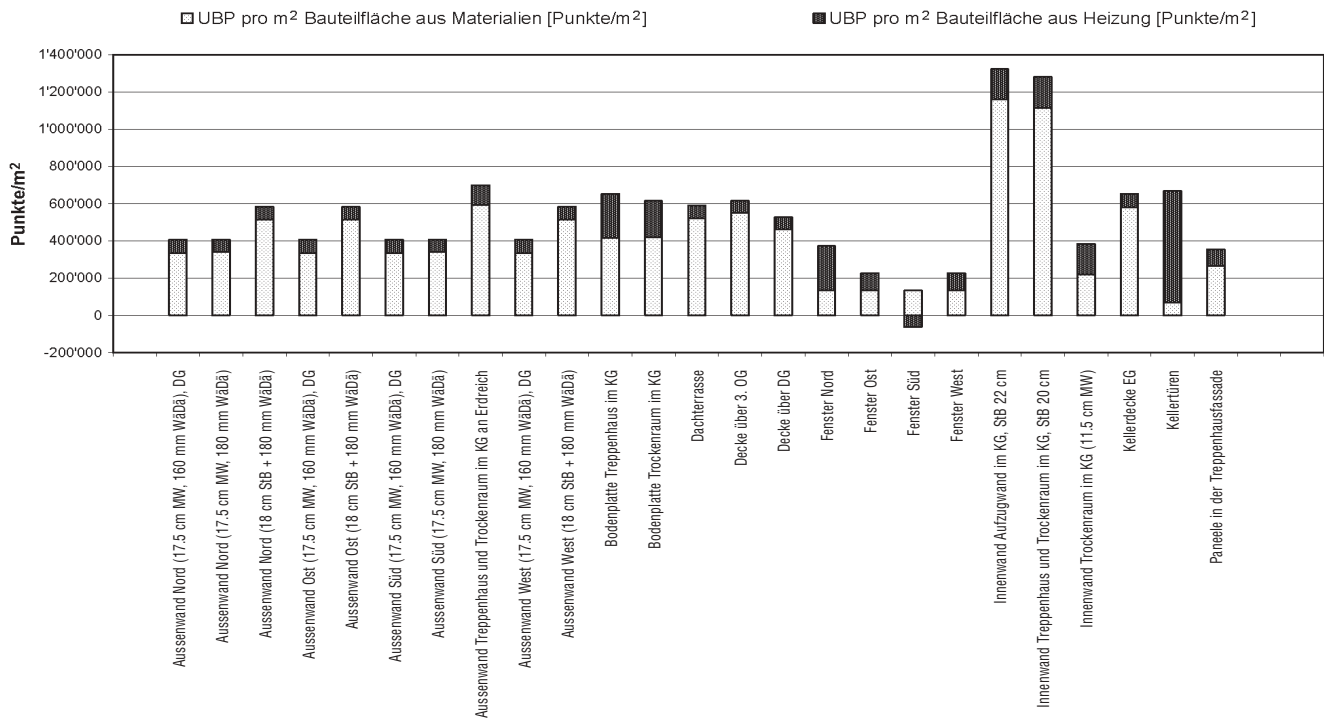


Abb. 57 | Umweltbelastungspunkte Holzhauses „Messestadt Riem“

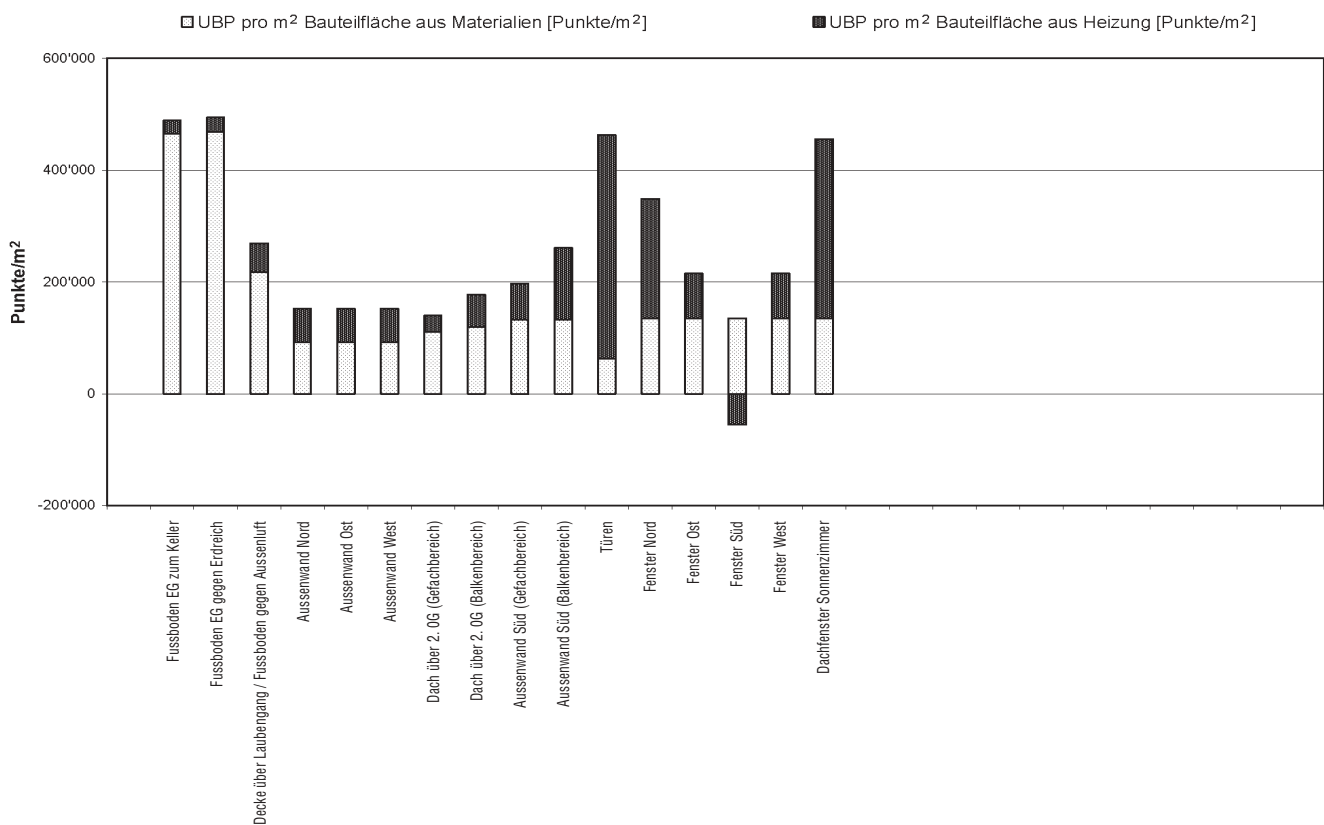


Abb. 58 | Umweltbelastungspunkte Referenzhaus „Messestadt Riem“

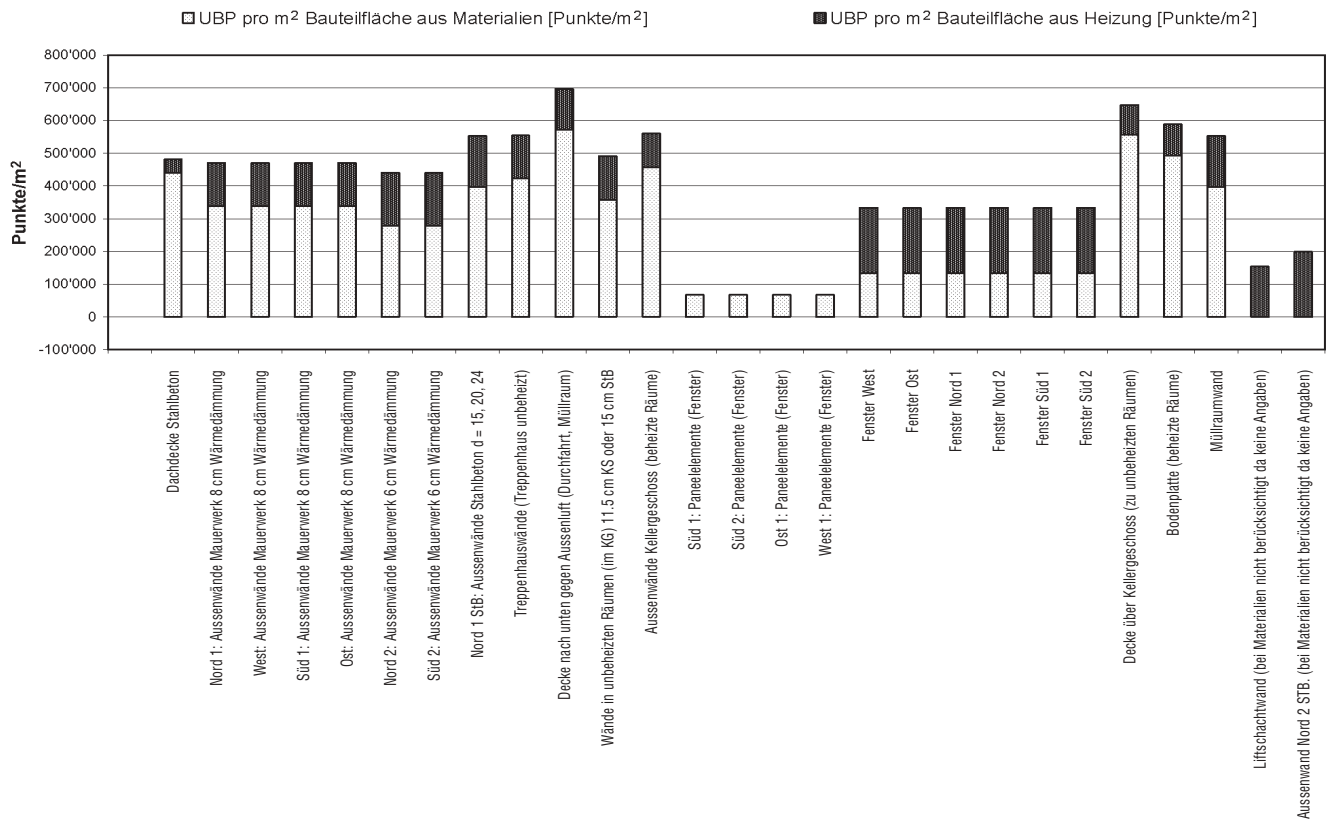
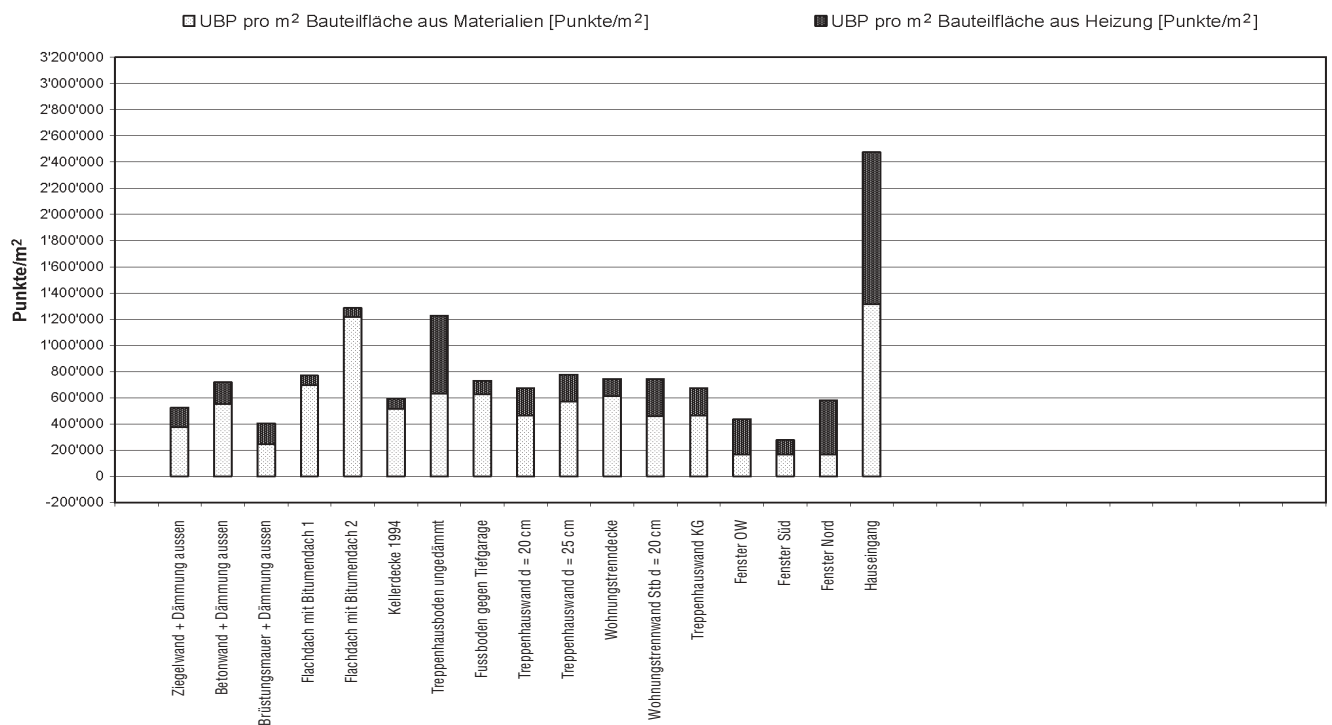


Abb. 59 | Umweltbelastungspunkte Referenzhaus „Friedenspromenade“



## Anhang 4

### Kosten aus der Produktion und der Entsorgung der Bauteile der Gebäudehülle sowie aus dem Betrieb in € pro m<sup>2</sup> Nutzfläche

Abb. 60 | Kosten Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“

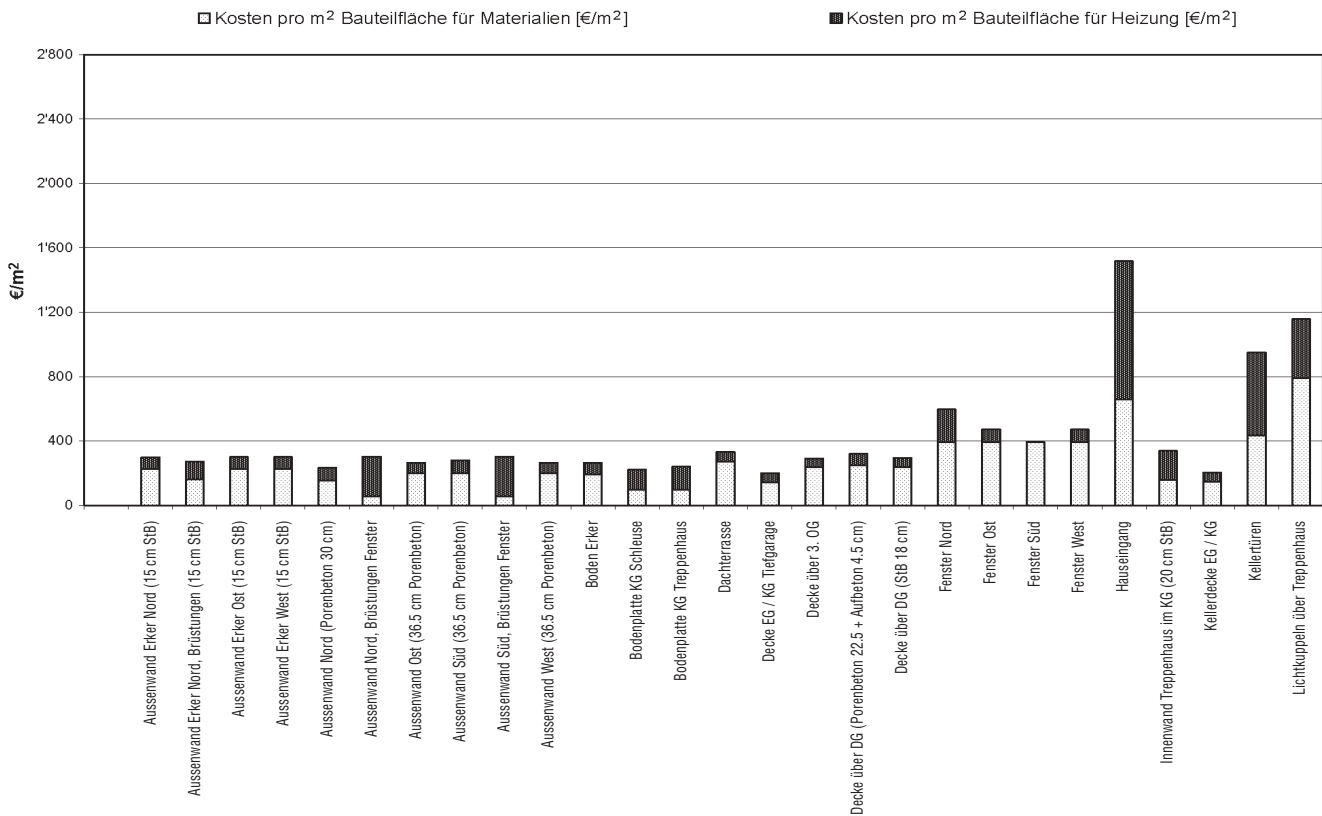


Abb. 61 | Kosten Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“

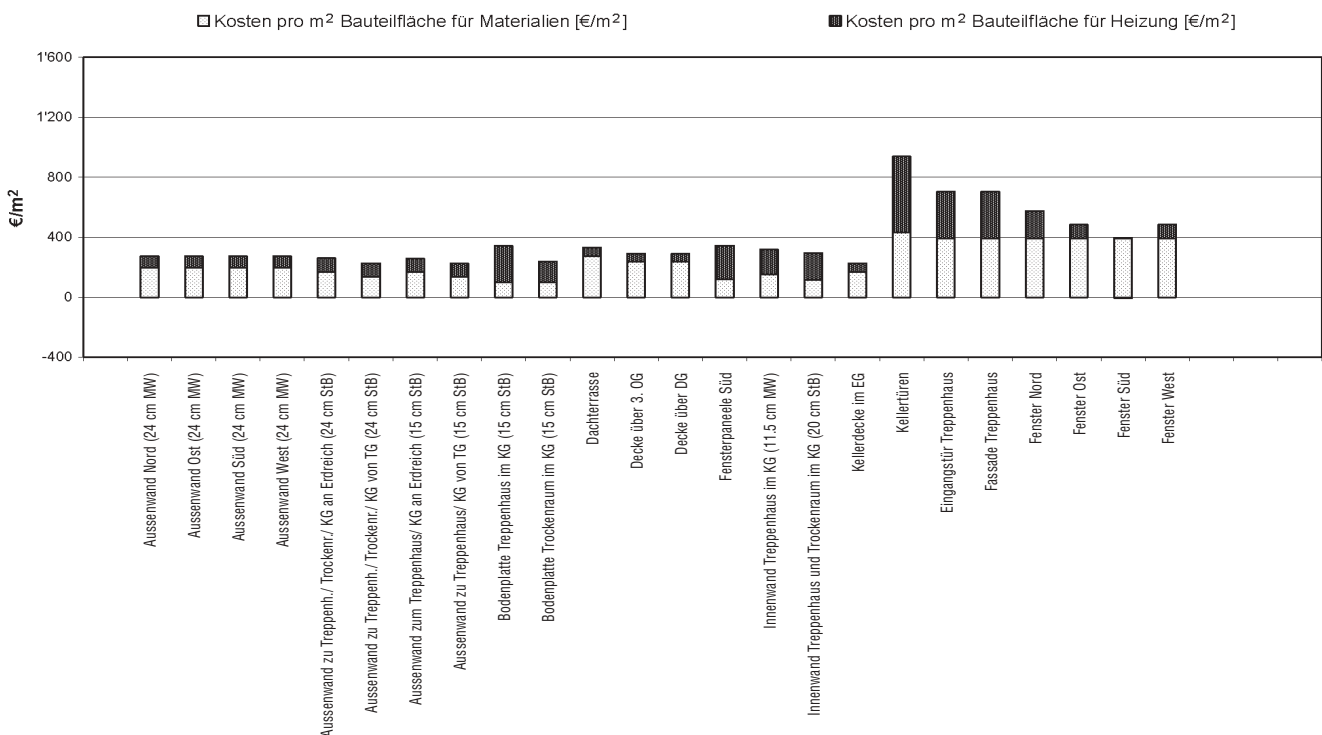




Abb. 62 | Kosten Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“

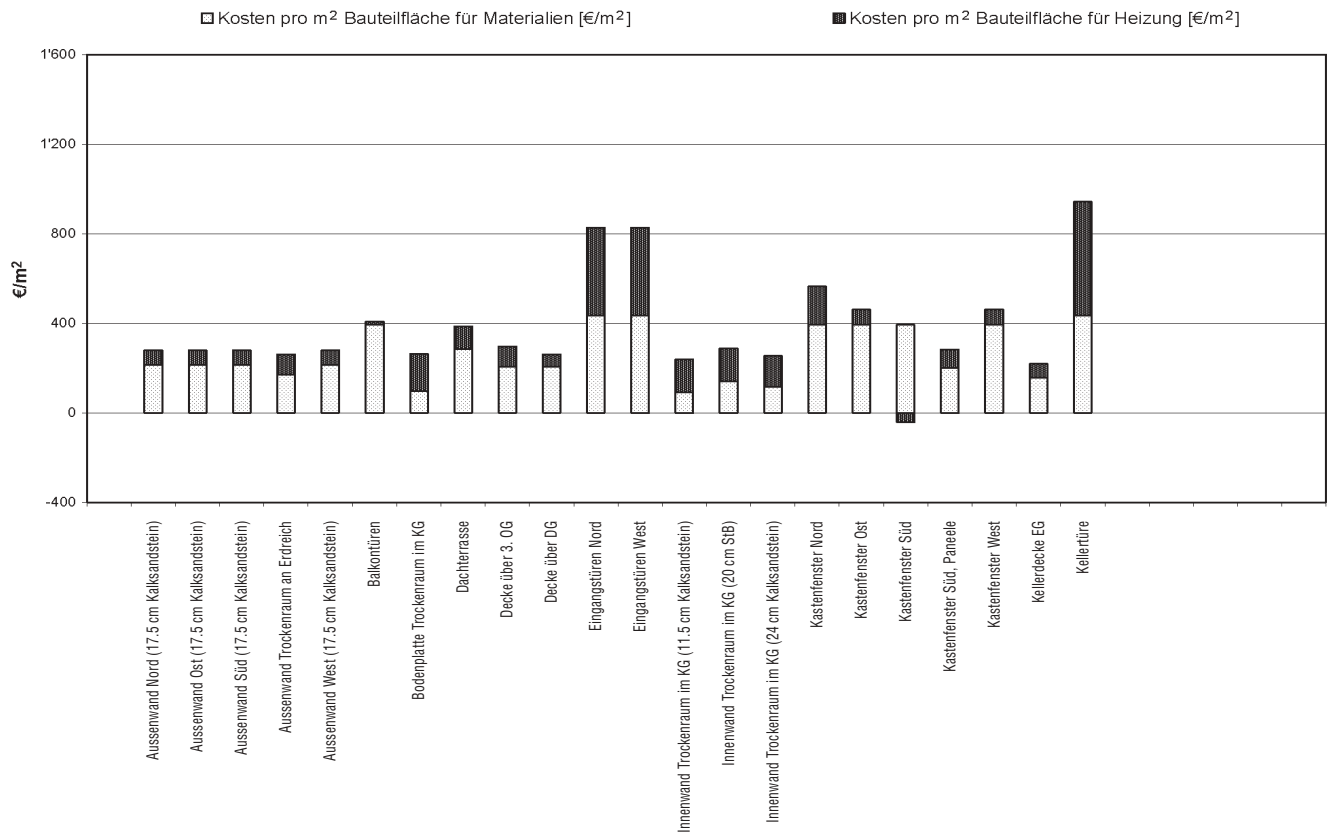


Abb. 63 | Kosten Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“

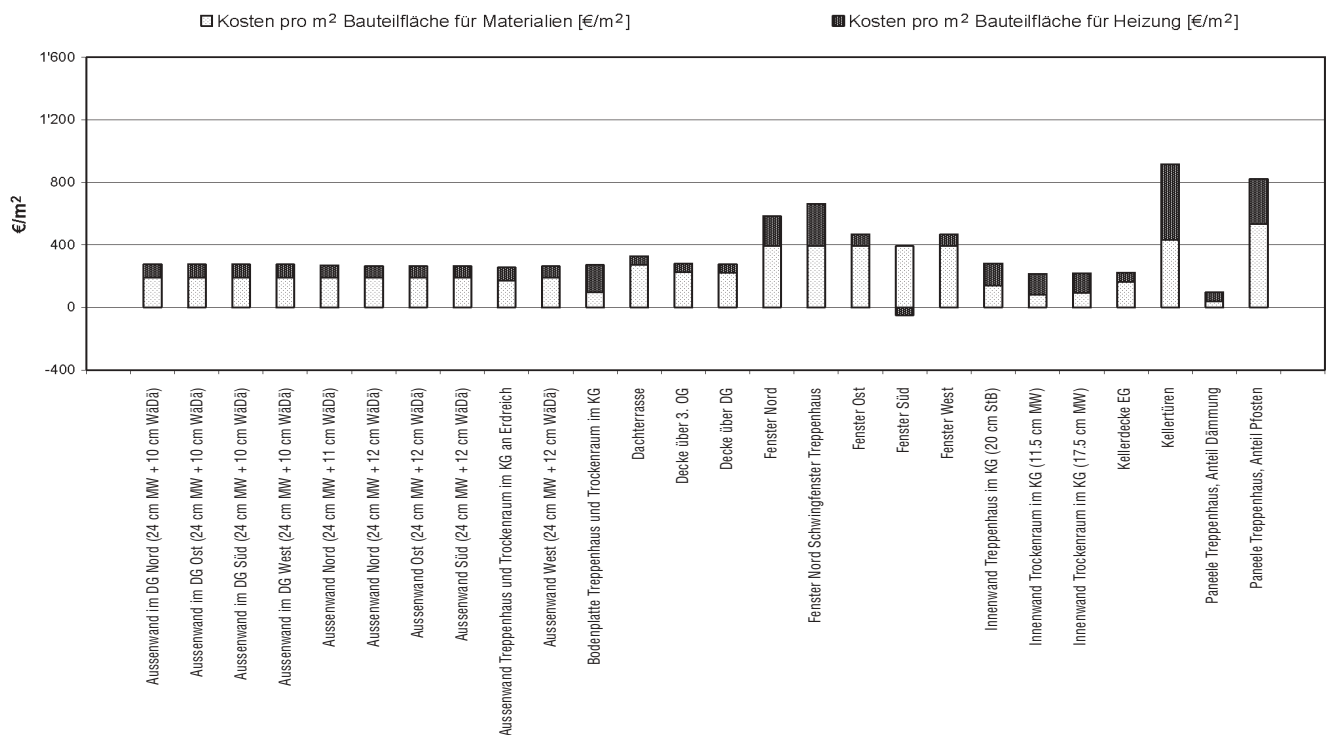


Abb. 64 | Kosten Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“

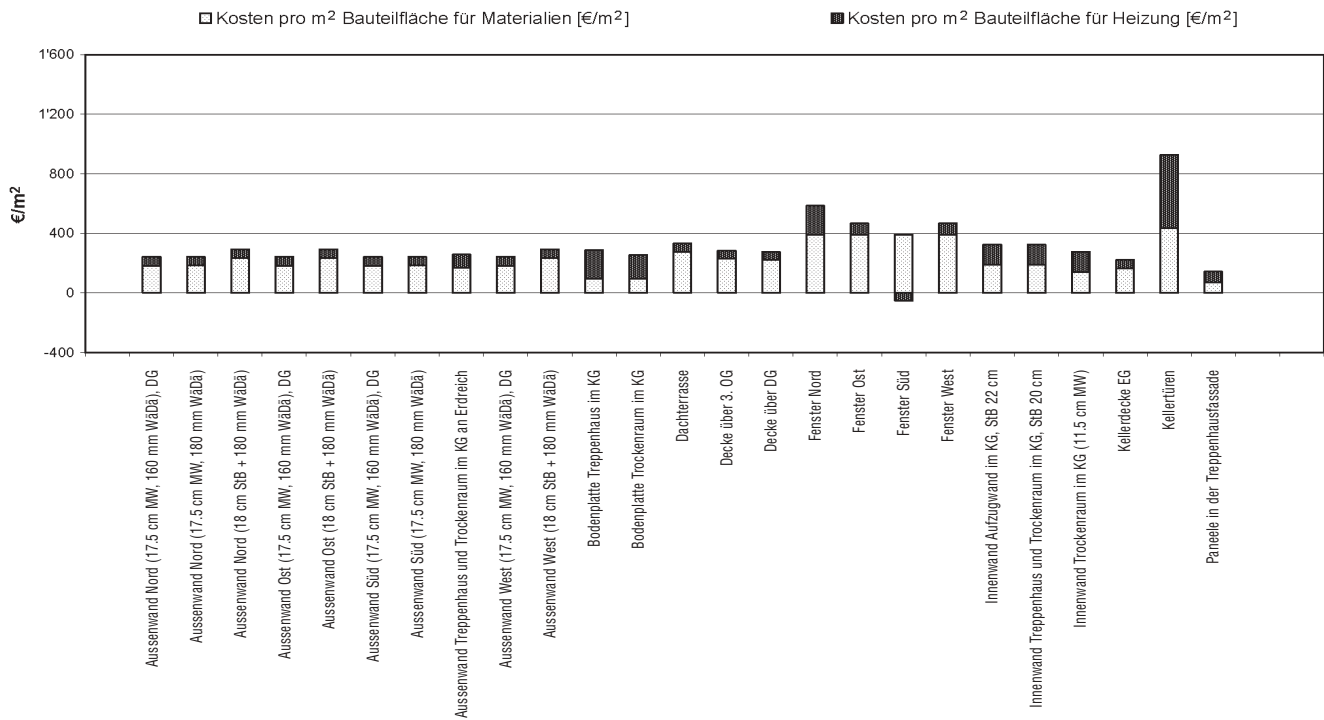


Abb. 65 | Kosten Holzhauses „Messestadt Riem“

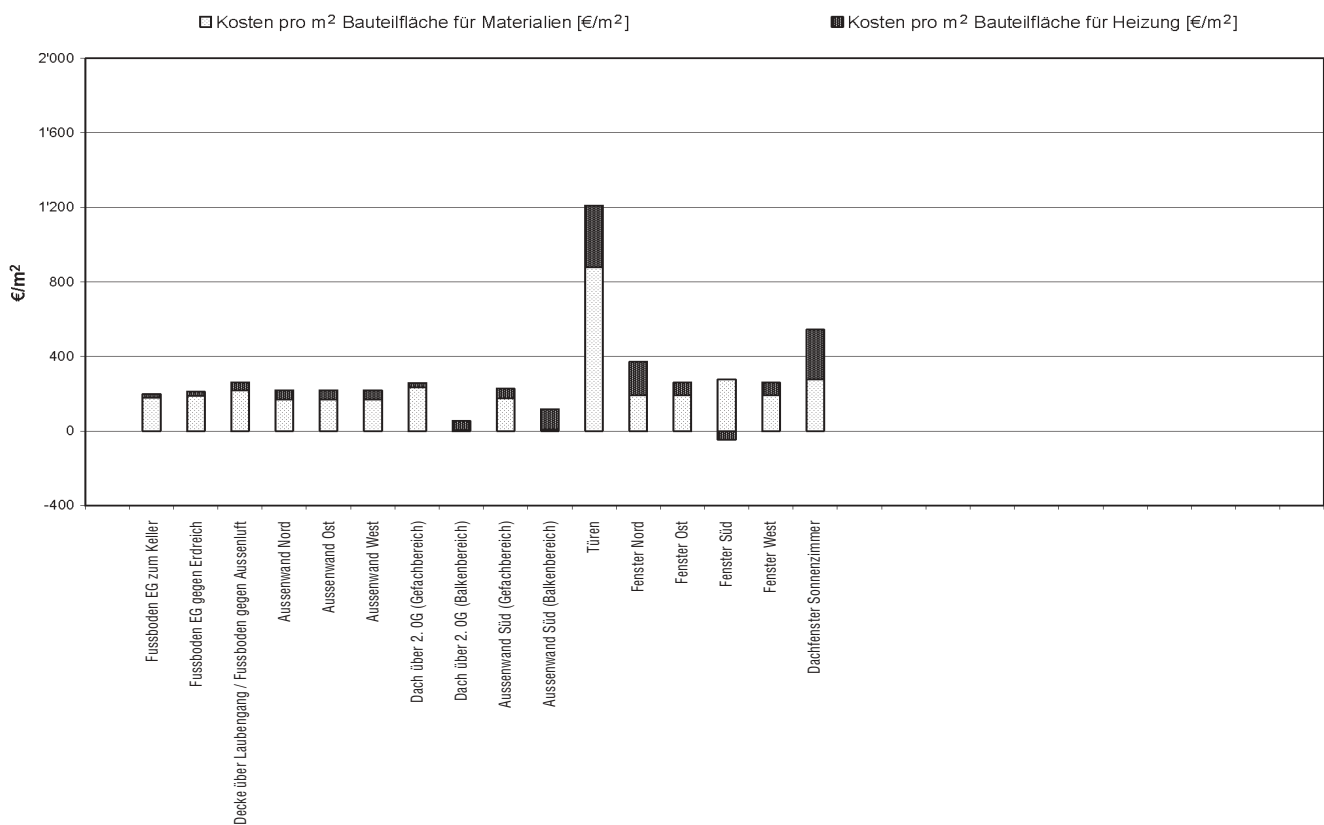


Abb. 66 | Kosten Referenzhaus „Messestadt Riem“

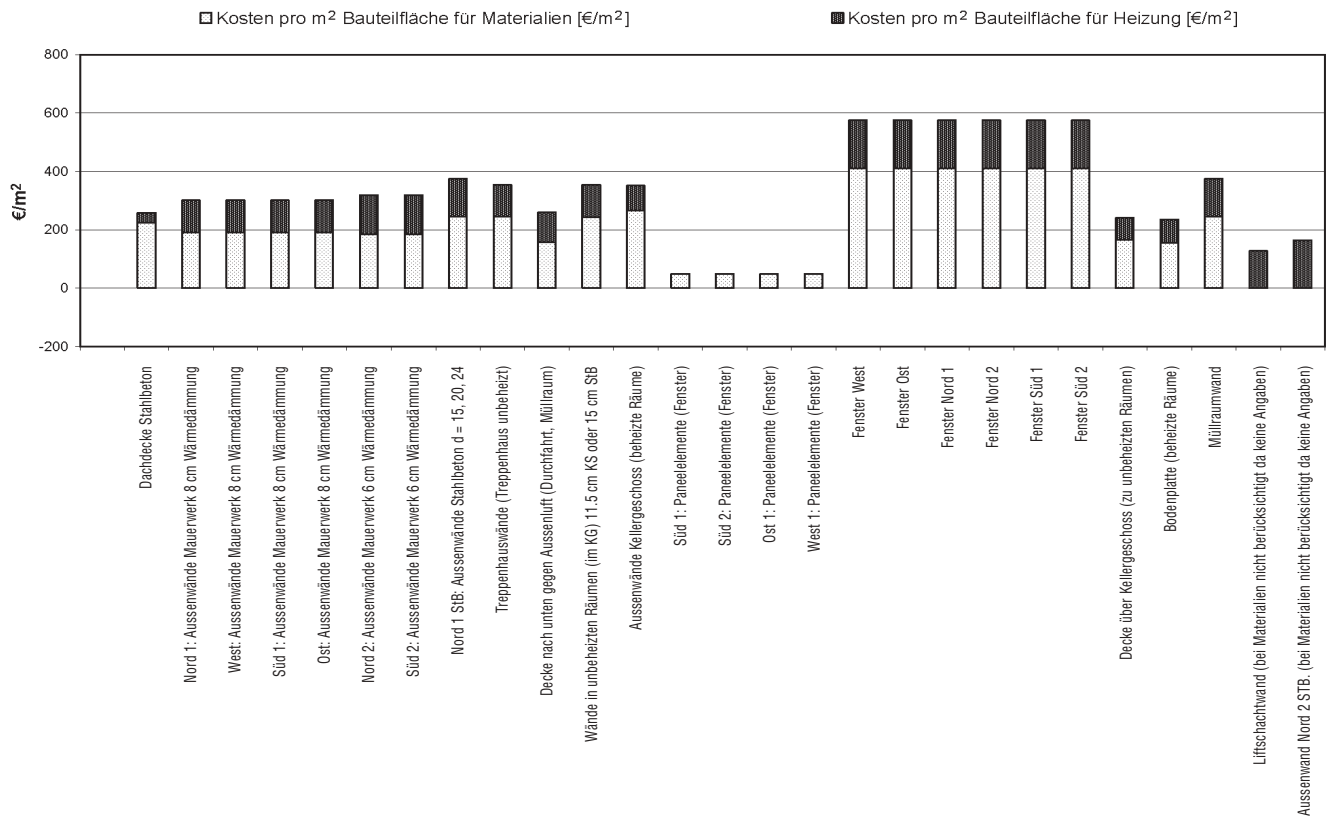
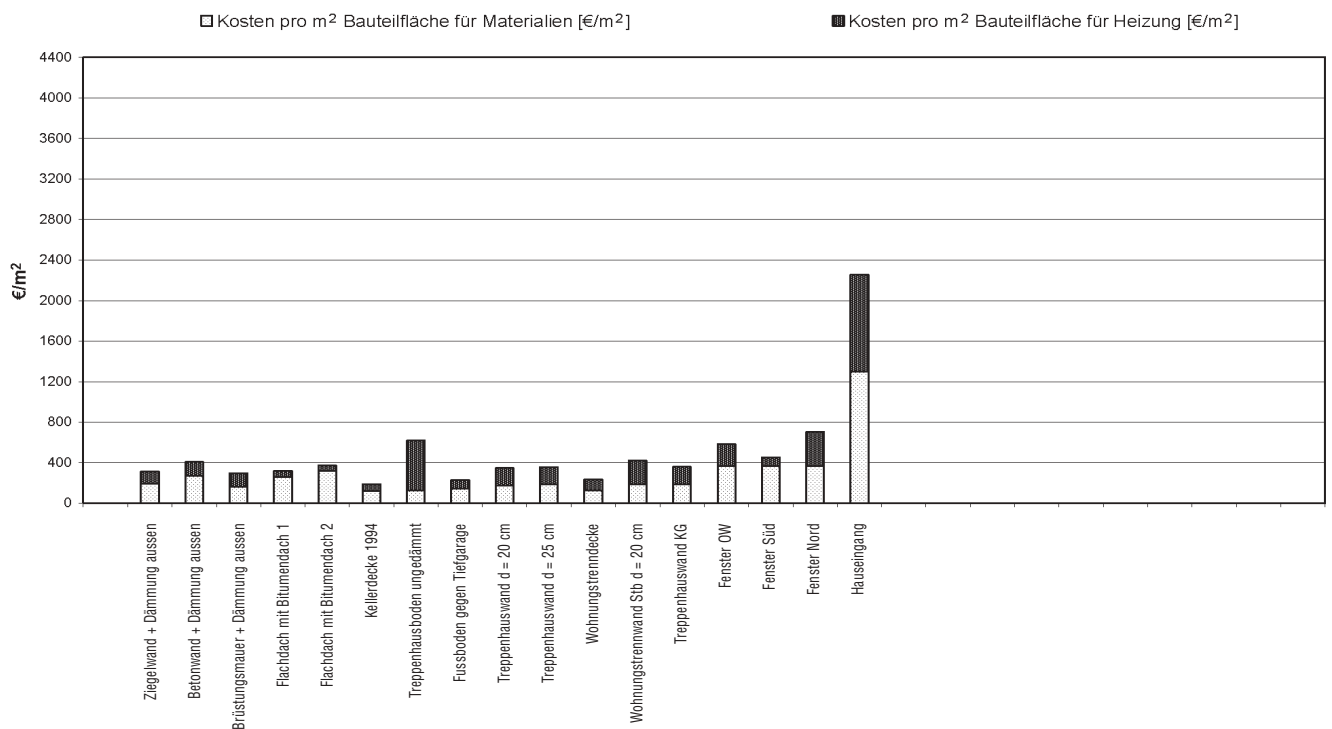


Abb. 67 | Kosten Referenzhaus „Friedenspromenade“



## Anhang 5

Entsorgungsmassen der Bauteile der Gebäudehülle in kg pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (unterteilt in Baustoffe in Müllverbrennungsanlage und in Inertstoffdeponie)

Abb. 68 | Entsorgung Haus 1 „Felicitas-Füss-Strasse 7“

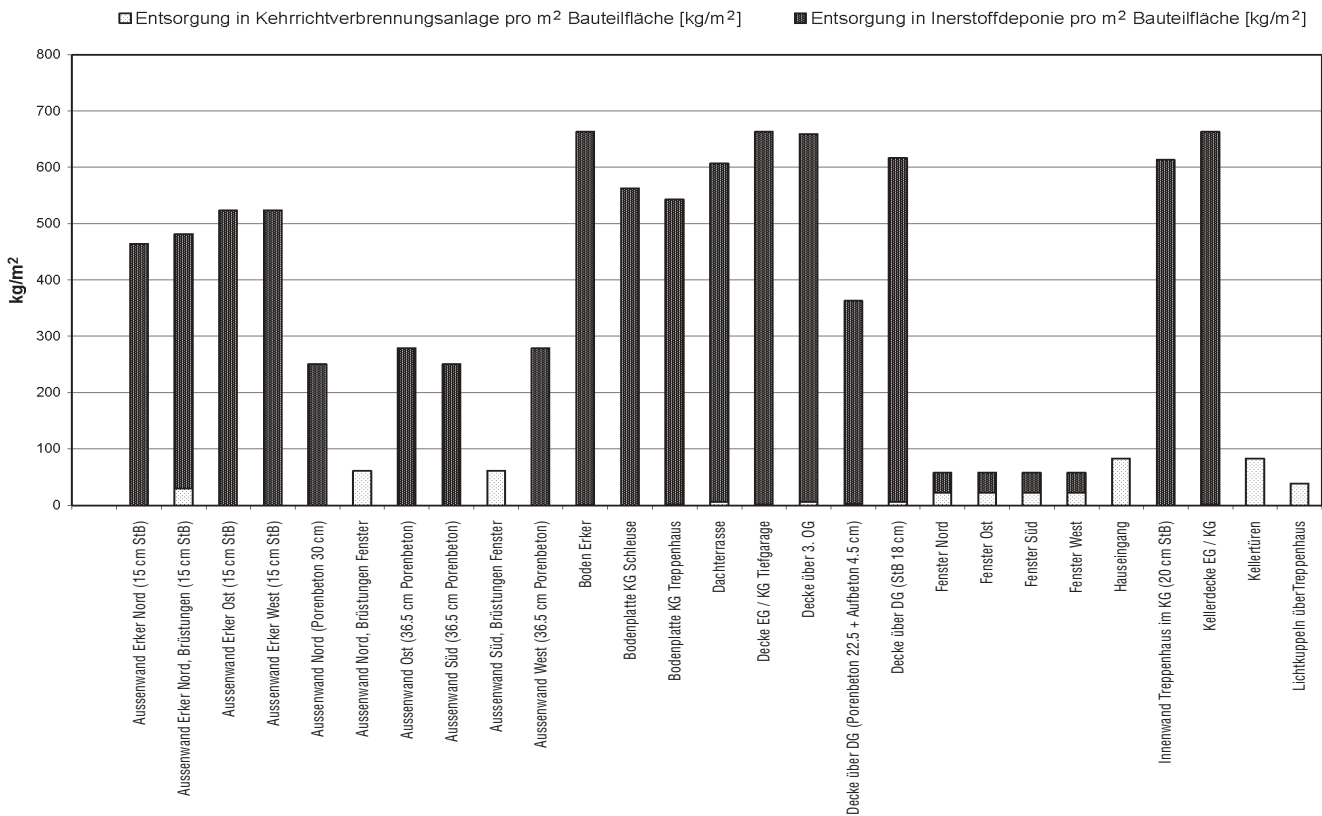


Abb. 69 | Entsorgung Haus 2 „Felicitas-Füss-Strasse 9“

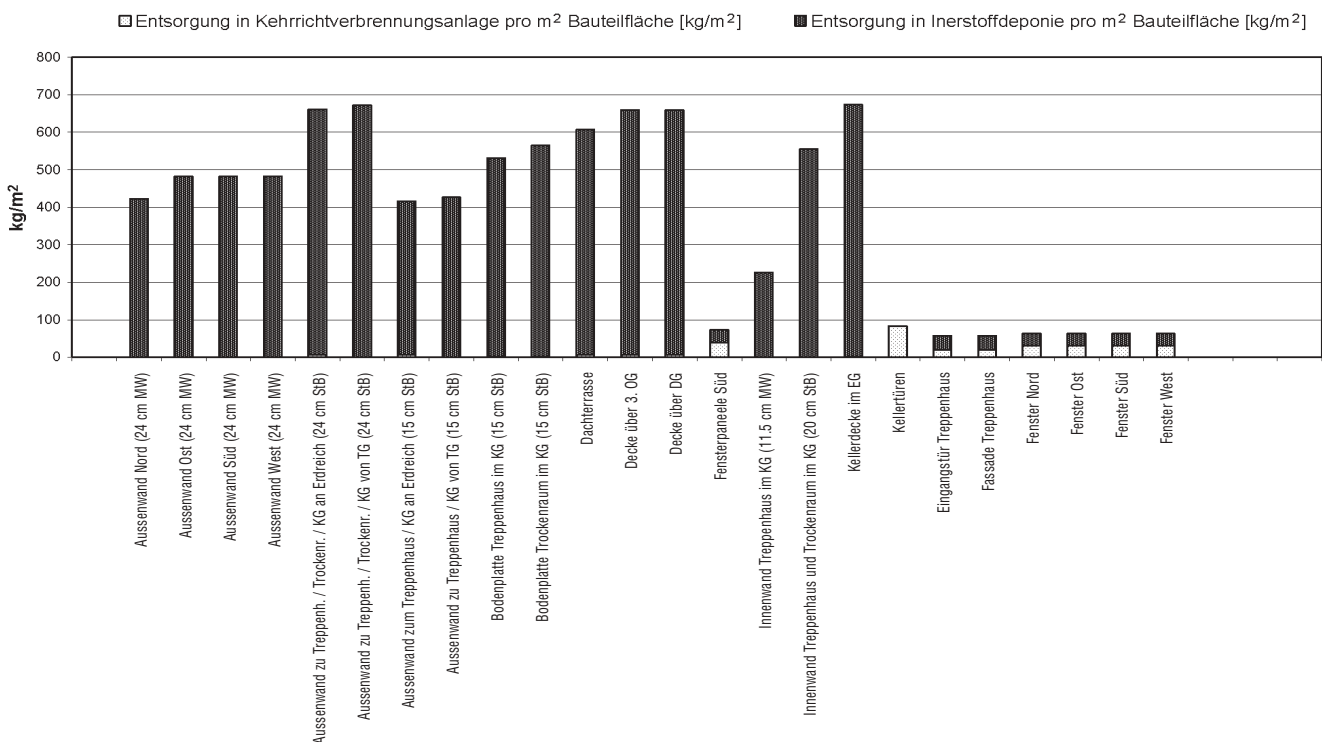


Abb. 70 | Entsorgung Haus 3 „Felicitas-Füss-Strasse 11“

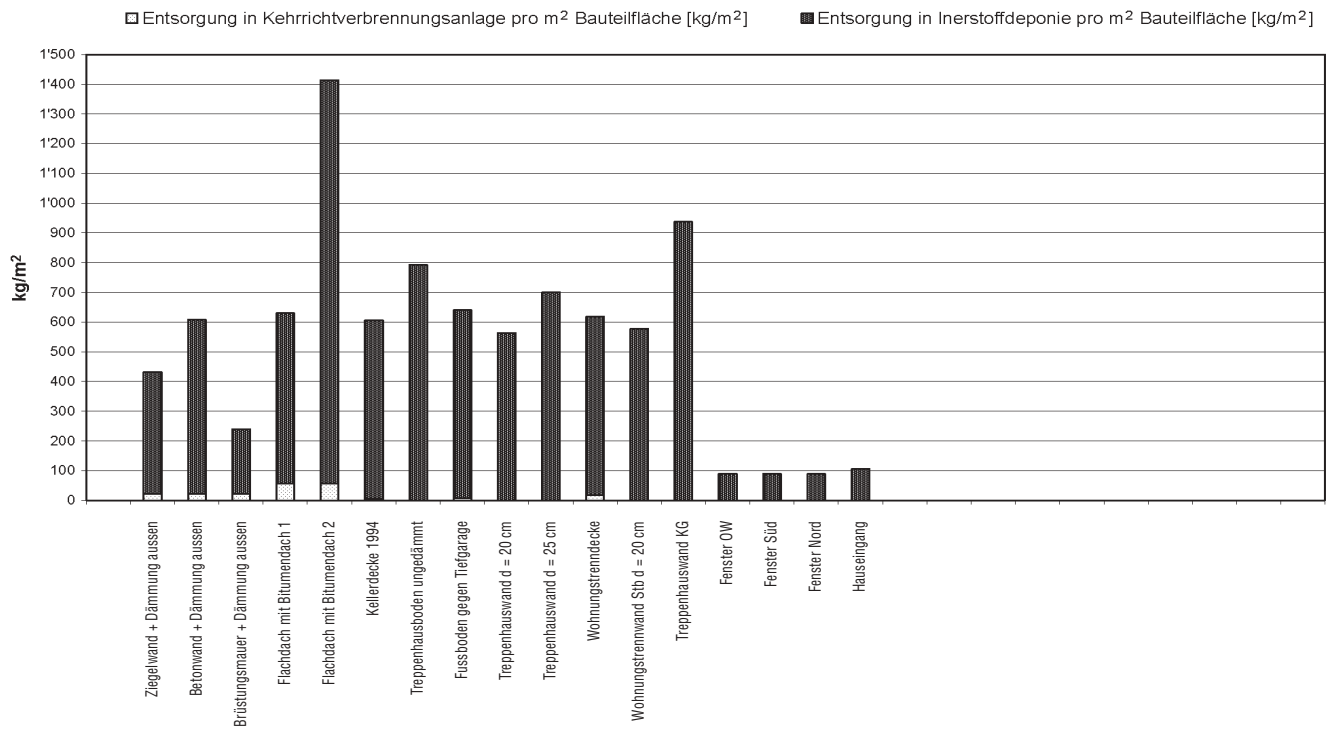


Abb. 71 | Entsorgung Haus 4 „Felicitas-Füss-Strasse 13“

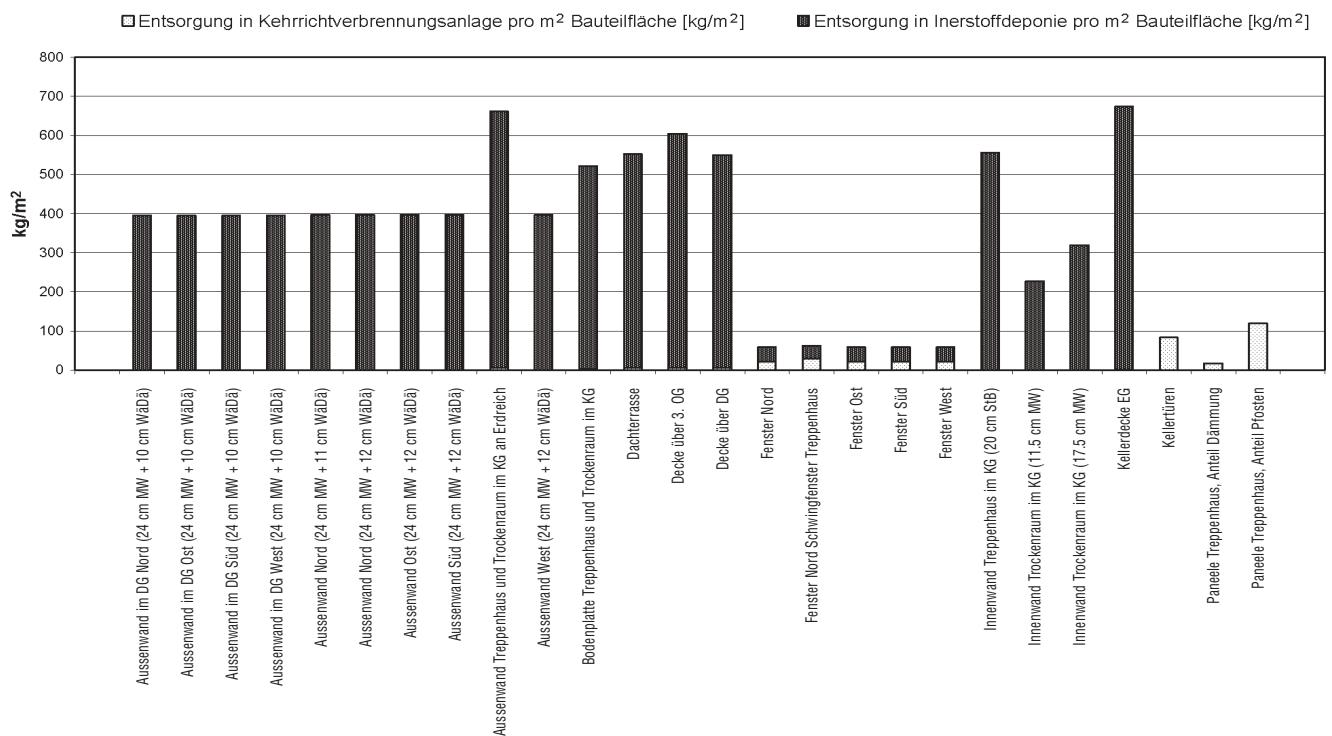


Abb. 72 | Entsorgung Haus 5 „Felicitas-Füss-Strasse 15“

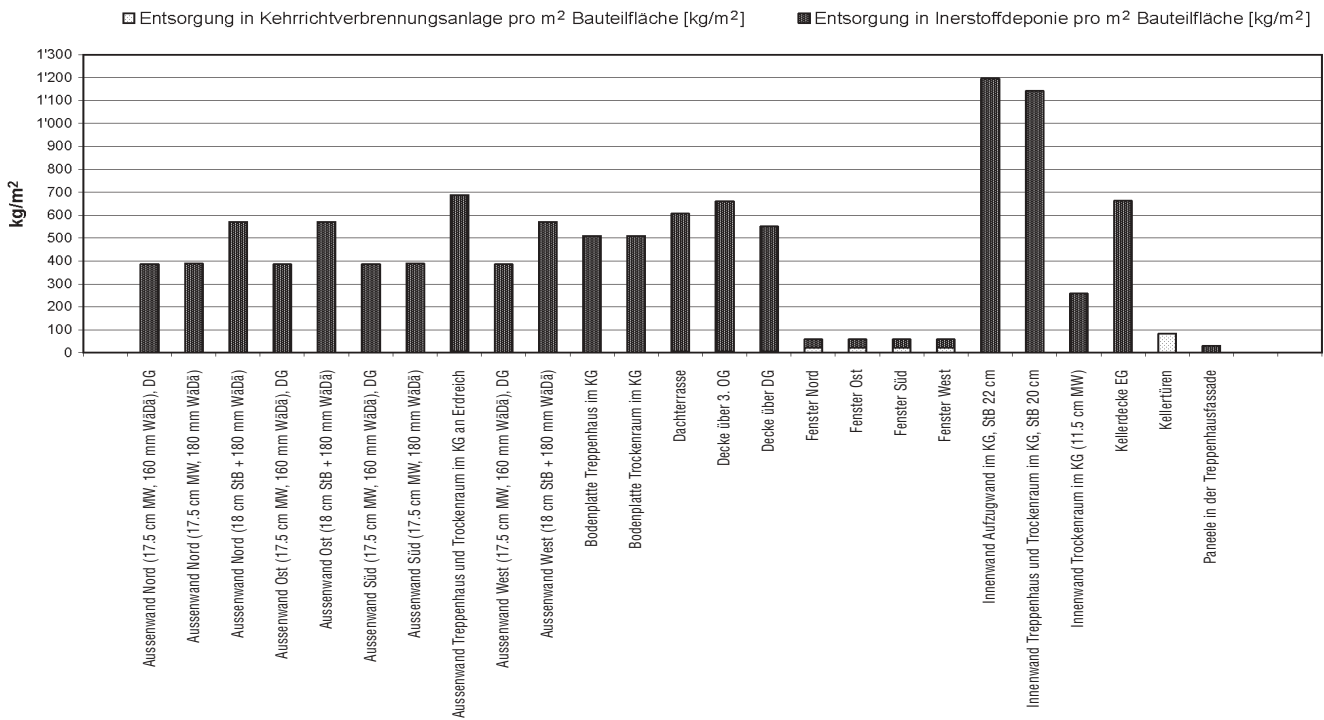


Abb. 73 | Entsorgung Holzhauses „Messestadt Riem“

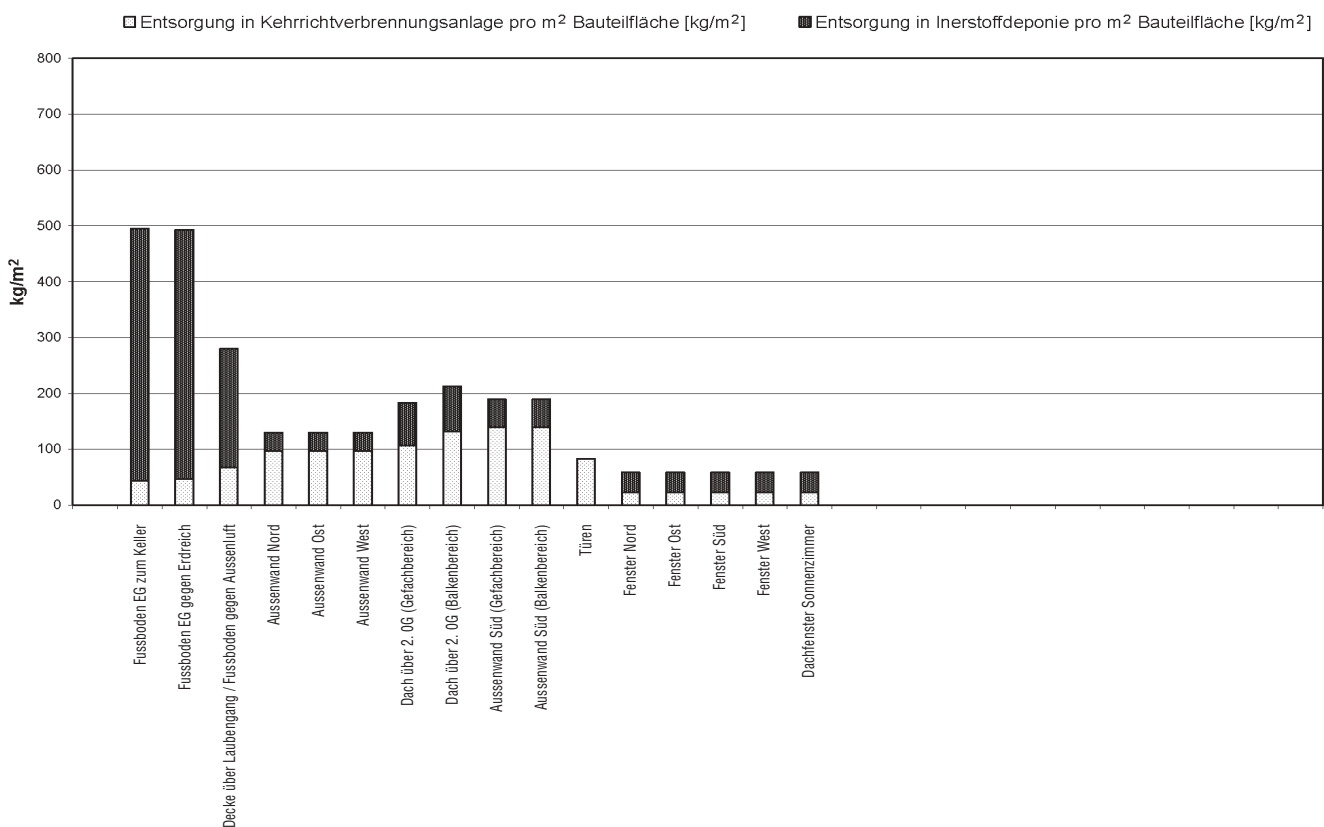


Abb. 74 | Entsorgung Referenzhaus „Messestadt Riem“

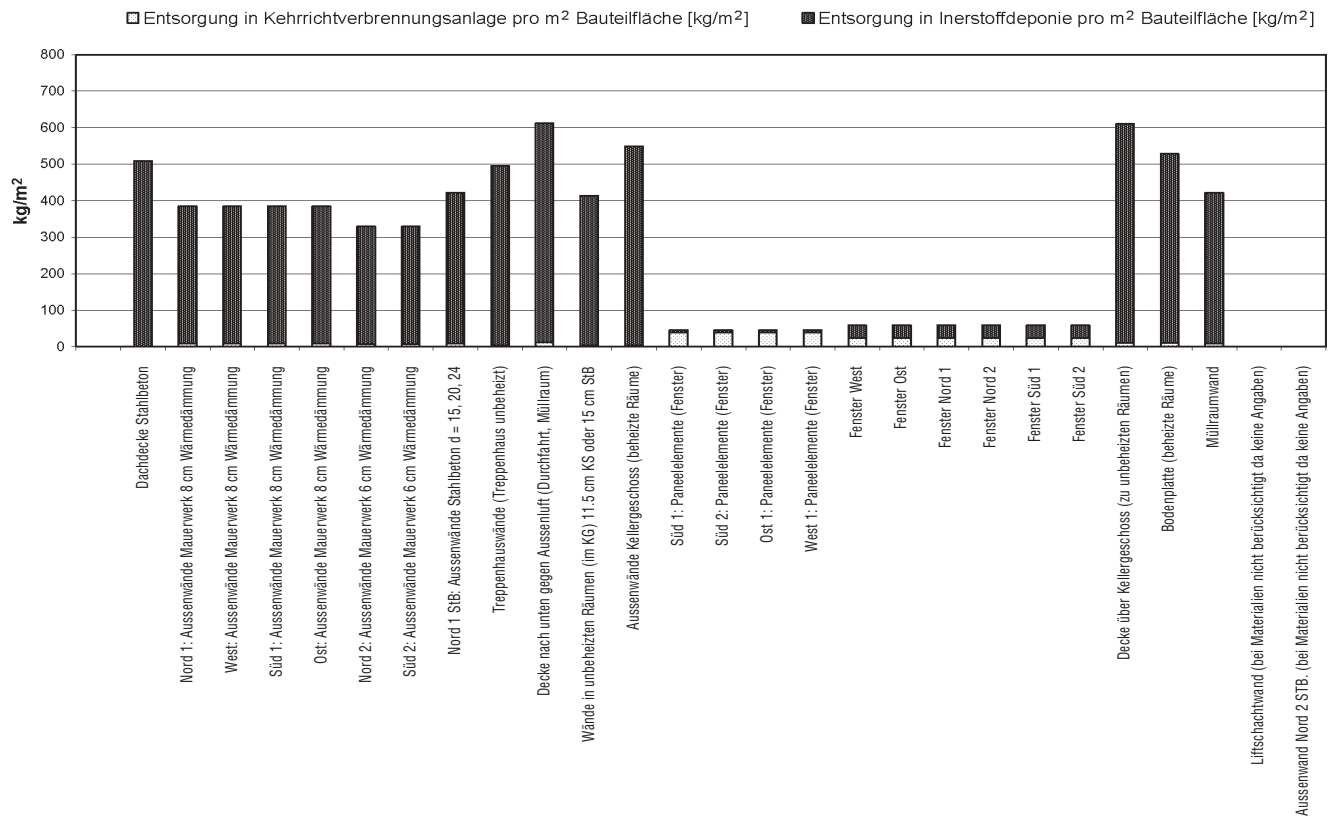
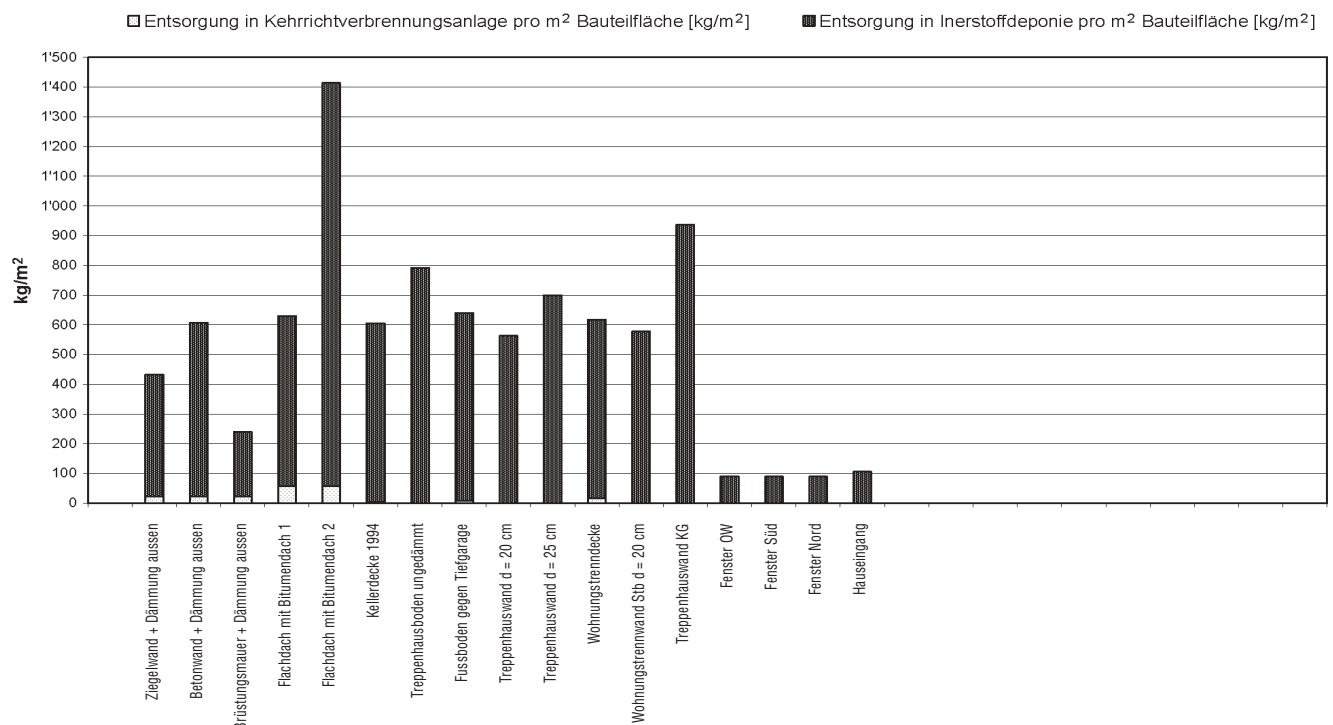


Abb. 75 | Entsorgung Referenzhaus „Friedenspromenade“





## Impressum

### Herausgeber

GEWOFAG  
Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG  
Ein Unternehmen  
der Landeshauptstadt München  
Kirchseeoner Straße 3  
81669 München  
Telefon: 089 / 41 23 - 123  
Fax.: 089 / 41 23 - 340  
E-Mail: [gewofag@gewofag.de](mailto:gewofag@gewofag.de)  
Internet: [gewofag.de](http://gewofag.de)

### Fotos

Daniel Hintersteiner, Richie Müller,  
Ingrid Scheffler, GEWOFAG

### Grafik

Carsten Schmitz, München  
[www.gestaltungsbureau.de](http://www.gestaltungsbureau.de)

### Druck

FIBO Druck und Verlags GmbH,  
München

### Studie

Eidgenössische Materialprüfungs- und  
Forschungsanstalt EMPA

### Autoren

D. Kellenberger,  
Dr. K. Richter,  
H.-J. Althaus,  
EMPA Dübendorf, Abteilung Technologie  
und Gesellschaft, Gruppe Ökobilanzen

### Auftraggeber

GEWOFAG  
Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG  
Ein Unternehmen  
der Landeshauptstadt München

### Konzept

Ökologische und ökonomische  
Untersuchung und Bewertung der  
Wohngebäude

### Stand

Juli 2005



Gemeinnützige Wohnungsfürsorge AG München  
Ein Unternehmen der Landeshauptstadt München

