

# Minimum Impact House

**- Forschungsprojekt zur Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

Verbundforschungsprojekt

**Drexler Guinand Jauslin Architekten**

mit dem

**Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen der Technischen Universität Darmstadt**

**Prof. Manfred Hegger**



Projektbeteiligte und Autoren:

**Hans Drexler, Esther Götz, Kristina Klenner, Marcella Lantelme, Susanne Sauter, Jörg Thöne, Eva Zellmann.**



Forschungsprojekt wurde gefördert durch die

**DBU Deutsche Bundesstiftung Umwelt**

Postfach 1705  
49007 Osnabrück  
An der Bornau 2  
49090 Osnabrück  
Telefon (0541)9633-0  
Telefax (0541)9633-190  
E-Mail: info@dbu.de

Verbundforschungsprojekt unter Beteiligung:

**Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH**

Schaumainkai 3  
D-60594 Frankfurt am Main  
TEL +49 - 69 - 96 20 62 34  
FAX +49 - 69 - 96 23 17 78  
Ansprechpartner:  
Dipl. Arch. ETH Hans Drexler M. Arch. (Dist.)

im Verbund mit dem

**Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen**

Fachbereich Architektur  
Technische Universität Darmstadt  
El Lissitzky Str. 1  
64287 Darmstadt  
<http://www.architektur.tu-darmstadt.de/ee/>  
Telefon: +49 (06151) 16 20 46  
Fax: +49 (06151) 16 52 47  
Ansprechpartner:  
Prof. Dipl.-Ing. M. Sc. Econ. Manfred Hegger  
E-Mail: hegger@ee.tu-darmstadt.de



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

<b>Zusammenfassung - Executive Summary .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Ziel und Methode des Forschungs- und Entwicklungsprojekts .....</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Der Begriff der Nachhaltigkeit im Bauen .....</b>	<b>9</b>
<b>1.2 Ziele des Forschungsvorhabens.....</b>	<b>10</b>
1.2.1 Ökologische Dimension .....	11
1.2.2 Ökonomische Dimension .....	13
1.2.3 Soziokulturelle Dimension .....	13
<b>1.3 Methode des Forschungsvorhabens „Minimum Impact Haus“ .....</b>	<b>15</b>
<b>2 Entwicklung des Prototypen Minihaus .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 Die Idee: Das Einfamilienhaus in der Stadt .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2 Grundstückssuche .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Architektur, Wohnformen und Gebäudetypologie .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Baukostruktion .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Brandschutz bei mehrgeschossigen Holzgebäuden .....</b>	<b>23</b>
<b>2.6 Ausbau und Oberflächen .....</b>	<b>24</b>
<b>2.7 Lebenserwartung des Gebäudes.....</b>	<b>25</b>
<b>2.8 Betriebsaufwand.....</b>	<b>27</b>
2.8.1 Wärme .....	28
2.8.2 Kälte.....	35
2.8.3 Strom.....	35
<b>2.9 Behaglichkeit .....</b>	<b>38</b>
<b>2.10 Wasserhaushalt.....</b>	<b>38</b>
<b>3 Ökobilanz. Vergleichende Untersuchung der ökologischen Wirkungsgefüge .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1 Festlegung von Zielsetzung und des Untersuchungsrahmen der Ökobilanz .....</b>	<b>48</b>
3.1.1 Beschreibung der beiden Vergleichsgebäude (funktionelle Einheiten) .....	49
3.1.2 Bilanzraum, Bilanzräume: Definition der Module (Systemgrenzen) .....	51
3.1.3 Datengrundlage, Datenherkunft .....	55
3.1.4 Festlegung der Wirkungskategorien (Wirkungskategorien 1-7) .....	57
3.1.5 Art und Umfang der kritischen Prüfung.....	61
<b>3.2 Sachbilanz .....</b>	<b>62</b>
3.2.1 Sachbilanz Modul 1: Herstellung.....	62
3.2.2 Sachbilanz Modul 2: Betrieb.....	65
3.2.3 Sachbilanz Modul 3: Instandhaltung des Gebäudes über 50 Jahre .....	67
3.2.4 Sachbilanz Modul 4: Mobilität .....	69
3.2.5 Sachbilanz Modul 5: Rückbau (5% der Herstellung) .....	72
3.2.6 [Sachbilanz Modul 6: Infrastruktur (nicht quantifiziert)].....	73
3.2.7 [Sachbilanz Modul 7: Landverbrauch (nicht quantifiziert)] .....	74
<b>3.3 Wirkungsabschätzung.....</b>	<b>76</b>
3.3.1 Wirkabschätzung Modul 1: Herstellung.....	76
3.3.2 Wirkabschätzung Modul 2: Betrieb.....	80
3.3.3 Wirkabschätzung Modul 3: Instandhaltung .....	87
3.3.4 Wirkabschätzung Modul 4: Mobilität .....	91
3.3.5 Wirkabschätzung Modul 5: Rückbau (5% der Herstellung) .....	95
3.3.6 Wirkabschätzung Summe der Module 1 – 5:.....	99
3.3.7 Wirkabschätzung Module 6: Infrastruktur .....	118
3.3.8 Wirkabschätzung Module 7: Landverbrauch.....	118
<b>3.4 Kritische Prüfung.....</b>	<b>119</b>
3.4.1 Art und Umfang der kritischen Prüfung.....	119
3.4.2 Fehlerbetrachtungen .....	119
<b>3.5 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Objekte.....</b>	<b>125</b>
<b>3.6 Möglichkeiten zur Gesamtbewertung und Gewichtung .....</b>	<b>126</b>
<b>3.7 Diskussion der Ergebnisse nach Bauteilgruppen .....</b>	<b>128</b>
<b>3.8 Ökologische Optimierung des Prototypen .....</b>	<b>129</b>
<b>3.9 Abschliessende methodische Betrachtungen.....</b>	<b>133</b>
<b>3.10 Fazit der Ökobilanzierung – Das optimale Haus.....</b>	<b>133</b>
<b>4 Die Stadt als soziales Bezugssystem – Nachverdichtung oder Zersiedelung.....</b>	<b>135</b>

<b>4.1</b>	<b>Städtebauliche Rahmenbedingungen</b>	<b>136</b>
4.1.1	Prognostizierte demographische Entwicklung Frankfurts als Beispiel für Ballungsräume	136
4.1.2	Strategie der Stadtplanung Frankfurts	138
4.1.3	Die Vorstadt als soziales Umfeld	145
<b>4.2</b>	<b>Strategien zur Nachverdichtung</b>	<b>150</b>
4.2.1	Potential für Nachverdichtungen	150
4.2.2	Baulücken: Chancen und Widerstände	156
4.2.3	Strategien für den Umgang mit Baulücken	157
4.2.4	Initiativen zur Baulückenthematik	158
<b>4.3</b>	<b>Fazit der Nachverdichtungsproblematik</b>	<b>158</b>
<b>5</b>	<b>Ökonomie: Kostenvergleich für Herstellung, Betrieb und Folgekosten</b>	<b>159</b>
5.1	Kostenvergleichsrechnung, Kostenerfassung	159
5.2	Berechnungsgrundlagen	160
5.3	Investitionskosten	160
5.4	Finanzierung	161
5.5	Kostenvergleich	163
5.6	Betriebskosten	166
<b>6</b>	<b>Nachhaltigkeitsbewertung</b>	<b>170</b>
6.1	Nachhaltigkeitsbewertungssysteme	170
6.2	Empfehlung SIA 112/1, Nachhaltiges Bauen – Hochbau	172
6.2.1	Leistungsbereiche und Zielvereinbarungen nach SIA 112/1 2004 "Nachhaltiges Bauen - Hochbau":	173
	Leistungsbild Prototyp ‚Minihaus‘ nach SIA 112/1:	175
6.2.2	Leistungsbild Vergleichsobjekt Haus Riedberg nach SIA 112/1:	177
6.2.3	Vergleich der Leistungsabschätzungen nach SIA 112/1	178
<b>6.3</b>	<b>LEEDs (Leadership in Energy and Environmental Design)</b>	<b>180</b>
6.3.1	Leistungsbild Prototypen ‚Minihaus‘ nach LEEDs:	181
<b>6.4</b>	<b>Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ:</b>	<b>184</b>
<b>6.5</b>	<b>Vergleich der Nachhaltigkeit der Stadtstrukturen</b>	<b>196</b>
<b>Anhang A: Quellenverzeichnis / Literaturverzeichnis</b>		<b>197</b>
<b>Anhang B: Abbildungsverzeichnis</b>		<b>199</b>
<b>Anhang C: Darstellungen der Vergleichsobjekte</b>		<b>202</b>
<b>Anhang D: Datenblätter PHPP</b>		<b>208</b>
<b>Anhang E: Datenblätter Ökobilanzierung</b>		<b>222</b>
<b>Anhang F: Ökobilanzdaten der Baustoffe</b>		<b>224</b>
<b>Anhang G: Abwasserbilanz Minihaus</b>		<b>227</b>
<b>Anhang H: Preisvergleich Wasser und Abwasser</b>		<b>230</b>
<b>Anhang I: Dokumentation Versickerungsversuch</b>		<b>231</b>
<b>Anhang J: Korrespondenz mit Lichtblick – Anteile regenerativer Energien in Stromversorgung</b>		<b>233</b>
<b>Anhang K: Förderungsprogramm</b>		<b>234</b>

## **Zusammenfassung - Executive Summary**

Das Forschungsprojekt sucht nach nachhaltigen Lösungen für den Wohnraum in Innenstadtlagen. Hierzu wurde eine neue Bautypologie innerstädtischer Nachverdichtungen entwickelt. Die These des Forschungsvorhabens ist, dass innerstädtische Nachverdichtungen viele Vorteile bieten: Der Verbrauch von Naturräumen und die Zersiedlung der Landschaft wird reduziert, die vorhandene Infrastruktur wird besser ausgelastet und im Gegenzug der Bau von neuer Infrastruktur, wie Strassen, öffentliche Gebäude und Leistungsnetze vermieden; durch kompaktere Siedlungsräume wird der Pendelverkehr reduziert, das soziale und kulturelle Gefüge der Städte wird gestärkt.

Diese Standortvorteile werden in dem Vorhaben mit neuen Gebäudetypologien und Bautechniken verbunden, um gleichzeitig die umweltschädlichen Einwirkungen durch den Bau und den Betrieb der Gebäude zu optimieren. Durch eine Minimierung der Betriebsenergie und der Primärenergieinhalte der Baukonstruktion wird das Klima und Ressourcen geschont, sowie die Betriebskosten dauerhaft gesenkt. Es wurde ein Prototyp entwickelt und gebaut, der durch einen ganzheitlichen, nachhaltigen Ansatz neue Lösungswege des innerstädtischen Wohnungsbaus aufzeigt. Davon ausgehend wird eine Planungsmethodik beschrieben, die am Beispiel des Prototypen die Abhängigkeiten und Verknüpfungen aufzeigt und so dem Praktikern Orientierungshilfen im Planungsprozess gibt, um neuen Bauformen und Konstruktionen im Planungsprozess zu berücksichtigen. Im Umgang mit Behörden, Baubeteiligten und Nutzern sind Umsetzungsstrategien notwendig, die zum einen die technischen, rechtlichen und finanziellen Probleme adressieren, zum anderen einen Bewusstseinswandel bei den Entscheidungsträgern in Politik, Verwaltung und der Privatwirtschaft bewirken, deren Zusammenarbeit oder Zustimmung für die Bauvorhaben erforderlich ist.

In einer **vergleichenden Untersuchung** wurden die Vor- und Nachteile der Nachverdichtung gegenüber konventionellen Bauformen in neu ausgewiesenen Baufeldern qualifiziert und quantifiziert werden. Dabei wurden über einen Lebenszyklus von 50 Jahren folgende Bereiche oder Module untersucht und bewertet:

- 1) Herstellung des Gebäudes
- 2) Betrieb des Gebäudes (Heizung, Lüftung, Warmwasserbedarf, Beleuchtung, elektrischer Verbrauch)
- 3) Instandhaltung des Gebäudes
- 4) Rückbau des Gebäudes
- 5) Standortbezogene Mobilität

Festgestellt wurde, dass bei der konventionellen Bauweise der Betrieb ca. 50 % des Primärenergieverbrauchs ausmacht. Der Rest der Emissionen teilt sich auf die Module Herstellung und Mobilität auf.

Bei der prototypischen Bauweise teilt sich der Primärenergieverbrauch fast gleichwertig auf die Module Herstellung, Betrieb und Mobilität auf.

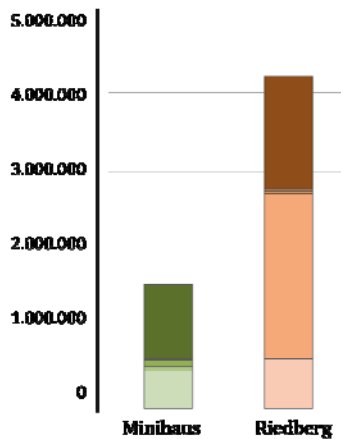
Der gesamte Energieverbrauch ‚nicht erneuerbar‘ des Prototypen liegt um 63 % unter dem der konventionellen Bauweise. Das Treibhauspotential konnte um 68 % reduziert werden.

# dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
'Primärenergie, nicht erneuerbar'

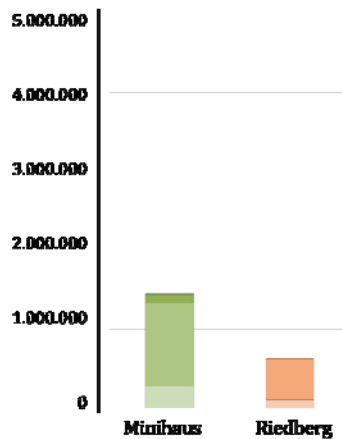
[MJ] 1.568.525 MJ 4.201.855 MJ



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
'Primärenergie, nicht erneuerbar'

Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
'Primärenergie, erneuerbar'

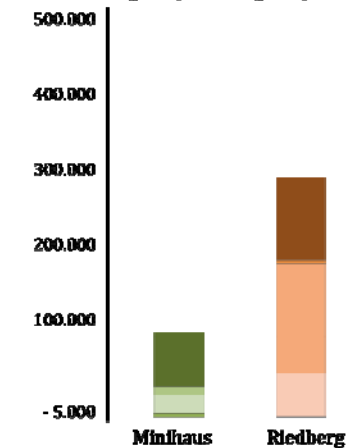
[MJ] 1.445.885 MJ 633.720 MJ



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
'Primärenergie, erneuerbar'

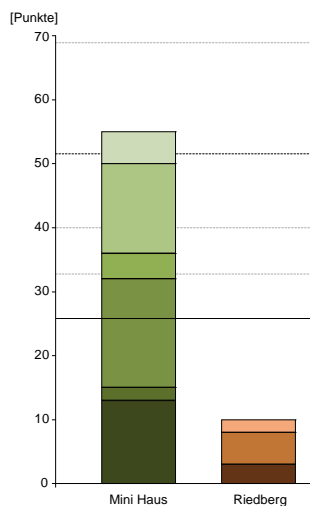
Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
Treibhauspotential GWP

[kgCO<sup>2</sup>eq] 98.765 kgCO<sup>2</sup>eq 299.566 kgCO<sup>2</sup>eq

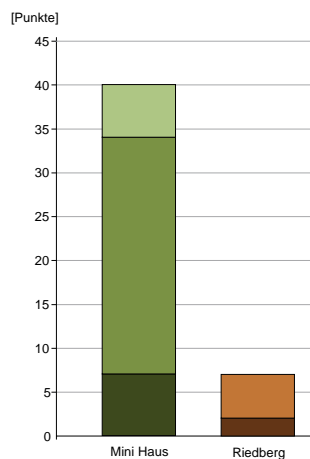


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
Wirkungskategorie  
Treibhauspotential GWP

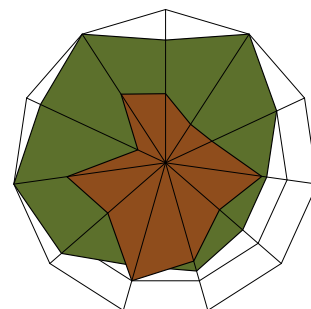
In einer Nachhaltigkeitsbewertung werden die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Modelle bewertet und verglichen. Die verschiedenen ökologischen, ökonomischen, sozialen und kulturellen Faktoren der Nachhaltigkeit lassen sich nicht genau quantifizieren und ihre Gewichtung hängt stark von den Nutzern und deren Anforderungsprofilen ab. Diese Abhängigkeit wird durch die Nachhaltigkeitsbewertung herausgearbeitet. Es wurden drei verschiedene Nachhaltigkeitsbewertungssysteme verglichen, die ergaben, dass der Prototyp in Summe deutlich besser abschneidet.



Bewertungssystem LEED  
(Leadership in Energy and Environmental Design)



Bewertung nach DNQ  
(Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität)



■ Minihaus ■ Haus Riedberg  
Bewertung nach SIA 112/1  
(Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein)

## MINDMAP

### Ziele

#### Standort:

- Flächenschonung
- Erhalt von Naturräumen
- Verringerung von Infrastrukturkosten
- Stärkung der sozialen Strukturen
- Reduktion von Folgeverkehr

#### Architektur und Gestaltung:

- Raumqualität
- Nutzungsflexibilität
- Identifikation
- Neue Wohnformen

#### Baukonstruktion

- (Herstellung und Rückbau):
- Reduktion der Umweltfolgen
  - Klimaschutz
  - Ressourcen schonung

#### Betrieb des Gebäudes

- Klimaschonung
- Energieeffizienz

#### Wasserhaushalt

- niedriger Wasserverbrauch
- naturnahe Wasserkreislauf
- Mikro- und Makroklima

### Forschungsprojekt Analysen und Vergleiche

- Vergleich der Stadtstrukturen
- Vergleich der Infrastruktur
- Quantifizierung von Folgeverkehr

- Analyse Gebäudestruktur
- Kostenvergleich Herstellungskosten
- Studium von Nutzungsszenarien

#### Ökobilanzierung:

- Quantifizierung und Qualifizierung von Umweltfolgen
- Vergleich mit konventioneller Bauweise

#### Energetische Bewertung und Vergleiche

- Energieeffizienz
- Erneuerbare Energien
- Vergleich Energieträger und Haustechnik
- Bewertung Energieverbrauch Heizung WW
- Stromverbrauch
- Minimierung und Vergleich von Betriebskosten verschiedener Gebäude und Systeme
- Ökobilanzierung des Betriebs

#### Wasserbilanz

- Wasserhaushalt des Gebäudes / Szenarien
- Neue Technologien für Wasserhaushalt
- Vergleich Betriebskosten

### Entwicklung des Prototypen

#### Nachverdichtung

- Nutzung von Restflächen
- Minimaler Flächenverbrauch
- Nutzungseintensivierung best. Strukturen

- Entwicklung neuer Erreichungstypen
- Nutzungsszenarien
- Ausdruck des Gebäudes für neue Inhalte

#### Baukonstruktion:

- Optimierung der Baukonstruktion
- Reduktion der Emissionen
- nachwachsende Rohstoffe
- Recycling
- Entsorgung
- Stärkung der lokalen Wirtschaft

#### Baukonstruktion

- mehrgeschossige Holzbauweise
- Brandschutz
- Schallschutz
- Dauerhaftigkeit
- Vorfertigung
- Baukosten
- Gebäudetypologie
- Image

- Nachwachsende Rohstoffe
- Brandschutz
- Schallschutz
- Dauerhaftigkeit

#### Energetische Optimierung:

- Passivhausstandard
- Optimierung des Stromverbrauch
- Effiziente Haustechnik
- Erneuerbare Energien
- Belüftung
- Belichtung (natürlich und Kunstlicht)

#### Abwasserfreies Haus

- Hoher Anteil an Wasserrecycling
- Niedriger Verbrauch
- Dezentrale Wasseraufbereitung
- Lokale Versickerung und Verdunstung

Tabelle 1: Mindmap Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ



# 1 Ziel und Methode des Forschungs- und Entwicklungsprojekts

## 1.1 Der Begriff der Nachhaltigkeit im Bauen

In diesem Kapitel sollen die Ziele des Forschungsvorhabens und die Bezugssysteme erklärt werden, die angelegt wurden, um das Erreichen der Ziele zu prüfen. Über den Begriff der Nachhaltigkeit im Bauen wird sich in einer übergeordneten Zieldefinition angenähert. Gleichzeitig werden die Nachhaltigkeitsbewertungs- und Diagnosesysteme vorgestellt, mit denen die Nachhaltigkeit der Vergleichsobjekte im letzten Kapitel abschließend geprüft wird.

### Der Begriff der Nachhaltigkeit:

Allgemein beschreibt Nachhaltigkeit ein Handeln, das Ressourcen nur in den Mengen und in dem Tempo verbraucht, die mit dem Erhalt der Leistungsfähigkeit der Natur vereinbar sind.<sup>1 2</sup> Aus dieser Definition heraus erklärt sich der ökologische Bedeutungsschwerpunkt des Nachhaltigkeitsbegriffs. Nachhaltigkeit hat jedoch mehrere Dimensionen. Sie beinhaltet ökologische, ökonomische, soziale und kulturelle Aspekte. Der „Leitfaden nachhaltiges Bauen“<sup>3</sup> herausgegeben vom BBR für das BMVBW und die Empfehlung „SIA 112/1 Nachhaltiges Bauen“<sup>4</sup> weist deswegen drei Bereiche der Nachhaltigkeit im Bauen aus: Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.

Der Titel „Minimum Impact House“ beschreibt den Leitgedanken des Projektes: Die Summe der schädlichen Einwirkungen durch die Errichtung und den Betrieb des Gebäudes soll minimiert werden. Dementsprechend wurde im Forschungs- und Entwicklungsprojekt das Gebäude ganzheitlich optimiert. Durch eine Ökobilanzierung und die anschließende Anpassung der Planung wurde die ökologische Auswirkung minimiert. Die Kostenanalyse von Herstellungs- und Betriebskosten sowie die Lebenszykluskostenermittlung wurden herangezogen, um das Gebäude kostengünstig und werthaltig zu planen. Ein Großteil der Entwicklungsarbeit (siehe dazu „Entwicklung des Prototypen – Leitfaden für Praktiker“) wurde auf die Entwicklung neuer Gebäudetypologien und Wohnformen verwandt, welche die Erschließung innerstädtischer Restflächen ermöglichen. Um die sozialen Implikationen des Gebäudes abzuschätzen, wurde das städtebauliche Umfeld untersucht. Zum einen um die entstehenden Quartiere zu bewerten, zum anderen um das Angebot für die Bewohner zu analysieren.

---

<sup>1</sup> Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hg.): Abschlußbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Berlin 1998. Auch: TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 3 / 4, 7. Jahrgang - November 1998, S. 46-50.

<sup>2</sup> Center for a World in Balance (Hg.); Brundtland, Gro Harlem: Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. Chapter 2 - Towards Sustainable Development - [www.worldinbalance.net/agreements/1987-brundtland.html](http://www.worldinbalance.net/agreements/1987-brundtland.html), Stand Juli 2008 - „1. Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts: - the concept of 'needs', in particular the essential needs of the world's poor, to which overriding priority should be given; and - the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment's ability to meet present and future needs.“

<http://www.worldinbalance.net/agreements/1987-brundtland.html>

<sup>3</sup> Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. - [www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen\\_-Leitfaeden\\_-Ric-,1777/Nachhaltiges-Bauen.htm](http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen_-Leitfaeden_-Ric-,1777/Nachhaltiges-Bauen.htm), 2. Nachdruck, vom Januar 2001, Stand Juli 2008.

<sup>4</sup> SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

## 1.2 Ziele des Forschungsvorhabens

Für das Forschungsvorhaben wurde eine Struktur erarbeitet, der die Inhalte der Kapitel zugeordnet werden können. Dabei wurden die Inhalte nach den Nachhaltigkeitszielen der DNQ geordnet:

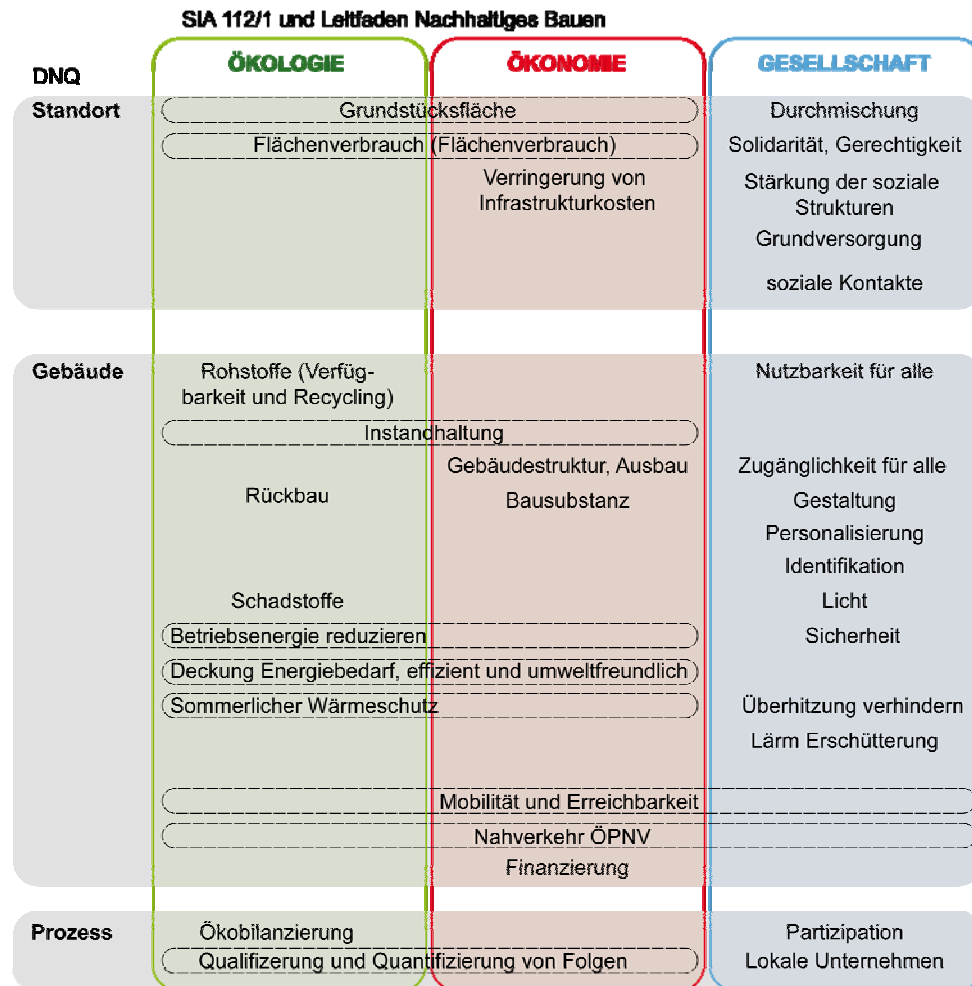


Tabelle 2: Themenübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ

Anhand dieser Navigation wird am Anfang jedes Kapitels die Zuordnung der Inhalte zu den Nachhaltigkeitsthemen dargestellt. Diese Struktur verdeutlicht das große Spektrum des Nachhaltigkeitsbegriffs. Im Forschungsvorhaben finden sich diese drei Aspekte Ökologie, Gesellschaft und Ökonomie in den Kapiteln 3, 4 und 5 wieder.

Das Kapitel 2, das sich mit der Prototypenentwicklung beschäftigt, berührt alle drei Teilbereiche. Im Planungsprozess stellen sich häufig Probleme, die sich nicht eindeutig einem Bereich zuordnen lassen, sondern gleichzeitig mehrere Aspekte aus den drei Bereichen betreffen: Vor allem die zentralen Fragen des Bauens wie Nutzung, Kosten, Gestaltung oder Energie weisen hohe Verflechtungen mit anderen Feldern auf und sind deshalb nur schwer monokausal im Planungsprozess zu adressieren. Deswegen wurde vom Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen, das Diagnosesystem für Nachhaltige Gebäudequalität DNQ entwickelt, das sich in seinem Aufbau an den Planungsphasen orientiert.

Im Umgang mit den Bewertungswerkzeugen wird ein wesentliches Merkmal der Nachhaltigkeit deutlich: Aufgrund der Komplexität und der starken Abhängigkeiten der Teilaspekte lassen sich selten einfache Antworten auf konkrete Fragestellungen finden, die in allen Teilbereichen die gleichen positiven Auswirkungen zeitigen. Vielmehr macht die Komplexität der Zusammenhänge ein Abwägen und

Optimieren von Faktoren notwendig. Das Ergebnis dieser Abwägungen hängt häufig vom Betrachtungszeitraum und von den Anforderungen des Kontexts und der Nutzer ab.

### 1.2.1 Ökologische Dimension

#### Anteil des Bauens am Klimawandel:

Die aktuelle Diskussion um den Klimawandel zeigt wie wichtig es für die Zukunftsaufgabe Bauen ist, nachhaltige und ökologische Lösungen zu finden. Das Bauen und der Betrieb von Gebäuden sind zur Schonung der Umwelt und zur Abwendung des Klimawandels die wichtigsten Bereiche, da der Gebäudebereich den größten Anteil (ca. 41%) am Gesamtenergieverbrauch hat:

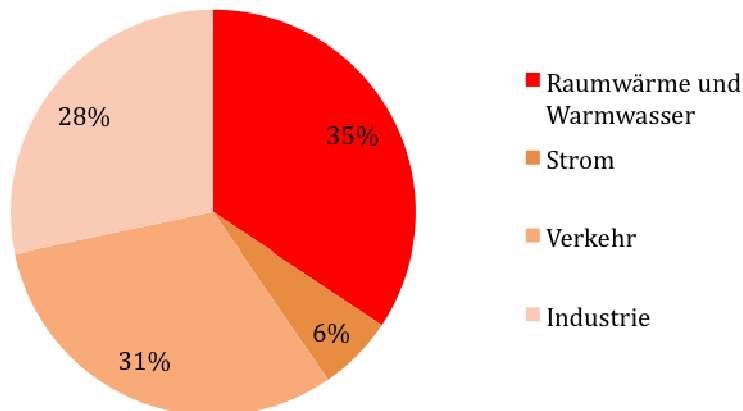


Abbildung 1: Energieverbrauch nach Sektoren (Gebäudebereich Rot), Anteile für Europa, Stand 2002, Zahlen für Deutschland korrespondieren, Quelle: Europäische Kommission, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Weniger kann mehr sein - Grünbuch über Energieeffizienz. Luxemburg 2006.

Der Baubereich ist auch deshalb so entscheidend, weil er einen hohen Anteil an der Umweltbelastung hat und langfristiges ein großes Optimierungspotential aufweist. Der durchschnittliche Heizwärmebedarf liegt bei 160 kWh/m<sup>2</sup>a. Die EnEV 2007 begrenzt den Heizwärmebedarf je nach A/V-Verhältnis zwischen 70 kWh/m<sup>2</sup>a und 100 kWh/m<sup>2</sup>a vorschreibt. Im Passivhausstandard lässt sich der Heizwärmebedarf 15 kWh/m<sup>2</sup>a reduzieren, was eine Reduktion um 78% bis 85% gegenüber den EnEV 2007 bedeutet.

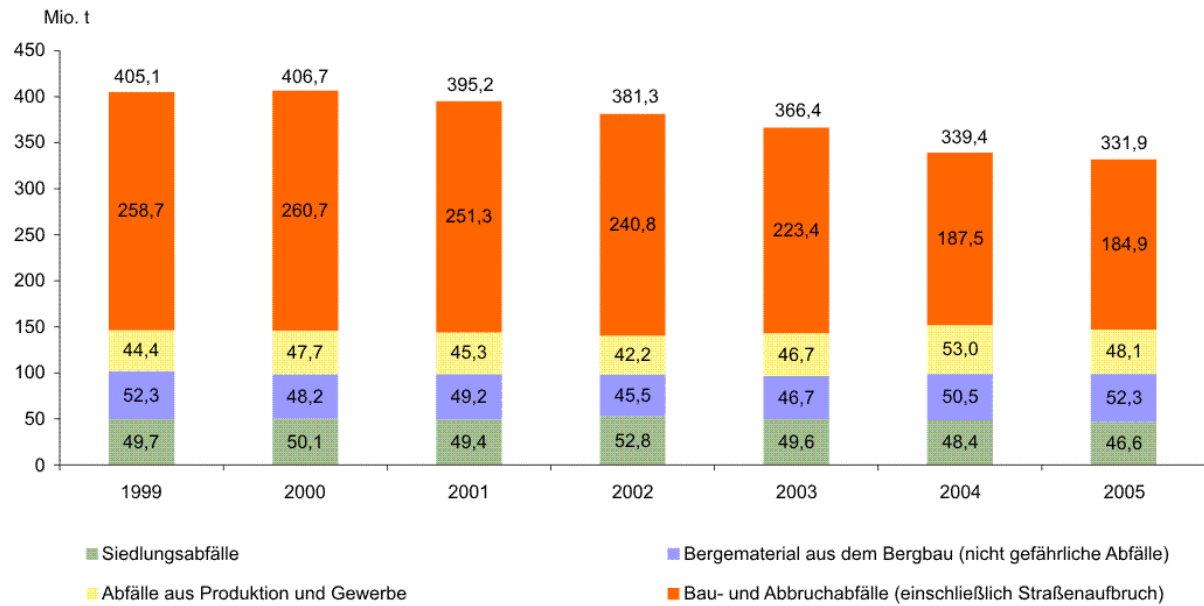
#### Stoffströme und andere Umweltbelastungen:

Neben dem Energieverbrauch und der damit eng verknüpften Wirkung auf das Klima, sind auch andere ökologische Wirkungen des Bauens signifikant. So entstehen im Baubereich ca. 55% des gesamten Abfallaufkommens (einschließlich gefährlicher Abfälle) in Deutschland (184,9 Mio to)<sup>5</sup>:

<sup>5</sup> Statistisches Bundesamt: Abfallaufkommen (einschließlich gefährlicher Abfälle). - [www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=1F81027FCFA87650972CB92C6B28BDDF?ident=13816](http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=1F81027FCFA87650972CB92C6B28BDDF?ident=13816), vom August 2007, Stand Juli 2008.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt



Quelle: Statistisches Bundesamt, <http://www.destatis.de> (Stand August 2007)  
Abbildung 2: Abfallaufkommen (einschließlich gefährlicher Abfälle)<sup>6</sup>

Dietlinde Quack zeigt die Anteile der verschiedenen Teilbereiche des Baubereiches in Deutschland an den gesamten Umweltbelastungen auf. Im Baubereich entstehen 29 % der gesamten Materialentnahme, 37 % der CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>- Emissionen, 18 % der NO<sub>x</sub>- Emissionen, 30 % des Energieverbrauchs der alten Bundesländer und 75 % des Energieverbrauchs der Haushalte.<sup>7</sup> Ergänzen lassen sich die Anteile des Landverbrauchs von etwa 14.000 m<sup>2</sup> (das entspricht etwa 4% der Fläche der Bundesrepublik Deutschland) im Jahr.

Anhand dieser Zahlen ist verständlich, dass der Baubereich für die ökologische Verbesserung der Gesellschaft eine Schlüsselstellung hat.

Um eine Zielrichtung für die Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu haben, wurden in den einzelnen Themenbereichen Ziele beschrieben, die in dem Projekt erreicht werden sollten: Diese sollen als Richtlinie für die Entwurfs- und Planungsarbeit dienen, als auch für eine Bewertung der Forschungsergebnisse im Bereich der Ökobilanzierung und Effizienzbewertung erlauben.

<sup>6</sup> Statistisches Bundesamt: Abfallaufkommen (einschließlich gefährlicher Abfälle) - [www.umweltbundesamt-umweltdeutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=1F81027FCFA87650972CB92C6B28BDDF?ident=13816](http://www.umweltbundesamt-umweltdeutschland.de/umweltdaten/public/document/downloadImage.do;jsessionid=1F81027FCFA87650972CB92C6B28BDDF?ident=13816), vom August 2007, Stand Juli 2008.

<sup>7</sup> Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.

### **1.2.2 Ökonomische Dimension**

Die ökonomische Bedeutung des Bauens für die Volkswirtschaft aber auch für die Individuen ist erheblich. Allein für das Wohnen wendet der Bundesbürger im Durchschnitt 28,4% seines verfügbaren Einkommens für Wohnen auf.<sup>8</sup> Hinzu kommt der Aufwand für die anderen Funktionen und die Errichtung der notwendigen Infrastruktur, um die Gebäude und Städte betreiben zu können. Diese Investitionen und die aus Ihrem Betrieb und der Instandhaltung entstehenden Folgekosten im Zusammenschau mit den anderen Aspekten der Nachhaltigkeit zu optimieren, ist das Anliegen des nachhaltigen Bauens.

Unsere Kultur und Gesellschaft ist maßgeblich geprägt und durchdrungen von einer wirtschaftlichen Logik. Deswegen hat die Wirtschaftlichkeit der nachhaltigen Lösungen einen großen Einfluss auf ihre Marktfähigkeit. Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass durch die nachhaltige Optimierung von Gebäuden höhere Investitionskosten erfordern, weil hochwertige Bauteile und Komponenten verbaut werden.

Diese Mehrkosten stehen geringeren Betriebskosten (niedriger Energieverbrauch), Instandhaltungskosten (Dauerhaftigkeit von Materialien) und Mobilitätskosten (Standort) gegenüber (siehe Kapitel 5: Ökonomie). Neben den Projektkosten entstehen externe Kosten, insbesondere für die Errichtung und den Betrieb von Infrastruktur, die zum Großteil von der Allgemeinheit getragen werden. Viele der vor allem langfristigen Kosten sind durch die Komplexität der Zusammenhänge und der Langfristigkeit der Wirkungen kaum zu quantifizieren und nicht in einzelne Wirkanteile zu zerlegen. Hier ist die Entwertung der Stadträume, Verlust von Naturräumen und Artenvielfalt zu benennen. Die schädlichen Umweltwirkungen (Klimawandel, Wasserhaushalt, Eutrophierung) werden derzeit global und national (Stern- Report) abgeschätzt. Da diese Kosten vollständig externalisiert werden, werden sie in einzelnen Maßnahmen wirtschaftlich nicht erfasst.

Insbesondere bei institutionellen und gewerbsmäßigen Investoren besteht eine deutliche Neigung zur kurzfristigen Gewinnmaximierung unter Billigung von langfristig höheren laufenden Kosten, die auf den Nutzer/ Mieter (interne Kosten) oder die Allgemeinheit (externe Kosten) abgewälzt werden.

In dem vorliegenden Vorhaben werden die wirtschaftlichen Zusammenhänge gesamtheitlich analysiert, um zu zeigen, dass in einer Gesamtbetrachtung die nachhaltigen Lösungen auch die kostengünstigeren sind.

### **1.2.3 Soziokulturelle Dimension**

Bauen ist eine der wichtigsten kulturellen Ausdrucksformen, da unsere Lebensabläufe und Erlebniswelt maßgeblich durch die gebaute Umwelt geprägt sind. Die Stadt ist somit Ausdruck für das Selbstverständnis der Gesellschaft und bestimmt unser Zusammenleben, sowie die sozialen Kontakte. Bei der Planung von Gebäuden liegen der Bauplatz und die Stadtstruktur häufig außerhalb des Betrachtungsrahmens. Die eingeschränkte Sichtweise berücksichtigt nicht, dass die entstehende Stadtstruktur das Ergebnis der planerischen Einzelentscheide ist. So werden die neuen Siedlungen am Stadtrand, die im Forschungsvorhaben der prototypischen Nachverdichtung in der Innenstadt gegenübergestellt werden, ausgewiesen und errichtet. Die Vorstadtsiedlungen sind räumlich, sozial und kulturell ein weniger reichhaltiges Lebensumfeld, das einen sehr homogenen und kleinen Ausschnitt der Gesellschaft abbildet. Im Forschungs- und Entwicklungsprojekt werden diesen Neubausiedlungen Nachverdichtungen im Innenstadtbereich gegenübergestellt. Durch eine intensivere Bebauung und Nutzung der Innenstädte wird deren soziale Infrastruktur gestärkt, die kulturelle Vielfalt gefördert und die Notwendigkeit zur Errichtung von Neubausiedlungen abgemildert.

Neben der gesamtgesellschaftlichen Bedeutung des Bauens ist unstrittig, welchen großen Einfluss die Wohnsituation und die Qualität der Wohnumgebung auf das Wohlbefinden des Einzelnen und das Zusammenleben der sozialen Gruppen hat.

---

<sup>8</sup> Puente, Antonio: Statistik kurz gefasst. Bevölkerung und soziale Bedingungen. Der europäische Verbraucher in der erweiterten Union. 02/2005 - [http://www.eds-destatis.de/de/downloads/sif/nk\\_05\\_02.pdf](http://www.eds-destatis.de/de/downloads/sif/nk_05_02.pdf), Brüssel 2005.

**Den Maßnahmen zum Erreichen dieser Ziele lassen sich drei Strategien zuordnen:  
(Strategien zur Nachhaltigkeit<sup>9</sup> nach El Khouli 2008)**

**1) Effizienz - Energiebedarf minimieren**

Effizienz beschreibt das Maß der Ergiebigkeit vom Nutzen zu dem Aufwand mit dem der Nutzen erzielt wird

- Der Verbrauch von natürlichen Ressourcen für die Errichtung und den Betrieb von Wohnraum soll nachhaltig minimiert werden.
- Rationelle Energiewandlung und -verwendung
- Energiedienstleistungen bei gleicher Wirkung effizienter bereitgestellt
- Optimierung in verschiedenen Bereichen und auf allen Ebenen

Prototyp ‚Minihaus‘:

Reduzierung des A/V-Verhältnis durch Anbau an Nachbargebäude; effiziente Technik (Luft-Wasser-Wärmepumpe)

Vergleichsobjekt ‚Riedberg‘:

Keine Optimierung des A/V-Verhältnis; keine passive solare Nutzung; keine Optimierung des Materialeinsatzes

**2) Konsistenz - Lokale Energieangebote nutzen**

Konsistenz beschreibt die Plausibilität bzw. Widerspruchsfreiheit von Vorgängen und Ergebnissen

- Der umfassende Einsatz umwelt- und gesundheitsfreundlicher Materialien und Konstruktionen in einem neuen Marktsegment wird erforscht und Umsetzungsstrategien entwickelt.
- Der einheimische Waldbestand wird gesichert durch die Erschließung neuer Absatzmärkte für Holz im mehrgeschossigen Wohnungsbau.
- Kleine, lokale und mittlere Handwerks- und Industriebetriebe sollen gestärkt werden
- Ausbildung von "geschlossenen" Energiesystemen (Energiebereitstellung nahezu ohne Rohstoffverbrauch)

Prototyp ‚Minihaus‘:

Nutzung von Ökostrom für den Haushaltsstrom und den Betrieb der Luft-Wasser-Wärmepumpe; hoher Anteil natürlich gewachsener und recycelbarer Rohstoffe; Solarthermie; Grauwassernutzung

Vergleichsobjekt ‚Riedberg‘:

Nutzung von Ökostrom für den Haushaltsstrom; Erdgas als Energieträger für Heizwärme

**3) Suffizienz - Anforderungen Anpassen**

Suffizienz fordert einen möglichst geringen Verbrauch von Inputs (wie Material, Energie, Land)

- Das Naturerbe soll erhalten werden, indem Flächen schonende Bauweisen entwickelt werden.
- Veränderung von Lebens- und Konsumgewohnheiten
- In Eigenverantwortung Verzicht auf energieintensive Produkte und Dienstleistungen

Prototyp ‚Minihaus‘:

Reduzierung der Flächenversiegelung; Reduzierung des Mobilitätsbedarfs

Vergleichsobjekt ‚Riedberg‘:

Große Flächenversiegelung; neue Infrastruktur; Anstieg des Mobilitätsbedarfs durch Zersiedelung.

<sup>9</sup> El Khouli, Sebastian: Regenerative Energien. Grundlagen für die Entwurfsplanung. Vortrag im Rahmen der 3. Fachtagung „Klimaschutz im Wohnungsbau“, Wiesbaden 29.02.2008.

### **1.3 Methode des Forschungsvorhabens „Minimum Impact Haus“<sup>10</sup>**

Nach dem die Ziele des Vorhabens beschrieben wurden, wird in diesem Abschnitt die Methodik und Struktur des Forschungsprojektes erklärt. Aufgrund der Komplexität des Themenfeldes, wurden verschiedene Methoden angewandt, die sich teilweise überlagern. Ein Anliegen der Studie war es, möglichst viele der Aspekte nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ zu erfassen und vergleichbar zu machen. Dort wo eine Methode für diese Vergleiche verfügbar war (Betriebsenergie, Ökobilanzierung, Wirtschaftlichkeitsberechnungen) wurde auf diese Methoden zurückgegriffen. Bei anderen Fragestellungen (Flächenverbräuche, Infrastrukturfolgen, Baulückenpotentiale), für die solche Instrumente nicht verfügbar waren, wurden eigene Rechenverfahren entwickelt, in die statistische Daten eingepflegt wurden. Die Methode der einzelnen Aspekte wird jeweils am Anfang der Kapitel dargestellt.

Grundsätzlich ist diese Studie als vergleichende Untersuchung angelegt. Auf der einen Seite steht der Prototyp, dessen Entwicklung in Teilen Gegenstand des Vorhabens war. Auf der anderen Seite wurde eine konventionelle Bauweise gewählt, deren Bedeutung sich aus dem großen Marktanteil ableitet. Neue Baufelder auf der "grünen Wiese" mit dichter Reihenhaus- und Doppelhausbebauung repräsentieren den Großteil der Neubauten im Einfamiliensegment. Die Objekte sind vergleichbar, weil sie in Größe (ca. 150qm NF), Baujahr, Baukosten und Nutzung gleichwertig sind. Damit verbleiben die Faktoren Bauform, Bauweise und Standort, deren Auswirkung auf die Nachhaltigkeit der Gebäude untersucht wird. Das Kapitel 3: ‚Entwicklung des Prototypen‘ weicht notwendig von dieser Methodik ab, weil die konventionelle Planungsmethode als bekannt vorausgesetzt und nicht dargestellt wird. Vielmehr werden die Eigenheiten der Prototypenentwicklung und die mit den Nachhaltigkeitszielen verbundenen Abweichungen von der Konvention herausgearbeitet. Eine detaillierte Beschreibung der Entwicklungsarbeit findet sich im eigenständigen „Leitfaden für Praktiker“.

#### **Kapitel 1 - Ziel und Methode des Forschungs- und Entwicklungsprojekts**

Das Kapitel 1 nähert sich mit den Themen Ökologie, Gesellschaft und Ökonomie über den Begriff der Nachhaltigkeit den Zielen des Forschungsvorhabens. Die übergeordneten Ziele sowie die Strategien zum Erreichen dieser werden definiert. Ökologische, ökonomische und soziokulturelle Dimensionen werden aufgezeigt.

#### **Kapitel 2 - Entwicklung des Prototypen Minihaus**

Dieses Kapitel durchläuft die zeitlichen Ablauf des Prototypen, von der Idee über den Entwurf bis zur Ausführungsplanung für Konstruktion und Haustechnik. Es werden Möglichkeiten aufgezeigt und sich daraus ergebende Schlußfolgerungen und Lösungen vorgestellt. So kann die Entwicklung nachvollzogen werden.

#### **Kapitel 3 - Ökobilanz. Vergleichende Untersuchung der ökologischen Wirkungsgefüge**

Im Kapitel 3 werden die nach heutigem Kenntnisstand wichtigsten Umweltwirkungen in Form einer Reihe von Indikatoren oder Wirkungskategorien ermittelt. Für sie wird eine Ökobilanzierung durchgeführt. Sie erfasst die Materialströme, die zur Herstellung und zum Betrieb der zu vergleichenden Gebäude nötig sind. Grundlage dieser Ökobilanzierung ist die DIN ISO 14 040.

#### **Kapitel 4 - Die Stadt als soziales Bezugssystem - Nachhaltigkeit oder Zersiedelung**

In diesem Kapitel wird die Stadt als soziales Bezugssystem des Gebäudes betrachtet. Es werden die jeweiligen, gebäudebezogenen Fragestellungen nach Bau- und Wohnkultur besprochen. Durch quantitative Untersuchungen werden die Potentiale für Nachverdichtungen abgeschätzt und mit dem Bedarf an Wohnraum verglichen.

#### **Kapitel 5 - Ökonomie. Kostenvergleich für Herstellung, Betrieb und Folgekosten**

Durch eine Betrachtung von Investitionskosten, Betriebskosten und Folgekosten sollen die Vergleichsobjekte in ihrer Wirtschaftlichkeit gegenübergestellt werden.

---

<sup>10</sup> Die Gesamtheit der ökologischen Einwirkungen kann als ökologischer Impact (Eindruck) beschrieben werden. Der Begriff Minimum-Impact-Haus kennzeichnet die Absicht, die Summe der Auswirkungen und die Gesamtbilanz einer Baumaßnahme und dem Betriebs des Gebäudes zu optimieren.

### **Kapitel 6 - Nachhaltigkeitsbewertung**

Das Kapitel 6 dient der Gesamtschau aller im Vorhaben angesprochenen Aspekte. Hier werden die beiden Vergleichsobjekte mit Nachhaltigkeitsbewertungssystemen geprüft. Das Bewertungssystem des „SIA 112/1, Nachhaltiges Bauen – Hochbau“ kam zum Einsatz, sowie das LEEDs-Bewertungssystem (Leadership in Energy and Environmental Design) und die Beurteilung nach DNQ (Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität).



## 2 Entwicklung des Prototypen Minihaus

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung des Prototypen nachvollzogen. Das Kapitel folgt in seiner Struktur dem zeitlichen Ablauf der Planung: Von der Idee über den Entwurf bis zur Ausführungsplanung für Konstruktion und Haustechnik.

Eine umfassende Beschreibung der Planungsabschnitte mit Hinweisen für die Umsetzung und Planung von ähnlichen Objekten findet sich im "Leitfaden für Praktiker: Die Entwicklung des Prototypen".

In diesem Kapitel werden die forschungsrelevanten Themen aufgegriffen, die sich auf die vergleichende Studie auswirken.

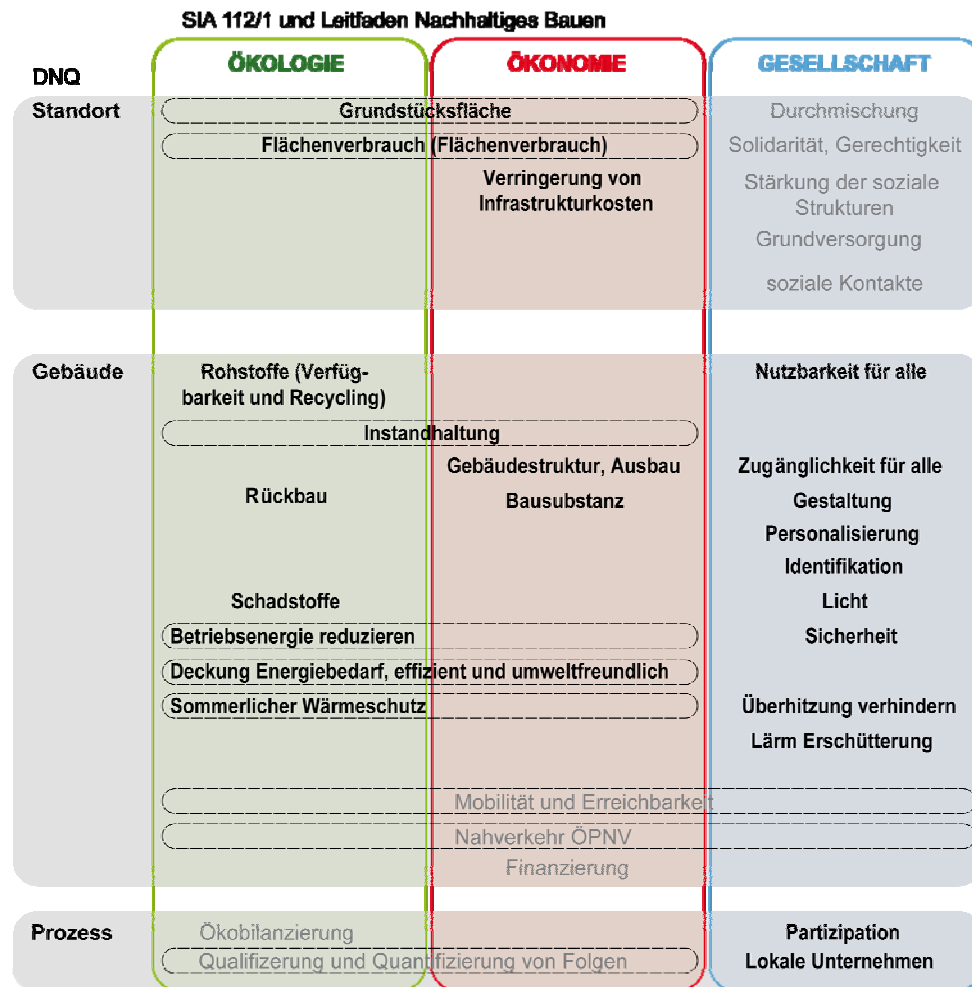


Tabelle 3: Kapitelübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ

### 2.1 Die Idee: Das Einfamilienhaus in der Stadt

Die Idee vom eigenen Haus ist für viele Menschen erstrebenswert: Einen Ort sein eigen nennen zu können, wird verbunden mit Sicherheit und Geborgenheit. Diesen Wunsch erfüllen sich aber vergleichsweise wenige<sup>11</sup>. Die Gründe hierfür sind vielfältig, laufen aber den Interessen vieler Bauwilliger entgegen. Die

<sup>11</sup> Friedrich-Ebert-Stiftung: Förderung des Wohneigentums als staatliche Aufgabe. Zur Bedeutung und Begründung staatlicher Wohneigentumsförderung. - [http://library.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/00369001.htm#\\_E9E2](http://library.fes.de/fulltext/fo-wirtschaft/00369001.htm#_E9E2), vom Januar 2001, Stand Juli 2008 - „Entgegen dem weit verbreiteten Wunsch nach Wohneigentum stellt sich die tatsächliche Wohneigentumsquote in Deutschland eher gering dar. Sie beträgt für die alten Bundesländer ca. 40 Prozent, für die neuen Bundesländer nur 25 Prozent. Die gesamtdeutsche Eigentumsquote von 36 bis 37 Prozent fällt damit im europäischen Vergleich deutlich niedrig aus. So beträgt die Eigentumsquote etwa in Großbritannien 68 Prozent, in Frankreich 54 Prozent, in den Niederlanden 52 Prozent und in Dänemark 48 Prozent.“

Nachfrage nach Eigenheimen wird derzeit überwiegend durch Neubauten in Siedlungen gedeckt. Für viele Interessenten ist aber die Lage am Stadtrand wenig attraktiv, weil Sie die Fülle und Lebendigkeit der Innenstädte der sterilen Einheitlichkeit der Vorstädte vorziehen. Diese beiden Wünsche: Das Wohnen in der Stadt und das eigene Heim zu vereinen, ist das Anliegen der Nachverdichtung durch Minihäuser.

### **2.2 Grundstückssuche**

Das Baugrundstück ist einer der entscheidenden Faktoren eines Bauprojekts. Dennoch wird dieser von den Architekten und Planern bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit häufig ausgeblendet, weil davon ausgegangen wird, dass die Grundstückssuche außerhalb der ihrer Zuständigkeit liegt. Sie verstehen ihre Aufgabe in der Optimierung im Rahmen vorgegebener Parameter. So entstehenden Lösungen berücksichtigen nicht, dass durch eine ungünstige Standortwahl und die daraus erwachsenden langfristigen Effekte, die Gesamtbilanz des Projektes deutlich schlechter ausfällt. Hier besteht Optimierungsbedarf.

Die Suche nach einem geeigneten Grundstück ist der erste und schwierigste Schritt zur Entwicklung eines Minihauses. Das Grundstück des Minihauses wurde in einer gezielten Suche innerhalb von zwei verschiedenen Stadtteilen gefunden. Die Ergebnisse dieser Suche sind die Grundlage der Abschätzung der Anzahl der Baulücken in Frankfurt gewesen (siehe Abschnitt 5.2.1. Potential für Nachverdichtungen). Obwohl Frankfurt am Main ein relativ dicht bebautes und kompaktes Innenstadtgebiet hat, hat sich eine große Anzahl an Baulücken gefunden, die sich grundsätzlich für Minihäuser eignen würden. Es gibt allerdings eine Reihe von Hemmnissen und Ausschlusskriterien, die einer Entwicklung der Baulücken entgegenstehen:

### **2.3 Architektur, Wohnformen und Gebäudetypologie**

Die Erschließung der innerstädtischen Restflächen erfordert die Entwicklung neuer Gebäudetypologien, Wohnformen und Ausdrucksformen. Da die Restflächen meist klein sind, müssen Strategien entwickelt werden, wie sich auf kleinen Wohnflächen hohe Raumqualitäten und vielfältige Nutzungsmöglichkeiten abbilden lassen. Im Sinne der Nachhaltigkeit sind die hohe gestalterische Qualität des Gebäudes und die hohe Flexibilität der Grundrissgestaltung positiv zu bewerten. Die Nutzungsanforderungen an Gebäude ändern sich mit zunehmender Geschwindigkeit durch sich schneller ändernde Lebensformen der Bewohner. Durchmischung von Wohnen und Arbeit müssen ebenso abbildbar sein wie sich ändernde Familienverhältnisse. Durch eine hohe Flexibilität der Gebäude kann ihr Bestand langfristig gesichert und eine vorzeitige Redundanz verhindert werden. Durch die Anpassungsfähigkeit des Gebäudes entsteht ein hoher Grad an Identifikation der Bewohner mit dem Gebäude, das auf ihre Bedürfnisse eingehen und reagieren kann. Dies trägt dazu bei, dass das Gebäude langfristig genutzt und erhalten wird.

Ziel des Minihauses war es einen neuen Ausdruck für das nachhaltige Bauen zu finden, der zu dem urbanen Standort der Nachverdichtung angemessen und zeitgemäß ist. Dringend notwendig ist eine Imageaufwertung des nachhaltigen und ökologischen Bauens, die über die aktuelle Diskussion um Energiekosten und Klimawandel hinausgeht und aus der Nachhaltigkeit architektonische und städtebauliche Qualitäten entwickelt. In Bewusstsein all der vorangegangenen Rufe nach einer besseren Architektur zum Zwecke von diesen und jenen, scheint diese Forderung anmaßend oder banal. Allerdings wäre es ebenso naiv die ästhetischere oder gestalterische Dimension von Architektur zu vernachlässigen. Es ist eine schwer zu leugnende Tatsache, dass die nachhaltigen Lösungen nicht immer die günstigeren sind. In Massenfertigung hergestellte Reihenhäuser mit industriell vorgefertigten Bauteilen auf Vorstadtparzellen werden immer einen Preisvorteil in der Erstinvestition gegenüber maßgeschneiderten, individuell geplanten Minihäusern mit hohen energetischen Standards. Wenn sich diese am Markt behaupten, so müssen sie dem Käufer einen Mehrwert bieten, der auch günstigere Betriebskosten und ein reichhaltiges Wohnumfeld übersteigt. Dem Minihaus muss ein Identifikations- und Erlebniswert gegeben werden. Dieser wächst durch das positive Image, das ein Minihaus haben kann und das wie bei vielen Produkten die Vorstellung des Eigentümers vom Produkt auf den Eigentümer überträgt. Voraussetzung hierfür ist, dass die Minihäuser ein Alleinstellungsmerkmal oder einen Look haben, eine Andersartigkeit, die als positiv bewertet wird.

### Die Größe des Gebäudes

Der ökologische Impact eines Gebäudes wird maßgeblich durch sein Volumen beeinflusst. Die größeren Baumassen führen zu höheren Primärenergieinhalten und größeren Schadstoffmengen bei Produktion und Entsorgung. Größere Hüllflächen führen auf Dauer zu größeren Wärmeverlusten und damit zu höheren Umweltbelastungen und Betriebskosten. Die EnEV weist in dieser Hinsicht eine große Schwäche dahingehend auf, dass die Projekte nur relativ zu ihrer Nutzfläche beurteilt werden. Der ökologische Impact wird jedoch maßgeblich durch die Gesamtgröße eines Gebäudes beeinflusst. Ein größeres Gebäude wird bei Herstellung und Betrieb notwendigerweise ein Vielfaches der Umweltbelastungen eines kleineren Gebäudes verursachen. In der EnEV wird diesem Zusammenhang Rechnung getragen, in dem die Grenzwerte an das A/V Verhältnis<sup>12</sup> angepasst werden. Nicht berücksichtigt wird hingegen die Frage nach der Nutzungsintensität der Gebäude. Unabhängig davon wie viel Personen ein Gebäude bewohnen oder bewohnen können, werden die Gebäude als abstrakte Einheiten bezogen auf Ihre Nutzfläche verglichen. Diese Bewertung vernachlässigt, dass die steigende Wohnfläche-Pro-Kopf, die der Hauptgrund der Zersiedlung ist, auch zu höheren Energieverbräuchen-Pro-Kopf führt. Die Entwicklung ist vergleichbar mit der Effizienzdebatte in der Auto-Industrie, wo Errungenschaften energieeffizienter Antriebstechnik durch größere Autovolumina und höhere Nettogewichte für immer aufwendigere Ausstattungen wettgemacht werden und die Belastung in Summe gleich bleibt.

### Materialisierung der Fassade

Die Materialisierung der Fassade war eine besondere Herausforderung, weil verschiedene widersprüchliche Anforderungen berücksichtigt werden sollten. Die Fassade sollte ein Ausdruck sein für das nachhaltige Bauen und den Einsatz von Holz im mehrgeschossigen Wohnungsbau, weswegen eine Materialisierung in Holz nahe lag. Es wurde lange eine Fassade aus Vollholz oder Mehrschichtplatten geprüft. Eine unbehandelte Holzfassade altert. Bei einer geeigneten konstruktiven Ausbildung ist eine solche Fassade dauerhaft und kann ohne Beschichtung eine Lebensdauer von 30 bis 40 Jahren erzielen.<sup>13</sup> Die Zellulose gibt den Holzfassaden die typische silber-graue Färbung. Für das Minihaus, das an zentraler Stelle im Innenstadtbereich steht, schien ein solcher Ausdruck nicht geeignet.

Zum Einsatz kam deswegen eine Phenolharzplatte mit Holzfurnier. Das Holzfurnier ist mit einer UV-beständigen Beschichtung versiegelt. Das Holz bleibt darunter auf Dauer konserviert. Mit dem Ökobilanzierungswerkzeug (s. Kapitel 5) wurde die Phenolharzplatte mit einer roh belassenen Mehrschichtplatte verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass sich das Treibhauspotential durch den Einsatz von einem positiven Wert bei Holz zu einem deutlich negativen bewegt. Für den Prototypen sollte eine Konstruktion gewählt werden, deren optische Eigenschaften möglichst dauerhaft mangelfrei sind, um nicht Gefahr zu laufen, dem Klischee vom ökologisch überlegeneren aber technisch und ästhetisch unterlegenen Material Vorschub zu leisten. Der Prototyp ‚Minihaus‘ soll attraktiv und hochwertig wirken, um zu zeigen, dass das nachhaltige Bauen zu werthaltigen und ästhetisch überlegenen Lösungen führt.

## 2.4 Baukonstruktion

### Urbaner Holzbau

Die Entwicklung der Baukonstruktion wurde begleitend zu der Ökobilanzierung analysiert, um die ökologischen Folgen und den Primärenergieinhalt der Konstruktion beurteilen zu können. Dabei hat sich herausgestellt, dass der Einsatz von erneuerbaren Rohstoffen, insbesondere Holz erhebliche Vorteile hat. Das Rohmaterial wächst und muss nicht hergestellt werden. Durch die Photosynthese entziehen die Pflanzen der Luft Kohlendioxid, das in Kohlenwasserstoffe umgewandelt und eingelagert wird. Damit enthält Holz Kohlendioxid, das zwar nicht für immer, aber zumindest für die Dauer der Verwendung des Bauteils der Atmosphäre entzogen ist. Der Einsatz von Holzbauteilen wirkt somit dämpfend auf den Klimawandel.

<sup>12</sup> Das A/V - Verhältnis beschreibt das Verhältnis von Oberfläche zu Gebäudevolumen und ist einer der entscheidenden Faktoren für die Wärmeverluste des Gebäudes.

<sup>13</sup> Holz im Aussenbereich, Dipl.-Ing. H. Schmidt, Stade; Holzbauhandbuch Reihe 1 Teil 18 Folge 2, INFORMATIONSDIENST HOLZ, Herausgeber: Arbeitsgemeinschaft Holz e.V., Düsseldorf, In Zusammenarbeit mit dem Holzabsatzfonds, Absatzförderungsfonds der deutschen Forst- und Holzwirtschaft, Bonn, Düsseldorf, 2000.

## **dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Ein weiterer Vorteil in der Verwendung von Holzbauteilen ist deren gute Wiederverwendbarkeit. Stoffliches Recycling ist üblich und ermöglicht, dass Holzbauteile nach dem Einsatz zu Holzwerkstoffen verarbeitet werden. Alternativ kann Holz zur Energiegewinnung verbrannt werden und an dieser Stelle den Einsatz von fossilen Energieträgern vermindern.

Aus technischer Sicht bestehen viele und gute Möglichkeiten für urbanen Holzbau. Jahrzehntlang wurde der Holzbau vom urbanen Baugeschehen städtebaulicher und architektonischer Vorbilder und Lösungsansätze abgekoppelt. Während die Städte im Mittelalter und in der frühen Neuzeit von prächtigen Holzgebäuden dominiert wurden, sind diese zunehmend aus dem Stadtbild verschwunden. Holzgebäude werden deswegen meist mit nostalgischen oder historischen Vorstellungen verbunden. Insbesondere die zahlreichen Fachwerkhäuser, mit exponierter Holztragstruktur sind prägend für die Vorstellungen von Holzgebäuden. Neuere Holzgebäude finden sich eher im ländlichen Raum und werden dort mit der Vorstellung vom Bauen in intakter Natur verbunden. Einen wesentlichen Anteil der heutigen Holzgebäude machen Fertighäuser in Holztafelkonstruktionen aus, die jedoch meist innen und außen so bekleidet werden, dass sie den Eindruck eines Massivbaus erwecken.

Mehrgeschossiger Wohnungsbau ist eine der prägenden Gebäudeformen unserer Städte. Hier müssen neue Bautechniken, Gebäudetypologien und Gestaltungsideen für den urbanen Holzbau entwickelt werden. Hierfür stehen insbesondere in den bundesdeutschen Städten die Chancen gut, weil die Bebauung durch die Kriegsschäden heterogen ist. In diesen vielfältigen Stadtgebieten ist es leichter neue Architekturen zu integrieren.

Das Minihaus hat als Pilotprojekt des nachhaltigen Bauens in der Stadt eine Vorbildfunktion. Deswegen sollen die Inhalte und Absichten eines nachhaltigen ökologischen Bauens auch über das Material visuell gekennzeichnet und kommuniziert werden. Holz ist als einheimischer, nachwachsender Rohstoff aus ökologischer und ökonomischer Sicht der zukunftsfähigste Baustoff.

Eine wichtige Aufgabe der Prototypenforschung ist die Entwicklung adäquater Ausdrucksformen für den modernen Holzbau. Gerade im Wohnungsbau besteht die Möglichkeit, über die Natürlichkeit der Baumaterialien, hohe Aufenthaltsqualität und individuelle Gestaltung, die Identifikation des Nutzers mit seinem Gebäude zu erreichen. Hierfür sind Holzgebäude ideal geeignet, weil sie eine hohe Aufenthaltsqualität und individuelle Gestaltungsmöglichkeiten bieten. So scheint es umso fraglicher, dass moderne Holzhäuser häufig Massivbauhäuser nachahmen, statt eigene Ausdrucksformen zu artikulieren.

Beim Minihaus wurde nach einer Ausdrucksform und Baukonstruktion gesucht, die durch Gestaltungsqualität und seinen hohen Identifikationswert zum Ausdruck bringen, dass Holzhäuser urban und modern sein können. Die Möglichkeit mehrgeschossige Holzhäuser zu errichten, die sich für den Innenstadtbereich eignen, ist die Chance, dem Holzbau ein neues zeitgemäßes Image zu geben und damit einen wichtigen neuen Massenmarkt zu erschließen. Eine weitere Voraussetzung für den Erfolg einer Bauweise mit einem hohen Anteil an nachwachsenden Rohstoffen, insbesondere Holz, ist die Entwicklung von dauerhaften und materialgerechten Baukonstruktionen. Eines der Vorurteile in Bezug auf Holzhäuser ist, dass sie im verstärkten Maße der Alterung ausgesetzt sind. Aus ökologischer Sicht ist eine Fassade aus unbehandeltem Vollholz die beste Lösung. Vollholz hat einen geringen Primärenergieinhalt. Fassaden aus Vollholz sind bei richtiger Konstruktion dauerhaft. In Abhängigkeit von Konstruktion und Bewitterung kann beim Einsatz von heimischen Nadelhölzern wie Lärche oder Douglasie leicht eine Lebensdauer von 40 Jahren für eine Vollholzfassade erreicht werden. Durch Beschichtungen kann diese Lebensdauer bei regelmäßiger Instandsetzung der Beschichtungen im Grunde beliebig verlängert werden.

Das Bauen mit Holz hat auch eine soziale Dimension. Die Bedeutung der heimischen Forst- und Holzwirtschaft mit über 1,1 Mio. Beschäftigten ist in sozialer und gesamtwirtschaftlicher Hinsicht hoch. Dabei handelt es sich hauptsächlich um kleine und mittelständische Betriebe mit engen Verknüpfungen in die lokalen Wirtschafts- und Sozialstrukturen. Diese kleinen und mittelständischen Handwerks- und Industriebetriebe können durch den vermehrten Einsatz von Holz im Bauen gezielt gefördert werden. Auf diesem Wege wird die lange und wertvolle Handwerkstradition aufrechterhalten.

Die Rohstoffzufuhr der Holzindustrie könnte langfristig selbst bei steigendem Anteil an Holzgebäuden aus einheimischen Wäldern gedeckt werden. Auch bei einem steigenden Bedarf von Holz für die Energieerzeugung in Feststoffbrennanlagen sind noch erheblich höhere Produktionsmengen für die

Holzindustrie möglich.<sup>14</sup> Die beiden Einsatzmöglichkeiten des Holzes als Baumaterial und Energieträger sind langfristig eher komplementär als konkurrenzierend zu betrachten. Die Abfälle der Bauholzproduktion können zu Holzpellets gepresst oder als Hackschnitzel verfeuert werden. Langfristig würden aus dem Rückbau von Holzgebäuden, bei einem erheblich gesteigerten Marktanteil, die Holz mengen für die Energieproduktion entnommen werden. Das Holzvolumen würde quasi über den zeitlichen Umweg von ca. 50 Jahren Nutzung in einem Gebäude der Energiewirtschaft zugeführt werden. Um eine tatsächliche Nachhaltigkeit der Holzwirtschaft zu gewährleisten, müssten vermutlich europaweite Importbeschränkungen für Holz aus nicht nachwachsenden Quellen durchgesetzt werden. Die deutsche Forstwirtschaft ist seit 1713 nachhaltig.<sup>15</sup> Dies trifft auf andere Länder nicht zu. Die Zerstörung der tropischen Regenwälder ist zum Symbol geworden für den rücksichtslosen Raubbau an der Natur. Weniger bekannt aber ebenso umfangreich werden die langsam wachsenden Wälder Russlands abgeholzt. Während bei Tropenhölzern zumindest eine grundsätzliche Sensibilisierung der Verarbeiter und Verbraucher gegeben ist, die jedoch meist bei der Auswahl von Gartenmöbeln und Terrassenbelägen in den Hintergrund tritt, wird die Verwendung der häufig nachgefragten sibirischen Lärche wenig kritisch beurteilt. Das langsame Wachstum bewirkt, dass die Holzmaserung der sibirischen Lärche gleichmäßiger und feiner ist. Aufgrund der nicht nachhaltigen Bewirtschaftung kann der Abbau kostengünstiger erfolgen als eine einheimische Forstwirtschaft, die auch eine Aufforstung gerodeter Flächen einpreisen muß. Wichtig für den Bauherrn oder Planer ist, die Herkunft der Hölzer genau zu kennen. Während einheimische Hölzer bedenkenlos eingesetzt werden können, muß bei Importen darauf geachtet werden, dass die Erzeugung in nachhaltiger Beforstung erfolgt. Dies wird durch das FSB-Label sichergestellt. Der Einsatz unzertifizierter Hölzer aus anderen europäischen Ländern oder Sibirien tragen dazu bei, dass Naturräume zerstört werden, klimatische Ausgleichsflächen verloren gehen und die Biodiversität verringert wird.

Aufgrund dieser ökologischen Vorteile empfiehlt sich Holz als Baustoff für nachhaltiges Bauen. Es gibt jedoch eine Reihe an anderen Vorteilen, die insbesondere für das Bauen in der Stadt von Bedeutung sind: Holzkonstruktionen sind vergleichsweise leicht und erlauben einen hohen Grad der Vorfertigung. Dadurch lassen sich die Bauzeiten gegenüber der Massivbauweise deutlich verkürzen. Der hohe Grad der Vorfertigung ist besonders bei engen schwer zugänglichen innerstädtischen Baustellen günstig. Wand- und Deckenelemente können so vorgefertigt werden, dass nur noch geringe Massenanteile über die engen Erschließungswege in die Baustelle eingebracht werden müssen.

Da Holz einen vergleichsweise hohen Wärmedurchlasswiderstand hat, verringern die Außenbauteile mit tragenden Bauteilen aus Holz die Wärmeverluste der Gebäudehülle. Die Holzständer, zwischen denen die Wärmedämmung eingebracht wird, haben zwar einen höheren Wärmedurchgang als die Füllung, allerdings erreicht der Wandaufbau einen guten Gesamtwert. Die Ständer und Rähme können außenseitig mit einer weiteren Schicht Wärmedämmung bekleidet werden, die diese zusätzlich isoliert. Beim Prototypen haben die Außenwände einen U-Wert von 0,129 W/(m<sup>2</sup>K).

---

<sup>14</sup> Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (Hg.): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise. (M-HFHolzR) Fassung Juli 2004.

<sup>15</sup> Von Carlowitz, Hans Carl: Sylvicultura Oeconomica: Hauswirtschaftliche Nachricht und Naturmässige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Freiburg 2000. - „Wird derhalb die größte Kunst/Wissenschaft/Fleiß und Einrichtung hiesiger Lande darinnen beruhen / wie eine sothane Conservation und Anbau des Holtzes anzustellen / daß es eine kontinuierliche beständige und nachhaltige Nutzung gebe / weiln es eine unentberliche Sache ist / ohne welche das Land in seinem Esse (im Sinne von Wesen, Dasein, d. Verf.) nicht bleiben mag.“

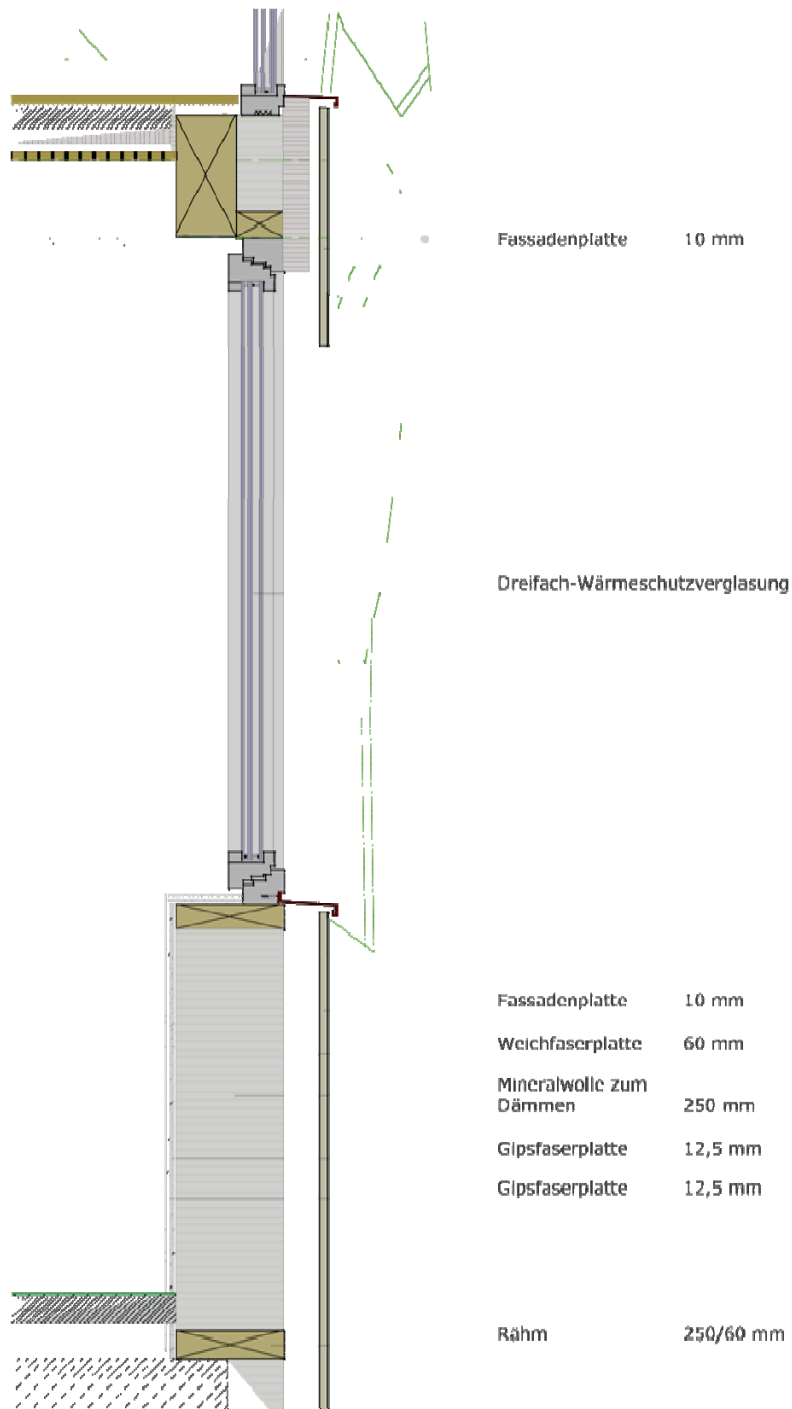


Abbildung 3: Schnitt Außenwandaufbau Minimum Impact Haus, o. M. , Quelle: DGJ

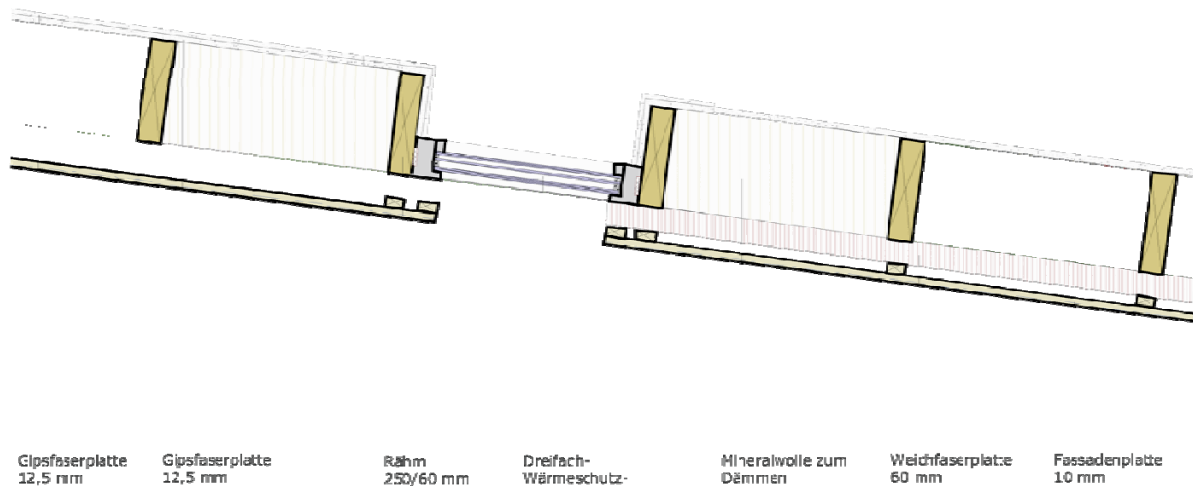


Abbildung 4: Grundriss Außenwandaufbau Minimum Impact Haus, o. M., Quelle: DGJ

Um die Wärmeverluste über die Außenwände noch weiter zu reduzieren, können die Vollholz-Profile durch Doppel-T-Träger mit schmalen Stegen ersetzt werden. Dadurch besteht der Wandaufbau fast ausschließlich aus Wärmedämmung. Eine solche Konstruktion kam beim Prototypen nicht zum Einsatz, weil zum einen die vertikalen Lasten in den Wänden partiell größere Holzquerschnitte erforderten zum anderen durch die günstige Ausrichtung des Gebäudes und den einseitigen Anbau an das Bestandsgebäude eine weitere Optimierung der Wärmeverluste nicht erforderlich war. Aus diesen Gründen, die durch die Ergebnisse der Ökobilanzierung bestätigt wurden, wurde Holz zum wichtigsten Material für die Baukonstruktion des Prototypen: Die Tragkonstruktion und die Unterkonstruktionen des Ausbaus und der Fassade sind aus Holz.

Ein Nachteil von Holzkonstruktionen ist das Problem des Brandschutzes.

## 2.5 Brandschutz bei mehrgeschossigen Holzgebäuden

Aufgrund der restriktiven Gesetzgebung der vergangenen Jahrzehnte waren Holzgebäude auf maximal zwei Vollgeschosse und ein Halbgewölb begrenzt. Hintergrund waren die Brandeigenschaften von Holz, die negativ beurteilt wurden. Durch vermehrte Forschung im Bereich des Brandschutzes im Holzbau wurden Verfahren entwickelt, mit denen die Feuerbeständigkeit von Holzkonstruktionen verbessert wurde. Analog zum Brandschutz im Stahlbau werden die Holzbauteile dabei mit gipsgebundenen Brandschutzplatten eingefasst oder gekapselt. Diese Bauweisen werden in der Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise M-HFHolzR<sup>16</sup> beschrieben, die in der Novellierung der Musterbauordnung MBO eingegangen ist und in Hessen bereits Gesetzescharakter im Rahmen der HBO hat. Somit ist eine gesetzliche Grundlage für mehrgeschossigen Wohnungsbau aus Holz gegeben. Dennoch besteht im Bezug auf konstruktive Umsetzungen und flächendeckende, praxistaugliche Planungs- und Genehmigungsverfahren erheblicher Entwicklungsbedarf. Ein Grund für den zögerlichen Einsatz von Holz bei mehrgeschossigen Gebäuden ist, dass die in den gesetzlichen Grundlagen formulierten Anforderungen an den konstruktiven Brandschutz in den höheren Gebäudeklassen (GKI IV) so aufwendig sind, dass sie aus wirtschaftlicher Sicht nur bedingt konkurrenzfähig gegenüber den konventionellen Bauweisen sind. Diese Nachteile werden teilweise dadurch kompensiert, dass die schnellere Bauweise zu Kostenersparnis genutzt werden kann, weil die Baustelleneinrichtung und die Finanzierungskosten während der Bauphase kürzer werden.

Die Konstruktionen für hochfeuerhemmende Holzbauteile ist technisch einfach: Tragende Bauteile werden allseitig mit einer geeigneten Gipsfaserplatte verkleidet und damit gegen Feuer verkapselt. In

<sup>16</sup> Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (Hg.): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise. (M-HFHolzR) Fassung Juli 2004.

Abhängigkeit von der Feuerwiderstandsdauer der Verkleidung spricht man von K30, K45 oder K60-Verkleidung. Die Bauteile haben dann analog dazu eine Feuerwiderstandsklasse REI60 bzw. EI 60 nach DIN EN 13501-2. Die notwendige Feuerwiderstandsklasse ergibt sich aus dem Brandschutzkonzept. Grundsätzlich gelten die Anforderungen der Landesbauordnung LBO für die Bauteile. Allerdings können im Rahmen des Brandschutzkonzepts durch kompensatorische Maßnahmen Abweichungen und Befreiungen beantragt werden, die die Anforderungen an einzelne Bauteile senken. Hier sind insbesondere der vorbeugende Brandschutz, organisatorischer Brandschutz und Alarmierungen zu nennen.

Beim Prototypen wurden abweichend von der HBO Außenwände und Decken in K30 Bauweise ausgeführt. Der geringere bauliche Brandschutzstandard wurde durch organisatorische Maßnahmen (Fluchtwege) und Rauchmelder kompensiert.

Eine aus ökologischer Sicht ungünstige Forderung der M-HFHolzR besteht darin, dass Hohlräume mit einer Dämmung aus nicht brennbarem Material (Schmelzpunkt über 1000 Grad Cel. z.B. Mineralwolle) gefüllt sein müssen, um zu verhindern, dass sich in den Hohlräumen der Bauteile Schwelbrände ausbreiten. Eine Dämmung aus nachwachsenden Rohstoffen oder aus Recyclingmaterial wie Cellulose aus Altpapier, hätte einen niedrigeren Energieinhalt und wäre biologisch abbaubar.

Die Forderungen aus dem Brandschutz haben auch günstige Nebeneffekte. Die doppelte Innenbekleidung begünstigt das Innenraumklima des Gebäudes. Leichte Bauweisen haben eine so geringe Speichermasse, dass sich im Inneren des Gebäudes das sog. Barackenklima einstellt. Temperaturschwankungen werden gar nicht oder nur minimal gepuffert und führen zu schnellen und erheblichen Schwankungen der Innentemperaturen. Durch die massivere Innenschale des Minihauses (Zwei Lagen a 12,5mm Gipskarton) können größere Mengen Wärmeenergie kurzfristig in den inneren Lagen der Außenwand eingespeichert werden, die dann zeitverzögert abgegeben werden. So kann eine schnelle Überhitzung oder Auskühlung des Gebäudes gebremst werden. Sinnvoll wäre es die Brandschutzverkleidung mit PCMs (Phase Changing Materials) auszurüsten. Dies sind Nano-Partikel aus Wachs, die so eingestellt sind, dass sie an einem definierten Temperaturpunkt nahe der Überhitzung des Raumes schmelzen. Durch den Phasenübergang wird eine größere Energiemenge eingelagert. Die Raumtemperatur kann trotz weiterer Energiezufuhr fast konstant gehalten werden, weil die Energie durch den Schmelzvorgang absorbiert wird. Diese Technologie ist perfekt geeignet um die Wärmespeicherleistung von leichten Konstruktionen zu verbessern. Leider sind derzeit noch keine Produkte auf dem Markt, die die bautechnische Zulassung für die Herstellung der Brandschutzbekleidung haben und die PCMs integrieren. Hier sind die Hersteller aufgefordert schnell auf die neuen Möglichkeiten zu reagieren und entsprechende Produkte zu entwickeln und deren Zulassung zu erwirken.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass der mehrgeschossige Holzbau in hoch-feuerhemmender Bauweise, noch viele Kompromisse erfordert, die seine Ökobilanz gegenüber Konstruktionen mit höheren Anteilen an nachwachsenden Rohstoffen verschlechtern. Andererseits ist die grundsätzliche Möglichkeit mehrgeschossige Gebäude aus Holz errichten zu können ein deutlicher Fortschritt gegenüber dem kategorischen Verbot der vorangegangenen Jahrzehnte. Für die Innenstadtbereiche und die hier beschriebenen Nachverdichtungen in Holzbauweise ist dies eine wichtige Voraussetzung. Die Stadtstruktur ist in den meisten Fällen so dicht, dass eine städtebaulich sinnvolle Nachverdichtung nur mehrgeschossig möglich ist. Um hier aus ökologischer Sicht eine optimale Lösung einzusetzen, ist der Holzbau mit Abstand die beste Möglichkeit, wie im Kapitel 3 Ökobilanzierung dargestellt wird.

## 2.6 Ausbau und Oberflächen

Die inneren und äußeren Oberflächen und Objekte des Gebäudes sind die Teile an denen die kürzesten Renovierungsintervalle entstehen können. Dadurch ist die Auswahl der Materialien nach Dauerhaftigkeit, ökologischen Folgen, aber auch nach der optischen Verträglichkeit und Behaglichkeit der Materialien entscheidend. Die umfassende Untersuchung e-Life<sup>17</sup>, die u.a. Lebenszyklen von Bauteilen am Beispiel von 40'000 Wohneinheiten einer großen Wohnungsbaugesellschaft untersucht, hat festgestellt, dass die

<sup>17</sup> Fraunhofer Informationszentrum Raum und Bau IRB: Kurzberichte aus der Bauforschung. Lebenszyklusbetrachtung und Optimierung von Instandsetzungsprozessen im Wohnungsbau - e-life. Heft 2, Jahrgang 49 (2008), S. 52.



Bauteile derzeit meist lange vor dem Erreichen ihrer technischen Lebenserwartung ausgetauscht werden. Meist wechseln die Nutzer oder nur ihr Geschmack oder Lebensgewohnheiten, was zu einem Austausch von Fußböden, Wänden oder Sanitärobjekten führt. Möbel werden in einem noch weitaus häufigeren Turnus ausgetauscht. Auf der anderen Seite kennt jeder Beispiele von hochwertigen Bauteilen, wie alten Türen, Dielen- oder Parkettböden, die nach Kriterien, die an neuere Bauteile angelegt werden längst ausgetauscht würden. An ihnen wird jedoch festgehalten, weil sie so hochwertig gebaut sind und als ästhetisch überaus wertvoll eingestuft werden, oft gerade wegen der Gebrauchsspuren bzw. Patina. Es lässt sich erkennen, dass für solche Bauteile weniger technische als vielmehr ästhetische oder modische Faktoren maßgeblich sind. Daraus kann man ableiten, dass neben der Dauerhaftigkeit und der Nutzungseignung der Bauteile, die eine Voraussetzung für eine lange Lebensdauer ist, weil defekte oder stark beschädigte Bauteile in jedem Fall ausgetauscht werden, eine grundsätzlich hohe Qualität oder Anmutung von Hochwertigkeit die Lebenserwartung erhöht.

### **Die Wichtigkeit des Ausbaus hinsichtlich der Lebenszyklusbetrachtung**

Während viele Bauteile nicht ausgetauscht werden, gehen bei Bauteilen, deren Lebenserwartung geringer ist als die des gesamten Gebäudes die Umweltfolgen mehrfach ein. Wenn ein Gebäude 50 Jahre lang genutzt wird und in dieser Zeit der Bodenbelag alle 5 Jahre getauscht wird, so ergibt sich die zehnfache Menge an Bodenbelag. Hierauf wird im Abschnitt (3.2.3 und 3.3.3) Instandhaltung der Ökobilanzierung detailliert eingegangen.

## **2.7 Lebenserwartung des Gebäudes**

Für die Nachhaltigkeit des Gebäudes ist die Lebenserwartung und die größt mögliche Identifikation der Nutzer mit dem Gebäude von zentraler Bedeutung. Eine lange Lebensdauer verbessert die Ökobilanz des Gebäudes entscheidend, weil Sie den Quotienten bestimmt, mit dem die Erstinvestitionen umgerechnet werden. Ein Gebäude, das von seinen Nutzern angenommen, gepflegt und geliebt wird, wird eine höhere Lebensdauer erreichen. Die Chancen, dass es immer wieder neue Nutzer findet und damit die Lebenserwartung weiter ausgedehnt wird verbessern sich. Die technische Lebensdauer heutiger Gebäude ist theoretisch hoch, für die Tragkonstruktion und die Außenwände meist unendlich nach menschlichen Maßstäben. Technische Ausbauten werden in kürzeren Abständen von den Entwicklungen überholt können aber meist ausgetauscht werden. Entscheidend für die Lebensdauer sind vor allem folgende Faktoren: Nutzbarkeit, Nutzungsflexibilität (Anpassbarkeit an andere Nutzer und zukünftige Nutzungen), gestalterische Qualität und Identifikationspotential und besonders bei Innenstadtlagen die Ausnutzung des Grundstücks. Wenn wertvolle Grundstücke nicht ausreichend ausgenutzt sind sprechen oft wirtschaftliche Kräfte dafür, dass Gebäude ersetzt werden.

### **Nutzbarkeit und Nutzungsflexibilität**

Nutzungsflexibilität ist eine Größe, die dem Planungsprozess geradezu entgegengesetzt ist. Eine Planung zielt auf Festlegung und Eindeutigkeit. Im Bauprozess müssen eindeutige Informationen vorgegeben und umgesetzt werden. Unschärfe, Vielfalt und Variabilität ist einer Bauplanung nicht tragbar. Deswegen fällt es vielen Planern schwer in Varianten, Optionen und Entwicklungen zu denken. Das Problem dabei ist auch, dass sich im Planungsprozess eine unendliche Fülle an Möglichkeiten ergibt. Um operativ zu bleiben, muss der Planer systematisch Varianten und Abhängigkeiten ausschließen. Das ist vor allem deshalb notwendig, weil die Optionen meist linear verknüpft sind und sich aus jeder Varianz einer Einzelentscheidung eine Vielzahl von Varianten auf den untergeordneten Planungsebenen ergeben – eine Vielfalt, die den Planer handlungsunfähig macht, weil er eindeutige Informationen produzieren muss. Der Planer ist darauf trainiert, Entscheidungen zu treffen und Varianten zu eliminieren.

Die Schwierigkeit der Planung in Nutzungsszenarien soll an einem weiteren Betrachtung aus dem Wohnungsbau verdeutlicht werden: Häufig werden als gute Beispiele einer nachhaltigen und flexiblen Bauweise die Altbauwohnungen aus der Zeit um die Jahrhundertwende genannt. Hier werden über einen Flur nach der Wohnungstür eine Anzahl von zwei bis vier relativ gleichwertige aus heutiger Sicht gut nutzbare Zimmer mit 13qm bis 20qm erschlossen. Dadurch sind die einzelnen Zimmer vielseitig als Schlaf, Wohn- oder Kinderzimmer nutzbar. Auch für eine Büronutzung sind Größe und Belichtung der Räume nach heutigen Maßstäben gut geeignet. Bei dieser positiven Beurteilung aus heutiger Sicht wird jedoch verkannt, dass die Wohnungen zum Zeitpunkt ihrer Errichtung in fast allen Fällen von mehr Personen genutzt wurden. Eine typische Altbauwohnung, die heute bequem von zwei bis drei Personen bewohnt

## **dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

wird, wäre von 8 Personen bewohnt viel ungemütlicher. Diese Betrachtung relativiert die damalige planerische Leistung. Es zeigt sich, dass es schwer ist, die zukünftigen Nutzungen und deren Anforderungen, wie der größere Bedarf an Büroflächen, zu antizipieren.

Das Arbeiten in Nutzungsszenarien bedeutet nicht zwingend, dass eine Vielzahl von Varianten an der baulichen Substanz entsteht. Es gibt einfache Konzepte und Konstruktionsprinzipien, die erlauben, innerhalb eines konstruktiven Systems, bauliche Anpassungen vorzunehmen: Die Trennung von Ausbau und Primärkonstruktion, die schon seit Beginn der Moderne propagiert wird, erlaubt Trennwände, Nutzungseinheiten und Räume mit relativ einfachen Mitteln zu bilden, ohne größere Eingriffe an der Bausubstanz vornehmen zu müssen. Nach diesem Prinzip wird die Nutzungsflexibilität der meisten heutigen Verwaltungsbauten sichergestellt. Die Installationen und Leitungen werden gebündelt und von tragenden Bauteilen getrennt. Der technische Ausbau hat aufgrund des technischen Fortschritts eine vergleichsweise niedrige Lebenserwartung von ca. 20 Jahren.

Im Minihaus wurde ein einfaches Schachtprinzip umgesetzt. Durch die Vertikalität des Gebäudes konnten alle Nass- und Technikbereiche übereinander, an einem durchgehenden Schacht angeordnet werden, an dessen unterem Ende die Heizungs- und Lüftungszentrale liegt. Es gibt nur eine minimale horizontale Verteilung innerhalb der Rückwand der Bäder und Küche. Sollten Teile der Installationen ausgetauscht werden, so kann der Schacht geöffnet werden, um neue Leitungen zu ziehen. Dieser Aufwand ist vergleichsweise gering.

## 2.8 Betriebsaufwand

Der Betrieb des Gebäudes lässt sich nach Hegger/Fuchs/Stark/Zeumer unter energetischen Gesichtspunkten in fünf Themen gliedern:

Energiethemen	Energiebedarf reduzieren	Energieversorgung optimieren
Wärme	Wärme erhalten	Wärme effizient gewinnen
Kälte	Überhitzung vermeiden	Wärme effizient abführen
Luft	Natürlich belüften	Effizient maschinell lüften
Licht	Tageslicht nutzen	Kunstlicht optimieren
Strom	Strom effizient nutzen	Strom dezentral gewinnen

Tabelle 4: Die zehn Bausteine des energieoptimierten Bauens nach Energiethemen<sup>18</sup>, Quelle: Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Dr. Stark, Thomas u.a.: Energie Atlas - Nachhaltige Architektur. München 2007; Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen am Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt; Prof. Hegger

Dabei lassen sich zu jedem Thema zwei komplementäre Handlungsstränge ableiten: Die Reduktion des Energiebedarfs und die Optimierung der Energieerzeugung. Die Themen und Strategien, die für alle Gebäudetypologien entwickelt wurden hatten einen unterschiedlichen Einfluss auf den Prototypen. In dem Tortendiagramm sind die Anteile des Energieverbrauchs dargestellt:

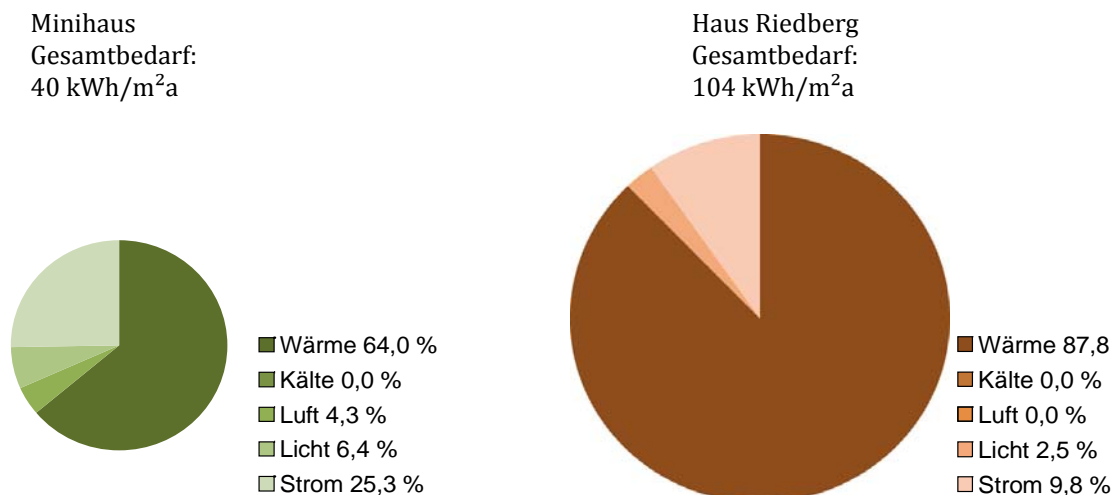


Abbildung 5: Anteile am Energieverbrauch in den Modulen beim Minimum Impact Haus und Haus Riedberg (Wärme, Kälte, Luft, Licht, Strom), Quelle: DGJ

<sup>18</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Dr. Stark, Thomas u.a.: Energie Atlas - Nachhaltige Architektur. München 2007, S. 61.

## 2.8.1 Wärme

### Wärme erhalten

Für den Wohnungsbau im gemäßigten Klima ist die Heizung in der kalten Jahreszeit das wichtigste Energiethema. Die Geometrie des Gebäudes bestimmt die Größe und Ausrichtung der Wärmeverlustflächen. Der Wärmedurchgangswiderstand der Bauteile und die Luftdichtigkeit der Gebäudehülle insgesamt bestimmen die Wärmeverluste über die Teilflächen.

### Geometrie der Gebäudehülle

Ein möglichst kompaktes Volumen trägt dazu bei das A/V-Verhältnis von Hüllfläche zu Gebäudevolumen zu verbessern. Der schmale, hohe Baukörper des Minihauses hat eine vergleichsweise große Hüllfläche. Kleine Gebäude haben grundsätzlich ein schlechteres A/V-Verhältnis als große Gebäudevolumina. Beim Minihaus war der Anbau an das Bestandsgebäude der entscheidende Vorteil. In der Berechnung der Wärmeverluste wird davon ausgegangen, dass die angrenzende Nachbarbebauung die gleiche Betriebstemperatur hat, wodurch kein Wärmestrom zustande kommt. Bei der Ermittlung des A/V-Verhältnisses werden diese Flächen nicht angesetzt. Diese Vorteile lassen sich bei den meisten Nachverdichtungen erwarten. Durch den einseitigen Anbau reduziert sich die Hüllfläche um ein Drittel. Beidseitig angebaut würde sich die Hüllfläche auf 37% gegenüber der freistehenden Variante verringern:

	<b>Minihaus frei-stehend</b>	<b>Haus Riedberg freistehend</b>	<b>Würfel</b>	<b>Minihaus einseitig angebaut</b>	<b>Haus Riedberg Reihen- endhaus</b>	<b>Minihaus beidseitig angebaut</b>	<b>Haus Riedberg Reihen- mittelhaus</b>
<b>A/V-Verhältnis</b>	<b>0,86</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,59</b>	<b>0,55</b>	<b>0,32</b>	<b>0,38</b>
Volumen	611 m <sup>3</sup>	660 m <sup>3</sup>	572 m <sup>3</sup>	611 m <sup>3</sup>	660 m <sup>3</sup>	611 m <sup>3</sup>	660 m <sup>3</sup>
<b>Hüllfläche</b>	<b>522 m<sup>2</sup></b>	<b>472 m<sup>2</sup></b>	<b>413 m<sup>2</sup></b>	<b>357 m<sup>2</sup></b>	<b>362 m<sup>2</sup></b>	<b>192 m<sup>2</sup></b>	<b>252 m<sup>2</sup></b>
<b>Vergleich</b>	<b>100%</b>	<b>90%</b>	<b>79%</b>	<b>68%</b>	<b>69%</b>	<b>37%</b>	<b>48%</b>
Anzahl Gesch.	5	3	3	5	3	5	3
Grundfläche	40,7 m <sup>2</sup>	66 m <sup>2</sup>	68,89 m <sup>2</sup>	40,7 m <sup>2</sup>	66 m <sup>2</sup>	40,7 m <sup>2</sup>	66 m <sup>2</sup>
BGF	203,5 m <sup>2</sup>	198 m <sup>2</sup>	206,67 m <sup>2</sup>	203,5 m <sup>2</sup>	198 m <sup>2</sup>	203,5 m <sup>2</sup>	198 m <sup>2</sup>
Länge	11 m	11 m	8,3 m	11 m	11 m	11 m	11 m
Breite	3,7 m	6 m	8,3 m	3,7 m	6 m	3,7 m	6 m
Höhe	15 m	10 m	8,3 m	15 m	10 m	15 m	10 m
Geschosshöhe	3	3,3	2,8	3,0	3,3	3,0	3,3

Tabelle 5: Vergleich des A/V-Verhältnisses der Gebäudevolumina und der BGF bei unterschiedlicher Geometrie, Quelle: DGJ

### Bauteile und Wärmeverluste

Die opaken Teile des Gebäudes wurden, wie im Abschnitt Baukonstruktion beschrieben, mit Mineralwolle gedämmt, da diese eingesetzt werden musste, um den Anforderungen an hoch-feuerhemmende Holzbauteile zu genügen. Auf den engen Baufeldern der Minihäuser ist in Zukunft der Einsatz von Vakuumdämmung (VIP für Vakuum-Isolations-Panel) interessant. Bei dieser Dämmung wird in einem dampfdicht abgeschlossenen Dämmkörper ein Vakuum hergestellt. Gegenüber konventionellen Dämmstoffen erreicht die Vakuumdämmung eine acht- bis zehnfache Dämmwirkung. Dementsprechend kann die Dämmung um den gleichen U-Wert eines Bauteils zu erreichen, wesentlich dünner sein. Die 26cm starke Dämmung (20cm Mineralwolle und 6cm Weichfaserplatte) der Außenwände des Minihauses könnte durch eine 3cm starke Platte ersetzt werden. Bei einer gleichen Bruttogeschossfläche ist durch den Einsatz von Vakuumdämmung somit eine höhere Nutzfläche zu erzielen. Da bei dieser Bauweise die Stöße zu erheblichen Wärmeverlusten führen, sollte die Vakuumdämmung zweischichtig mit versetzten Stößen oder in gedrehter Einbaurichtung eingesetzt werden. Beim Prototypen kam Vakuumdämmung nur an kleinen Teilflächen zum Einsatz (z.B. an den Stirnen der Stahlbetontrageteilen) um gezielt Wärmebrücken zu verhindern. Der Einbau der Panele, deren Hülle beim Einbau nicht verletzt werden darf, erfordert eine Sorgfalt seitens der Handwerker, die nicht vorausgesetzt werden kann. Aufgrund der Verletzlichkeit der Panele müssen diese während der Ausbau- und Nutzungsphase durch geeignete Konstruktionen gegen

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Schäden geschützt werden. Es ist vorstellbar die Panele durch eine Installationschicht von den inneren Oberflächen zu entkoppeln, so dass keine Befestigungsmittel die Folienkaschierung der Panele verletzen können.

Ein großflächiger Einsatz der Vakuumdämmung in den opaken Außenwänden kam aus Kostengründen nicht in Frage. Bei der Herstellung müssen die Panele mit Aluminiumfolien dampfdicht verklebt werden bevor das innere Vakuum hergestellt wird. Gegenüber anderen Dämmmaterialien führt dies zu einem größeren Produktionsaufwand.

Beim Minihaus entstehen die Wärmeverluste überwiegend über die Fensterflächen (66%), weil der U-Wert der Fenster im Vergleich zu den opaken Bauteilen erheblich schlechter ist. Es kam eine Dreifach-Verglasung zum Einsatz, bei der die Scheibenzwischenräume mit Argon gefüllt sind. Diese Verglasung erreicht mit einem U-Wert von 0,5 W/(m<sup>2</sup>K) den besten Wert der derzeit im Handel befindlichen Produkte. Bei dem vom Fachgebiet entwickelten Prototypenhaus für den Wettbewerb Solar-Decathlon kam eine Vierfach-Verglasung zum Einsatz, die einen U-Wert von 0,37kWh/qm hatte.

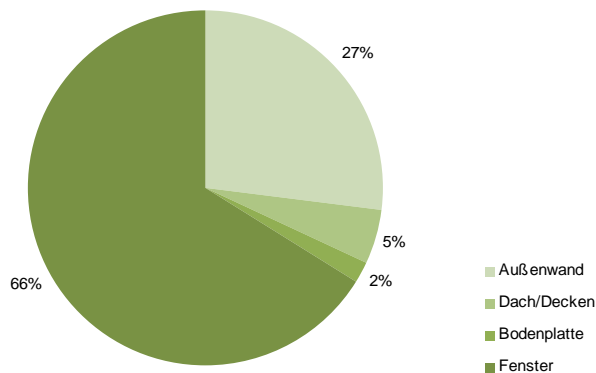


Abbildung 6: Anteile der Wärmeverluste nach Bauteilgruppen, Quelle: DGJ

Aufbau-Bezeichnung	Gesamt- dicke	U-Wert	Dämm- schicht- dicke	Dämm- schicht WLF
	[m]	[W/(m <sup>2</sup> K)]	[m]	[W/(mK)]
<b>Aussenwand Sockel</b>	0,405	<b>0,12</b>	0,200	0,040
<b>Aussenwand Holzständer</b>	0,370	<b>0,13</b>	0,050	0,040
<b>Dach</b>	0,535	<b>0,10</b>	0,300	0,040
<b>Decke EG Überhang</b>	0,420	<b>0,19</b>	0,160	0,040
<b>Bodenplatte unter EG</b>	0,485	<b>0,11</b>	0,340	0,040
<b>Fenster und Türen (gemittelt Rahmen und Verglasung)</b>	-	<b>0,58</b>	-	-

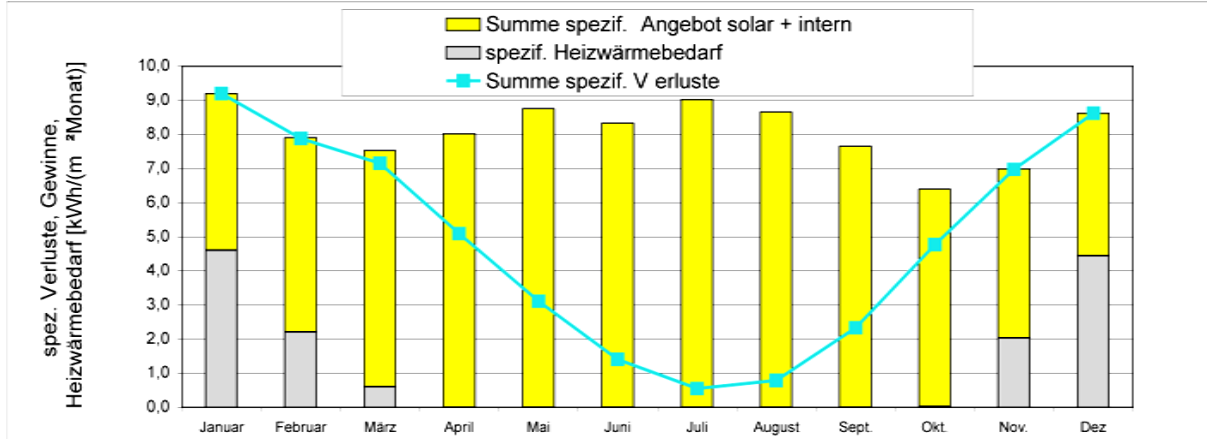
Tabelle 6: Übersicht über die U-Werte der Außenhülle des Prototypen, Quelle: DGJ

Die Wärmeverluste über die Fensterflächen werden zum Teil durch solare Einträge kompensiert. Da die solaren Gewinne in dieser Berechnung über das gesamte Jahr summiert werden, entsteht ein Bild, das nicht berücksichtigt, dass der Großteil der solaren Einträge außerhalb der Heizperiode eingetragen wird und dann zur Überhitzung des Gebäudes beitragen kann (siehe dazu auch den nächsten Abschnitt Kühlen). Im Monatsverfahren werden die spezifischen Klimadaten (solares Angebot und Temperaturverläufe) für jeweils einen Monat gegenübergestellt. In dieser Betrachtung ergibt sich ein genaueres Bild, das saisonale Effekte berücksichtigt. Erkennbar ist aus dieser Betrachtung des Prototypen, dass sich ein Heizbedarf in den Monaten November bis März ergibt. Die solaren Gewinne (in der Tabelle in gelb dargestellt) decken einen Großteil der Wärmeverluste.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Heizgr Std. Außen	14,4	12,2	11,0	7,8	4,7	2,1	0,8	1,3	3,7	7,6	11,0	13,5	90
Heizgr Std. Grund	8,7	8,9	9,7	8,1	6,1	3,4	1,4	0,2	0,3	1,7	3,9	6,5	59
Verluste Außen	1378	1174	1057	746	450	200	79	121	359	728	1057	1299	8649
Verluste Grund	42	43	47	39	30	17	7	1	2	8	19	32	287
Summe spezif. Verluste	9,2	7,9	7,2	5,1	3,1	1,4	0,6	0,8	2,3	4,8	7,0	8,6	57,9
Solare Gewinne Ost	151	282	364	465	516	479	536	512	440	316	194	112	4367
Solare Gewinne Süd	79	147	185	231	253	233	261	253	224	164	103	60	2194
Solare Gewinne West	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solare Gewinne Nord	20	35	62	95	124	129	135	111	74	44	23	14	866
Solare Gewinne Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Innere Wärmequellen	459	415	459	445	459	445	459	459	445	459	445	459	5408
Summe spezif. Angebot solar + intern	4,6	5,7	6,9	8,0	8,8	8,3	9,0	8,7	7,7	6,4	5,0	4,2	83,2
Solarer Ausnutzungsgrad	100%	100%	95%	64%	35%	17%	6%	9%	31%	74%	100%	100%	53%
Heizwärmebedarf	711	341	93	1	0	0	0	0	0	4	314	686	2149
spezif. Heizwärmebedarf	4,6	2,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	4,4	13,9



Heizwärmebedarf: Vergleich		kWh/(m_a) Bezugsfläche ist die Wohnfläche	
EN 832 Monatsverfahren	2148,8	13,9	kWh/(m_a) Bezugsfläche ist die Wohnfläche
PHPP, Heizperiodenverfahren	2127,2	13,8	kWh/(m_a) Bezugsfläche ist die Wohnfläche
Wert WSVO	1937,0	9,1	kWh/(m_a) Achtung! andere Bezugsfläche: A <sub>1</sub> nach EnEV
Wert EnEV	7248,1	50,7	kWh/(m_a) Achtung! andere Bezugsfläche: A <sub>1</sub> nach EnEV

Abbildung 7: Darstellung Wärmeverluste im Monatsverfahren, ermittelt mit dem Passivhaus Projektierungspaket PHPP 2007 für den Prototypen, Quelle: DGJ

### Wärme effizient erzeugen

Die wichtigste Voraussetzung für die effiziente Erzeugung von Wärme ist die Reduktion der Umwandlungsverluste. Für die Deckung eines niedrigen Gesamtenergiebedarfs stehen mehrere technische Möglichkeiten zur Verfügung. Die Erzeugung ist dabei immer an den Bedarf und die Verteilung gekoppelt und kann nicht für sich betrachtet werden. Ein Beispiel hierfür ist das Passivhaus-Konzept: Bei einem Passivhaus wird der Energieverbrauch so weit reduziert, dass auf eine aufwendige Heizungsanlage, wie sie bei konventionellen Gebäuden zum Einsatz kommt, verzichtet werden kann. Die geringe Wärmemenge, die zu Erwärmung der Räume erforderlich ist, kann über die Lüftungsanlage eingebracht werden. Die Lüftungsanlage ist bei hochgedämmten Gebäuden notwendig, da die Energieverluste bei freier Fensterlüftung zu groß wären. Da die spezifische Wärmekapazität der Luft gering ist, kann bei einer sinnvollen Luftwechselrate nur 10 kWh/m<sup>2</sup>a in die Räume eingetragen werden. Das Passivhaus-Institut hat deswegen den Kennwert für die Heizenergie des Gebäudes auf 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) festgelegt. Der Mehraufwand in der Baukonstruktion, durch die erhöhte Dämmwirkung der Gebäudehülle, wird teilweise durch die Einsparungen an der Heizungsanlage kompensiert. Das Minihaus erfüllt die Nachweiskriterien des Passivhauses, auch wenn zur Beheizung der Räume eine Fußbodenheizung zur Verfügung steht.

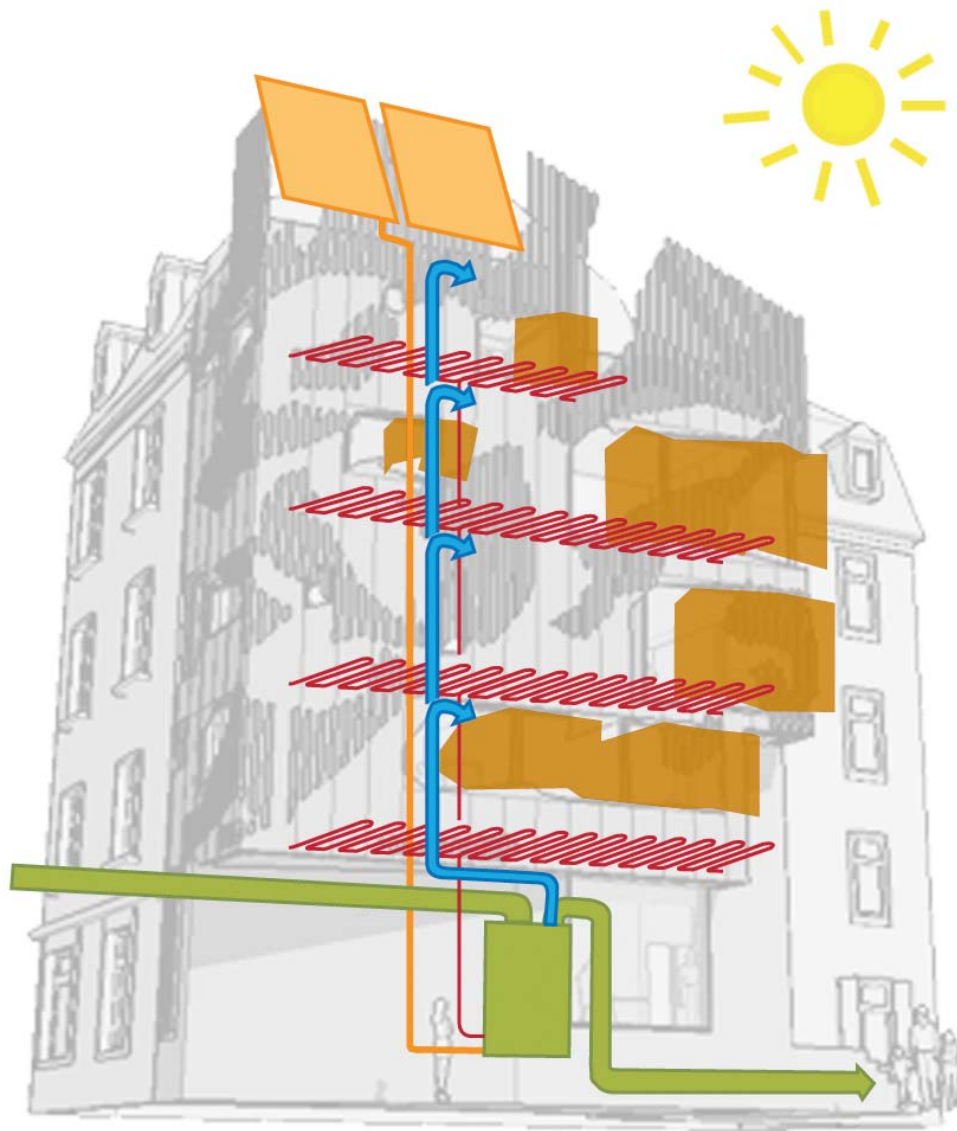


Abbildung 8: Haustechnikschema Prototyp Minihaus, Quelle:DGJ

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Energie-träger	Umwandlung / Technologie	Verteilung im Gebäude	Voraus-setzungen	Minihaus - Deckung des Energiebedarfs Heiz+WW [kWh/m²a]				
<b>Bedarf</b>				<b>Heizwärmebedarf <math>q_H</math></b>				13,5
				<b>Trinkwassererwärmung <math>q_{tw}</math> (EnEV)</b>				12,5
				Lüftung hier nicht erfaßt				
				<b>Summe:</b>				<b>26,0</b>
				<b>Verbrauch</b> Summe Heiz+WW	<b>Primär- energie Summe</b>	<b>Primär- energie erneuer- bar</b>	<b>Primär- energie n. erneuer- bar</b>	<b>GWP</b> [kgCO <sub>2</sub> ]
				[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kWh/m²a]	[kg CO <sub>2</sub> ]
<b>Umwelt-wärme +Strommix</b>	<b>Wärme-pumpe</b>	<b>Wasser</b>						
	Erdwärme/ Wasser	Jahresarbeits- zahl: 2,8	Bohrungen	<b>8,5</b>	<b>2108</b>	<b>2002</b>	<b>105</b>	<b>70</b>
<b>Gas (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>						
	Gasbrennwert		Gasan- schluß Abgas- system	<b>26,0</b>	<b>5013</b>	<b>85</b>	<b>5827</b>	<b>1344</b>
<b>Feste Biomasse</b> (Holz / Holzpellets)	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>						
	Indirekte und direkte		Lager- einrichtung Abgas- system	<b>27,8</b>	<b>1148</b>	<b>1040</b>	<b>108</b>	<b>1435</b>
<b>Strom-Strommix</b>	<b>Direkt-heizung</b>	<b>Kabel+ Radiatoren</b>		<b>41,6</b>	<b>23182</b>	<b>1576</b>	<b>21605</b>	<b>5838</b>
<b>Strom-Ökostrom</b>	<b>Direkt-heizung</b>	<b>Kabel+ Radiatoren</b>		<b>41,6</b>	<b>10303</b>	<b>9788</b>	<b>515</b>	<b>343</b>
<b>Öl (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>						
			Tanks/ Lager Abgas- system	<b>26,7</b>	<b>6069</b>	<b>147</b>	<b>5922</b>	<b>1379</b>

Tabelle 7: Vergleich verschiedener Energieträger zur Deckung des Energiebedarfs für Heizung und Warmwasser für das Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ



## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Bei gleichem Energiebedarf unterscheiden sich die Primärenergieverbräuche, von 1148 kWh/m<sup>2</sup>a bis 23182 kWh/m<sup>2</sup>a, je nachdem welcher Energieträger Einsatz findet. Am Deutlichsten fällt auf das Strommix, der ausschließlich aus nicht regenerativen Energien stammt, als Energieträger den höchsten Primärenergieverbrauch und die größte CO<sub>2</sub>-Belastung verursacht. Erdwärme hingegen bringt die geringsten Verbräuche mit sich.

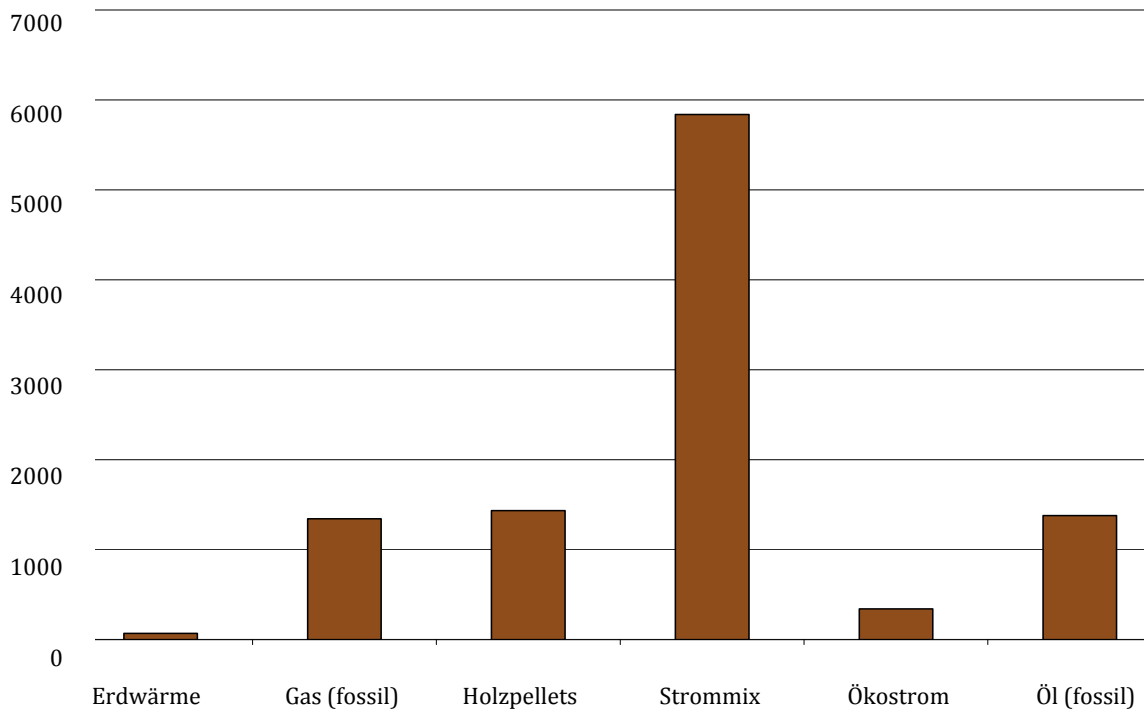


Abbildung 9: Vergleich Treibhauspotential [kgCO<sub>2</sub>] verschiedener Energieträger des Minihauses, Quelle: DGJ

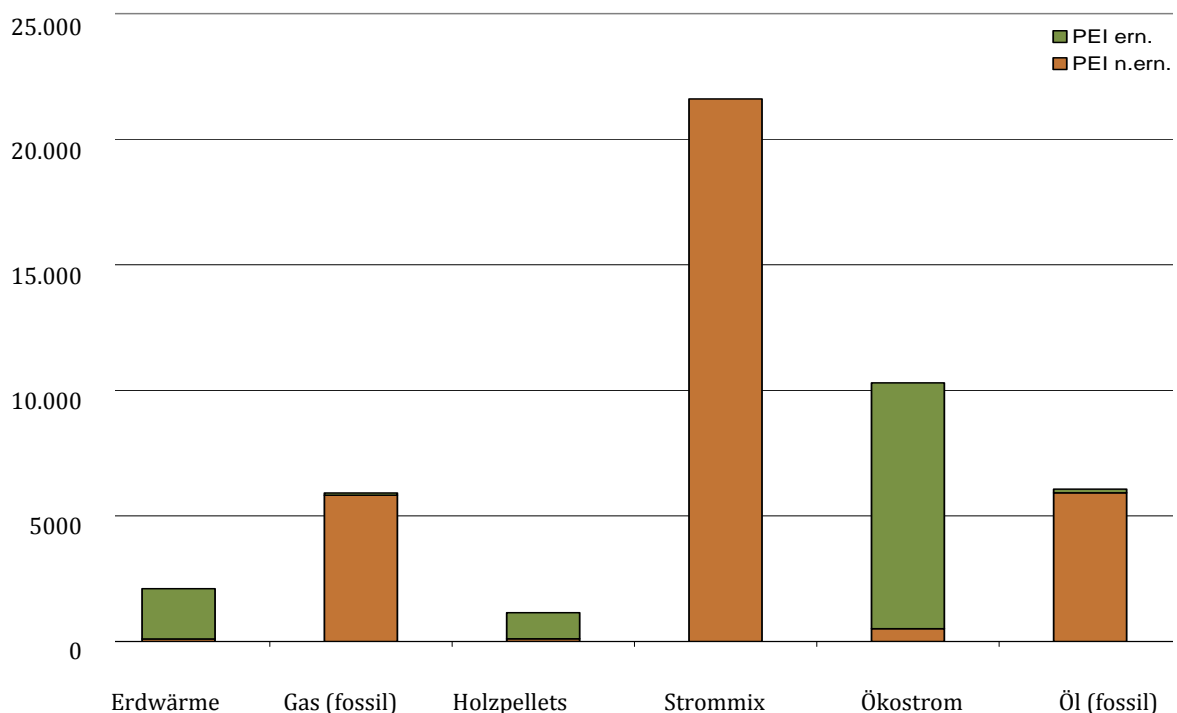


Abbildung 10: Vergleich Primärenergie-Summe [kWh/m<sup>2</sup>a] aufgeteilt in PEI nicht erneuerbar/ PEI erneuerbar verschiedener Energieträger des Minihauses, Quelle: DGJ

**Umweltenergien – Wärmepumpe**

Mit Wärmepumpen kann der Umgebung, unabhängig von deren Temperatur, Wärmeenergie entzogen werden. Beim Prototypen wird die Wärmepumpe mit Ökostrom betrieben, der aus 100% regenerativen Quellen stammt. Derzeit gibt es in Deutschland nur einen Anbieter (Lichtblick), dessen Öko-Strom tatsächlich zu 100% aus regenerativen Quellen stammt. Dieser betreibt eigene Wasser- und Windkraftwerke (EEG 17%, Biomasse 11%, Wasser 72%, Summe 100%).<sup>19</sup> Die anderen Ökostrom-Tarife enthalten kleine oder geringe Anteile an Strom aus regenerativen Quellen.

Die folgenden Diagramme zeigen die Energieströme der beiden Vergleichsobjekte. Der Prototyp Minihaus wird ausschließlich durch regenerative Energien betrieben. Beim Vergleichsobjekt Riedberg ist 67 % der eingesetzten Primärenergie aus fossilen Energien.

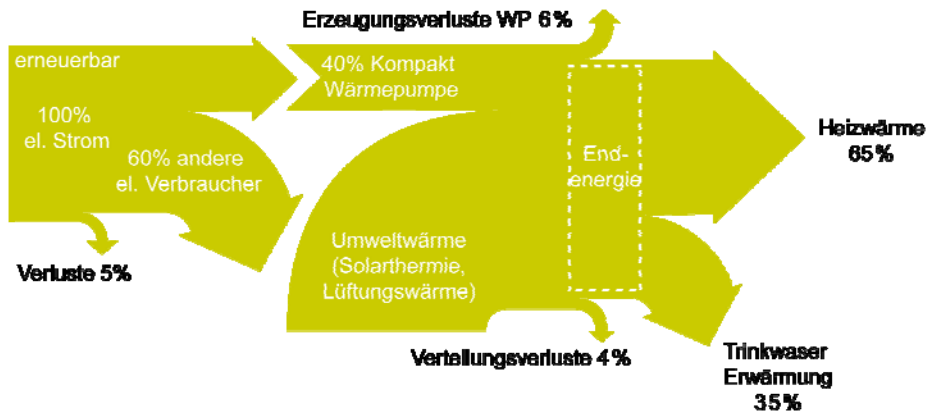


Abbildung 11: Energieflussdiagramm Prototyp Minihaus: Wärmepumpe (Leistungszahl 3,8); Quelle: DGJ

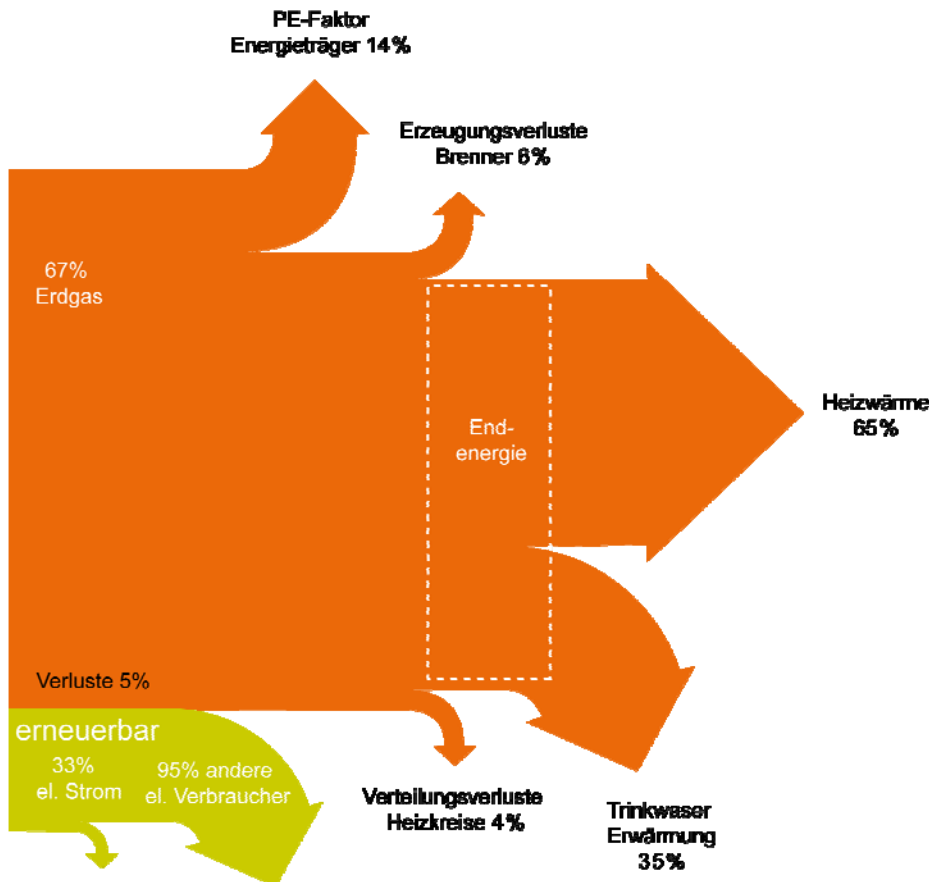


Abbildung 12: Energieflussdiagramm des Haus Riedberg: Gasbrennwerttherme, Quelle: DGJ

<sup>19</sup> Lichtblick: Selbstauskunft siehe Email-Korrespondenz im Anhang. Hamburg 2008.

### **2.8.2 Kälte**

In Deutschland ist das Klima gemäßigt, weswegen im Wohnungsbau selten aktive Kühlsysteme zum Einsatz kommen, die Energie verbrauchen. Die Gebäudekühlung erfolgt meist passiv: Durch die Verhinderung des Eintrags von Wärme oder durch die Zwischenspeicherung von Wärme in Bauteilen. Im Gegensatz zu konventionellen Wohngebäuden ist der Kühlung des entwickelten Prototypen besondere Bedeutung zuzuschreiben: Durch den großen Fensterflächenanteil hat das Minihaus hohe solare Einträge. Während der Heizperiode und den Übergangszeiten sind diese gewünscht und helfen (s.o.) den Heizwärmebedarf zu senken. Während des Sommers kann es dadurch aber leicht zu Überhitzung des Gebäudes kommen, weil große Mengen Wärme eingestrahlt werden. Hinzu kommt, dass die Holztafel-Bauweise eher eine leicht Bauweise ist, bei der geringere Mengen Wärme in den Bauteilen zwischengespeichert werden können als bei einer konventionellen Massivbauweise.

#### **Passive Maßnahmen zur Gebäudekühlung (Energiebedarf minimieren):**

- Verringerung des Wärmeeintrages
  - Wärmedurchgang durch Bauteile
  - Verschattung
- Zwischenspeicherung von Wärmelasten in Bauteilen
- Kühlende Bauteile wie Gründächer, Wasserflächen (adiabatische Kühlung)
- Verringerung von internen Wärmelasten (meiste elektrische Geräte)

#### **Aktive Maßnahmen zur Gebäudekühlung (Energieversorgung optimieren):**

- Klimatisierung
- Bauteilaktierung
- Nachtspülung bei Lüftungsanlagen
- Freie Nachtlüftung bei Fensterlüftung

### **2.8.3 Strom**

Bei Gebäuden, deren Heizenergiebedarf optimiert ist, spielt der Stromverbrauch der Beleuchtung und Geräte im Haus für die Energiebilanz eine entscheidende Rolle.

Beim Prototyp „Minihaus“ macht der aus der Beleuchtung und den Geräten resultierende Verbrauch ungefähr ein Drittel (27 %) der CO<sub>2</sub>-Belastung, welche durch Strom entsteht, aus. Die relativ große Belastung, die durch die Heizung entsteht, ist auf den elektrischen Betrieb der Wärmepumpe zurückzuführen.

Die Tabelle (S.33) zeigt, dass es entscheidend ist, ob das Gebäude mit Strommix (orangene Spalte) oder Ökostrom (grüne Spalte) betrieben wird. Der Einsatz von Ökostrom reduziert die CO<sub>2</sub>-Belastung der elektrischen Geräte im Vergleich zu Strommix auf nur 8%.

# dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

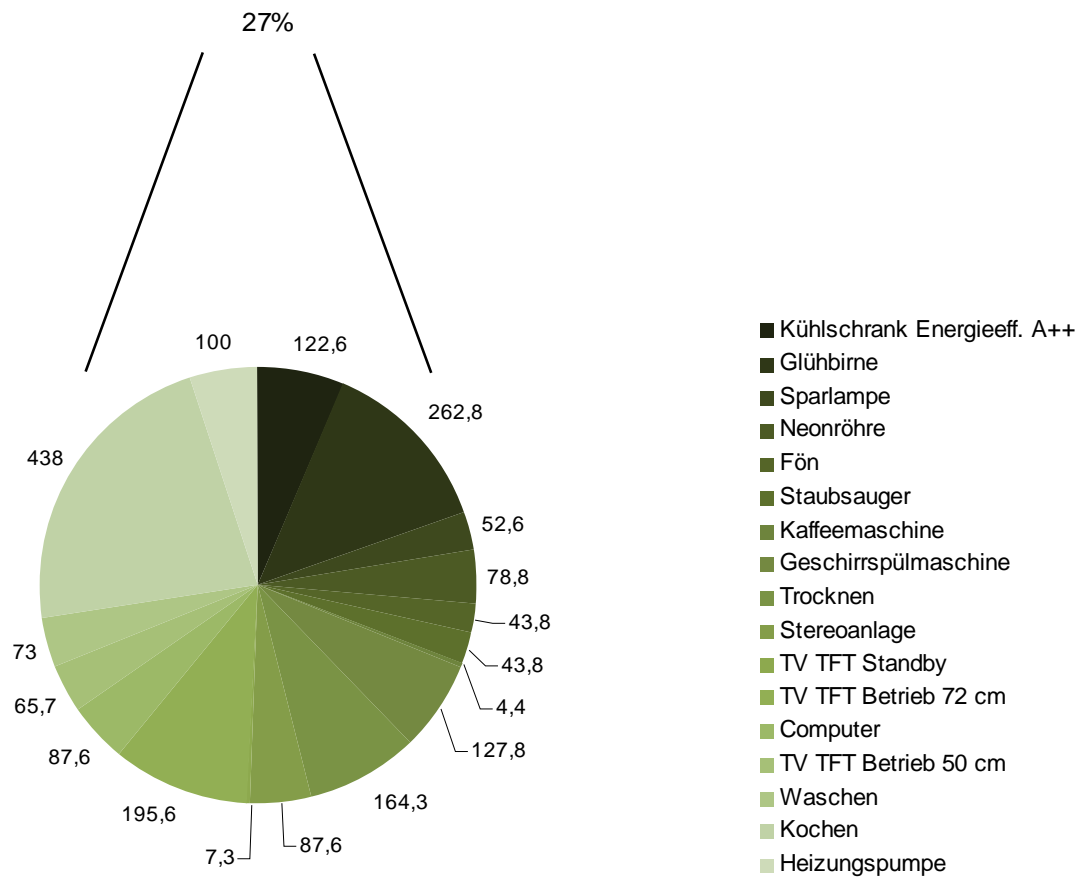
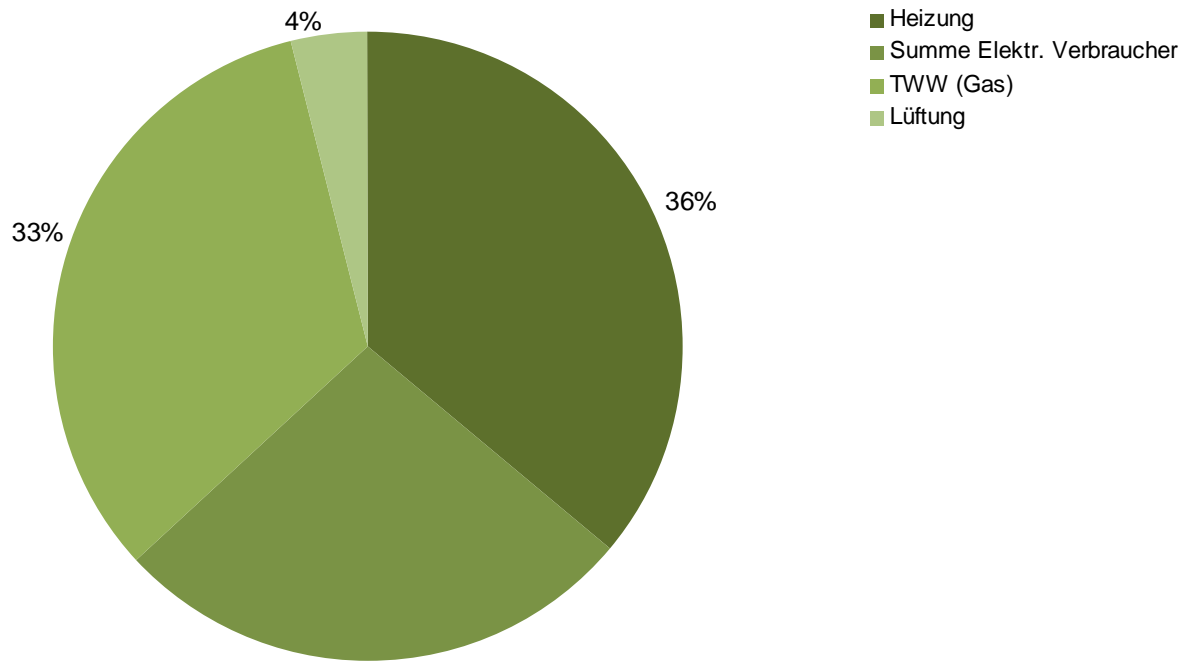


Abbildung 13: Anteile in % der CO2-Belastung durch Strom des Minihauses, Quelle: DGJ

Abbildung 14: Anteile in kWh/Jahr am Energieverbrauch der Elektrischen Verbraucher des Minihauses, Quelle: DGJ

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Gerät	Anzahl Verbraucher	Leistungsaufnahme	Be triebs- stunde n	Elektr. Arbeit / Tag	Elektr. Arbeit / Monat	Elektr. Arbeit / Jahr	CO2 Dt. Strom- mix		Kosten Dt. Strom- mix		CO2 Strom aus 100% reg.	Kosten Strom aus 100% reg.	
							<b>0,682 kg/kWh</b>		<b>0,16 €/kWh</b>		<b>0,060 kg/kWh</b>	<b>0,19 €/kWh</b>	
	Stk	[W]	[h]	[KWh]	[KWh]	[KWh]	[kg CO2]		[Euro]		[kg CO2]	[Euro]	
Kühlschrank Energieeff. A++	1	14	24	0,34	10,1	122	83		19		7	23	
Kühlschrank Energieeff. B	0	26	24	0,00	0,0	0	0		0		0	0	
Glühbirne	4	60	3	0,72	21,6	262	179		42		15	50	
Sparlampe	4	12	3	0,14	4,3	52	35		8		3	10	
Neonröhre	4	18	3	0,22	6,5	78	53		12		4	15	
Fön	1	1200	0,1	0,12	3,6	43	29		7		2	8	
Staubsauger	1	1200	0,1	0,12	3,6	43	29		7		2	8	
Kaffeemasch.	1	60	0,2	0,01	0,4	4	3		0		0,5	1	
Geschirrspülmasch.	1	700	0,5	0,35	10,5	127	87		20		7	24	
Trocknen	1	900	0,5	0,45	13,5	164	112		26		9	31	
Stereoanlage	1	120	2	0,24	7,2	87	59		14		5	16	
TV Alt Standby	0	6	20	0,00	0,0	0	0		0		0	0	
TV Alt/Röhre Betrieb	0	74	4	0,00	0,0	0	0		0		0	0	
TV TFT Standby	1	1	20	0,02	0,6	7	5		1		0	1	
TV TFT Betrieb	1	134	4	0,54	16,1	195	133		31		11	37	
Computer	1	120	2	0,24	7,2	87	59		14		5	16	
TV TFT Betrieb	1	90	2	0,18	5,4	65	44		10		3	12	
Waschen	1	1000	0,2	0,20	6,0	73	49		11		4	13	
Kochen	1	1200	1	1,20	36,0	438	298		70		26	83	
Heizung:Umwälzpumpe	1	(ca. 1% des Heizwärmebedarfs)				100	68		16		6	19	
<b>Summe Elektrische Verbraucher</b>						<b>1955</b>	<b>27 %</b>	<b>1333</b>	<b>50 %</b>	<b>312 €</b>	<b>48 %</b>	<b>117</b>	<b>371 €</b>
Lüftung	1	60	12	0,72	21,6	262	4 %	179	7 %	42 €	6 %	15	49 €
Heizung	150	15	1,15			2587	36 %	605	23 %	155 €	24 %	605	155 €
	qm	KW/h*	Anlagenaufwandszahl										
Warmwasser (Gas)	150	12,5	1,30			2437	34 %	570	21 %	146 €	22 %	570	146 €
	qm	KW/h*	Anlagenaufwandszahl										
<b>Summe</b>						<b>7243</b>	<b>100 %</b>	<b>2688</b>	<b>100 %</b>	<b>656 €</b>		<b>1309</b>	<b>723 €</b>
Vergleichswert pro Kopf Emission								<b>ca. 10'50 kg</b>	<b>969 €</b>		<b>ca. 10'50 kg</b>	<b>1.094 €</b>	

Tabelle 8: Stromverbrauch der einzelnen Verbraucher und Geräte im Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ

## **2.9 Behaglichkeit**

Behaglichkeit beschreibt Rahmenbedingungen für einen Luftzustandsbereich, der für den Menschen als am angenehmsten empfunden wird. Da diese Empfindung subjektiv erfolgt gibt es für die Vorgabe der Behaglichkeit keine definierten Grenzen, sondern einen sogenannten Behaglichkeitsbereich, in dem sich der Mensch am wohlsten fühlt. Dieser setzt sich aus individuellen Einflüssen, den physiologischen (z. B. Geschlecht, Alter u.a.) und intermediären Bedingungen (z. B. Kleidung u.a.) sowie den physikalischen Einflüssen zusammen. Die individuellen Einflüsse sind subjektiv und können nur vom Menschen selbst beeinflusst werden. Der physikalische Bereich kann von Außen so beeinflusst werden, dass Rahmenbedingungen geschaffen werden, die es dem Menschen möglichst angenehm machen. Er umfasst alle Sinne oder sensorischen Bereiche:

### **Temperatur - Raumklima**

- Angenehme Raumtemperaturen (zwischen 20 Grad und 26 Grad Cel.)
- Keine Zugerscheinungen
- Angenehme Luftfeuchtigkeit (zwischen 35 und 65 %)

### **Optik - Sehen**

- Keine Blendungen
- Gute Belichtungsverhältnisse für Nutzungen
- Farbgestaltung
- Oberfläche und Material

### **Akustik (Raumakustik und Schallschutz) - Hören**

- Schutz vor externem störendem Schall
- Schutz vor internem störendem Schall
- Angenehme Raumakustik (Nachhallzeiten)

### **Haptik - Tasten und Fühlen**

- Materialitäten und Oberflächen
- Bauteile mit Hautkontakt (Geländer, Griffe, Wände, Tische) ergonomisch geformt

### **Ophtamik - Riechen**

- Luftqualität (Frischluftversorgung, Abführen von Schad- und Störstoffen)
- Keine unangenehmen Ausdünstungen von Baumaterialien
- Angenehmer Geruch von Materialien

Für die Nachhaltigkeit des Gebäudes ist die Behaglichkeit deshalb so entscheidend, weil sich daraus der Erfolg bei Nutzern antizipieren lässt. Ein Gebäude, in dem sich die Nutzer wohlfühlen, wird auf Dauer gepflegt und gewartet werden. Die Immobilie wird auf Dauer vermietbar sein und sich wirtschaftlich tragen. Deswegen werden im Folgenden die einzelnen Aspekte der Behaglichkeit angesprochen.

## **2.10 Wasserhaushalt**

Die Errichtung und der Betrieb von Gebäuden stören den natürlichen Wasserkreislauf. Das Niederschlagswasser, das im Naturraum entweder versickert oder verdunstet, wird dem natürlichen Wasserkreislauf entzogen. Durch die Bewohner des Gebäudes wird sauberes Trinkwasser verbraucht und verschmutzt. In den Abwasserleitungen werden Niederschlagswasser und Brauchwasser gemischt, wodurch große Mengen an Abwasser anfallen, die meist zentral gesammelt und geklärt werden und danach in Vorfluter eingeleitet werden.

Bei der Konzeption des Prototypen wird der Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt minimiert. Dies kann erreicht werden, indem das Wasser- und Abwassersystem weitgehend dezentral gelöst wird. Der Frischwasserbedarf kann durch eine Teilsubstitution durch Grauwasser gesenkt werden.

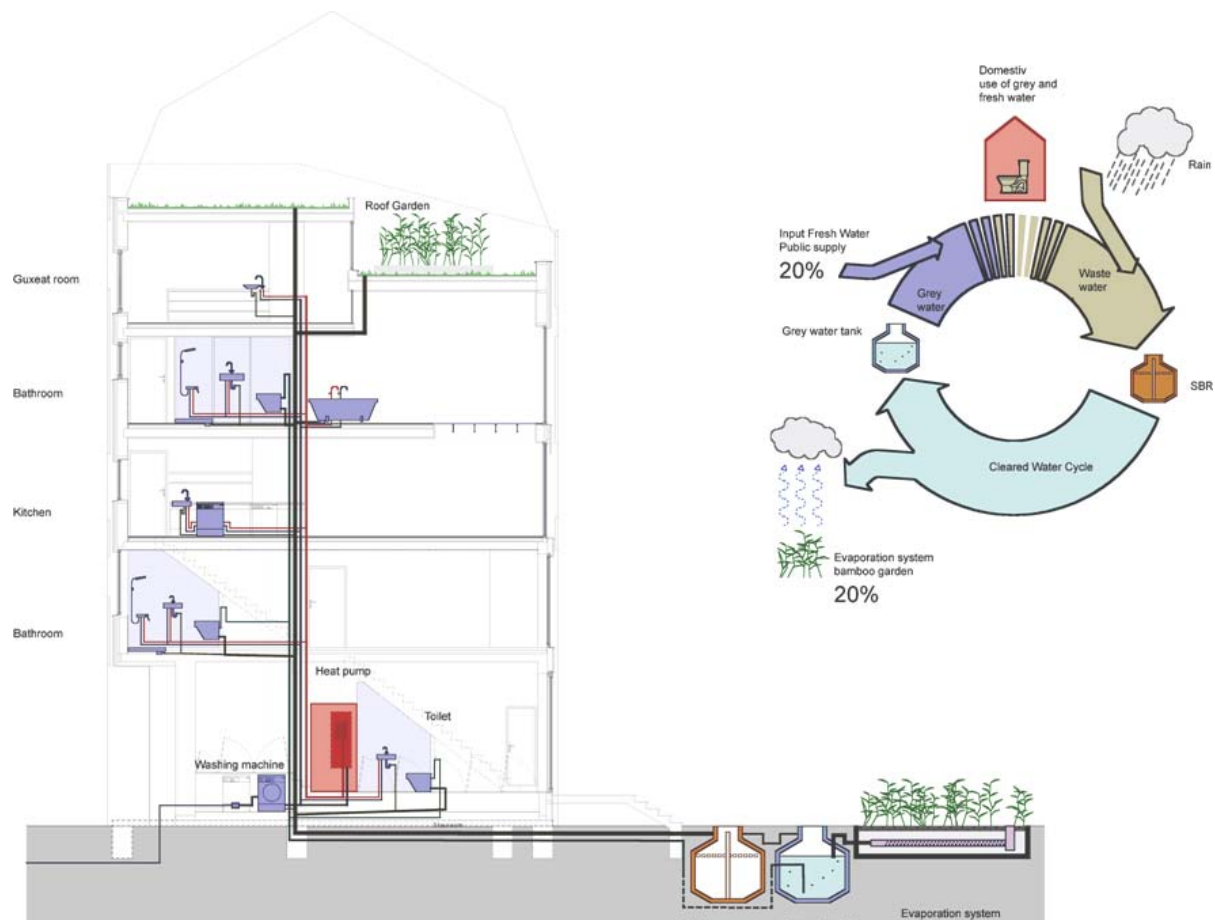


Abbildung 15: Schnitt Abwassersystem Minimum Impact Haus, o. M., Quelle: DGJ

**Angangssituation Kosten Wasserverbrauch:**

**Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentliche Kanalisation**

Tagesmengen	Pro Person	128	l/d
Jahresmenge	pro Person	365	46720 l/a
	Anzahl der Personen (EW)	4	
Jahresmenge	4 Personen	186880	l/a

Kosten				
Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentliche Kanalisation				
	Menge		Preis	Kosten
<b>Grundpreis</b>	12	Mon.	3,50 €	42,00 €
<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>	186,88	m3	2,01 €	375,63 €
<b>Kosten Abwasser</b>	186,88	m3	2,14 €	399,92 €
<b>Niederschlagswasser</b>				
Dachfläche	40	qm		
Jahresniederschlag	611	l/qm		
Niederschlagswasser	24,4	m3	2,14 €	52,30 €
<b>Summe Option 1</b>				<b>869,85 €</b>

Tabelle 9: Kostenermittlung Wasserverbrauch Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentliche Kanalisation, Quelle: DGJ

**Option 2: Versickerung von Niederschlagswasser**

Niederschlagswasser sollte nicht der Kanalisation zugeführt werden, sondern genutzt oder auf dem Grundstück versickert werden. Die Versickerung entspricht dem natürlichen Wasserkreislauf und entlastet die Abwassersysteme und Vorfluter. Ausserdem spart der Betreiber die Kosten für die Entsorgung des Niederschlagswassers, das bei einer Zuführung in die Kanalisation wie Abwasser verrechnet wird. Hier entstehen Kosten von bundesdurchschnittlich 2,14 Euro/m<sup>3</sup><sup>20</sup>. Bei der Dachfläche von ca. 40 qm und einem jährlichen Niederschlag von 611l/qm\*a fallen 24,4m<sup>3</sup> Niederschlagswasser an, für die 52,30 Euro Abwassergebühren abgeführt werden müssten.

Tagesmengen	Pro Person	128	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>46720</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>		
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>186880</b>	<b>l/a</b>	
<b>Kosten</b>					
<b>Option 2: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Versickerung Niederschlag</b>					
		Menge		Preis	Kosten
<b>Grundpreis</b>		12	Mon.	3,50 €	42,00 €
<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>		186,88	m <sup>3</sup>	2,01 €	375,63 €
<b>Kosten Abwasser</b>		186,88	m <sup>3</sup>	2,14 €	399,92 €
<b>Niederschlagswasser</b>					
Dachfläche	40	qm			
Jahresniederschlag	611	l/qm			
Niederschlagswasser	24,4	m <sup>3</sup>		2,14 €	versickert
<b>Summe Option 2</b>					<b>817,55 €</b>
<b>Kostenreduktion in Prozent</b>					<b>6 %</b>
<b>Ersparnis gegenüber Option 1</b>					<b>52,30 €</b>

Tabelle 10: Kostenermittlung Wasserverbrauch Option 2: Abwasser und Niederschlag in öffentliche Kanalisation, Versickerung Niederschlag, Quelle: DGJ

<sup>20</sup> BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.: Wasser macht Schule. Abwasserreinigung / Abwasserentgelte. - <http://www.wasser-macht-schule.com/index.php?id=43>, Stand Februar 2008.



**Option 3: Grauwassernutzung**

Durch eine Nutzung des Niederschlagswassers (Grauwassernutzung) kann der Verbrauch von Frischwasser um ca. 40% gesenkt werden. Aus dem gefilterten Niederschlagswasser können die Gartenbewässerung, Toiletenspülung und der Wasserbedarf der Waschmaschinen gedeckt werden:

<b>Gesamtbedarf</b>	<b>Summe</b>	<b>128</b>	<b>l/d</b>	
WC Spülung		30	l/d	23%
Garten		3	l/d	2%
Körperreinigung		57	l/d	45%
Geschirrspülung		10	l/d	8%
Trinken / Kochen		3	l/d	2%
Wäsche Waschen		18	l/d	14%
Sonstiges		7	l/d	5%
<b>Substitution</b>	<b>Summe</b>	<b>51</b>	<b>l/d</b>	<b>40%</b>
WC Spülung		30	l/d	23%
Garten		3	l/d	2%
Wäsche Waschen		18	l/d	14%
<b>Nicht Substitution</b>	<b>Summe</b>	<b>77</b>	<b>l/d</b>	<b>60%</b>
Körperreinigung		57	l/d	45%
Geschirrspülung		10	l/d	8%
Trinken / Kochen		3	l/d	2%
Sonstiges		7	l/d	5%

Tabelle 11: Der durchschnittliche tägliche Wasserbedarf pro Person sowie die durch Grauwasser substituierbaren Anteile, Quelle: DGJ

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Tagesmengen	Pro Person		128	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>46720</b>	<b>l/a</b>		
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>			
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>186880</b>	<b>l/a</b>		
<b>Kosten</b>						
<b>Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentliche Kanalisation</b>						
			Menge		Preis	Kosten
<b>Summe Option 1</b>						<b>869,85 €</b>
<b>Option 3: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Grauwassernutzung, Versickerung Niederschlag</b>						
			Menge		Preis	Kosten
<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>						
<b>Reduktion des Frischwasserverbrauchs des 40%</b>						
<b>Substitution</b>	<b>Pro Person</b>		<b>51</b>	<b>l/d</b>		
	WC Spülung		30	l/d		
	Garten		3	l/d		
	Wäsche Waschen		18	l/d		
<b>Nicht Substitution</b>	<b>Pro Person</b>		<b>77</b>	<b>l/d</b>		
	Körperreinigung		57	l/d		
	Geschirrspülung		10	l/d		
	Trinken / Kochen		3	l/d		
	Sonstiges		7	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>28105</b>	<b>l/a</b>		
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>			
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>112420</b>	<b>l/a</b>		
	<b>Grundpreis</b>		12	Mon.	3,50 €	42,00 €
	<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>		112,42	m3	2,01 €	225,96 €
	<b>Kosten Abwasser</b>		112,42	m3	2,14 €	240,58 €
	<b>Niederschlagswasser</b>					
	Dachfläche	40	qm			
	Jahresniederschlag	611	l/qm			
	Niederschlagswasser		0	m3	2,14 €	versickert
<b>Summe Option 3</b>						<b>508,54 €</b>
<b>Kostenreduktion in Prozent</b>						<b>41,54%</b>
<b>Ersparnis gegenüber Option 1</b>						<b>361,31 €</b>

Tabelle 12: Kostenermittlung Wasserverbrauch mit Grauwassernutzung pro Jahr, unterschiedliche Optionen, Quelle: DGJ

**Option 4: Kompaktanlagen, SBR-Anlagen**

Wenn man auf dem Grundstück eine Kleinkläranlage errichtet, in der das Abwasser aufbereitet werden kann, so besteht auch die Möglichkeit das Abwasser dezentral auf dem Grundstück zu klären. Am häufigsten kommen hierzu bei beengten Grundstücken kompakte SBR-Kleinkläranlagen (Sequence Batch Reactor) zum Einsatz. Hier wird das Abwasser aufgestaut und sequenzweise im Reaktionsbehälter verarbeitet. Die eigentliche Reinigung wird wie bei den Großanlagen durch Bakterien geleistet, die organische Rückstände zersetzen und Schadstoffe abbauen. Die Anlagen bestehen dementsprechend aus zwei bis drei Kammern, durch die das Abwasser geführt und in jeder Kammer zunehmend gereinigt wird. Die Anlage verbraucht elektrische Energie für das Pumpen des Abwassers zur Anlage und innerhalb der einzelnen Prozessabschnitte. Die erzielte Qualität des Abwassers ist je nach Anlage unterschiedlich. Die meisten Anlagen erreichen eine Qualität, die es erlaubt, das geklärte Abwasser lokal zu versickern.

Tagesmengen	Pro Person	128	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>46720</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>		
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>186880</b>	<b>l/a</b>	
<b>Kosten</b>					
<b>Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentlichen Kanalisation</b>					
		Menge	Preis	Kosten	
<b>Summe Option 1</b>					<b>869,85 €</b>
<b>Option 4: SBR-Kleinkläranlage, Grauwassernutzung, Versickerung Niederschlag und Überschuss Kläranlage</b>					
		Menge	Preis	Kosten	
<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>					
<b>Reduktion des Frischwasserverbrauchs 52%</b>					
<b>Substitution</b>	<b>Pro Person</b>				
	WC Spülung	30	l/d	61	l/d
	Garten	3	l/d	3	l/d
	Wäsche Waschen	18	l/d	18	l/d
	Geschirrspülung	10	l/d	10	l/d
<b>Nicht Substitution</b>	<b>Pro Person</b>			<b>67</b>	<b>l/d</b>
	Körperreinigung	57	l/d	57	l/d
	Trinken / Kochen	3	l/d	3	l/d
	Sonstiges	7	l/d	7	l/d
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>24455</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>		
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>97820</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Grundpreis</b>	12	Mon.	3,50 €	42,00 €
	<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>	97,82	m3	2,01 €	196,62 €
	<b>Kosten Abwasser Niederschlagswasser</b>	97,82	m3	2,14 €	209,33 €
	Dachfläche	40	qm		
	Jahresniederschlag	611	l/qm		
	Niederschlagswasser	0	m3	2,14 €	versickert
<b>Betriebskosten Kläranlage (Energie und Wartung)</b>					<b>200,00 €</b>
<b>Summe Option 4</b>					<b>647,95 €</b>
<b>Kostenreduktion in Prozent</b>					<b>25,51%</b>
<b>Ersparnis gegenüber Option 1</b>					<b>221,90 €</b>

Tabelle 13: Kostenermittlung Wasserverbrauch mit Nutzung von Kompaktanlagen und SBR-Anlagen pro Jahr, unterschiedliche Optionen, Quelle: DGJ

### **Pflanzenkläranlagen**

Wenn auf dem Grundstück ausreichende Außenflächen zur Verfügung stehen, kann auch eine Pflanzenkläranlage errichtet werden. Die Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Tropfkörper. Dieser ist ein Becken mit einem porösen Trägermaterial, auf dessen Oberfläche sich die Bakterien ansiedeln, die die Abwässer klären, indem sie Schadstoffe zersetzen. Die Pflanzen haben die Funktion mit ihren Wurzeln den Tropfkörper aufzulockern. Da die Anlage meist durch ein natürliches Gefälle durchflossen wird, sind der Energieverbrauch und die Betriebskosten der Anlage geringer als bei den SBR-Anlagen. Die Reinigungsleistung der Pflanzenkläranlagen ist bei richtiger Dimensionierung der Anlage besser als die der SBR-Anlage. Die Pflanzenkläranlagen, die mit attraktiven Pflanzen, wie Schliff oder immergrünem Bambus bepflanzt werden können, werten die Außenräume auf. Für Innenstadtlagen besteht die Schwierigkeit, dass die Becken unter Umständen nicht auf einem engen Grundstück zu verorten sind.

**Option 5: Kleinkläranlagen mit Mikrofiltration Membran-Kläranlagen**

Seit einigen Jahren sind auch Kleinkläranlagen im Handel, die Abwasser auf Badewasserqualität klären. Dies wird erreicht, indem nach einer Klärung im SBR-Verfahren das vorgeklärte Abwasser in einer Mikrofiltration gereinigt wird. Die Filter sind dabei so fein, dass Bakterien ausgefiltert werden und nur Viren ausgesondert werden können, da sie zu klein sind. Das Wasser kann anschließend zum Baden und Duschen verwendet werden. Dadurch kann der Verbrauch von Frischwasser noch weiter gesenkt werden.

Die Filter müssen, um funktionsfähig zu bleiben, gespült werden. In den Spülgängen wird das Filtrat aus den Filtern entfernt. Das Spülen verursacht einen hohen Energieverbrauch der Mikrofiltrationsanlagen.

Tagesmengen	Pro Person	128	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>46720</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>		
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>186880</b>	<b>l/a</b>	
<b>Kosten</b>					
<b>Option 1: Abwasser und Niederschlag in öffentlichen Kanalisation</b>					
		Menge	Preis	Kosten	
<b>Summe Option 1</b>				<b>869,85 €</b>	
<b>Option 5: SBR-Kleinkläranlage mit Mikrofiltration (Badewasserqualität), Grauwassernutzung, Versickerung Niederschlag und Überschuss Kläranlage</b>					
		Menge	Preis	Kosten	
	<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>				
	<b>Reduktion des Frischwasserverbrauchs</b>	8%			
<b>Substitution</b>	<b>Pro Person</b>	<b>118</b>	<b>l/d</b>		
	WC Spülung	30	l/d		
	Garten	3	l/d		
	Wäsche Waschen	18	l/d		
	Geschirrspülung	10	l/d		
	Körperreinigung	57	l/d		
<b>Nicht Substitution</b>	<b>Pro Person</b>	<b>10</b>	<b>l/d</b>		
	Trinken / Kochen	3	l/d		
	Sonstiges	7	l/d		
<b>Jahresmenge</b>	<b>pro Person</b>	<b>365</b>	<b>3650</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Anzahl der Personen (EW)</b>		<b>4</b>		
<b>Jahresmenge</b>	<b>4 Personen</b>		<b>14600</b>	<b>l/a</b>	
	<b>Grundpreis</b>	12	Mon.	3,50 €	42,00 €
	<b>Kosten Frischwasserverbrauch</b>	14,6	m3	2,01 €	29,35 €
	<b>Kosten Abwasser Niederschlagswasser</b>	14,6	m3	2,14 €	31,24 €
	Dachfläche	40	qm		
	Jahresniederschlag	611	l/qm		
	Niederschlagswasser	0	m3	2,14 €	versickert
	<b>Betriebskosten Kläranlage (Energie und Wartung)</b>			ca.	450,00 €
<b>Summe Option 5</b>				<b>552,59 €</b>	
<b>Kostenreduktion in Prozent</b>				<b>36,47%</b>	
<b>Ersparnis gegenüber Option 1</b>				<b>264,96 €</b>	

Tabelle 14: Kostenermittlung Wasserverbrauch mit Kleinkläranlagen pro Jahr, unterschiedliche Optionen, Quelle: DGJ

**Das abwasser-freie Haus: Verdunstungsanlagen**

Um Gebäude zu entwickeln, die unabhängig von der öffentlichen Kanalisation und einer zentralen Kläranlage funktionieren, sind die Abwasser auf dem Grundstück und im Gebäude zu entsorgen. Bausteine hierzu sind Grauwassernutzung und Abwasseraufbereitung durch Kleinkläranlagen. Trotz dieser Maßnahmen zum Wasserrecycling verbleibt ein Überschuss an Abwasser. In den meisten Fällen wird für den Überlauf des Systems eine Versickerung des geklärten Abwassers über die belebte Bodenschicht geplant. Da diese Lösungen nicht an jedem Standort wasserrechtlich zulässig sind (Gewässerschutz, Grundwasserentnahme für Trinkwasserbereitung) oder der Untergrund nicht versickerungsfähig ist, kann eine Verdunstung des überschüssigen Abwassers vorgesehen werden. Hierzu werden meist Pflanzenverdunstungsanlagen genutzt, bei denen Pflanzenbeete das Wasser aufnehmen und über die Blätter verdunsten.

### 3 Ökobilanz. Vergleichende Untersuchung der ökologischen Wirkungsgefüge

In diesem Kapitel werden die ökologischen Folgen der beiden Vergleichsobjekte betrachtet. Aspekte dieser Diskussion, wie z.B. der Wasserhaushalt des Gebäudes, wurden bereits in dem Abschnitt über die Entwicklung des Prototypen diskutiert. Eine ganzheitliche Erfassung aller Umweltfolgen eines Gebäudes zu machen, sprengt den Rahmen des Vorhabens. In vielen Bereichen ist die Grundlagenforschung in Hinblick auf Bewertungs- und Berechnungsmethoden nicht entwickelt und die notwendigen Daten nicht verfügbar. In diesem Vorhaben werden deswegen die nach heutigem Kenntnisstand wichtigsten Umweltwirkungen in Form einer Reihe von Indikatoren oder Wirkungskategorien ermittelt, die sich auf eine Empfehlung des runden Tisches für nachhaltiges Bauen beziehen. Für diese Indikatoren wird eine Ökobilanzierung durchgeführt, mit der die Material- und Energieströme quantifiziert werden, die zur Errichtung und Betrieb des Gebäudes notwendig sind. Methodische Grundlage hierfür ist die DIN ISO 14040.

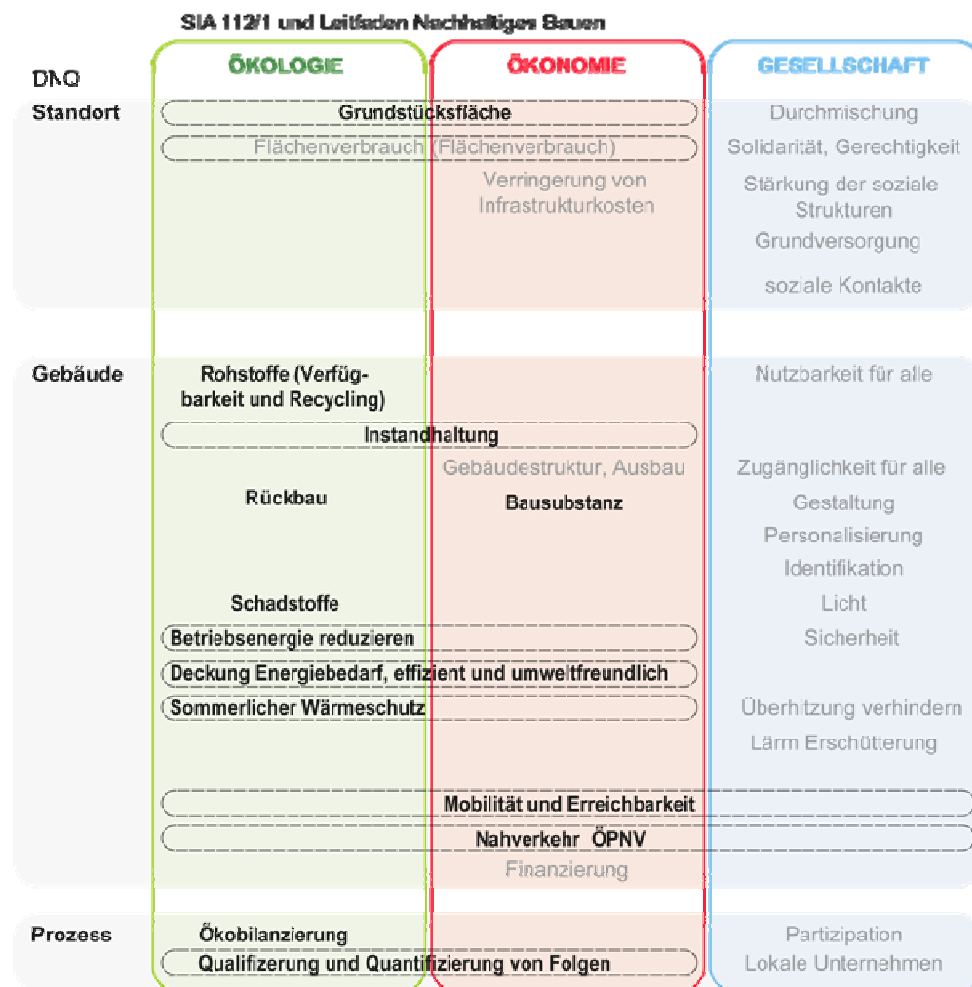


Tabelle 15: Kapitelübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ

Eines der Hauptanliegen dieser Studie ist es, eine möglichst umfassende Untersuchung der ökologischen Folgen durchzuführen. Während energetische Simulationen in den meisten Fällen die Betrachtung der Herstellung vernachlässigen, erfassen viele Ökobilanzierungen nur die Baumaterialien und machen keine Aussage über deren Wirkung im Gebäude und Auswirkungen auf deren Betrieb. Um eine umfassendere

Betrachtung zu erreichen, wurden die Wirkungen des Gebäudes in Module unterteilt, die getrennt bilanziert wurden, aber vergleichbar bleiben, so dass ihr Anteil am Gesamtsystem ablesbar ist.

Eine Ökobilanzierung nach DIN ISO 14 040 erfasst und bewertet eine definierbare Gruppe von Umwelteinflüssen eines Produktes oder Prozesses im Verlauf seines Lebens von der Rohstoffgewinnung bis zur endgültigen Beseitigung. Sie besteht grundsätzlich aus 4 Abschnitten:

- **Festlegung des Bilanzraumes und Nennung des Zieles**
- **Sachbilanz**
- **Wirkungsabschätzung**
- **Auswertung**

### **3.1 Festlegung von Zielsetzung und des Untersuchungsrahmen der Ökobilanz**

Ziel der Ökobilanzierung ist eine vergleichende Betrachtung der Umweltfolgen der Errichtung und des Betriebs zweier Wohngebäude über einen Zeitraum von 50 Jahren. Dabei stehen drei Fragestellungen im Vordergrund:

- Wie unterscheidet sich die Bauweise des Prototypen (Minihaus) von der konventionellen Bauweise (Haus Riedberg)?
- Welche Wirkungsanteile haben die einzelnen Lebensphasen oder Module an der Gesamtwirkung des Gebäudes?
- Welche funktionellen Einheiten (Bauteile oder Betriebseinheiten) haben welche Wirkanteile und lassen sich am effektivsten optimieren.

Durch den Vergleich der Einwirkungen der Module (Herstellung, Betrieb, Instandhaltung, Rückbau und Mobilität) wird eine Aussage möglich darüber, welchen Einfluss die einzelnen Bilanzierungs-Module haben und wie die Summe aller Wirkungen optimiert werden kann. Im Zuge der Entwicklung des Prototypen wurden eine ganze Reihe von Optimierungsschritten an Baukonstruktion, Materialeinsatz, Energieverbrauch und -erzeugung vorgenommen, die hier im Einzelnen nicht dargestellt werden können. Der Vergleich bezieht sich nur auf die beiden Gebäude als fertiges Produkt. Von einer Variantenstudie und dem Vergleich von Varianten wurde zu gunsten einer besseren Ablesbarkeit der Ergebnisse abgesehen. Es muss jedoch betont werden, dass es sich bei der Durchführung einer solchen Planung und der begleitenden Ökobilanzierung um einen die Planung begleitenden Prozess handelt, bei dem das Ergebnis in zahlreichen Iterationsstufen optimiert wird. Das zu diesem Zweck entwickelte und hier vorgestellte Instrument zur Ökobilanzierung von Gebäuden hat sich dabei in besonderer Weise als hilfreich erwiesen, weil es eine verknüpfte Gesamtschau der Module und Teilaspekte zulässt. Dadurch können die Anzahl der Iterationen verringert werden, bzw. Teiliterationen zusammengefasst und gemeinsam betrachtet werden.

Durch die hier eingesetzte Methode einer vergleichenden Bilanzierung mit schrittweise erweiterten Systemgrenzen soll gezeigt werden, dass die Ergebnisse einer solchen Untersuchung maßgeblich durch die eingesetzte Methodik bestimmt werden. Die derzeit gesetzlich eingesetzte Bewertung der Umwelteinwirkungen von Gebäuden ist die EnEV. Diese bildet allein die Betriebsenergie der Gebäude während der Nutzungsphase ab. Die Umwelteinwirkungen durch die Herstellung oder den Rückbau der Gebäude werden nicht erfasst. Es ist das Hauptanliegen der vorliegenden Studie darzustellen, dass für die Entwicklung zukunftsfähiger Gebäude eine möglichst ganzheitliche Betrachtung der Umwelteinflüsse notwendig ist. Der nächste Schritt dieser Entwicklung ist die Einbeziehung von Produktion, Errichtung und Rückbau. Die vorliegende Studie zeigt aber auch, dass eine Erfassung der Folgen wie Landverbrauch, Errichtung von städtischer Infrastruktur und der Mobilität von entscheidender Bedeutung ist.

Es ist festzuhalten, dass die Ökobilanzierung bei der Entwicklung des Prototypen nicht retrospektiv als Bewertungsinstrument eingesetzt wurde, sondern bei der Planungsarbeit ständig aktualisiert wurde und deswegen als integraler Bestandteil der Planung gewirkt hat. So ist das Entwicklung des Prototypen nicht als Ergebnis sondern als dynamischer Prozess zu verstehen, bei dem mit der Ökobilanzierung die Planung stetig optimiert wurde. Durch die kontinuierliche Auswertung kann der aktuelle Planstand in Hinblick auf die Ökobilanzdaten geprüft und gegebenenfalls verbessert werden. Die ökologische Optimierung ist von der Methode einfach durch mehrere Iterationsschritte zu erreichen. So muss der Planungsstand in das Ökobilanzierungs-Instrument eingegeben werden und dann das Ergebnis gezielt auf die grossen Werte und Anteile hin geprüft werden. Für die Bauteile oder Materialien, die sich besonders ungünstig auswirken müssen Alternativen geprüft und eingesetzt werden. Werden mehrere Iterationen dieser Art



durchgeführt, so lassen sich erhebliche Verbesserungen erreichen, indem die Schlüsselgrößen angegangen und optimiert werden, ohne, dass das ganze Gebäude umgeplant werden muss.

Das vorliegende Ergebnis bildet den gebauten Zustand des Prototypen ab. Grundsätzlich sind auch hier noch Möglichkeiten für eine ökologische Optimierung gegeben, die jedoch aufgrund der begrenzten Laufzeit der Planung und Entwicklungsarbeit nicht voll ausgeschöpft werden konnten. Es ging auch deswegen Zeit verloren, weil das Ökobilanzierungs-Instrument erst im Rahmen der Forschungsarbeit entwickelt und verbessert wurde. Man kann sich vorzustellen, dass mit dem hier entwickelten Ökobilanzierungs-Instrument eine Planung effektiver und schneller optimiert werden kann.

### Zielgruppe

Die hier vorgestellte Bilanzierung wurde für eine möglichst einfache Integration in den Planungsprozess entwickelt. Sie soll Architekten und Planern Aufschluss geben über die ökologische Wirkung der eingesetzten Bauteile und Konstruktionen. Das im Forschungsvorhaben entwickelte Werkzeug ist als methodischer Versuch zu verstehen, der für den Einsatz in der Praxis insbesondere in Hinblick auf die Eingaben und die Verknüpfungen vereinfacht und verbessert werden müsste. In der Entwurfslehre des Fachgebietes Entwerfen und Energieeffizientes Bauen der Technischen Universität Darmstadt wurde im Sommersemester 2007 und Wintersemester 2007/08 das Werkzeug mit einem ebenfalls vom Fachgebiet entwickelten Werkzeug zur energetischen Simulation von Gebäuden kombiniert. Das dabei entstandene Werkzeug BUSTER<sup>21</sup> erlaubt, bei vergleichsweise geringer Eingabedichte von Angaben über Gebäudehülle, Volumetrie und Baumaterialien eine integrative Betrachtung von energetischen Aspekten aus Baukonstruktion und Betrieb eines Gebäudes. Ein Großteil der hierfür erforderlichen Angaben ist im Rahmen der ohnehin notwendigen energetischen Nachweise für den Bauantrag zusammenzutragen. Die Entwicklung eines praxistauglichen Werkzeugs, das sowohl den Betrieb als auch die Herstellung und den Rückbau des Gebäudes erfasst ist deswegen sinnvoll und notwendig. Für Interessierte stellen wir auf der Homepage des Forschungsprojektes eine Gamma-Version des in der Lehre verwendeten Werkzeugs zur Verfügung: <http://www.minihouse.info/BUSTER>

### 3.1.1 Beschreibung der beiden Vergleichsgebäude (funktionelle Einheiten)

Im ersten Schritt der Ökobilanzierung ist die zu untersuchende funktionelle Einheit festzulegen. Diese Untersuchung bezieht sich auf Herstellung, Betrieb und Instandhaltung eines Wohngebäudes über den Zeitraum von 50 Jahren. Dabei sollen Stoff- und Energieströme erfasst werden, die zur Erbringung dieser Funktion notwendig sind.

Die beiden verglichenen Häuser sind in ihrer Nutzung ähnlich: Beide sind Wohngebäude, die für die gleiche Anzahl von Bewohnern geplant wurden. Das Haus in Riedberg hat eine, das Minimum Impact House zwei getrennt oder gemeinsam nutzbare Wohneinheiten. Beide Häuser sind vom Typ ein Reihenendhaus, was bedeutet, dass eine der Umschließungswände an ein Nachbargebäude grenzt. Beide Objekte haben eine Nutzfläche von rund 150m<sup>2</sup>. Die Dachterrasse wird dabei abweichend von der DIN276 nicht eingerechnet, weil der Garten des Vergleichsgebäudes durch die DIN276 nicht erfasst wird und damit ein verzerrtes Bild entstünde. Die Nutzfläche umfasst neben der Wohnfläche auch die Kellerräume. Da der Prototyp kein Kellergeschoss besitzt, wurde ein Vergleichs-Gebäude gewählt, das eine gleiche Nutzfläche hat, weil die Häuser mit gleicher Wohnfläche zuzüglich Kellergeschoss deutlich größer waren. Die Funktionalität für den Nutzer definiert sich aus der gesamten Nutzfläche. Nach EnEV berechnet sich die Energie-Bezugsfläche aus dem Gebäudevolumen (Energiebezugfläche = 0,32 \* BGV). Aufgrund der anderen Höhenentwicklung der Geschoße ist diese beim Minihaus größer.

Die Häuser unterscheiden sich aber hinsichtlich der Konstruktion und der technischen Ausstattung. Das Vergleichshaus in Riedberg ist ein gängiges Modell eines Neubaus in Massivbauweise. Es besteht aus Stahlbeton- und Kalksandsteinmauerwerkswänden und besitzt einen Dachstuhl aus Holz. Es ist an allen Außenflächen wärmedämmend und wird mit einem Gasbrennwertkessel für Heizung und Warmwassererzeugung betrieben. Es unterschreitet die Anforderungen der EnEV<sup>22</sup> und erfüllt den Standard KfW60, d.h. es hat einen maximalen bezogenen Heizwärmeenergiebedarf unter 60 kWh/qm\*a.

<sup>21</sup> Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen am Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt; Prof. Hegger, Manfred; Keller, Michael: BUSTER. im Bereich Ökobilanzierung für das vorliegende Forschungsprojekt entwickelte Ökobilanzierungswerkzeug, Darmstadt.

<sup>22</sup> Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. (Energieeinsparverordnung – EnEV) BGBl. I S. 3146, 2. Fassung, 2004.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Das Minimum Impact House ist im Passivhausstandard<sup>23</sup> ausgeführt und dementsprechend besser gedämmt als das Haus in Riedberg. Die Fenster des MIH sind zudem besser isolierend und schützen durch eine effektive Verschattung vor Überhitzung im Sommer. Die Konstruktion des MIH ist im Erdgeschoss massiv ausgeführt, alle weiteren Geschosse sind in einer Holzrahmenkonstruktion gebaut und gut gedämmt. Als Wärmequelle für die Heizung und das warme Wasser dient eine Luft-Luft-Wärmepumpe.

Für die Bilanzierung wurde davon ausgegangen, dass beide Gebäude mit jeweils 4 Personen belegt sind, weil sich bei dieser Belegung eine Wohnfläche pro Kopf von ca 37,5qm ergibt, die ungefähr dem statistischen Mittel von 39,2qm/Pers<sup>24</sup> entspricht.



				
<b>Typ</b>	Reihenendhaus	Reihenendhaus		
<b>Standort</b>	innerstädtisch	Vorortsiedlung		
<b>Wohneinheiten</b>	2	1		
<b>Personen</b>	4	4		
<b>Geschosse</b>	4,5	2 + Keller		
<b>BGF</b>	203,1qm	187,4qm		
<b>Nutzfläche</b>	<b>Nutzfläche NF=154qm (ohne Dachterrasse),</b> HNF (Wohnfläche) nach DIN 276 = 154 m <sup>2</sup> (davon 19qm/2=9,5m <sup>2</sup> Dachterrasse) , NNF = 3,6qm, VF (Treppen) = 13,9qm	<b>Nutzfläche NF= 154,1qm,</b> HNF (Wohnfläche inkl. Flure) nach DIN 276 = 123 m <sup>2</sup> , NNF = 31,1qm, VF (Treppen) = 9,5qm		
<b>Volumen</b>	666 m <sup>3</sup>	614 m <sup>3</sup>		
<b>Konstruktion</b>	Holzrahmenbau mit massivem Sockel	Massivbau		
<b>Heizwärmebedarf</b>	15 kWh/m <sup>2</sup> a	46 kWh/m <sup>2</sup> a		
<b>Haustechnik</b>	Luft-Luft - Wärmepumpe	Brennwertkessel Gas		
<b>Bauteile</b>	U-Wert	U-Wert		
<b>Außenwand</b>	EG: Stahlbeton mit 20cm WDVS, OG1-3: Holzständerkonstruktion mit 40 cm Dämmung zwischen Ständern	KS Mauerwerk mit 12cm WDVS	0,12 / 0,13	0,34
<b>Fenster</b>	dreifach low-e neutralite Verglasung, Holzrahmen	Zweifachverglasung, Argon gefüllt, Kunststoffrahmen	0,63	1,15
<b>Dach</b>	Holzbalken Flachdach, 18 +12 cm WD	Holzkonstruktion, 18 cm Dämmung zw. Sparren	0,1	0,21
<b>Bodenplatte</b>	Stahlbeton,	Stahlbeton,	0,11	0,31
<b>Decken</b>	Stahlbeton, Holzbalken	Stahlbeton		
<b>Innenwände</b>	Stahlbeton, Holzständer	Stahlbeton, Trockenbau		
<b>Gebäudetrennwand</b>	Ziegelmauerwerk	Kalksandsteinmauerwerk		
<b>Heizwärmebedarf</b>	13,9 KWh / qm * a	46,0 KWh / qm * a		
<b>Trinkwassererwärmung nach EnEV</b>	12,5 KWh / qm * a	12,5 KWh / qm * a		

Tabelle 16: Tabellarische Übersicht der Gebäudekennwerte Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ

<sup>23</sup> Der Passivhausstandard wird laut Passivhausinstitut in Darmstadt bei einem Jahresheizwärmebedarf unter 15kWh/m<sup>2</sup>a, einem Luftwechsel über die Gebäudehülle bei 50 Pascal Druckdifferenz unter 0,6 je Stunde und einem gesamten maximalen Primärenergieverbrauch von 120 kWh/m<sup>2</sup>a erreicht.

<sup>24</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

**3.1.2 Bilanzraum, Bilanzräume: Definition der Module (Systemgrenzen)**

Die Studie kombiniert mehrere Ökobilanzen, deren Bilanzräume gegeneinander abgegrenzt sind. Die einzelnen Bilanzen sind jedoch einer gleichen Methodik, Datengrundlage und funktionellen Einheit zu Grunde gelegt, weswegen die entstehenden Einzelbilanzen als Module einer übergeordneten Gesamtbilanz betrachtet werden und kombiniert werden können. Die homogenisierten Einzel-Ökobilanzen werden in folgenden Modulen genannt, weil sie eine Gesamtschau zulassen. Die Module sind dabei so definiert, dass Sie den zeitlichen und räumlichen Betrachtungsrahmen schrittweise ausweiten.



Abbildung 16: Übersicht Bilanzräume, Quelle: DGJ

- Modul 1: Herstellung des Gebäude (Baumaterialien und Baubetrieb)
- Modul 2: Betrieb des Gebäudes über 50 Jahre
- Modul 3: Instandhaltung des Gebäudes über 50 Jahre
- Modul 4: Mobilität
- Modul 5: Rückbau
- [Modul 6: Infrastruktur – nicht Gegenstand der Ökobilanzierung]
- [Modul 7: Landverbrauch – nicht Gegenstand der Ökobilanzierung]

**Modul 1: Herstellung des Gebäude (Baumaterialien und Baubetrieb)**

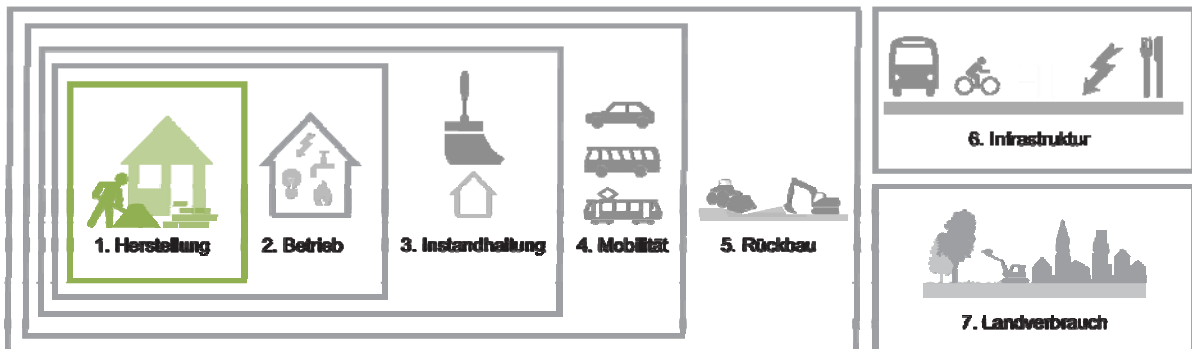


Abbildung 17: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ

Im Kern der Betrachtung stehen die beiden Vergleichsgebäude, deren Herstellung und Betrieb zunächst analysiert werden. Es werden alle Materialien und Prozesse erfasst, die zur Errichtung des Gebäudes notwendig sind. Da die verwendeten Lebenszyklusdaten die Entsorgung der Materialien beinhalten, sind in diesem Modul auch deren Emissionen erfasst.

**Modul 2: Betrieb des Gebäude über 50 Jahre**

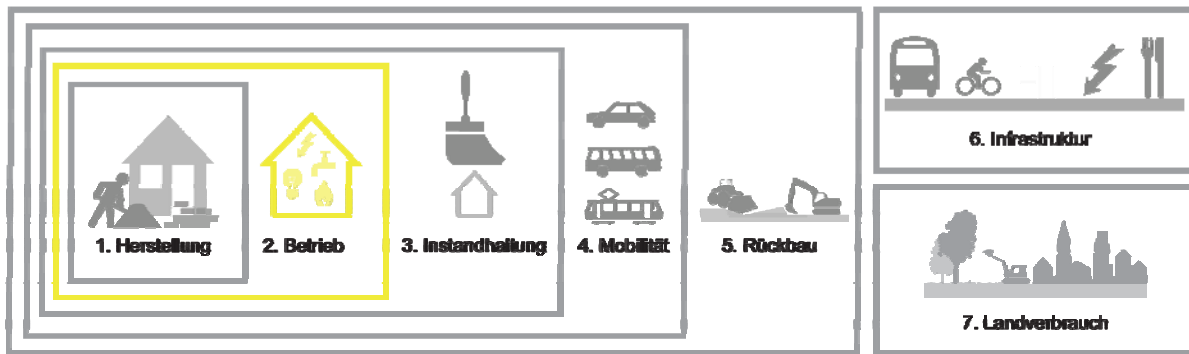


Abbildung 18: Bilanzraum 2. Betrieb, Quelle: DGJ

Im Modul Betrieb wird die Betriebsenergie nach EnEV erfasst. Diese umfasst den Energieverbrauch für Heizung und einen normierten flächenabhängigen Warmwasserverbrauch. In das Modul wurde ferner der Energieverbrauch für die Gebäudelüftung (maschinelle Gebäudelüftung), künstliche Beleuchtung und eine Grundlast der Haushaltgeräte eingerechnet. Diese Verbräuche wurden auf einen Zeitraum von 50 Jahren hochgerechnet. Dabei wurde davon ausgegangen, dass der Energieverbrauch für diese Funktionen für den Betrachtungszeitraum konstant bleibt, auch wenn davon ausgegangen werden kann, dass im Laufe der 50 Jahre effizientere Technologien entwickelt werden, welche die eingebauten Systeme ersetzen werden. Da diese Entwicklung in ihrer Größenordnung nicht abzuschätzen ist, wird dieser Effekt vernachlässigt.

Es werden alle Materialströme bilanziert, die zur Errichtung des Gebäudes notwendig sind. Aufgrund mangelnder Daten wurden keine Verpackungsmaterialien für die Baumaterialien berücksichtigt. Hier ist jedoch davon auszugehen, dass die mengenmäßig relevanten Baustoffe, wie Beton, Baustahl, KS-Steine, Holzrahmen für Wände und Decken, ohne Verpackungen geliefert wurden und deshalb nur für Kleinteile wie Installationen, Ausbaumaterialien und Beschichtungen größere Abfallmengen anfallen.

**Modul 3: Instandhaltung des Gebäudes über 50 Jahre**

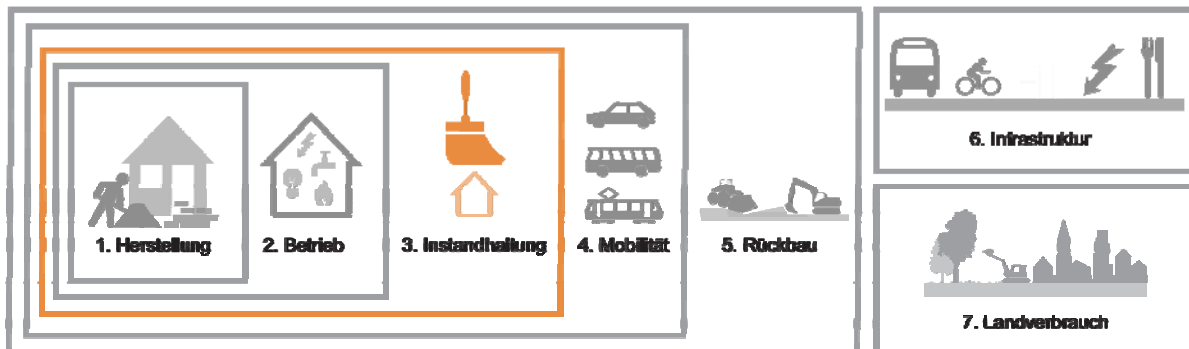


Abbildung 19: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ

In diesem Module werden alle zum Erhalt der Bausubstanz notwendigen Baumaterialien über den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren erfasst. Hierzu werden den Bauteilen und Beschichtungen Instandhaltungsintervalle zugewiesen, nach denen das Bauteil oder die Beschichtung erneuert wird. Die Lebenszykluswerte sind dem Forschungsprojekt „Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der Detail Atlantenserie“<sup>25</sup> entnommen und nur in Einzelfällen an die Gegebenheiten der jeweiligen Einbausituation angeglichen worden.

<sup>25</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Der zeitliche Betrachtungsrahmen beschränkt sich bei dem MIH auf 50 Jahre. In dem für das vorliegende Forschungsprojekt geschaffene Bilanzierungswerkzeug war es möglich, einen anderen Zeitraum einzustellen, das Ergebnis zeigte aber keine signifikant abweichenden Werte.

### Modul 4: Mobilität

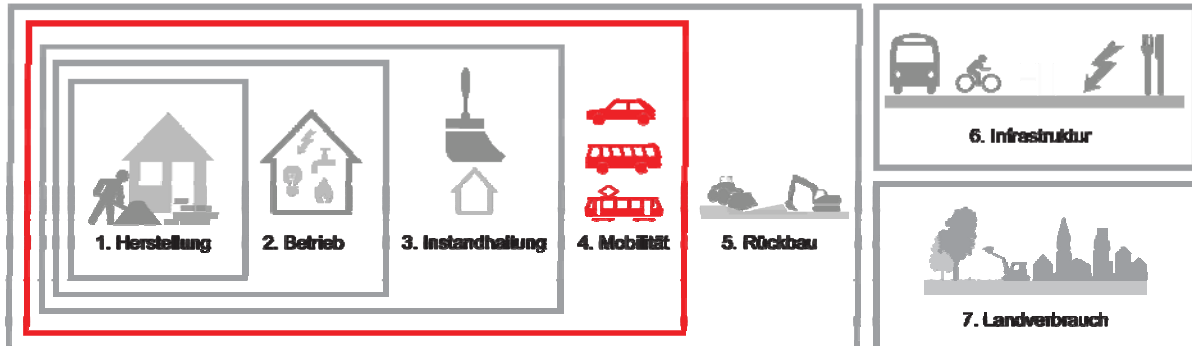


Abbildung 20: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ

Andere vergleichende Ökobilanzierungen für Wohngebäude (Pohlmann<sup>26</sup>, Quack<sup>27</sup>) definieren die Systemgrenze der Bilanzierung so, dass die Herstellung der Materialien, die Errichtung und der Betrieb des Gebäudes sowie der Rückbau und die Entsorgung erfasst werden. Im Fall des Vergleichs zwischen einem Neubau in einer Bausiedlung und einer Nachverdichtung innerhalb eines bestehenden Stadtgebietes vernachlässigt diese Betrachtung den Aufwand für die standortbezogene Fahrleistung. Eine umfassende und diesen Aspekte einbeziehende Studie soll mit dem Minimum Impact House erstellt werden. Hierbei wird nur die alltägliche Mobilität berücksichtigt. Urlaubsreisen oder Fahrten für Freizeitliche Aktivitäten werden nicht eingerechnet.

### Modul 5: Rückbau des Gebäudes (ohne Entsorgung)

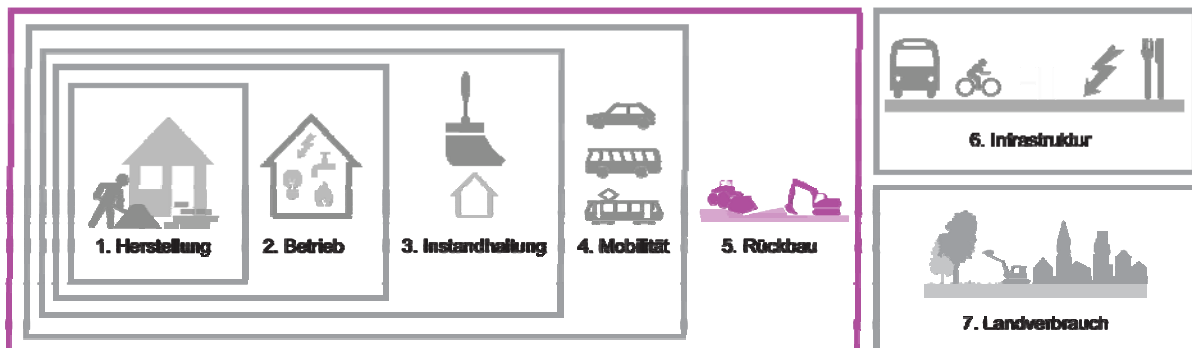


Abbildung 21: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ

Die verwendeten Datensätze für die Ökobilanzdaten der Baumaterialien beschreiben die Emissionen für die Materialien im gesamten Lebenszyklus (Von der Wiege bis zur Bäre, bzw. Von der Wiege bis zur Wiege bei recyclebaren Materialien). In der verwendeten Datengrundlage (-> s. dazu 3.1.3. Datengrundlage) sind in den Werten der Herstellung auch die der Entsorgung der Materialien inbegriffen und müssen nicht getrennt berechnet werden.

### Energieverbrauch für den Rückbau des Gebäudes

Da der Output für die Entsorgung der Materialien in den Baustoffkennwerten erfasst ist, würde für den Rückbau allein der Aufwand des Rückbaus vor Ort bilanziert werden müssen. Cevin Marc Pohlmann schlägt hier eine Pauschale von 5% des Aufwandes der Herstellung vor.

<sup>26</sup> Pohlmann, Cevin Marc: Ökologische Betrachtungen für den Holzbau. Dissertation vorgelegt am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg 2002.

<sup>27</sup> Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.

**[Modul 6: Infrastruktur (nicht quantifiziert)]**

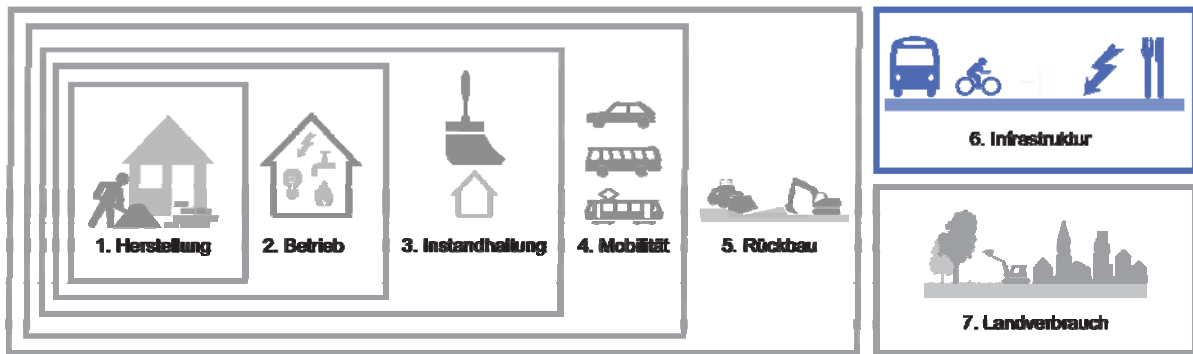


Abbildung 22: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ

Es war geplant und wurde versucht, valide Aussagen über die ökologische Wirkung der für einen neuen Stadtteil geschaffenen Infrastruktur zu machen. Dabei wurde davon ausgegangen, dass für den Prototypen, der in eine bestehende und funktionierende Stadtstruktur eingefügt wurde, keine neue städtische Infrastruktur geschaffen werden muss. Bei einer Neuansiedlung in einer zuvor landwirtschaftlichen Fläche muss jedoch eine Infrastruktur neu gebaut werden, um die Grundstück zu erschließen und die Bewohner zu versorgen.

In diesem Modul wurde zunächst ermittelt, welche städtische Infrastruktur im Stadtteil Riedberg errichtet wurde:

**Erschließung, Ver- und Entsorgung**

- öffentliche Straßen und Wege
- öffentlicher Verkehr
- private Straßen und Wege
- Versorgungsleitungen (Wasser, Gas, Strom, Medien)
- Kanalisation

**Gebäude**

- soziale Einrichtungen (Schule, KiTa, Kirche)
- Handel
- Gewerbe
- öffentlicher Verkehr
- technische Infrastruktur: Wasser und Abwasser, Gas, Strom

**[Modul 7: Landverbrauch (nicht quantifiziert)]**

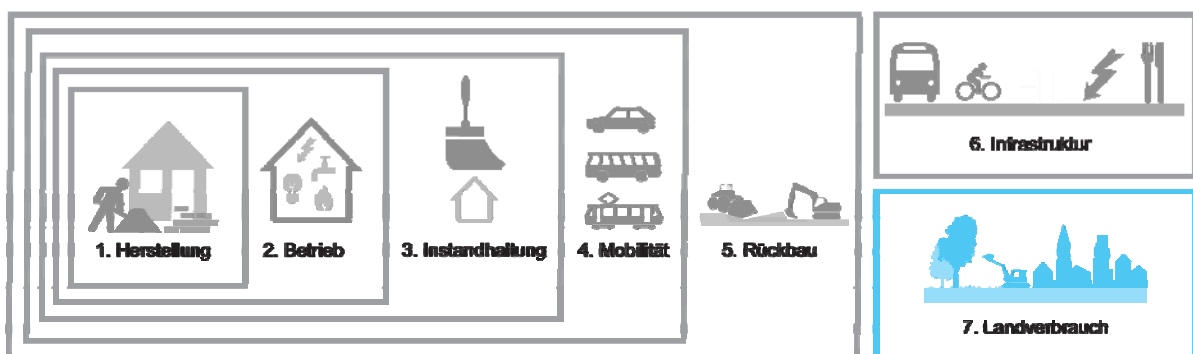


Abbildung 23: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ

Neben der Wirkung, die von den Stoff- und Energieströmen ausgeht, welche für Errichtung und Betrieb von Gebäuden und Infrastruktur nötig sind, bedeutet Bauen auch die Störung natürlicher Ressourcen: Naturräume werden zerstört, Flächen werden versiegelt, die Artenvielfalt durch die Verkleinerung des Lebensraumes von Pflanzen und Tieren gefährdet.

Es war geplant, die ökologischen Folgen des Landverbrauchs zu quantifizieren und als ein Modul in die Gesamtbilanz einzugliedern. Auch hier ließ sich keine Sachbilanz erstellen, die eine Zuordnung nach definierten Wirkungskategorien zugelassen hätte. In der Sachbilanz werden deswegen allein die verbrauchten Flächen erfasst und beschrieben. Die ermittelten Flächenwerte waren:

- Landverbrauch insgesamt;
- überbaute Fläche;
- versiegelte Fläche;

Der Landverbrauch bundesweit wird derzeit auf ca. 100ha pro Tag geschätzt.<sup>28</sup> Der Boden hat mehrere wichtige Funktionen, die für die Umwelt relevant sind:

- Biotop-Funktion
  - Biomasse (CO<sub>2</sub> – Bindung)
  - Artenvielfalt
- Landwirtschaftliche Nutzfläche
  - Biomasse, (CO<sub>2</sub> – Bindung)
  - Regenerative Energien (Ersatz fossiler Energieträger)
- Wasserhalt
  - Retentionsflächen
  - Versickerungsflächen zur Grundwasserbildung

### **Allgemeine Angaben zu Systemgrenzen**

Nach DIN ISO

### **3.1.3 Datengrundlage, Datenherkunft**

#### Ökobilanzdaten für Baustoffe

Aufgrund der teilweise aufwendigen Eingabe und nicht transparenten Auswertung bestehender Ökobilanzierungswerkzeuge wurde im Rahmen des vorliegenden Vorhabens ein neues Werkzeug entwickelt.

Um die in den Modulen erarbeiteten Ergebnisse vergleichbar zu halten, wurde darauf geachtet, dass eine einheitliche Datengrundlage für alle Baumaterialien verwendet wird. Auf diese Weise kann davon ausgegangen werden, dass die Systemgrenzen der Bilanzierungen, die den Baustoffkennwerten zu Grunde liegen gleich sind. Dadurch werden die Ergebnisse vergleichbar. Durch die Homogenisierung der Baustoffkennwerte sollte auch sichergestellt werden, dass die Ergebnisse in jedem Fall qualitativ richtig sind. Durch den Einsatz eines anderen Eingangsdatensatzes ist es möglich, dass sich absolut andere Werte ergeben, weil z.B. die Systemgrenze innerhalb einer Produktionskette anders gesetzt wurde, doch die Verhältnisse der Werte sollten gleich bleiben. Die Daten der ökologischen Folgen der einzelnen Materialien sind dem Baustoffatlas<sup>29</sup> entnommen. Die hier veröffentlichten Ökobilanzwerte und Baustoffkennwerte gehen auf ein Forschungsprojekt „Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der Detail Atlantenserie“<sup>30</sup> zurück, dass von der DBU im Vorfeld der Arbeit am Baustoff- Atlas gefördert wurde. In dem Schlussbericht Forschungsprojekt zu Nachhaltigkeitskennwerten von Baumaterialien wurden Werte für verschiedene Baustoffe zusammengetragen und als übersichtliches Tabellenwerk veröffentlicht<sup>31</sup>. In diesem Projekt wurde die Datengrundlage der zwei anerkannten Lebenszykluskosten-Software verglichen

<sup>28</sup> Preetz, Holger: Bewertung von Bodenfunktionen für die praktische Umsetzung des Bodenschutzes. Halle-Wittenberg 2003.

<sup>29</sup> Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias u.a.: Baustoff Atlas. München 2005.

<sup>30</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

<sup>31</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

und vermittelt.<sup>32</sup> Dabei wurde eine große Übereinstimmung der Daten festgestellt (70%). In den übrigen Fällen wurde die Gründe für die Abweichungen recherchiert und eine Homogenisierung der Daten im Sinne einer einheitlichen Definition von Systemgrenzen vorgenommen. Für die vorliegende Studie wurden die erforderlichen Daten herausgezogen und als Grundlage für die Ökobilanzierung in einem Tabellendokument für die Tabellenkalkulation zusammengefasst. (siehe Anhang - Ökobilanztafel)

Material	Beschreibung	Substanz [kg/m <sup>3</sup> ]	SEIZUSUMME MATERIAL	SEIZUSUMME ENERGIE MATERIAL	FAKTOR	SEIZUSUMME ENERGIE DATEN	PEI n. em. Proz. EA n. em. [MJ]	PEI em. Proz. EA em. [MJ]	OMP Treibhauspot. [kgCO <sub>2</sub> eq]	ODP Ozonabbau [kgF11eq]	AP Versauerung [kgSO <sub>2</sub> eq]	EP Umwelttoxizität [kgPO <sub>4</sub> eq]	POCP Klimawirkung [kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]
<b>Naturstein</b>													
Granit	Herkunftsland Indien, poliert	2750	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	9837	332	626	0,000120	4,5	0,45	0,35
Sandstein / Kalk	ortsnaher Herkunft	2550	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	4099	153	253	0,000047	0,5	0,05	0,05
Schieferplatten	ortsnaher Herkunft, gesägt	2700	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	4658	165	296	0,000055	0,6	0,10	0,08
Marmor	Herkunftsland Italien, poliert	2700	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	6749	249	422	0,000080	1,8	0,20	0,16
<b>Lehm- und Zementbaustoffe</b>													
Stampflehm		2200	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	158	1	10	0,000003	0,1	0,01	0,01
Lehmsteine	Grünlinge	1200	1,00 m <sup>3</sup>			m <sup>3</sup>	1257	4	74	0,000003	0,1	0,01	0,02
<b>Baustoffe mit mineralischen Bindemitteln</b>													

Abbildung 24: Auszug aus der Baustoffkennwerttabelle, Quelle: DGJ

Die Anforderung an die Ökobilanzdaten ist, dass sie auf eine einheitliche Erfassung zurückgehen. Diese konnte dadurch gewährleistet werden, dass für die Baustoffkennwerte nur eine Quelle eingesetzt wurde.

Allein die Daten für die Phenolharz – Fassadenplatten aus einer anderen Quelle genommen, weil für ein solches Material keine Daten vorlagen. Da der Hersteller der Platten (Parkler) keine Ökobilanzdaten zur Verfügung stellen konnte, wurden Daten einer vergleichbaren Platte (Trespa)<sup>33</sup> eingesetzt, deren Daten vom Hersteller angegeben wurden.

### Ökobilanzdaten für Energieträger

Die Daten für die Wirkabschätzung der Energieverbräuche sind der Untersuchung von Dietlinde Quack<sup>34</sup> entnommen:

Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden  
Anhang 2: Beschreibung der Hausvarianten

	Einheit	PEB nicht erneuerbar [TJ]	PEB erneuerbar [TJ]	Treibhauspotenzial [kg CO <sub>2</sub> Äq.]	Ozonabbau [kg CO <sub>2</sub> Äq.]	Versauerung [kg SO <sub>2</sub> Äq.]	Überdüngung [kg PO <sub>4</sub> Äq.]	Sommersmog [kg Ethen Äq.]	Wintersmog [kg SO <sub>2</sub> Äq.]
Erdgas in Heizung atm. Brenner <100 kW	TJ	1,32E+00	1,91E-02	6,90E+04	6,98E-03	8,85E+01	1,16E+01	2,70E+01	3,78E+01
Erdgas in Heizung atm. LowNOx Brennwert <100kW	TJ	1,32E+00	1,91E-02	6,89E+04	6,98E-03	6,75E+01	7,70E+00	2,63E+01	3,78E+01
Erdgas in Heizung Gebläsebr LowNOx <100kW	TJ	1,33E+00	2,82E-02	6,90E+04	7,07E-03	6,49E+01	7,06E+00	2,64E+01	3,87E+01
Heizöl EL in Heizung 10 kW Brennwert	TJ	1,35E+00	3,35E-02	8,81E+04	1,60E-01	1,86E+02	1,83E+01	9,00E+01	1,35E+02
Strom Niederspannung - Bezug in UCPE	TJ	3,54E+00	2,58E-01	1,63E+05	5,84E-02	1,20E+03	4,24E+01	3,89E+01	1,09E+03

Tabelle 17: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Wohngebäuden, Quelle: Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.

<sup>32</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

<sup>33</sup> LCA ACCORDING TO NEN 8006:2004 OF TRESPA METEON PANELS MRPI-file of TRESPA October 2006, Final report after assessment, ing. R.R.J.H. Rouwette, März 2007, S.20

<sup>34</sup> Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.



### Ökobilanzdaten für Mobilität

Die Daten für die Wirkabschätzung der Mobilität sind dem Forschungsprojekt „Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der Detail Atlantenserie“<sup>35</sup> entnommen. Hier wurden Werte für den Transport mit Lastkraftwagen angegeben. Diese wurden auf den geringeren durchschnittlichen Treibstoffverbrauch heruntergerechnet.

### Gebäudedaten und Massenermittlung

Die Daten der Gebäude wurden mit der im Rahmen des Forschungsvorhabens programmierten Tabellenkalkulation anhand von Zeichnungen, Leistungsverzeichnissen und Ausschreibungstexten ermittelt. Für den Prototypen war dabei die Ausführungsplanung von Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH maßgeblich. Die Werkplanungsunterlagen des Vergleichsobjekts wurden vom Bauträger zur Verfügung gestellt und der Massenermittlung zu Grunde gelegt.

### Flächenverbrauch und Siedlungsstruktur

Die Flächenanteile des Stadtteils Riedberg wurden mit Hilfe des von der Stadt Frankfurt erlassenen Bebauungsplans ermittelt. Auch wenn der Ausbau des Gebiets bis 2015 geplant ist, wurde bei den Berechnungen der endgültige Ausbau angesetzt, weil die Flächenanteile für Erschließung im Teilausbau unverhältnismäßig hoch sind. Mit einer CAD-Anwendung wurden die Flächenanteile nachvollzogen und die Funktionsbereiche zugeordnet.

### 3.1.4 Festlegung der Wirkungskategorien (Wirkungskategorien 1-7)

Im Folgenden werden die Wirkungskategorien beschrieben, die in der Ökobilanz erfasst werden. Die hier erfassten Wirkungskategorien wurden vom „Runden Tisch für Nachhaltiges Bauen“ festgelegt, der vom Deutschen Bundesministerium für Verkehr, Bauwesen und Stadtentwicklung BMVBS initiiert wurde.

#### •Primärenergie nicht erneuerbar [MJ] und Primärenergie erneuerbar PEI [MJ] Primär Energie Inhalt

Der Primärenergieinhalt stellt im Allgemeinen die gesamte Herstellungsenergie dar, die für die Produktion eines Materials benötigt wird. Es werden dabei sowohl die Energiegehalte der Rohstoffe als auch die weiteren Energieeinträge durch die Bearbeitung und Umwandlung der Rohstoffe in das Endprodukt ermittelt. Unterschieden wird in erneuerbare und nicht erneuerbare Primärenergiegehalte der Materialien. Erneuerbare Primärenergie kann aus dem Material, z.B. durch Verbrennen, wieder gewonnen werden. Nicht erneuerbare Energie wird bei der Herstellung aufgewendet, aber nicht mehr im Material gespeichert, weil sie z.B. als Abwärme in der Produktion abgeht.

Als Vergleichsgröße für den Energieverbrauch kann der Durchschnittsverbrauch in Deutschland herangezogen werden.

Der Primärenergieverbrauch je Einwohner der Bundesrepublik Deutschland betrug im Jahr 2000: 172,6 GJ = 1.726.000 MJ<sup>36</sup>. Das entspricht 479.444,5 kWh. Daraus ergibt sich, wenn man den Anteil der erneuerbaren Energie mit 11% annimmt, folgende Primärenergieverbräuche (pro Jahr und Pers):

- durchschnittlicher Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbar: 1.536.140 MJ = 426.705,5 kWh
- durchschnittlicher Primärenergieverbrauch, erneuerbar: 186.860 MJ = 51.905,5 kWh

<sup>35</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

<sup>36</sup> Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung, auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Christine Ostrowski, Eva-Maria Bulling-Schröder und der Fraktion der PDS – Drucksache 14/6936 – Entwicklung des Energieverbrauchs 2000 und 2001. - <http://dip.bundestag.de/btd/14/070/1407047.pdf>, vom 08.10.2001, Stand Juli 2008.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

An diesem Verbrauch ist der grösste Teil von 41% gebäudebezogen (Betrieb und Strom).<sup>37</sup> Daraus ergeben sich folgende Durchschnittswerte für den Gebäudebereich (pro Jahr und Pers):

- durchschnittl. Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbar, Gebäude: 629.400 MJ = 174.833,3 kWh
- durchschnittlicher Primärenergieverbrauch, erneuerbar, Gebäude: 76.600 MJ = 21.277,8 kWh

auf 50 Jahre und 4 Personen hochgerechnet:

- durchschnittl. Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbar, Gebäude: 125.880.000MJ = 34.966.667kWh
- durchschnittlicher Primärenergieverbrauch, erneuerbar, Gebäude: 15.322.000 MJ = 4.256.111kWh

An diesem Verbrauch ist der grösste Teil für die Wohnungs-Nutzung aufgewendet. Geht man von einer durchschnittlichen Wohnfläche von 39,2qm/EW<sup>38</sup> aus und dem durchschnittlichen Energieverbrauch<sup>39</sup> von 647MJ/m<sup>2</sup>\*a = 179KWH/m<sup>2</sup>\*a (nur Raumwärme) aus, so ergeben sich folgende Zuordnungen für die Erzeugung von Raumwärme:

Durchschnittl. Verbrauch pro Quadratmeter:	647 MJ/m <sup>2</sup> a	= 179 kWh/m <sup>2</sup> a
Durchschnittl. Verbrauch pro Person (39,2qm WF):	25.362 MJ/EWa	= 7.016 kWh/EWa
Durchschnittl. Verbrauch pro 4 Pers.Haushalt:	101.449 MJ/4EWa	= 28.067 kWh/4EWa

Bei diesen Vergleichswerten ist noch ein Anteil für die Stromversorgung, die Herstellung und Instandhaltung des Gebäudes und die Mobilität zuzurechnen, um sie mit den folgenden Werten der Vergleichsgebäude vergleichen zu können.

Die hohen Werte ergeben sich aus dem schlechten energetischen Standard. Ein Vergleich mit diesen Werten kann nicht massgeblich sein für eine nachhaltige Zukunft. Eine nachhaltige Strategie hat die EMPA (Eidgenössische Material Prüfungsanstalt, Abteilung Energiesysteme/Haustechnik) mit dem Konzept der 2000 Watt Gesellschaft vorgestellt.<sup>40</sup> Von dem weltweiten Durchschnittsverbrauch ausgehend wurde errechnet, welcher Energieverbrauch ökologisch, ökonomisch und auf Dauer sozialverträglich für alle Weltregionen angesehen werden kann.

Das Konzept sieht eine kontinuierliche Reduktion der täglichen Energieverbräuche vor:

Primärenergieverbrauch [W/P]	Jahr 2000	Jahr 2050	Jahr 2150 bzw. 2200
<b>Werte für Schweiz. Deutschland ca. 25% geringer</b>			
Totaler Primärenergieverbrauch [W/P]	6385 (CH)	4000	2000
Fossiler Primärenergieverbrauch [W/P]	4085 (CH)	2000	500
Regenerat. Primärenergieverbrauch [W/P]	2300 (CH)	2000	1500

### Diese Massgabe der Vision-2000-Watt Gesellschaft folgende Jahresrichtwerte pro Kopf:

Gesamter Primärenergieverbrauch:	17.500 kWh/Pers*a
Fossiler Primärenergieverbrauch:	4.375 kWh /Pers*a
Regenerat. Primärenergieverbrauch:	1.094 kWh /Pers*a

<sup>37</sup> Europäische Kommission, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Weniger kann mehr sein – Grünbuch über Energieeffizienz. Luxemburg, 2006.

<sup>38</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>39</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>40</sup> Koschenz, Markus; Pfeiffer, Andreas: Potenzial Wohngebäude, Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft. Schweiz, Dübendorf 2005.

**Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft:**

17.500 kWh/pers\*a, Anteil fossil max.

25%

	zulässig	
	kWh/m <sup>2</sup> a	pro Person, kWh/pers*a
<b>Material</b>	27,8	3.988
<b>Raumklima</b>	19,4	2.783
<b>Warmwasser</b>	11,0	1.578
<b>Strom</b>	36,0	5.164
<b>Mobilität</b>	27,8	3.988
<b>Summe</b>	<b>122</b>	<b>17.500</b>

Tabelle 18: Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft, Quelle: Koschenz, Markus; Pfeiffer, Andreas: Potenzial Wohngebäude, Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft. Schweiz, Dübendorf 2005.

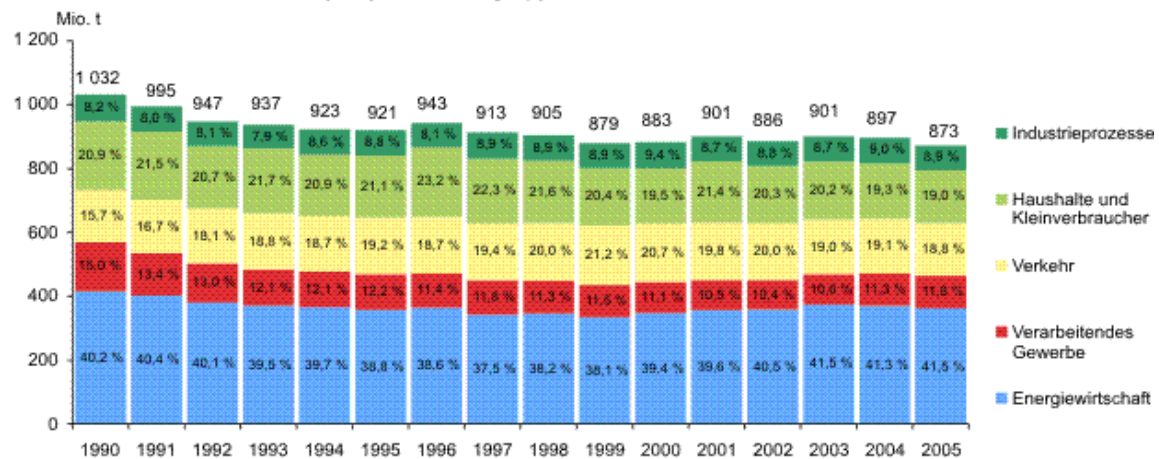
**• Treibhauseffekt GWP [kgCO<sub>2</sub>eq]  
Global Warming Potential**

Das Treibhauspotential gibt an, in welchem Maß die Emissionen (Vor allem Kohlendioxid, Methan, Lachgas und andere flüchtige Kohlenwasserstoffe) in die Atmosphäre gelangen und dort die Aufheizung des Klimas beeinflussen. Die Treibhausgase bewirken, dass ein Teil der Wärmestrahlung, die entsteht, wenn das Sonnenlicht auf die Erdoberfläche trifft und dort zu langwelliger Infrarotstrahlung umgewandelt wird, an den oberen Schichten der Atmosphäre reflektiert und wieder auf die Erde zurückgeworfen wird. Die Wärmeenergie bleibt dadurch in der Atmosphäre gefangen und die Temperaturen auf der Erde steigen. Dieser Effekt wird durch die Treibhausgase, die sich in der reflektierenden Schicht ansammeln, verstärkt. Dadurch wird immer mehr Wärmestrahlung auf die Erde reflektiert. Die Erdoberfläche heizt sich stärker auf.

Die Wirkung dieser Emissionen wird als Kohlendioxid-Equivalente angegeben und entsprechend umgerechnet.

10kg CO<sub>2</sub> -Ausstoß entsprechen dabei etwa der Aufbereitung und Verbrennung von 3L Heizöl.<sup>41</sup>

Als Vergleichswert für die ermittelten Werte können zwei Größen angegeben werden: Gemessen an den Gesamtemissionen ergeben sich pro Kopf durchschnittlich ca. 10,5 Tonnen pro Bundesbürger und Jahr (873 Mio.T/82,855 Mio.Pers.):



**Kohlendioxidemissionen:** ohne Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft  
**Verkehr:** ohne land- und forstwirtschaftlichen Verkehr  
**Haushalte und Kleinverbraucher:** mit land- und forstwirtschaftlichem Verkehr sowie Militär

Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990, Emissionsentwicklung 1990-2005, Treibhausgase und klassische Luftschadstoffe, inkl. erweiterte Auswertung und Äquivalentemissionen der Treibhausgase; <http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm> (22.05.2007)

Abbildung 25: Emissionen von Kohlendioxid nach Quellgruppen, Quelle: Umweltbundesamt, Stand Juli 2007

<sup>41</sup> Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias u.a.: Baustoff Atlas. München 2005.

Im Bundesdurchschnitt des Jahres 2003 lagen die Emissionen der privaten Haushalte bei 2510 kg/Pers\*a<sup>42</sup>. Für die beiden Funktionen Wohnen (ohne motorisierter Verkehr) ergibt sich ein Wert von 1448 kg/Pers\*a<sup>43</sup>.

### **Negativer Treibhauseffekt bei nachwachsenden Rohstoffen**

Nachwachsende Rohstoffe lagern während ihrer Wachstumsphase CO<sub>2</sub> ein. Diese Materialien haben daher einen negativen Wert in der Bilanzierung. *Das CO<sub>2</sub> in ihnen wurde zuvor der Atmosphäre entzogen, so dass es möglich ist, dass ein Haus über seinen gesamten Lebensweg weniger CO<sub>2</sub> an die Atmosphäre abgibt, als in seinen Baustoffen gespeichert ist*<sup>44</sup>. In der Bilanz wird das gespeicherte CO<sub>2</sub> mit dem entstehenden CO<sub>2</sub> durch die Produktion anderer Baumaterialien und durch den Betrieb des Hauses verrechnet. Das CO<sub>2</sub> wird nach der Nutzungsphase bei der Verbrennung oder Verrottung der Materialien wieder freigesetzt, wobei es bei der Verbrennung wieder zur Energieerzeugung genutzt wird (thermisches Recycling).

### **• Ozonabbaupotential ODP [kgR<sub>11</sub>eq]**

#### **Ozone Depletion Potential**

Das Ozonabbaupotential gibt an, inwieweit die Emissionen den Abbau der Ozonschicht fördern. Die Ozonschicht liegt in der oberen Teil der Atmosphäre und filtert UV-Strahlung aus der auf die Erde treffenden Sonnenstrahlung. Besonders langkettige Halogenkohlenwasserstoffe Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKWs) bewirken die Zersetzung des Ozons, was eine verstärkte UV-Strahlung auf der Erde zur Wirkung hat.

Die Werte werden an der Bezugsgröße Trichlorfluormethan R<sub>11</sub> (CCl<sub>3</sub>F oder FCKW 11) angegeben.

### **• Versauerungspotential AP [kgSO<sub>2</sub>eq]**

#### **Acidification Potential**

Das Versauerungspotential gibt an wie viele Emissionen, die bei der Herstellung der Materialien entstehen, aus der Atmosphäre gewaschen werden, sauren Niederschlag geben. Vor allem Schwefeldioxid aber auch Stickoxide bilden in Verbindung mit Wasser schwefelige Säure und Salpetersäure, die dann als saurer Regen zur Erde gelangen. Böden und bodennahes Wasser verändern dadurch ihren natürlichen PH-Wert. Auch beregnete Materialien können unter dem Einfluss der Säure leiden.

Gemessen werden die Werte an der Bezugsgröße Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).

### **• Überdüngungspotential EP [kgPO<sub>4</sub><sup>3</sup>eq]**

#### **Eutrophication Potential**

Das Überdüngungspotential gibt an, wie viele überschüssige Nährstoffe bei der Produktion von Materialien in das Ökosystem gelangen. Die Überdüngung führt zu einem Ungleichgewicht des Ökosystems und bringt Gewässer zum Umkippen. Des Weiteren kann Wasser durch die Überdüngung mit schädlichen Substanzen wie Nitrit belastet werden und über die Nahrungskette zu Lebensmittelvergiftungen führen. Gemessen werden die Werte an der Bezugsgröße Phosphat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>).

### **• Sommersmogpotential POCP [kgC<sub>2</sub>H<sub>4</sub>eq]**

#### **(Bildung von bodennahem Ozon)**

#### **Photochemical Oxidant Creating Potential**

Das Sommersmogpotential gibt über die Konzentration von Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen, Auskunft darüber, wieviel bodennahes Ozon durch den Einfluss von kurzweiligem Licht (UV-Strahlung) entsteht. Ozon reizt die Schleimhäute und kann chronische Atemwegserkrankungen hervorrufen.

Ausgewiesen wird der Wert durch die Bezugsgröße Ethan (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

<sup>42</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>43</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>44</sup> Pohlmann, Cevin Marc: Ökologische Betrachtungen für den Holzbau. Dissertation vorgelegt am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg 2002, S.71.

Die Wirkabschätzung erfolgt durch die Interpretation der errechneten Outputs vor dem Hintergrund von Durchschnittswerten und Benchmarks.

Aufgrund der grossen Datenmenge wurde die Wirkanabschätzung in den Einzel-Modulen 1 – 5 auf folgende Indikatoren beschränkt:

- Primärenergie nicht erneuerbar	PEI (n.ern.)	[MJ]
- Primärenergie erneuerbar	PEI (ern)	[MJ]
- Treibhauseffekt	GWP	[kgCO <sub>2</sub> eq]

Die weiteren Wirkungskategorien wurden nur für die Zusammenfassung der Module 1 – 5 ausgewertet. Die Einzelwerte der Teil-Module sind im Anhang vollständig enthalten.

### **3.1.5 Art und Umfang der kritischen Prüfung**

Die Ergebnisse wurden auf mehreren Ebenen kritisch geprüft. Zunächst wurden die ermittelten Volumina und Gewichte der einzelnen Bauteile mit Erfahrungs- und Überschlagswerten verglichen. Die in der Tabelle eingetragenen Werte, die teilweise durch automatische Verknüpfungen errechnet werden, wurden durch manuelle Rechnungen und Überschlagsrechnungen nachvollzogen. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass keine Massenfehler in der Tabelle auftreten. In einem zweiten Prüfschritt wurden die ermittelten Ergebnisse mit Ökobilanzen für andere Gebäude verglichen. Hierbei konnte festgestellt werden, dass unter Berücksichtigung der Unterschiedlichkeit der Gebäude, Konstruktion und Energieverbrauchsdaten realistische Werte bei den hier vorliegenden Ökobilanzen ermittelt wurden.

Die vorliegende Ökobilanz ist als vergleichende Studie der Gebäudetypen zu lesen. Deswegen wurde darauf geachtet, dass getroffene Annahmen, benutzte Daten und notwendige Vereinfachungen gleichartig auf alle Vergleichsgebäude angewendet wurden. Die ermittelten Werte haben absolute Aussagekraft, die jedoch auf die beschriebenen Systemgrenzen beschränkt bleiben.

## 3.2 Sachbilanz

Die Sachbilanz umfasst Datenerhebung und Berechnungsverfahren zur Quantifizierung relevanter Input- und Outputflüsse. Da die verwendete Datengrundlage die Ökobilanzwerte aus den Massenanteilen der Bauteile errechnet, werden in der Sachbilanz eine Gewichts- und Volumen der Vergleichsobjekte zusammengestellt. Die Erfassung erfolgt gegliedert, so dass sich die funktionalen Gruppen vergleichen lassen.

### 3.2.1 Sachbilanz Modul 1: Herstellung

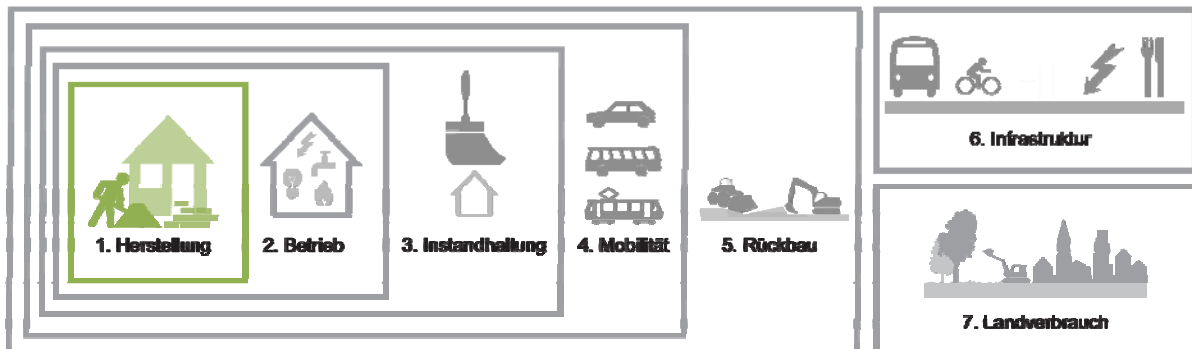


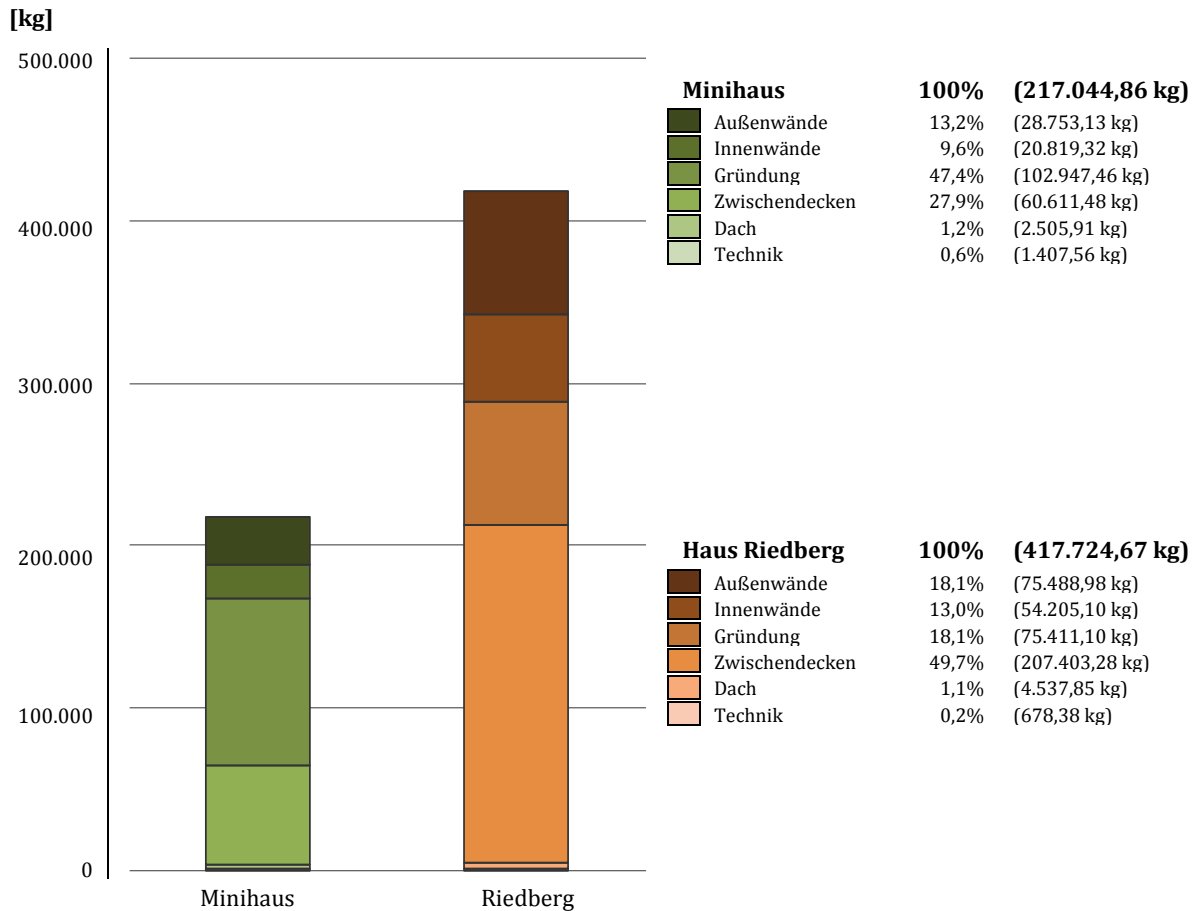
Abbildung 26: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ

Im Modul Herstellung werden die Material- und Energieströme der Herstellung der Gebäude erfasst. Ein wichtiger Indikator sind die Gesamtgewichte und Volumen der Gebäude. Hohe Eigengewichte deuten auf einen erhöhten Energieeinsatz für Herstellung und Transport. Auch der Aufwand auf der Baustelle nimmt bei steigenden Gewichten und Volumina zu. Bei der hier vorgestellten Methode, werden die Energieinhalte aus den Material- bzw. Volumenanteilen errechnet.

Die genauen Massen- und Volumenangaben sind im Anhang D: Massenermittlung und können dort nachgelesen werden.

**Sachbilanz Modul 1: Herstellung;**

**Kategorie: Masse**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:

Sachbilanz Modul 1: Herstellung;

Kategorie: Masse

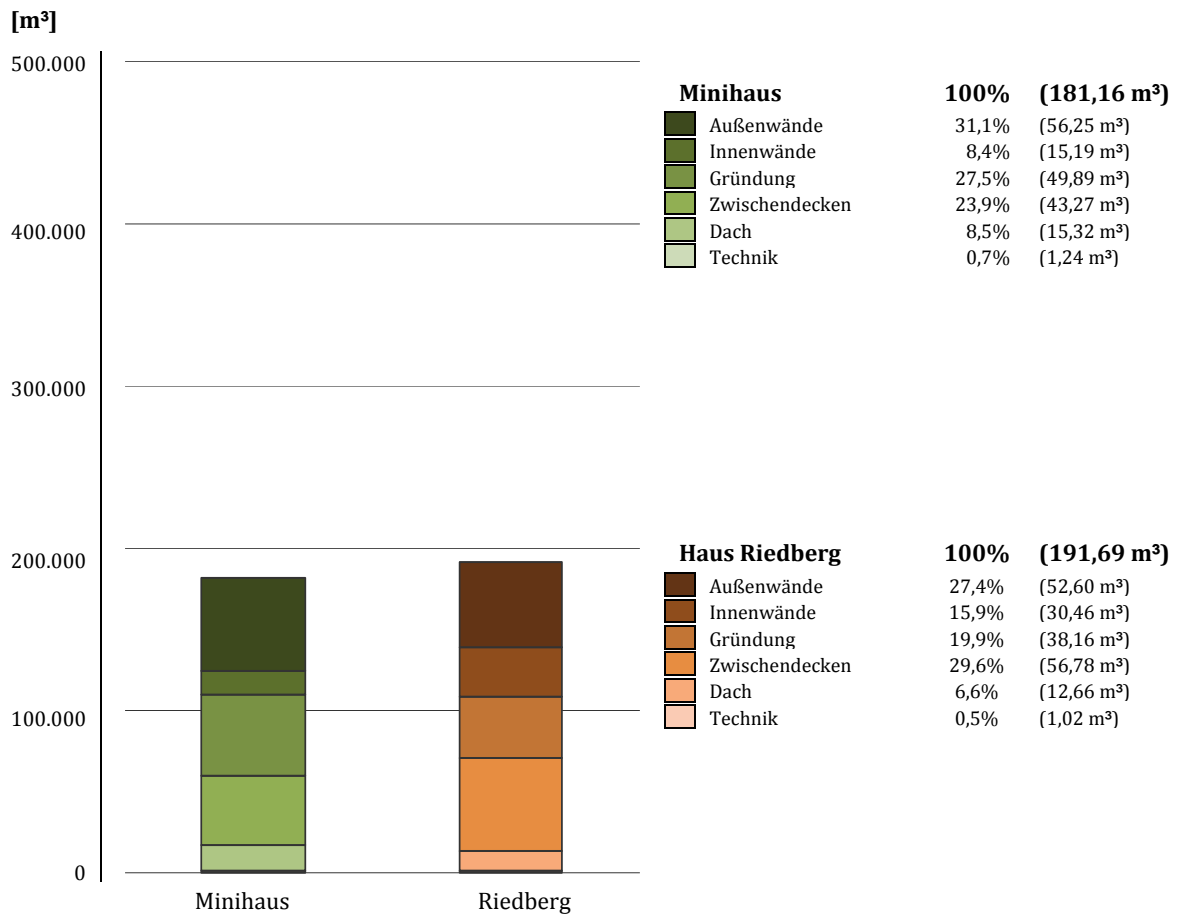
Abbildung 27: Sachbilanz Modul 1: Herstellung; Kategorie Masse, Quelle: DGJ

Die verbauten Massen sind ein wichtiger Indikator für die ökologische Einordnung des Gebäudes. Die Massen wirken sich auf den Aufwand für Baubetrieb, Transporte und die spätere Entsorgungen aus. Bei Baumaterialien wie Stahlbeton und Stahl besteht ein direkter Zusammenhang zwischen dem hohen Gewicht und dem Energieinhalten.

Bei der Betrachtung der Massen wird deutlich, dass die hohen Gewichtsanteile in den Stahlbetonbauteilen liegen. Beim Prototypen ‚Minihaus‘ kam eine sehr massereiche Brunnengründung zum Einsatz. Deswegen liegt fast die Hälfte der verbauten Masse in der Gründung. Auch beim Vergleichsobjekt steckt fast die Hälfte der verbauten Materie in den Zwischendecken und der Bodenplatte. Der hier verbaute Stahlbeton ist nicht nur in Hinblick auf die im Folgenden aufgeführten Wirkungskategorien kritisch zu beurteilen, sondern auch, weil es sich um einen Baustoff handelt, für den auf absehbare Zeit keine sinnvollen Recyclingverfahren zur Verfügung stehen werden, da die Komponenten Stahl und Beton nur mit hohem Aufwand separiert werden können.

In Summe ergibt sich für den Prototypen aufgrund der größtenteils leichteren Bauweise ein Gesamtgewicht, dass nur halb so groß ist wie das des Vergleichsobjektes in Massivbauweise. Es ist davon auszugehen, dass das Gewicht bei einer gezielten Reduktion der massenreichen Bauteile in Bereich Gründung und Zwischendecken, oder bei günstigeren Baugrundverhältnissen ein Spielraum zur weiteren Reduktion des Gesamtgewicht um ca. 25%-30% bestehen würde.

**Sachbilanz Modul 1: Herstellung;**  
**Kategorie: Volumen der verbrauchten Materialien**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Sachbilanz Modul 1: Herstellung;  
 Kategorie: Volumen der verbrauchten Materialien

Abbildung 28: Sachbilanz Modul 1: Herstellung; Kategorie: Volumen der verbrauchten Materialien, Quelle: DGJ



### 3.2.2 Sachbilanz Modul 2: Betrieb

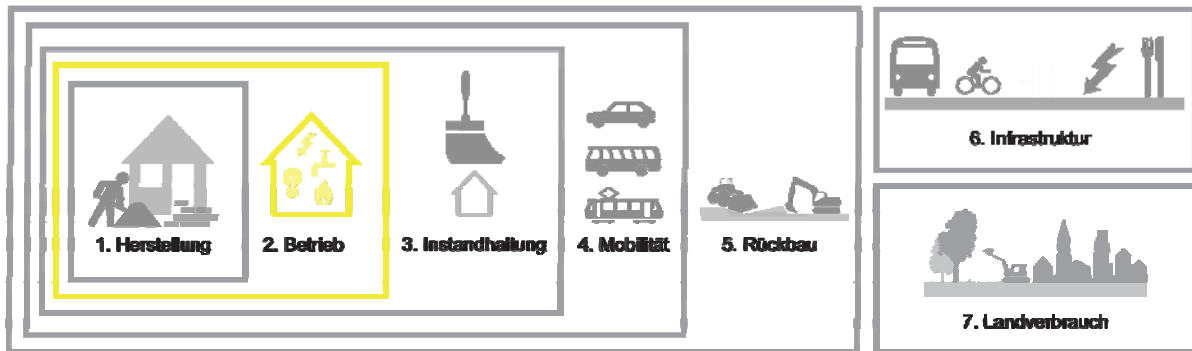


Abbildung 29: Bilanzraum 2. Betrieb, Quelle: DGJ

Die Sachbilanzen im Bereich Betrieb wurden mit Hilfe des Passivhaus Projektierungspakets PHPP2007 errechnet. Die Ermittlung der zu erwartenden Verbrauchswerte kann mit dieser Software genauer ermittelt werden als mit einer EnEV-Berechnung. Zum einen wird die Betriebsenergie für die Haustechnik, insbesondere für die Lüftungsanlage erfasst, außerdem bezieht das Programm den Stromverbrauch der elektrischen Verbraucher, sowie Waschen und Kochen mit ein.

Aus diesen Daten wurden folgende Verbräuche summiert. Den Endenergieverbräuchen werden erst in der Wirkungsbilanz die Primärenergieverbräuche zugeordnet, weil Primärenergieverbrauch gemäß der vorliegenden Bilanz als Wirkung definiert ist.

Die Sachbilanz zeigt einen deutlich geringeren Endenergiebedarf beim Prototypen für Heizung und Warmwasser, der auf die geringeren Wärmeverluste (Gebäudehülle, Wärmerückgewinnung bei Lüftung), die solaren Gewinne, Solarthermie und die effizientere Wärmeerzeugung zurückgeht. Der Endenergieverbrauch für Licht und Geräte ist höher, weil hier die Energie für die Lüftung erfasst wird. Die Verbräuche für die Haushaltsgeräte wurden für beide Gebäude gleich gerechnet.

**Sachbilanz Modul Betrieb: Prototyp ‚Minihaus‘**

<b>Energieträger:</b> Ökostrom	<b>Umwandlung Technologie</b> Wärmepumpe	/	<b>Minihaus - Deckung des Energiebedarfs Heiz+WW</b> [kWh/m <sup>2</sup> a]: 57%	
<b>Energiebezugsfläche nach EnEV</b>				<b>206,40</b>
<b>Heizwärmbedarf q<sub>H</sub></b>				<b>13,9</b>
<b>Trinkwassererwärmung q<sub>tw</sub> (EnEV)</b>				<b>12,5</b>
Lüftung hier nicht erfaßt				
<b>Summe:</b>				<b>26,4</b>
			<b>Bezogener Endenergiebedarf</b>	<b>Endenergiebedarf</b>
			<b>Summe Heiz+WW</b>	<b>Summe Heiz+WW</b>
			<b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>[kWh/a]</b>
Umweltwärme +Ökostrom	Kompaktgerät mit elektr. Wärmepumpe		6,077	1254,327
	Luft/Wasser (Aussenluft)			
	Luft/Waserr (Abluft)			
	Erdwärme/Wasser			
Strom - Ökostrom	für Licht und Geräte		18,597	3838,501

Tabelle 19: Übersicht Sachbilanz Modul Betrieb: Prototyp Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ

**Sachbilanz Modul**

**Betrieb: Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘**

<b>Energieträger:</b> Erdgas	<b>Umwandlung Technologie:</b> Verbrennung	<b>Verteilung/Abgabe Gebäude:</b> Heizleitungen, Heizkörper	<b>Riedberg – Solare Deckung des Energiebedarfs Heiz+WW [kWh/m<sup>2</sup>a]: 0%</b>	
<b>Energiebezugsfläche m<sup>2</sup></b>				<b>142</b>
<b>Heizwärmbedarf q<sub>H</sub></b>				<b>46</b>
<b>Trinkwassererwärmung q<sub>tw</sub> (EnEV)</b>				<b>12,5</b>
Lüftung hier nicht erfaßt				
<b>Summe:</b>				<b>58,5</b>
			<b>Bezogener Endenergiebedarf</b>	<b>Endenergiebedarf</b>
			<b>Summe Heiz+WW</b>	<b>Summe Heiz+WW</b>
			<b>[kWh/m<sup>2</sup>a]</b>	<b>[kWh/a]</b>
<b>Gas (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>		
	Gasbrennwert		74,297	10550,126
		Heizkörper Fussbodenheizung		
<b>Strom</b> <b>Ökostrom</b>	<b>- für Licht und Geräte</b>		16,477	2339,765

Tabelle 20: Übersicht Sachbilanz Modul Betrieb: Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ

### 3.2.3 Sachbilanz Modul 3: Instandhaltung des Gebäudes über 50 Jahre

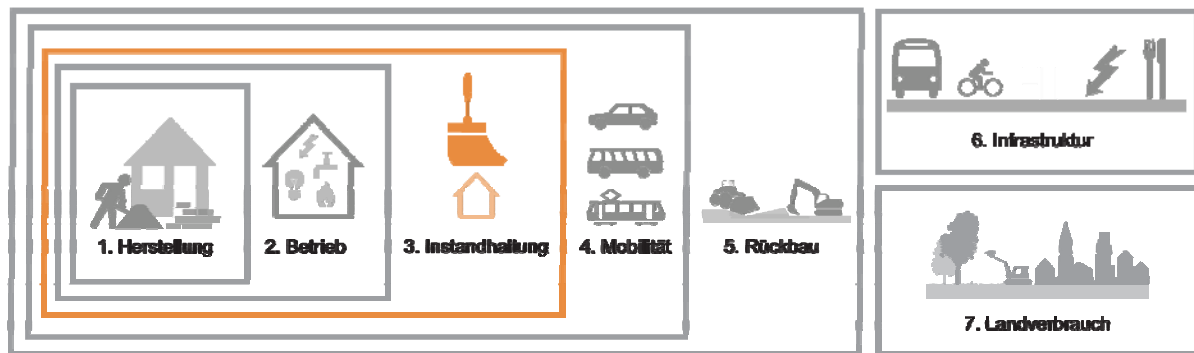


Abbildung 30: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ

Beim Modul Instandhaltung wird der Aufwand für Schönheitsreparaturen und technisch notwendige Reparaturen und Sanierungen ermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Bauteile in Abhängigkeit von ihrer Beanspruchung (äußere Einwirkungen wie Wind, Regen, Feuchte, Frost, Staub, Schadstoffe, Verschleiß, Einwirkungen der Nutzer) unterschiedliche Lebenserwartungen haben. Die in der Praxis eintretenden Werte können jedoch stark davon abweichen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass die Dauerhaftigkeit nicht immer ausschlaggebend für einen Austausch der zumeist Oberflächenmaterialien ist. Sowohl das Nutzerverhalten und der entsprechende Verschleiß als auch die allgemeine technische Entwicklung und Änderung der Standards haben Einfluss auf die Austauschzyklen. Ein weiterer Faktor, der unter Umständen die Dauerhaftigkeit der Materialien mit entscheidet, ist der fachgemäße und materialgerechte Einbau der Materialien. Der Einbau an sich kommt bei der Simulation nicht zum tragen, es werden lediglich die verbauten Materialien und deren Umwelteinflüsse bewertet. Die Handhabbarkeit des Ökobilanzierungswerkzeugs kann dadurch einfach gehalten werden.

Es wurde davon ausgegangen, dass folgende Bauteile während der Lebensdauer des Gebäudes nicht ausgetauscht oder erneuert werden müssen:

- Tragkonstruktion (Gründung, Decken, Wände)
- Treppen
- Fenster
- Fassadenbekleidung

In dieser Betrachtung wurde nur die technische Lebensdauer der Bauteile berücksichtigt. Nutzerbedingte Faktoren (Nutzerwechsel, Mode, Familienverhältnisse) führen in der Praxis zu erheblichen Abweichungen von der technischen Lebensdauer sowohl nach unten als auch nach oben. Die Ökobilanzierung für dieses Modul geht davon aus, dass die Bauteile nach Ablauf der Lebensdauer vollständig ausgetauscht werden. Beschichtungen werden als eigene Bauteile erfasst und können separat vom Trägermaterial berechnet werden. Die Lebensdauer der Gebäude wurde auf 50 Jahre festgelegt. Daraus ergeben sich eine Anzahl von Erneuerungszyklen, die als Faktor in das Modul Instandhaltung eingehen. Bei der Berechnung des durch die Instandsetzung der Gebäude anfallenden Aufwands und den auszutauschenden Materialien werden für das Minimum Impact House und das Haus Riedberg analoge Wechselzyklen angenommen.

Die zugrundeliegenden Lebenszyklusdaten stammen wie die Daten für die ökologische Wirkung aus dem Forschungsbericht der Ökobilanzdaten für Baustoffe: „Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie“<sup>45</sup>:

<sup>45</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

<sup>45</sup> Pohlmann, Cevin Marc: Ökologische Betrachtungen für den Holzbau. Dissertation vorgelegt am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg 2002.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

BAUTEIL	MATERIAL	LEBENSDAUER		(techn. bedingte Erneuerungszyklen berücksichtigt)
		Zyklus	Jahre	
Anstrich	Silikatdispersion K1	0,08	12,5	Innenwände
Stahlbeton, Beton	C20/25	0	50,0	Konstruktion
Stahlanteil		0	50,0	Konstruktion
10cm Perim.Wärmedämmung	Styrodur	0	50,0	Dämmung gegen Erdreich
Außenputz	mineral., kunstst.verg.	0,025	40,0	Wert gemittelt aus Mieralischem (0,017) u. Kunstharzputz (0,033)
Dämmung	Mineralwolle	0	50,0	Dämmung Außenwände
Mauerwerk	Hochlochziegel	0	50,0	Konstruktion Außenwand
Innenputz	Gipsputz	0,017	58,8	
Sticks	Lärche (Werte Kiefer)	0,04	25,0	wie Lärchenvollholzschildeln
Unterkonstruktion Sticks	Verzinkter Stahl	0,022	45,5	
Lärchenfurnier	Lärche	0,022	45,5	wie Stülpschalung
vertikale Lattung		0,022	45,5	MIH Unterkonstr.Holz Fassade
Paravex / Fermacell	Weichfaserplatte	0,025	40,0	Gipsfaserplatte aus Holzständerleichtbaukonstr.
Holzständer	Kiefer	0,025	40,0	Als Paket mit Paravex
Dampfbremse		0	50,0	Außenwand
Holzrahmen	Kiefer	0,02	50,0	Fenster als Gesamtpaket
Beschichtung	Lack	0,1	10,0	(Fenster)
Scheibe	Glas	0,02	50,0	(Fenster)
Edelgasfüllung	Argon	0,02	50,0	(Fenster)
Gummidichtungen	Kautschuk	0,02	50,0	(Fenster)
Abstandshalter	Edelstahl	0,02	50,0	(Fenster)
Beschläge	Wetterfester Stahl	0,02	50,0	(Fenster)
Fliesenkleber	Zementbasis	0	0,0	Sanitäreinrichtung / Küche
Wandfliesen	Steinzeug glasiert	0	0,0	
Fugenanteil	Zementbasis	0	0,0	
Sanitäreinrichtung	Steinzeug glasiert	0	0,0	
Beschichtung	Alkydharz	0,02	50,0	Wie Fenster - Alkydharz im Innenbereich vermieden
Holzrahmen	Kiefer	0,02	50,0	
Konstruktionsholz Tür	BSH	0,02	50,0	
Metallbeschläge	Stahl verzinkt	0,02	50,0	
Umlauf. Gummiabdichtung	EPDM	0,02	50,0	
Steinzeug Glasiert, Bodenfl.		0	50,0	Wohnräume
Fugenanteil		0	50,0	
Fliesenkleber	Zementbasis	0	50,0	
Zementestrich	Zement	0	50,0	
Trennlage	PE-Folie	0	50,0	
Dämmung	Polystyrolplatte (XPS)	0	50,0	
Trittschall	Holzfaserplatte	0	50,0	
Abdichtung	PVC-Folie	0	50,0	zum Erdreich
Noppenfolie Dörken	PE-Folie	0	50,0	
Filterkiesschicht	Kies	0	50,0	
KS Mauerwerk	Kalksandstein	0	50,0	Tragende Wände
Xella Trockenmauermörtel	Trockenmörtel	0	50,0	
Dachkonstruktion KVH	Kiefer	0,02	50,0	
Beplankung Dachkonstr.	OSB	0,02	50,0	
Dachdichtungsfolie	PVC	0,025	40,0	
Dach-Metalleindeckung	Zinkeindeckung	0,025	40,0	
Flachdachziegel	Einf.Tonpfannendeckung	0,025	40,0	
Tapete unter Anstrich	Rauhfaser	0,04	25,0	
Stahl	Gehäuse, Brenner	0,05	20,0	Heizungsanlage
Minerallwolle	Dämmung	0,05	20,0	
Verteilerleitung	Messing	0,05	20,0	
Parkett	Vollholz	0,013	76,9	
Beschichtung Parkett	Alkydharz	0,125	8,0	zu vermeiden
Deckenkonstruktion Vollholz	KVH	0	50,0	
Lastverteilung	OSB	0	50,0	
Kunststoffrohr	PVC	0,05	20,0	Abwasser
TWK, TWW Verteilungsrohre	Kupfer	0,04	25,0	
Fassadenbeplankung	Phenolharzplatte P7	0,04	25,0	

Tabelle 21: Übersicht Lebensdauer der verbauten Materialien beim Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ

Entsprechend dieser Werte werden die Massen, bzw. Volumina der Bauteile multipliziert. Bei Bauteilen deren Lebensdauer der des Gebäudes entspricht, ist der Faktor 0, wodurch im Modul keine Stoff- oder Energieströme berechnet werden. Die genauen Mengen können im Anhang abgelesen werden.

### 3.2.4 Sachbilanz Modul 4: Mobilität



Abbildung 31: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ

Durch die geringe Bebauungsdichte und Nutzungsmischung in den erschlossenen Siedlungsgebieten, sind die Bewohner häufiger darauf angewiesen, ihre Arbeit, Ausbildung oder Freizeitaktivitäten mit Verkehrsmitteln zu erreichen. Ein wichtiger Standortvorteil des Stadtteils Riedberg ist die Neuansiedlung von drei Fachbereichen der Johann-Wolfgang-von-Goethe-Universität am Standort. In dem geplanten Gewerbegebiet, das an das Wohngebiet grenzt, entstehen erst zu einem späteren Zeitpunkt eine Anzahl von Arbeitsplätzen. Auch das geringe Freizeitangebot führt dazu, dass für soziale und kulturelle Anlässe weitere Fahrten notwendig werden. Auch der Grundbedarf an Einkaufsmöglichkeiten lässt sich am Standort Riedberg kaum in der direkten Umgebung decken. Die Entfernungen hierfür sind aufgrund der exzentrischen Positionen im Siedlungsgebiet statistisch gesehen länger als bei einer Zentrumslage. Der Aufbau eines effizienten öffentlichen Verkehrsnetzes ist aufgrund der geringen Dichte schwer. Da die öffentliche Verkehrsanbindung der Vorstadtsiedlungen als ungenügend empfunden wird, tendieren die Pendler zum Individualverkehr. Die dichtere Struktur der Innenstädte erlaubt Nähe und Mischung der Funktionen. Die einzelnen Stadtteile können mit öffentlichen Verkehrsmitteln erschlossen werden, die den Individualverkehr in weiten Teilen ersetzen und so die Umwelt entlasten kann.

Am Standort des Minihauses findet sich ein breites Spektrum an Dienstleistungs- und Gewerbebetrieben in direkter Nachbarschaft. Es stehen Kindergärten, Schulen und Hochschulen im näheren Umkreis zur Verfügung. Das kommerzielle Umfeld ist so reichhaltig, dass fast alle Waren oder Dienstleistungen in fußläufiger Entfernung erreicht werden können. Auch die zahlreichen Museen, das Theater und die Oper sind innerhalb von 10 Gehminuten zu erreichen. Die geringe Notwendigkeit zur Nutzung von PKWs läuft parallel zu den höheren Widerständen in den Innenstadtbezirken. Das Angebot an Parkplätzen ist so gering, dass viele Anwohner auf den Besitz eines PKWs verzichten oder diese selten nutzen, weil der Zeitaufwand für die Parkplatzsuche oft in einem Missverhältnis zu den Fahrten steht.

Nach Erfahrungswerten ist anzunehmen, dass die Bewohner der Vororte eine höhere Fahrleistung haben, als die Bewohner der Innenstadt-Bezirke. Die Hauptursachen für Mobilität sind:

- Arbeitswege
- Wege zur Ausbildungsstelle
- Freizeit Aktivitäten
- Einkaufen
- Urlaubsreisen

Von diesen sind zumindest vier eng mit dem Wohnstandort verknüpft.

Betrachtet man die Unterschiedlichkeit des Angebotes im Nahumfeld der Standorte, kann man sich vorstellen, dass bei vergleichbarer Interessenlage die Bewohner des Standorts Riedberg wesentlich häufiger Verkehrsmittel nutzen müssen.

Diese grundsätzlich höhere Mobilität der Bewohner ist weiter im Zusammenhang zu betrachten mit dem Verkehrsangebot: Im Innenstadt-Bereich, wo ein dichtes Netz aus U-Bahnen, S-Bahnen, Strassenbahnen

## **dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

und Bussen in direkter Umgebung verfügbar ist, ist die Mobilität mit Öffentlichen Personen Nahverkehr ÖPNV bis spät am Abend zu gewährleisten. In vielen Fällen sind die Entfernungen so gering, dass sie auch von weniger ambitionierten Fahrradfahrern oder fussläufig bewältigt werden können.

Am Standort Riedberg ist das Angebot des öffentlichen Verkehrs geringer. Eine Grundversorgung wurde durch die Verlängerung der U-Bahnlinie U5 bis zum Riedberg erreicht. Dennoch ist in vielen Fällen die Entfernung der Wohngebäude zu der Station zu weit für eine fußläufige Anbindung. Hinzu kommen die längere Fahrzeit und die Notwendigkeit zum Umsteigen zum Erreichen der meisten Ziele, die nicht durch eine Linie angefahren werden. Die Entfernung vom Riedberg in die Innenstadt wird von den meisten Anwohner als so groß empfunden, dass sie eine regelmäßige Fahrt mit dem Fahrrad scheuen.

Man kann man davon ausgehen, dass die Bewohner der Stadtränder häufiger PKWs nutzen und diese auch mit einer höheren Fahrleistung betreiben. Über die tatsächliche unterschiedliche Fahrleistung der Bewohner des Standort Innenstadt und Riedbergs liegen jedoch keine genauen Zahlen vor. Eine entsprechend Verkehrserhebung liegt ausserhalb des Betrachtungsrahmens dieser Studie. In einer Studie über die Reaktion des Pkw-Verkehrs auf steigende Treibstoffpreise<sup>46</sup> wurde festgestellt, dass sich das Mobilitätsverhalten der beiden auch in vorliegender Studie untersuchten Raumtypen bei steigenden Kraftstoffpreisen zunehmend ausdifferenziert. Während die Fahrleistung des Raumtyps 1 (Innestadtlage, Minihaus) relativ konstant blieb entwickelt sich die Fahrleistung des Raumtyps 2 (Randlage, Riedberg) trotz steigender Treibstoffpreise nach oben:

---

<sup>46</sup> Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. Heilbronn / Mannheim (Hg); Hautzinger, Heinz; Mayer, Karin: Analyse von Änderungen der Mobilitätsverhalten – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Analyse für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heilbronn 2004, S. 138.S.

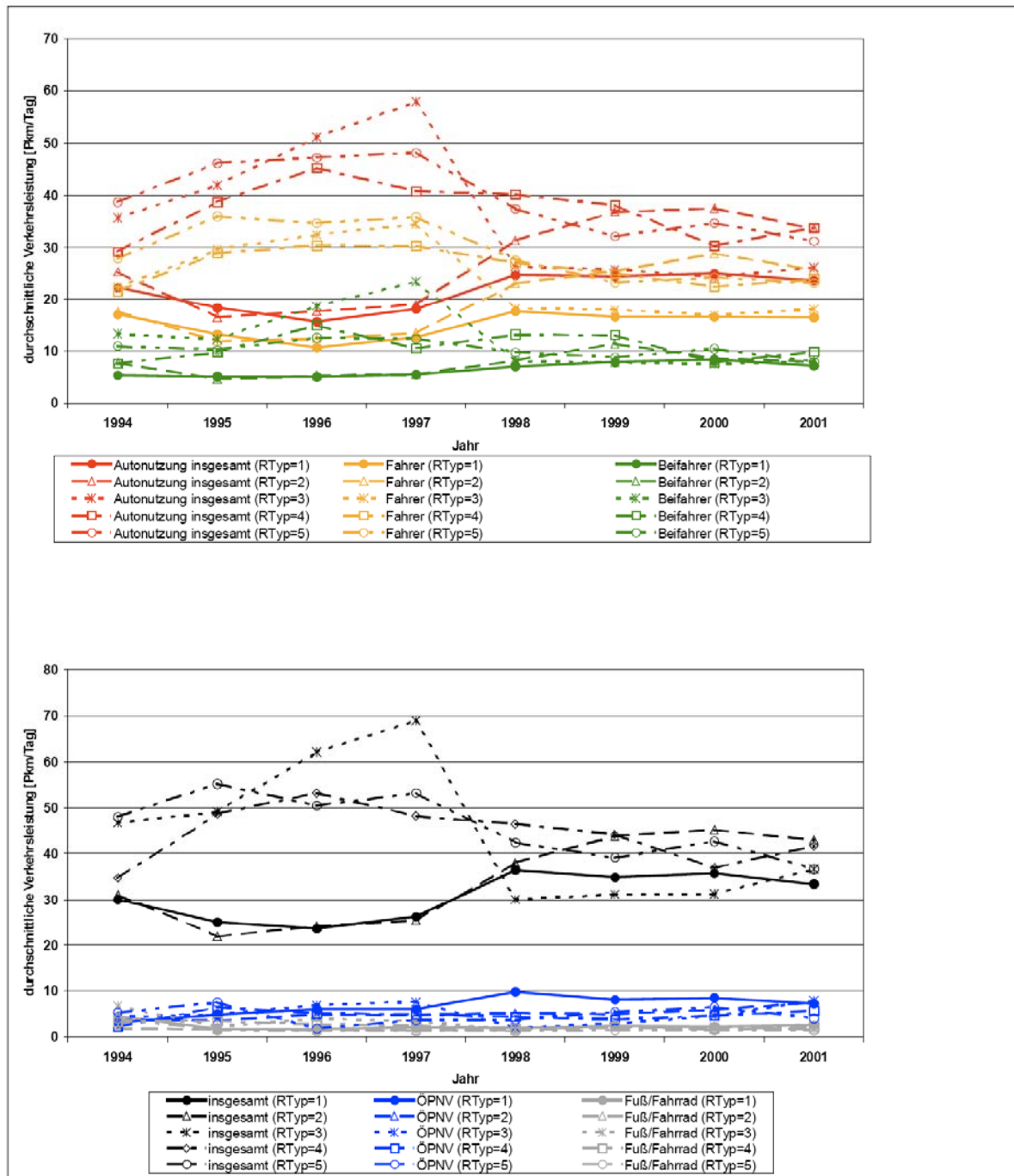


Abbildung 32: Entwicklung der Verkehrsleistung (Pkm/Tag) für unterschiedliche Raumtypen, Quelle: Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung: Analyse von Änderungen der Mobilitätsverhalten – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Analyse für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heilbronn 2004.

### Raumtyp 1 (Stadt über 100'000 EW Zentrumslage)

Durchschnittliche Fahrleistung pro Person

1995: 22 [P x km/d]

1995: 24 [P x km/d]

2001: 23 [P x km/d]

### Raumtyp 2 (Stadt über 100'000 EW Randlage)

1995: 23 [P x km/d]

1995: 31 [P x km/d]

2001: 35 [P x km/d]

Auf diesen Zahlen basierend läßt sich eine Jahresfahrleistung von

**Minihaus:** Raumtyp 1 (Stadt über 100'000 EW Zentrumslage):

**8'395** [P km / a]

**Riedberg:** Raumtyp 2 (Stadt über 100'000 EW Randlage):

**12'775** [P km / a]

für die standort-bezogenen Fahrten annehmen.

Um die Auswirkungen auf die Gesamtbilanz von Gebäude und Standort deutlich zu machen wurde diese Fahrleistung auf den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren hochgerechnet und von den Durchschnittsemissionen der heutigen Fahrzeugflotte ausgegangen. Es ist jedoch zu betonen, dass eine genaue Zuordnung von Fahrleistung und Standort mit den hier zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich ist. Die für eine solche Quantifizierung notwendige Datengrundlage konnte nicht innerhalb des Forschungsprojektes erarbeitet werden. Die notwendigen Verkehrszählungen und Motivuntersuchungen sprengen den Rahmen des Vorhabens.

Auch der öffentliche Personennahverkehr ist in den Umweltfolgen nicht unproblematisch. Für diese stehen im Rhein-Main-Gebiet jedoch keine Daten zur Verfügung, die es zugelassen hätten, die hier verglichenen Szenarien zu berechnen. Dem oben abgebildeten Graphen ist auch zu entnehmen, dass die Fahrleistung im Bereich des ÖPNVs geringer ist. So ist zum Beispiel der Energieaufwand für Verkehrsdienstleistungen von Dritten (Bahn, Luftfahrt, ÖPNV und Taxis) nur 3,6% des kumulierten Energieverbrauchs der privaten Verbraucher. Da die Wirkungen des öffentlichen Verkehrs voraussichtlich geringer sind, scheint diese Auslassung zulässig.

Grundsätzlich ist zu der vorliegenden Sachbilanz zu sagen, dass nur die Verbräuche aus dem Betrieb der Fahrzeuge erfasst sind. Weitere nötige Aufwendungen, wie eine Verkehrsinfrastruktur, Herstellung und Instandhaltung von Fahrzeugen, sind hier nicht erfasst worden. Es wäre bei Einbeziehung dieser Funktionen davon auszugehen, dass die tatsächlichen Werte im Modul 5: Mobilität höher sind als der Ausschnitt der Daten, die hier erfasst werden konnten.

Es muss auch betont werden, dass das hier dargestellte Szenarion nur einen sehr spezifischen Fall bilanziert - pro Haushalt ein Fahrzeug mit einer täglichen Fahrleistung von 23km bzw. 35km – von dem tatsächliche Lebensabläufe abweichen können. Beim Einsatz von mehreren Fahrzeugen und weiteren Wegen können schnell höhere Werte auftreten. Ebenso könnte bei einem Verzicht auf motorisierten Individualverkehr die Bilanz deutlich verbessert werden.

### 3.2.5 Sachbilanz Modul 5: Rückbau (5% der Herstellung)



Abbildung 33: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ

Im Modul 5: Rückbau werden die Emissionen als Bruchteil der Herstellungsenergie gerechnet. Da die Entsorgung und das Recycling der Materialien bereits in den Daten der Herstellung erfasst sind, ergeben sich analoge Einzelwerte zu denen der Herstellung. Da die eingesetzten Daten für jedes Material den gesamten Lebenszyklus enthalten, war eine getrennte Ausweisung nicht möglich.

Auffällig ist, dass die Werte für den Prototypen mit 1,3% beinahe unter der Erfassungsschwelle nach DIN ISO 14040ff. von 1% liegen. Bei dem Vergleichsobjekt Riedberg wird der Schwellenwert unterschritten, weil die Gesamtsumme höher ist.



3.2.6 [Sachbilanz Modul 6: Infrastruktur (nicht quantifiziert)]

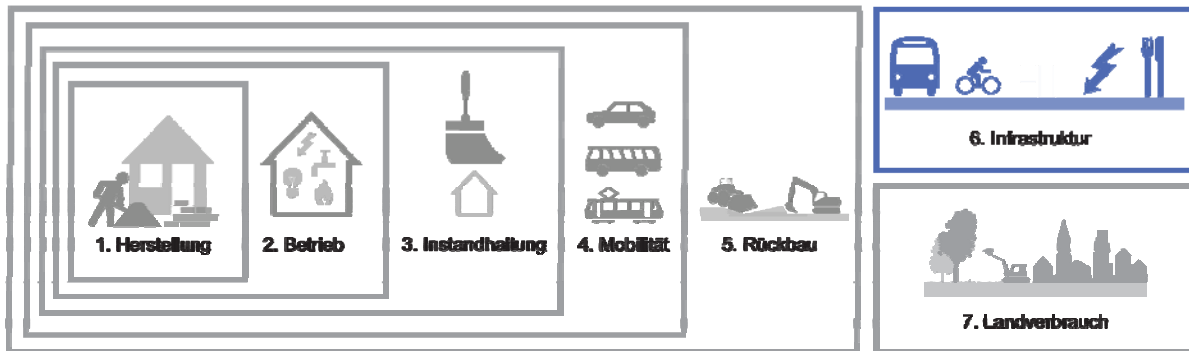


Abbildung 34: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ

Es konnte keine Sachbilanz erstellt werden, die eine Zuordnung in Hinblick auf die definierten Wirkungskategorien zugelassen hätte. Es werden nur die Flächenanteile der notwendigen städtischen Infrastruktur errechnet. Der Aufwand zur Erschließung neuer Siedlungsflächen wurde dabei quantitativ erfasst und anteilig auf die entstehende Wohnfläche / Wohneinheit zurückgerechnet (siehe dazu auch Kapitel 4):

Flächenverbrauch der öffentlichen Infrastruktur  
(1 WE = 4 Ew.)

geplante Einwohnerzahl 2017	15.000 EW
Fläche Riedberg insgesamt	2.908.761 qm
Versiegelte Fläche insgesamt	1.251.421 qm
	83,42 qm / Ew. = <b>333 qm / WE</b>
Straße	545.538 qm
	36,73 qm / Ew. = <b>147 qm / WE</b>
Bürgersteig	183.605 qm
	12,24 qm / Ew. = <b>49 qm / WE</b>
Soz. Infrastruktur	26.005 qm
	1,73 qm / Ew. = <b>7 qm / WE</b>

Eine direkte Zuordnung von ökologischen Auswirkungen ist jedoch bei der Datengrundlage, die innerhalb des Vorhabens zu erreichen war, nicht möglich. Für die Errichtung von Strassen, Ver- und Entsorgungseinrichtungen stehen keine Ökobilanzierungsdaten zur Verfügung, die mit den Datensätzen für die Ökobilanzierung der Gebäude kompatibel gewesen wären. Während bei den Gebäuden davon ausgegangen werden kann, dass die Datengrundlage gesichert ist und im Falle von dem Vergleichsobjekt Haus Riedberg auch ein durchaus repräsentatives Wirkungsgefüge für eine große Menge von ähnlichen Gebäuden, die jedes Jahr entsteht, ist für die Infrastruktur eine so einheitliche Annahme unzulässig, weil sie im Aufwand stark von den örtlichen Gegebenheiten abhängt. Der Umfang der zu errichtenden Infrastruktur kann in Abhängigkeit von der Gesamtgröße des neuen Baufeldes und der Umgebung stark schwanken. Eine Situation wie im Stadtteil Riedberg, wo ein ganzer Stadtteil außerhalb der Siedlungsstruktur geplant und gebaut wird, bildet eher die Ausnahme. Deswegen ist zu vermuten, dass hier der Infrastrukturaufwand höher ist, als bei Randlagen, in denen kleinere Siedlungen addiert werden. Für eine Aussage über die ökologischen Folgen dieser Maßnahmen wäre eine detaillierte Analyse von Bausubstanz von Infrastruktureinrichtungen und Gebäuden notwendig. Eine Annahme über den Gebäudestandard und Energieverbrauch der öffentlichen und kommerziellen Gebäude am Standort Riedberg zu machen, scheint grundsätzlich möglich. Fraglich ist jedoch, in wieweit eine solche Annahme einen allgemein gültigen Aussagewert haben kann. Die Bauweisen und Flächenanteile variieren bei unterschiedlichen Siedlungsformen in einem so breiten Bereich, dass die Gefahr gesehen wurde, dass die Einbeziehung einer solchen individuellen Annahme die Verallgemeinerbarkeit der Daten insgesamt in Frage stellt.

Deswegen werden nur mengenmäßig Maßnahmen erfasst, die im direkten räumlichen und zeitlichen Zusammenhang mit der Erschließung der Siedlungsfläche stehen, diese jedoch nicht ökologisch bewertet.

Die Ergebnisse der Flächenanalyse weisen darauf hin, dass der Anteil der Infrastruktur an der Gesamtwirkung der Baumaßnahmen nicht zu vernachlässigen ist. Hier wären weitere Forschungen nötig, um eine genauere und umfassendere Ökobilanzierung des Wirkungsgefüges von Gebäude und Infrastruktur zu ermöglichen.

### 3.2.7 [Sachbilanz Modul 7: Landverbrauch (nicht quantifiziert)]

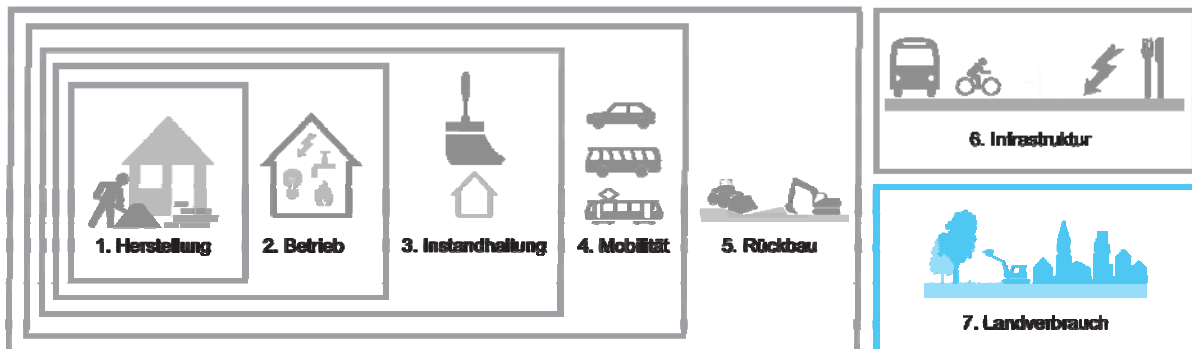


Abbildung 35: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ

Die Erstellung einer Sachbilanz für den mit dem Neubau Riedberg verbundenen Landverbrauch war nicht möglich. Zum einen ist wie in der Sachbilanz zum Modul 6: Infrastruktur beschrieben, der Flächenverbrauch für die notwendige Infrastruktur unterschiedlich. Einzelwerte können dementsprechend nicht verallgemeinert werden. Aber auch, wenn sich ein durchschnittlicher Flächenverbrauch errechnen ließe, sind die in Anspruch genommenen Landflächen in ihrer Struktur und ökologischen Bedeutung unterschiedlich. Naturräume weisen einen höheren Artenreichtum auf als land- oder forstwirtschaftliche Nutzflächen. Deswegen kann auch die eingelagerte Biomasse nur in Hinblick auf die Kohlendioxidbindung als Indikator herangezogen werden. Andere Funktionen des Bodens, wie Biotopfunktion oder Wirkung auf den Wasserhaushalt lassen sich anhand einer stofflichen und energetischen Analyse nicht erfassen. Als natürlicher Lebensraum sind Landschaftsflächen innerhalb von Siedlungsgebieten wie Gärten oder Parks häufig schlecht und für viele Arten gar nicht geeignet. Durch die fehlende Anbindung an die Naturräume können die Teilflächen schlecht erreicht werden und bieten im direkten Umfeld keine geeigneten Lebensgrundlagen. Für viele Arten sind die modifizierten Verhältnisse innerhalb der Siedlungsflächen (weniger Licht und Wasser, Bodenaufbauten, Störungen durch anthropogene Interaktionen, Lebensgemeinschaften) ungeeignet. Deswegen ist davon auszugehen, dass diese Flächen in mancher Hinsicht ökologisch weniger wertvoll sind als die Naturräume. Die Böden sind in ihrer ökologischen Wirkung so unterschiedlich, dass von einer Verallgemeinerung in Hinblick auf die definierten Wirkkategorien Abstand genommen wurde.

Ermittelt wurden der Flächenverbrauch und die Umwidmung von Flächen in Zusammenhang mit der Erschließung des Baufeldes Riedberg. Neben dieser rein quantitativen Untersuchung ist die Art und Struktur der Grünräume ökologisch relevant, diese konnte aber im Forschungsprojekt nicht qualifiziert werden. Der Flächenverbrauch am Standort Riedberg konnte wie folgt quantitativ erfasst werden. Die Flächenanteile wurden anhand der von der Stadt Frankfurt übergebenen Bebauungspläne für den Stadtteil Riedberg mittels CAD ermittelt:

#### Flächenverbrauch

(1 WE = 4 Ew.)

geplante Einwohnerzahl 2017	15.000 EW
Fläche Riedberg insgesamt	2'908'761 qm
Unversiegelte Fläche / Grünanteil	1'657'340 qm (geringere Biodiversität)
Versiegelte Fläche	1'251'421 qm
Bebaute Fläche (Anteil der versiegelten Fläche)	261'139 qm

Landversiegelung	1'251'421 qm
	83,43 qm / Ew. = <b>334 qm / WE</b>



### 3.3 Wirkungsabschätzung

In der Wirkungsbilanz werden der in der Sachbilanz ermittelten Stoff- und Energieströmen die Wirkungskategorien zugeordnet. Anhand der Wirkungskategorien kann man in der anschließenden Wirkungsabschätzung durch eine Klassifizierung und Charakterisierung Wirkungswerte ermitteln.

#### 3.3.1 Wirkabschätzung Modul 1: Herstellung

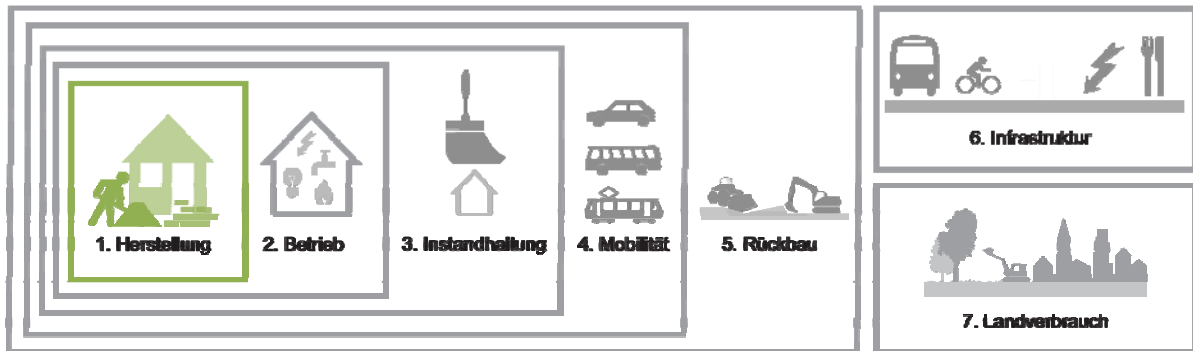
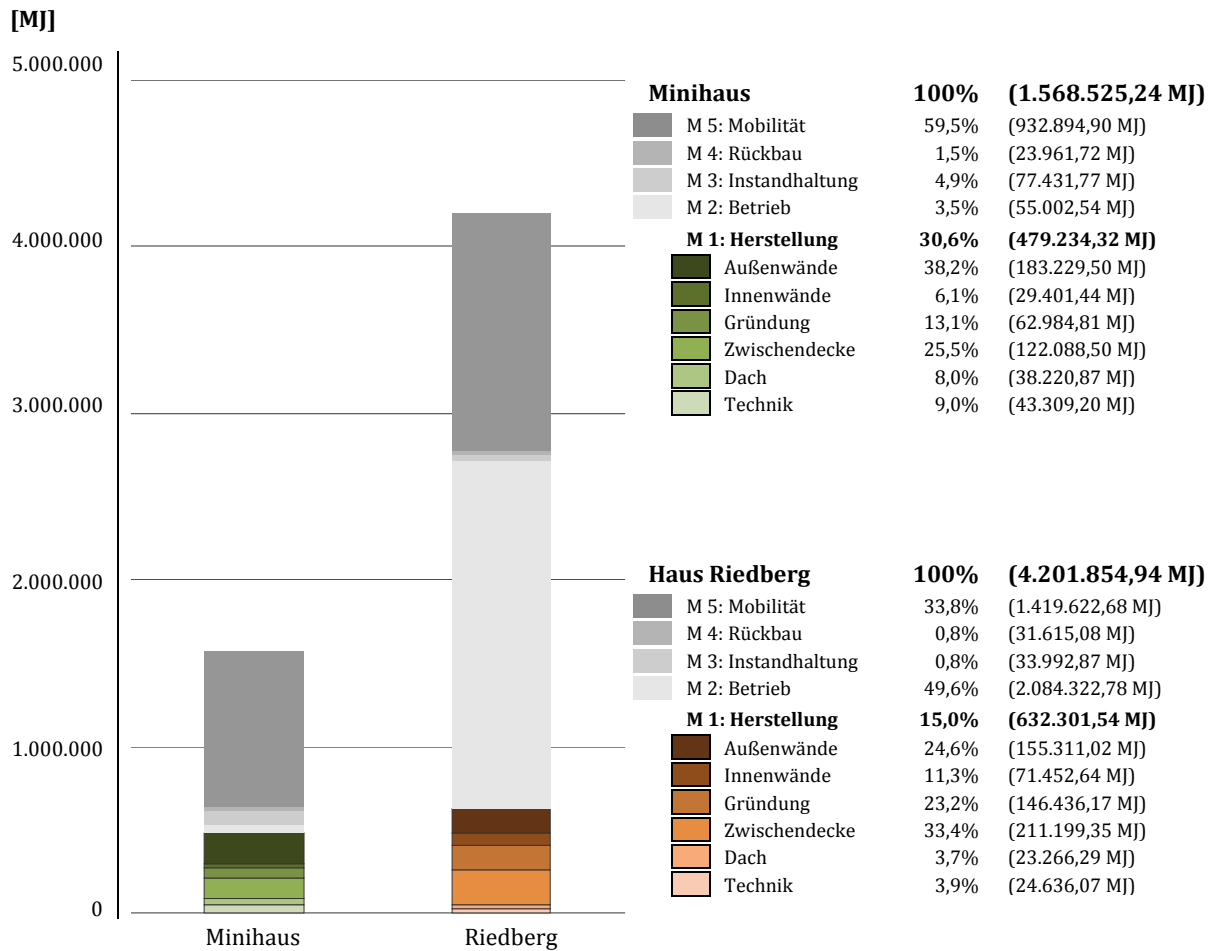


Abbildung 36: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ

Im Modul 1: Herstellung werden die Wirkungen der Stoffströme für Herstellung der Baustoffe, Transporte und Baubetrieb erfaßt. Die Graphen sind so aufgebaut, dass im Vergleich der beiden Häuser die Auswirkungen der jeweiligen Bauteile abzulesen sind.

**Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;**  
**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘

Abbildung 37: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

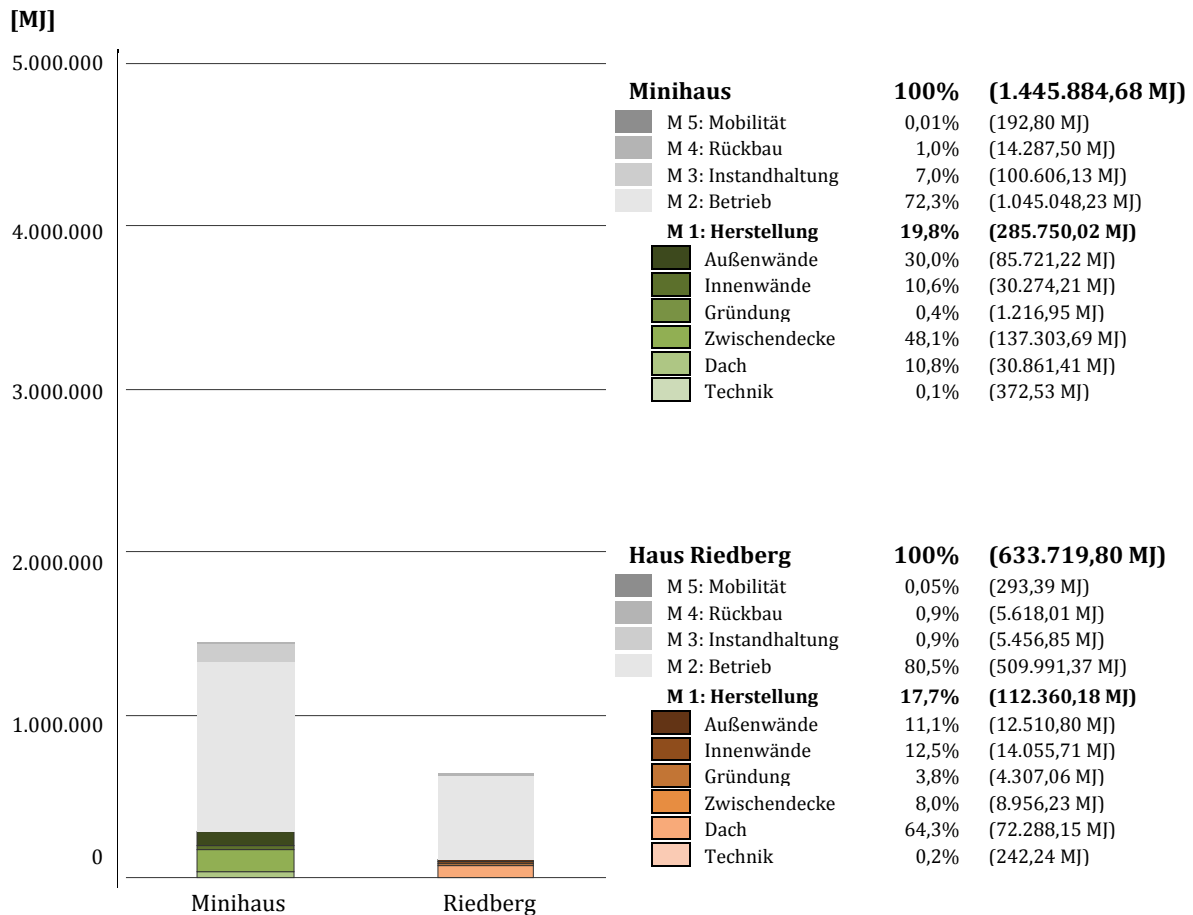
Der ‚Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar‘ der Konstruktion des Prototyps ‚Minihaus‘ liegt ungefähr ein Viertel niedriger als der Wert des Vergleichsobjekts ‚Haus Riedberg‘. Den grössten Anteil haben hier die Aussenwände. Maßgeblich wirken sich jedoch die Fassadenplatten auf den nicht erneuerbaren Primärenergieinhalt aus. Bei dem Einsatz einer Fassadenkonstruktion, die weitgehend aus nachwachsenden Rohstoffen besteht, könnte dieser Wert deutlich reduziert werden (Siehe dazu Kapitel 2.4 Baukonstruktion).

Einen weiteren hohen Anteil am ‚Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar‘ haben die Drei-Scheiben-Isolierverglasung. Hier ist zu bedenken, dass diese solare Einträge ermöglichen und dadurch den Betriebsaufwand des Gebäudes senken. Die Emissionen durch die Herstellung werden somit zum Teil durch die Vermeidung von Emmissionen im Betrieb kompensiert. Man kann bei energetisch relevanten Bauteilen (Fenster mit solaren Einträgen (Süd, Süd-West), Dämmung, Solar-Thermie, Photovoltaik) eine energetische Amortisationszeit angeben, welche den energetischen Aufwand der Herstellung mit der im Betrieb gesparten Energie vergleicht. Bei solaren Gewinnen kann die Berechnung für jedes Gebäude im Grunde nur bauteilbezogen und mittels der spezifischen Lage des Bauteils angegeben werden. Bei

Dämmstoffen muss ein Vergleich hergestellt werden zu einer einfacheren Konstruktion mit geringerer Dämmung oder ohne Dämmung.

Beim Haus Riedberg fallen die Konstruktion der Gründung (ca. 23,2%) und der Decken (33,4%) ins Gewicht, dies liegt zum einen am Stahlbeton, aus dem die Bauteile hauptsächlich gefertigt sind, aber auch an den keramischen Fliesen als Bodenbelag. Beide sind in der Herstellung energieaufwändig und schlecht zu recyceln. Auch die Aussenwände tragen mit 24,6% zu dem ‚Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar‘ bei. Hier sind das Kalksandsteinmauerwerk und die Aussendämmung aus Polystyrol die Materialien mit den höchsten Primärenergieinhalten.

**Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

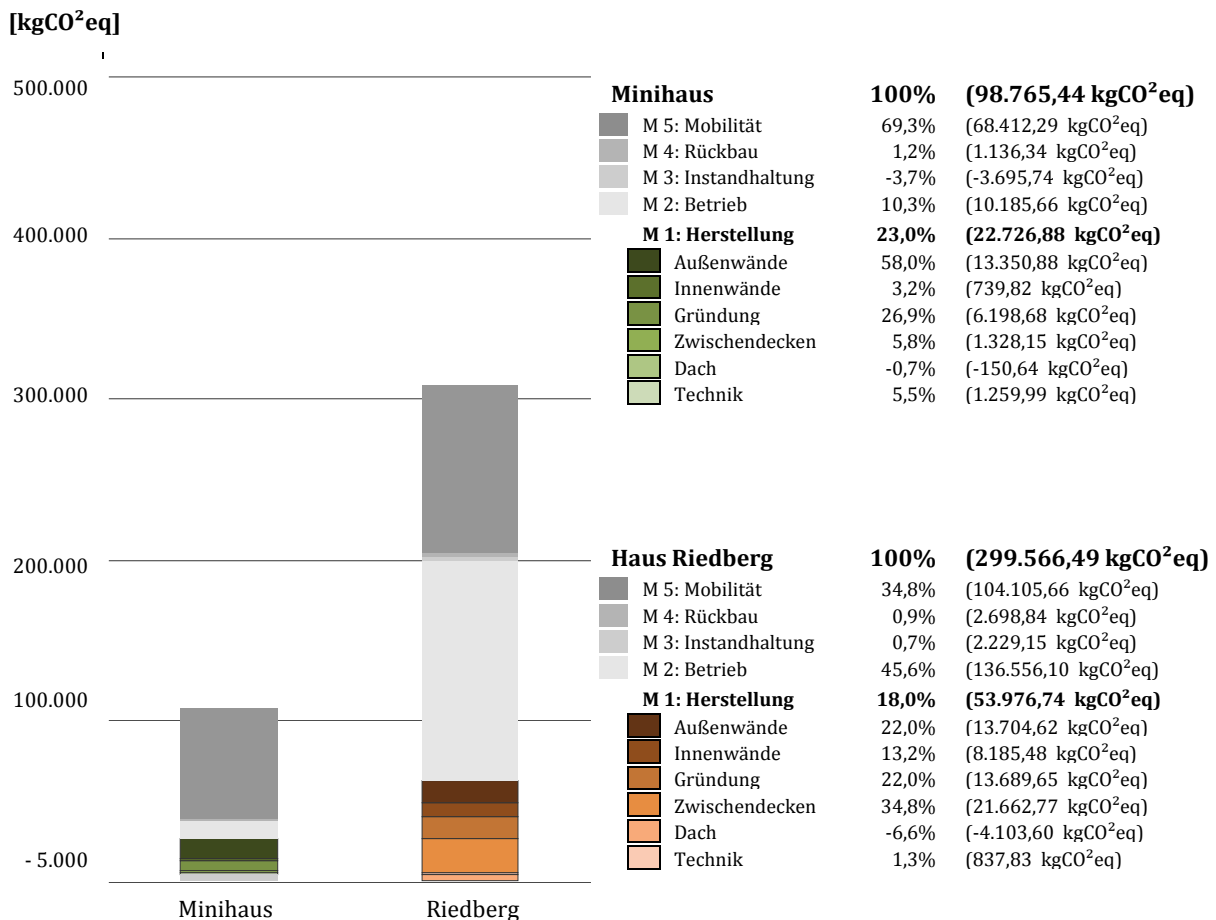


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘

Abbildung 38: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

Der ‚Primärenergieinhalt, erneuerbar‘ ist weniger umweltschädlich, weil die eingesetzten Ressourcen kurzfristig entstanden sind und sich erneuern. In diesem Modul ergeben sich die Primärenergieinhalte vorwiegend aus den nachwachsenden Rohstoffen der Baumaterialien, vor allem Holz, Holzprodukte und Cellulose. Es fällt auf, dass der ‚Primärenergieinhalt, erneuerbar‘ am gesamten Primärenergieinhalt nur ungefähr ein Viertel des ‚Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar‘ ausmacht, wobei dieser Anteil beim Prototypen ‚Minihaus‘ deutlich höher ist als beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘. Hier fallen vor allem die Bauteile mit hohen Masseanteilen aus nachwachsenden Rohstoffen (Decken und Wände mit Holzkonstruktion) in Gewicht.

**Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

Abbildung 39: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

Durch die prototypische Bauweise konnte das Treibhauspotential um 58 % gegenüber der konventionellen Bauform reduziert werden. Das Treibhauspotential des Minihauses wird durch Holz als CO<sub>2</sub>-Speicher verringert. Cevin Marc Pohlmann argumentiert, dass das Treibhauspotential von Bauholz negativ angerechnet werden kann.<sup>47</sup> Beim Wachstum von Holz wird Kohlendioxid eingelagert und der Atmosphäre entzogen. Nach dem Ende der Nutzung kann das Holz im Rückbau getrennt und dann einer energetischen Nutzung zugeführt werden. Pohlmann rechnet dieser energetischen Nutzung als Vermeidung des Einsatzes von fossilen Energieträgern einer weiteren Kohlendioxidreduktion zu.

Da die Speicherwirkung des Holzes mit dem gesamten Bauteil verrechnet wird, fällt in der Graphik kein negativer Ausschlag auf. Die Bauteile bekommen aber insgesamt einen geringeren Emissionswert. Besonders bei den Innenwänden fällt auf, dass der Holzleichtbau des Prototypen ‚Minihaus‘ eine bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz hat als der Massivbau des Vergleichsobjekts Riedberg. Das ‚Haus Riedberg‘, bei dem Holz lediglich in der Dachstuhlkonstruktion eingesetzt wird, hat einen geringeren CO<sub>2</sub>-Speicher. Das Bauteil

<sup>47</sup> Pohlmann, Cevin Marc: Ökologische Betrachtungen für den Holzbau. Dissertation vorgelegt am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg 2002.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Dach ist hier verhältnismäßig einfach konstruiert und hat durch die CO<sub>2</sub>-Speicherung des Holzes einen negativen Wert.

Als größter Einzelwert tragen beim Prototypen ‚Minihaus‘ die Aussenwände mit 58% zum Treibhauspotential bei. Dieser hohe Einzelwert resultiert aus den Fassadenplatten und der Verglasung. Hier wirken sich die Dreifach-Verglasungen negativ aus, weil Sie einen grösseren Massenanteil haben als die Zweifachverglasung des Vergleichsobjekts.

Beim Treibhauseffekt des ‚Haus Riedberg‘ wirken sich die Zwischendecken mit 34,8% am stärksten auf die Bilanz aus, aufgrund der großen Stahlbetonmassen. Auch die Außenwände sind aufgrund des Kalksandsteinmauerwerks und der Verglasung Quelle großer Kohlendioxid-Emissionen.

### 3.3.2 Wirkabschätzung Modul 2: Betrieb

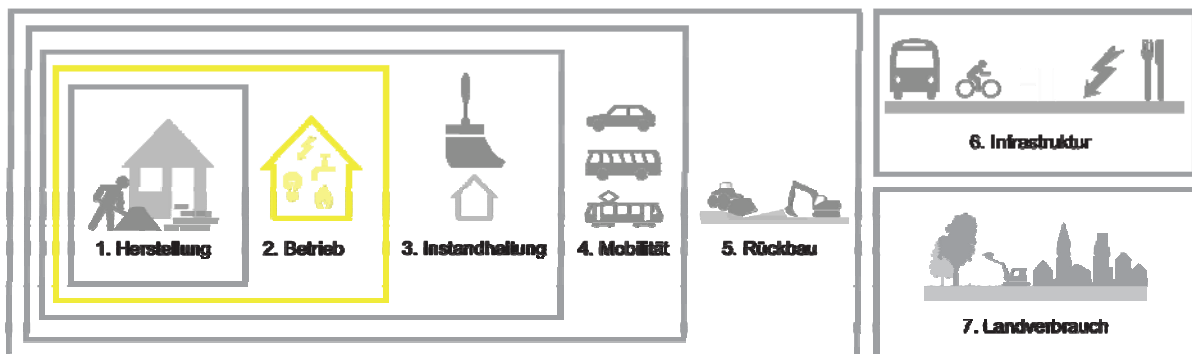


Abbildung 40: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ

Beim Modul 2: Betrieb ist darauf hinzuweisen, dass die vorliegenden Berechnungen alle auf einen Betrieb mit Ökostrom aus 100% regenerativen Quellen basieren. Da dieser Anteil derzeit nur ca. 11% der Stromproduktion Deutschland entspricht, ist davon auszugehen, dass die hier vorgelegten Ergebnisse auch nur auf die Fälle ausgedehnt werden können, in denen eine solche Stromversorgung über die ganze Lebensdauer zu gewährleisten ist. Langfristig wird der Anteil regenerativer Energien auch in Deutschland deutlich zunehmen, weil die Umweltfolgen immer mehr mitbetrachtet werden und die Kosten für fossile Energieträger stetig steigen.

Aus diesem hohen Anteil an regenerativer Energie im Stromanteil folgt, daß insbesondere für den Prototypen, der ausschließlich mit Strom beheizt wird, der Primärenergieanteil im Betrieb fast ausschließlich regenerativ ist. Die verbleibenden nicht regenerativen Anteile ergeben sich aus dem Anteil nicht regenerativer Energien im Ökostrom (Herstellung von Anlagen und Verteilnetzen) sowie dem Gasverbrauch des Kochens.

Ausgehend vom statistischen Mittel von  $666 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{a}^{48}$  ( $=185 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ ) bei einem 4 Personenhaushalt ergeben sich bei einer Wohnfläche von ca.  $150 \text{ m}^2$  ein durchschnittlicher Energieverbrauch für eine Wohneinheit, die mit den Untersuchten vergleichbar ist:

**99'900 MJ pro WE und Jahr**

Auf den Betrachtungszeitraum von 50 Jahren umgelegt ergibt sich eine Summe von:

**4'995'000 MJ pro WE und 50Jahr**

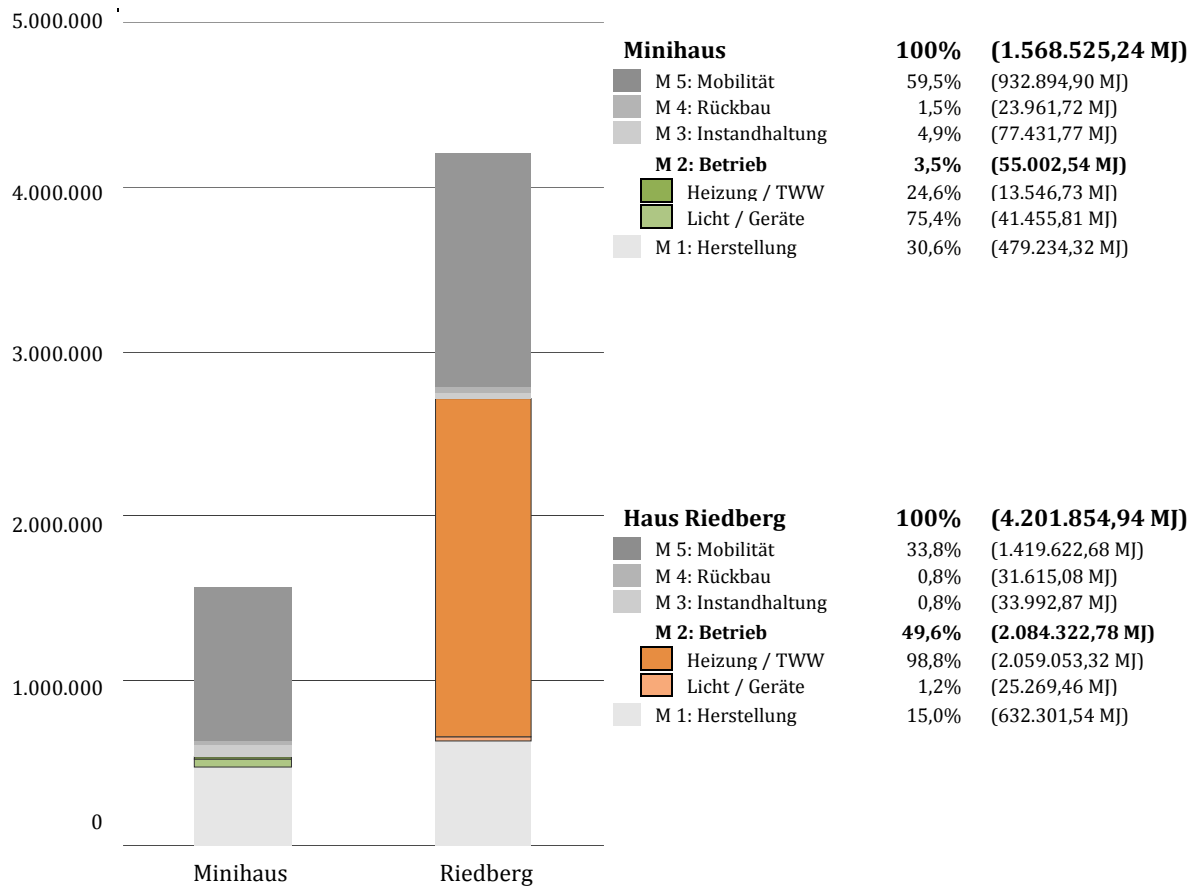
<sup>48</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Tabelle 13: Energieverbrauch für Raumwärme je m<sup>2</sup> und Jahr. Wiesbaden 2006.



**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**

**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ - Ökostrom**

[MJ]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:**

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**

**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**

Abbildung 41: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

Der Anteil ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ im Modul 2: Betrieb ist beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ deutlich höher: Fast die Hälfte (49,6%) des Verbrauchs ergeben sich aus dem Betrieb. Davon ist ein Grossteil (98,8%) auf die Heizung und die Warmwasserbereitung zurückzuführen. Dies ergibt sich zum einen aus dem im Vergleich zum Prototypen hohen Verbrauch zum anderen aus der Deckung des Bedarfs mit fossilen Energieträgern (Erdgas).

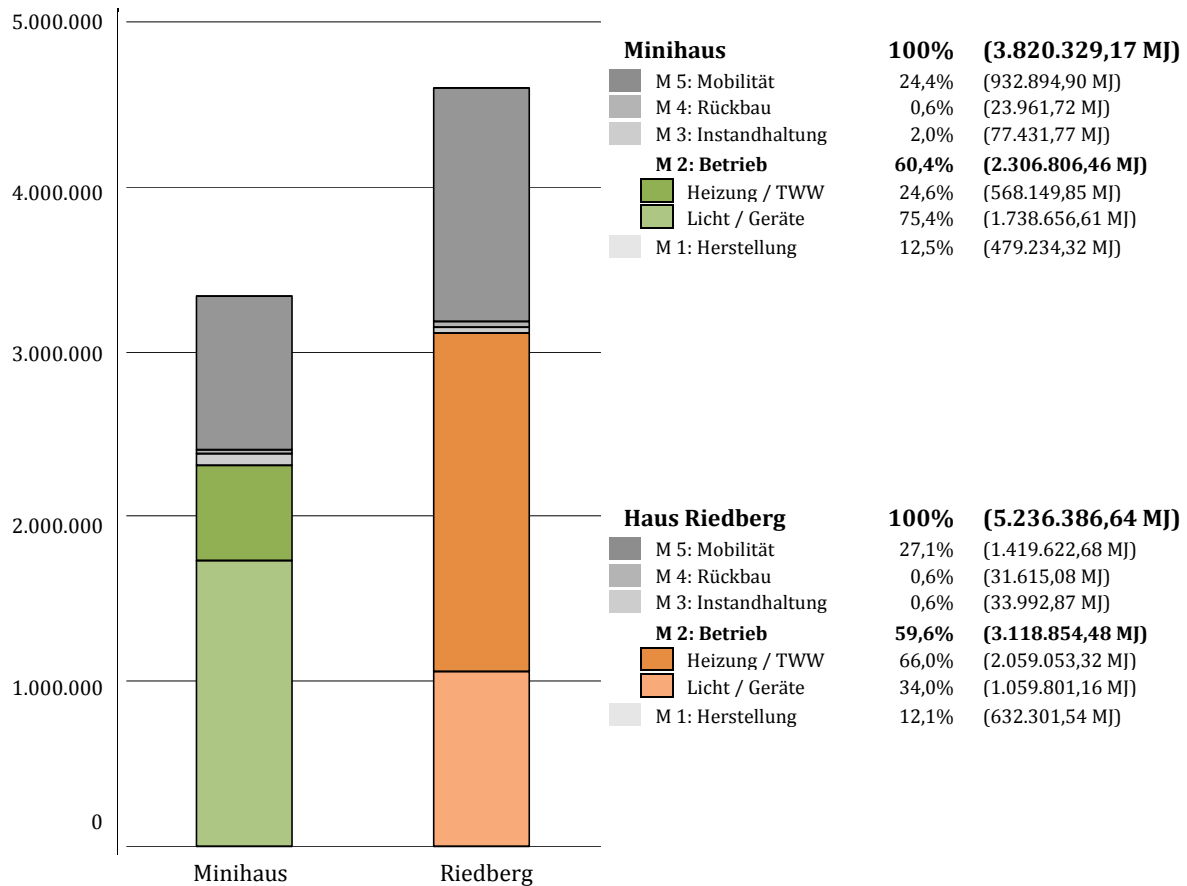
Die im Minihaus eingesetzte Wärmepumpe entzieht der Umgebung (Luft, Erdreich, Wasser) die Wärme. Je nach Leistungszahl ist für ihren Betrieb ein Drittel bis ein Viertel der gewonnenen Wärmeenergie als Betriebsstrom zuzuführen. Entscheidend für die Auswertung dieses Moduls ist die Tatsache, dass die vorliegenden Werte mit der Wärmepumpe nur erreicht werden können, wenn sichergestellt ist, dass die hierfür notwendige elektrische Energie aus 100%-erneuerbaren Quellen stammt. Im Falle des Prototypen ist die Erzeugung ausgelagert (Wasserkraftwerke des Anbieters, Zertifizierung der Stromherkunft). Noch sicherer kann eine solche Deckung aus regenerativen Quellen auch über eine eigene Stromerzeugung aus einer Photovoltaik-Anlage erfolgen, deren Leistung die Leistungsaufnahme des Gebäudes und der elektrischen Geräte deckt.

Wenn eine solche Deckung nicht erfolgt, sind die Werte für den Betrieb des Gebäudes auch mit der Wärmepumpe deutlich schlechter:

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**

**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ - Strommix**

[MJ]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:**

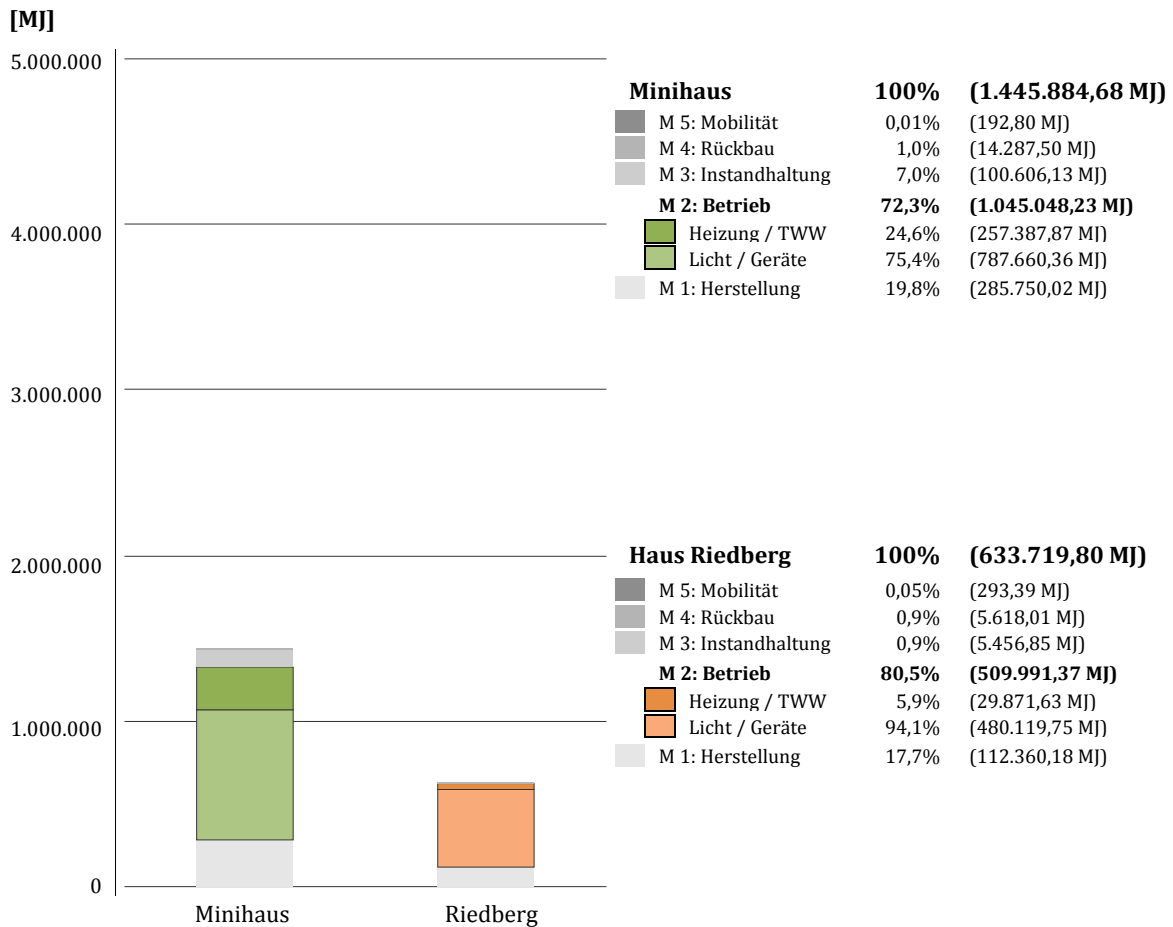
**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**

**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**

Abbildung 42: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Strommix, Quelle: DGJ

Da der Primärenergiewert des deutschen Strommix mit 2,7 deutlich schlechter ist als der des Stroms aus regenerativen Quellen würde beim Betrieb des Prototypen mit Strommix der ‚Primärenergieverbrauch, nicht erneuerbar‘ nur 27 % unter dem des konventionellen Systems liegen.

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**  
**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘ - Ökostrom**

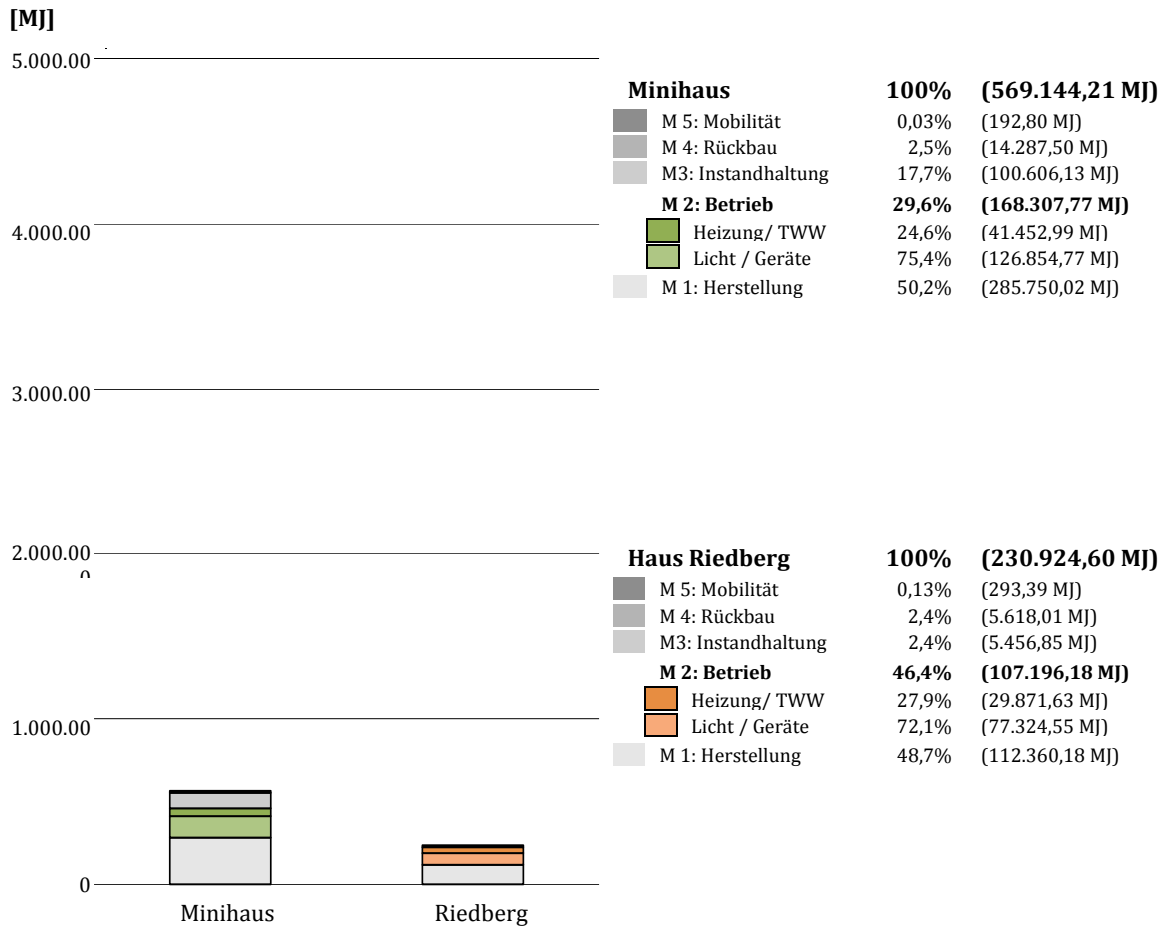


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
 Wirkungskategorie: ‚Primärenergie, erneuerbar‘

Abbildung 43: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

An der Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘ wird lesbar, dass der Anteil erneuerbarer Energien beim Prototypen ‚Minihaus‘ ca. 20mal höher ist als der nicht erneuerbare Anteil. Nur 5% des Energieverbrauchs im Betrieb wird aus nicht regenerativen Quellen gedeckt. Da beim ‚Haus Riedberg‘ die Heizung größtenteils nicht regenerativ betrieben wird, ist der Anteil an regenerativen Energie relativ gering und allein durch den Einsatz von Ökostrom für Haushaltsgeräte und Beleuchtung zu erklären, die in der Vergleichsrechnung mit den Werten von Ökostrom berechnet wurden.

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;**  
**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘ - Strommix**



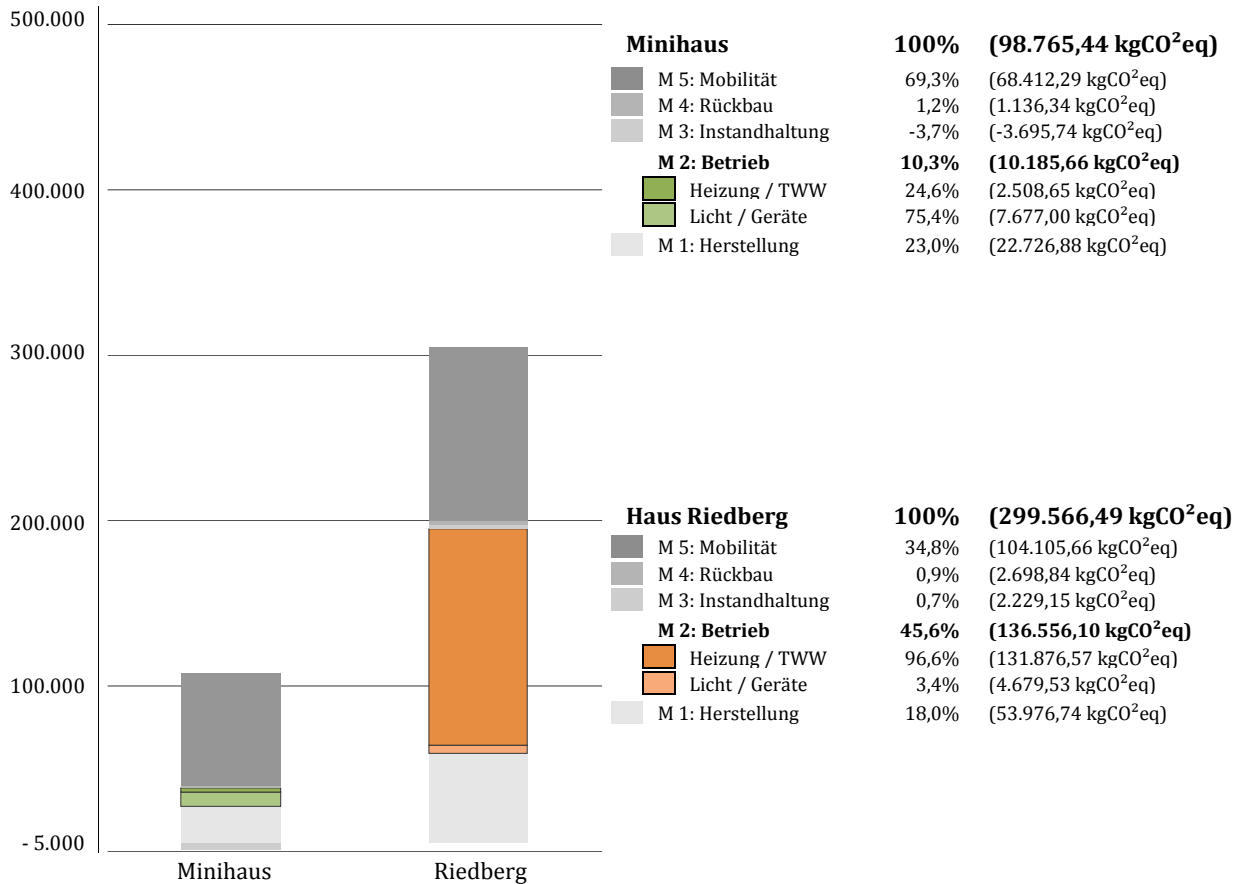
Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘

Abbildung 44: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Strommix, Quelle: DGJ

An der Vergleichsrechnung ist zu sehen, dass bei dem Betrieb der beiden Gebäude mit Strommix, der in Deutschland zu einem sehr geringen Teil aus regenerativen Energien stammt, der Deckungsgrad und Verbrauch von regenerativer Energie notwendig gering ist.

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP - Ökostrom**

[kgCO<sup>2</sup>eq]



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

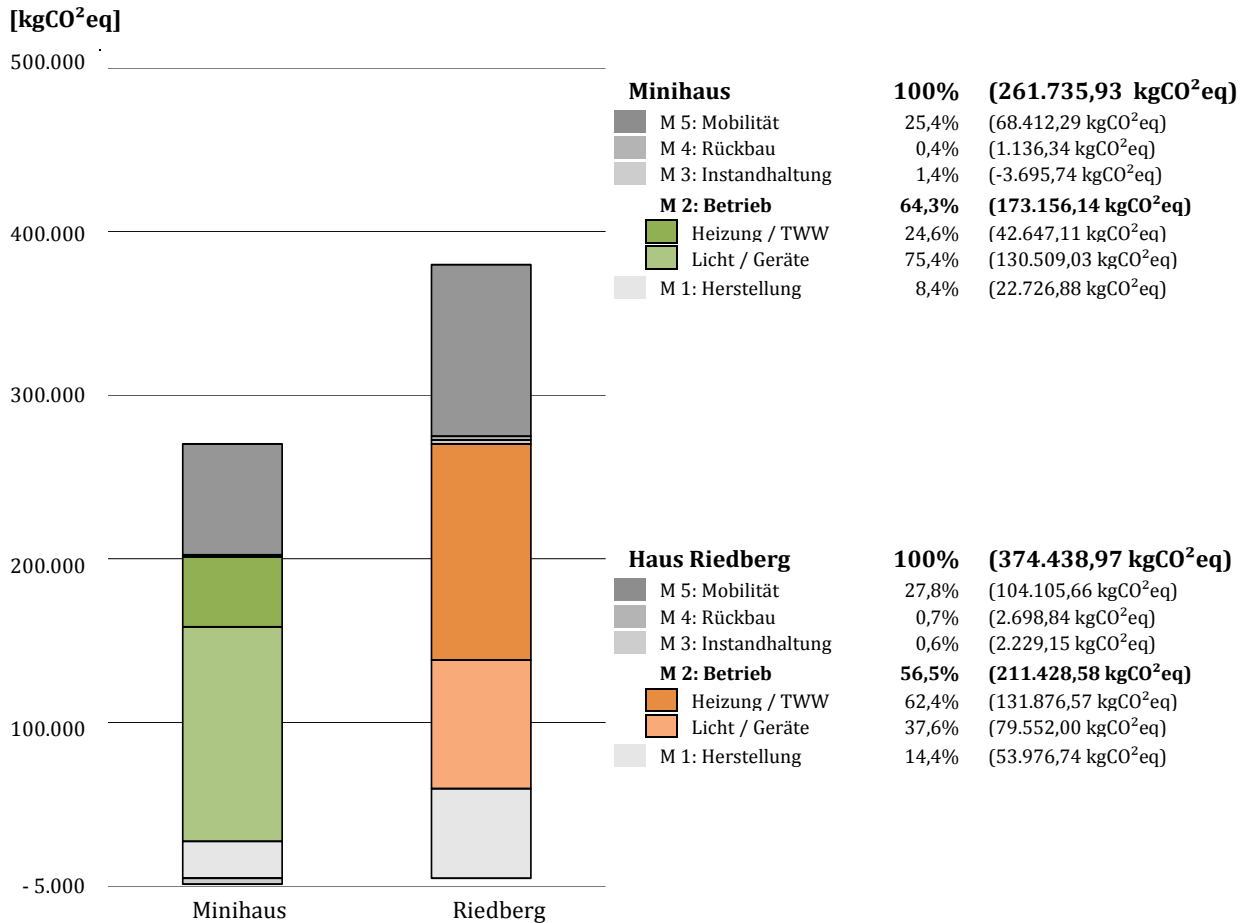
Abbildung 45: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

Durch den Einsatz des Ökostroms sinkt der CO<sub>2</sub> –Ausstoß beim Minihaus pro Kilowattstunde auf einen Bruchteil von konventionellem Strom<sup>49</sup>: Statt 680g pro Kilowattstunde werden bei dem gewählten Anbieter nur 10g pro Kilowattstunde freigesetzt. Auch beim Haus Riedberg könnendie Treibhausemissionen durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Energien gesenkt werden, da der gesamte Haushaltsstrom in die Berechnung eingeht. Da beim Vergleichsgebäude „Haus Riedberg“ eine Gasbrennwerttherme für Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt wird, deren Betrieb zu permanenten CO<sub>2</sub>-Emissionen führt, ist das Treibhauspotential im Modul Betrieb 13,4mal höher als beim Prototypen.

<sup>49</sup> LichtBlick: Selbstauskunft, Hamburg 2008. - "Senkung von 0,68 auf 0,012 kgCO<sub>2</sub>/kWh."

Auch hier würden sich die Emissionen verschlechtern, wenn statt dem Ökostrom der konventionelle Strommix eingesetzt werden würde, der einen wesentlichen höheren CO<sub>2</sub>-Output verursacht:

**Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP - Strommix**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

Abbildung 46: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Strommix, Quelle: DGJ

Der Einsatz von Strommix erhöht das Treibhauspotential drastisch. Die, durch den Betrieb des Minihauses verursachten, CO<sub>2</sub>-Emissionen steigen auf 173.156 kgCO<sub>2</sub>eq, das entspricht 170 % der durch Ökostrom erreichten Emission.

Beim Haus Riedberg ist ebenfalls eine Erhöhung der Emissionen festzustellen. Den entscheidenden Anteil liefert das Treibhauspotential von Licht und Geräten, welches entsprechend um 170 % ansteigt. Der Betrieb der Heizung hat hier keinen bedeutenden Einfluss im Vergleich zu Ökostrom, da diese nicht mit Strom, sondern mit Gas betrieben wird.

### 3.3.3 Wirkabschätzung Modul 3: Instandhaltung

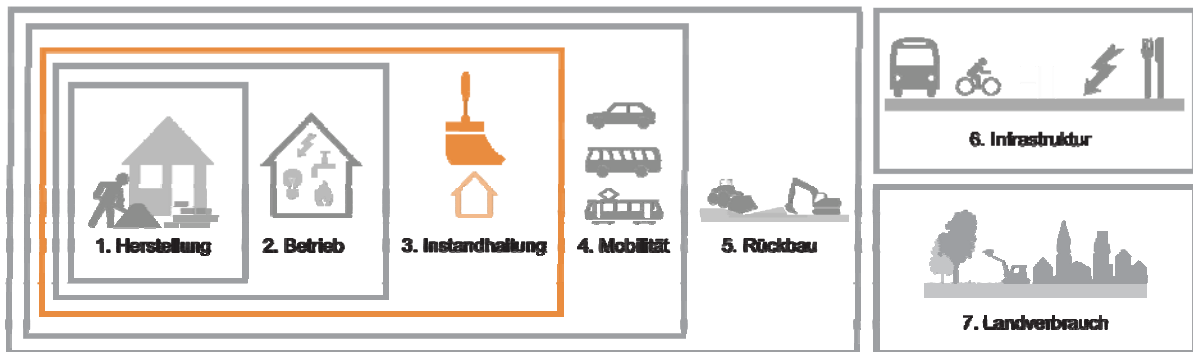


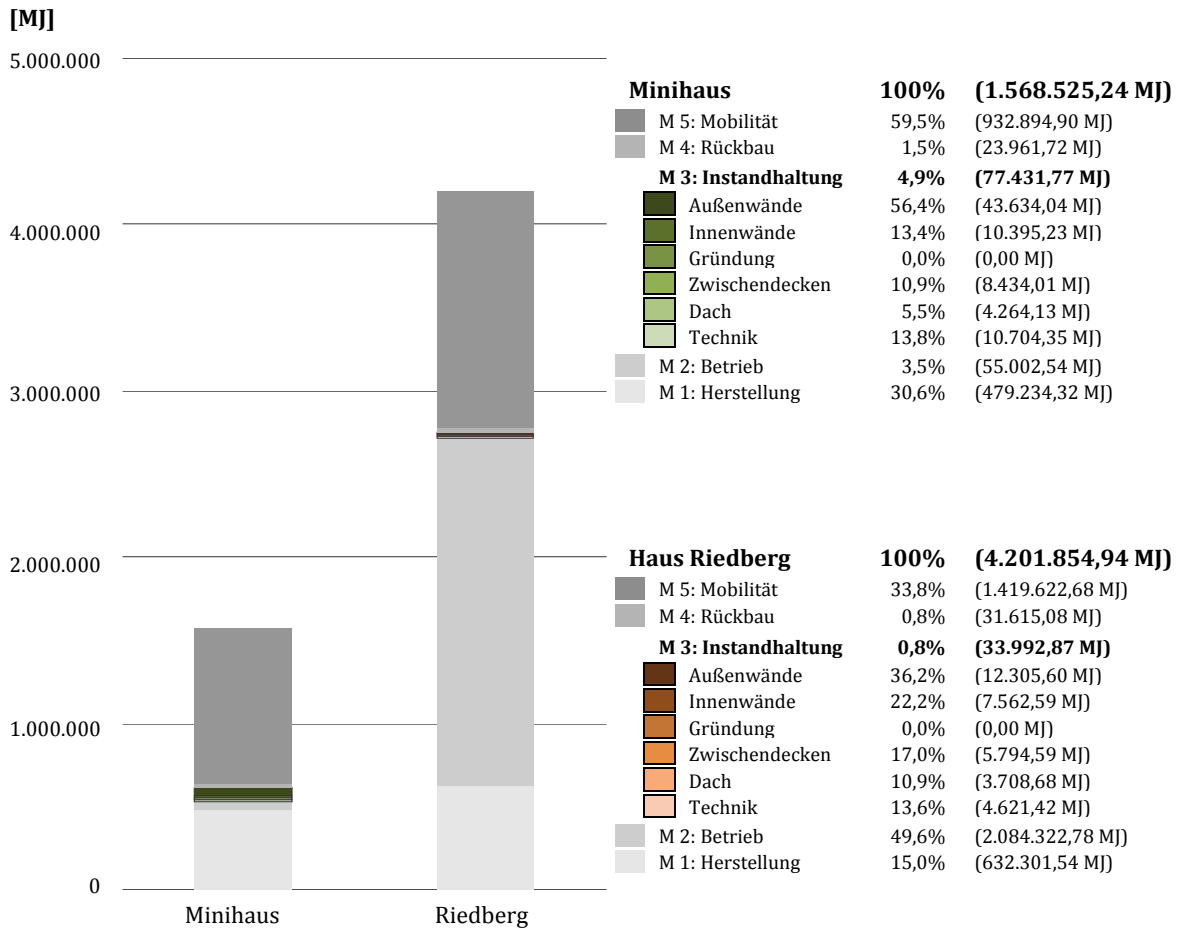
Abbildung 47: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ

Der Anteil der Instandhaltung ist in beiden Fällen gering. Dies kann der Tatsache geschuldet sein, dass sich die Erfassung auf die technisch notwendigen Massnahmen beschränkt. Da in der Praxis häufig technisch nicht notwendige Massnahmen durchgeführt werden, die sich aus Nutzerwünschen oder Nutzerwechseln ergeben, kann der Aufwand in diesem Bereich u.U. grösser sein. Wenn technisch notwendige Massnahmen nicht durchgeführt werden und Bauteile länger genutzt werden, kann die Bilanz auch günstiger ausfallen. Wie bereits dargestellt, sind diese Effekte statisch nicht eindeutig zu beschreiben und wurden vernachlässigt.

Im konkreten Fall von Minimum Impact House und dem Haus Riedberg kann man sehen, dass die Beeinflussung der Umwelt durch die Instandhaltung nur einen Bruchteil der bei der Herstellung entstanden und durch den Betrieb verursachten Umwelteinflüsse ausmacht.

Beim Minihaus ist der Anteil der Auswirkungen grösser als bei dem Riedberghaus, weil die Holzfassade von vornherein aufwändiger konstruiert und auch wartungsintensiver ist und durch die vor die Fassade gehängten Sticks eine im Verhältnis zum gesamten Gebäude viel grössere Oberfläche haben, als die Fassade des Riedberghauses. Der notwendige Holzschutz der Fassade lässt dabei besonders das Sommersmopotential ansteigen.

**Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;**  
**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**



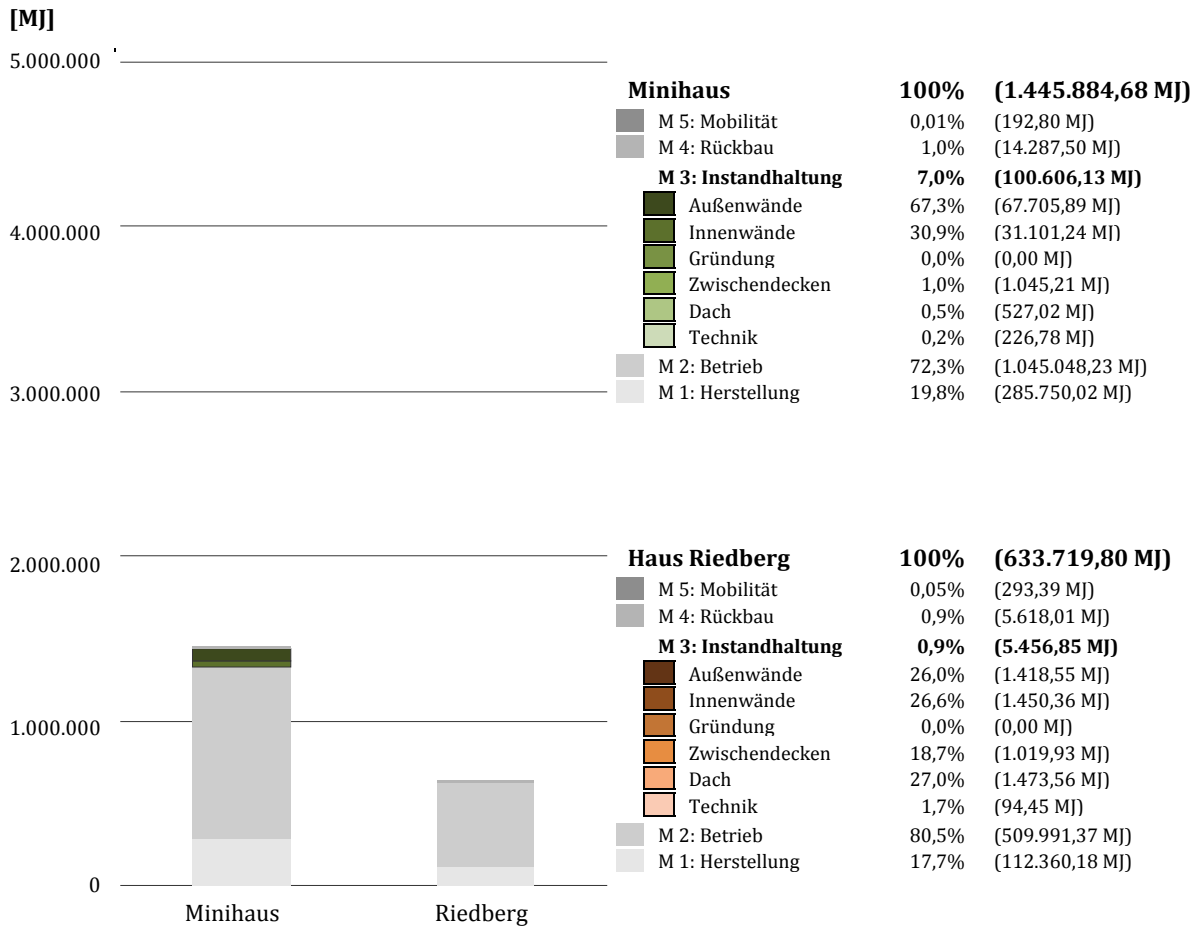
Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘

Abbildung 48: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

Die Kategorien der Instandhaltung beim Haus Riedberg fallen unter die Erfassungsgrenze von 1%. Beim Prototyp Minihaus entstehen größere Prozentsätze auch dadurch, dass der Gesamtenergieverbrauch niedriger ist. Zudem ist die aufwändig konstruierte Fassade wartungsintensiver.



**Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

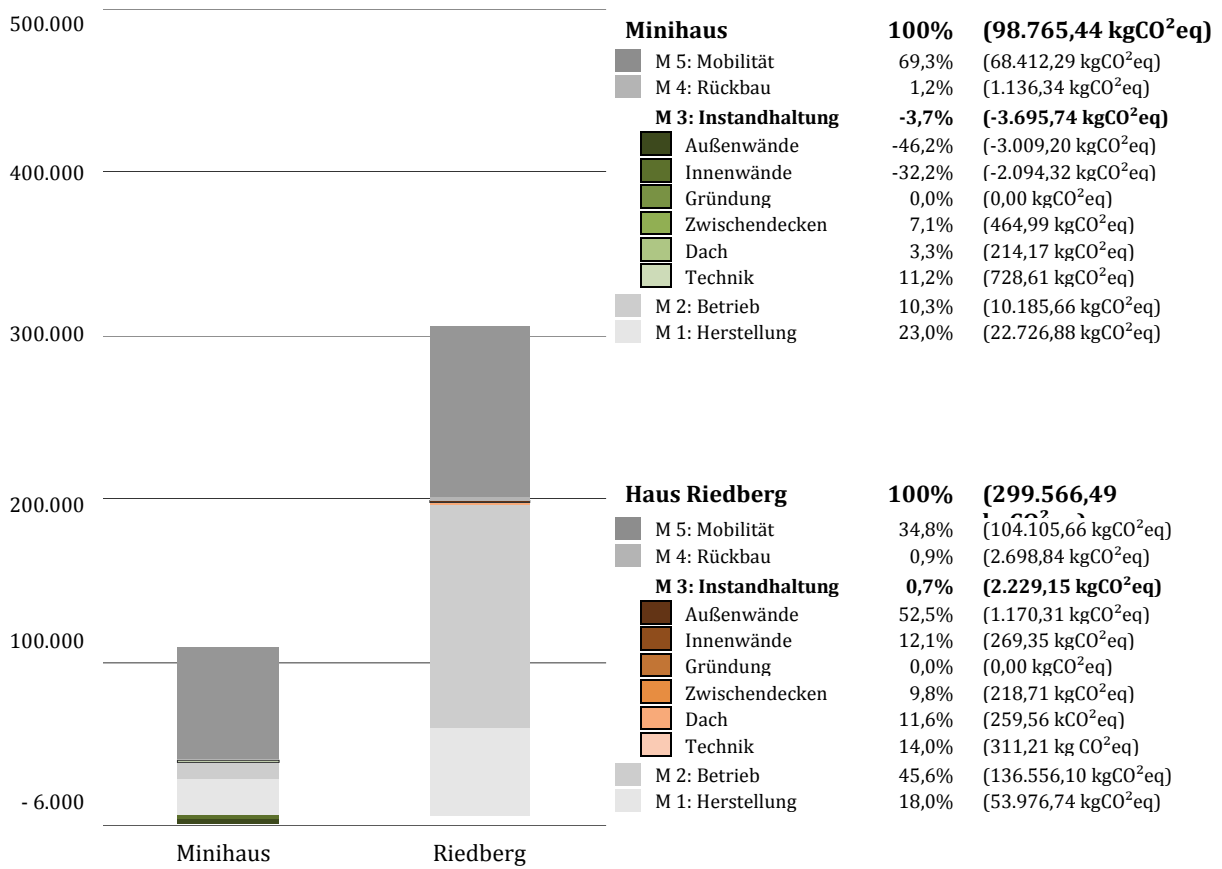


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘

Abbildung 49: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

**Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;**  
**Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**

[kgCO<sup>2</sup>eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:**  
**Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung;**  
**Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**

Abbildung 50: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

In der Darstellung der einzelnen Bauteile fällt in allen Bereichen der Bilanz die Fassade des Minihauses am stärksten auf. In der Treibhausbilanz hat das Minihaus durch den Holzanteil in der Fassade einen negativen Effekt, das Holz dient als CO<sub>2</sub> Speicher und hat einen hohen Anteil an erneuerbarer Primärenergie.

### 3.3.4 Wirkabschätzung Modul 4: Mobilität

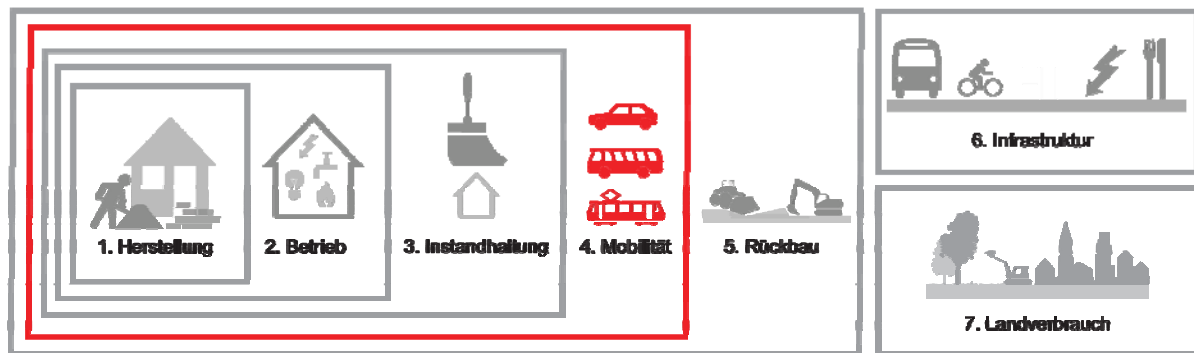


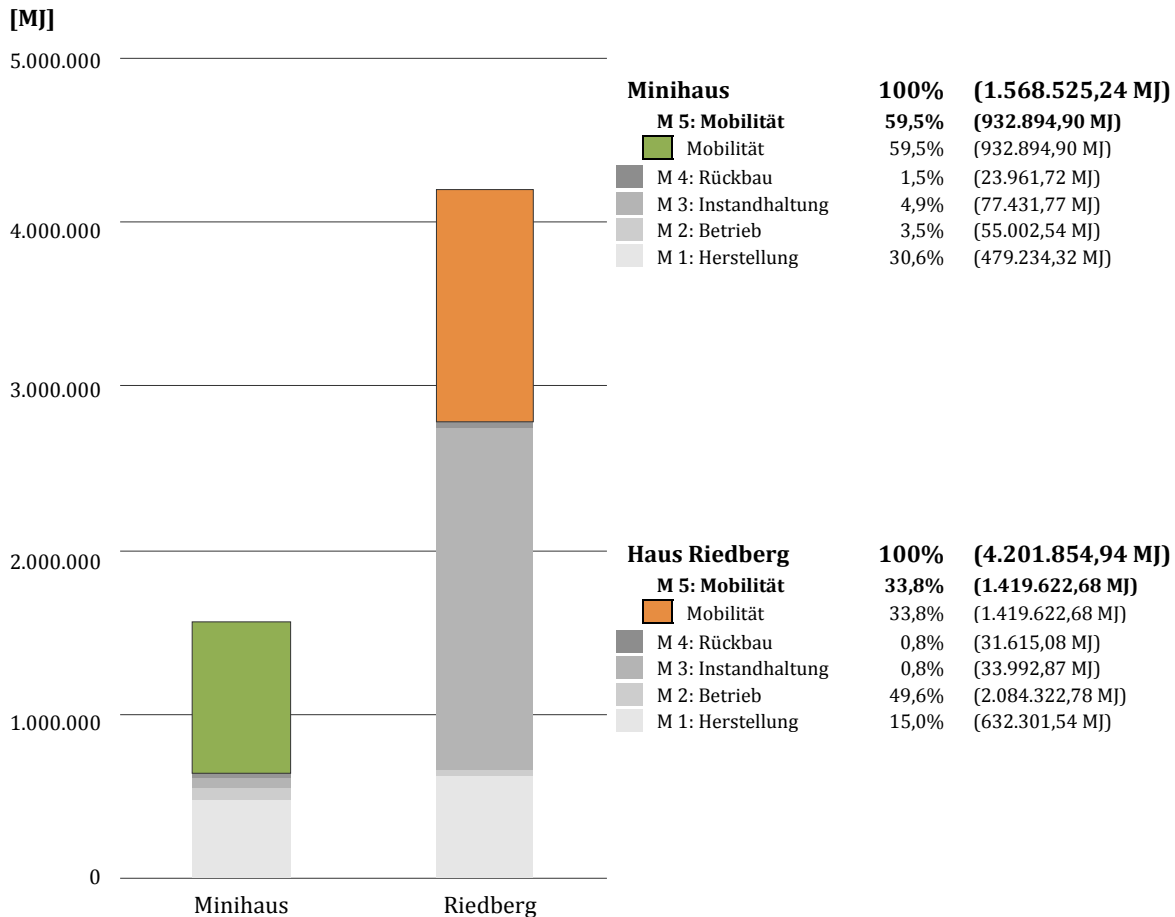
Abbildung 51: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ

Wie bereits gesagt, war die Sachbilanz im Modul 4: Mobilität durch die schlechte Datenlage erschwert. Die hier gezeigten Ergebnisse stützen sich auf ein Modell, in dem beide Vergleichshaushalte ein Auto benutzen und sich aufgrund der Standorts die Fahrleistung unterscheidet. In diesem Bereich scheint die Extrapolation der Daten auf die gesamte Lebensdauer am fraglichsten. Die Ölpreise haben im Jahr 2008 einen derart dynamischen Anstieg genommen, dass es schwer vorstellbar scheint, dass der Individualverkehr auf Dauer in der bekannten Form fortgesetzt werden kann. Auch das gestiegene Umweltbewusstsein wirkt bereits auf das Thema Mobilität. Es ist davon auszugehen, dass die hohen Energiepreise mittelfristig zu Effizienzsteigerungen bei den Fahrzeugen führen werden. Ob diese Steigerung in einer Verringerung der Umweltfolgen münden wird ist undeutlich. Zwischen den Jahren 1995 und 2004 hat die durchschnittliche Fahrleistung trotz gestiegenem Umweltbewusstsein und deutlich gestiegener Kraftstoffpreise um 9,5% zugenommen.<sup>50</sup> Diese gestiegene Fahrleistung impliziert neben den direkten Folgen (s.u. Wirkungsanalyse) auch indirekte Folgen wie Flächenverbrauch und Herstellung von Infrastruktur, sowie Herstellung, Unterhaltung und Entsorgung von Fahrzeugen.

Die Entwicklung in diesem Segment über die nächsten 50 Jahre zu überblicken übersteigt den Anspruch dieses Vorhabens. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Fahrleistung nicht rückläufig sein wird. Fraglich wann und in welchem Umfang umweltfreundliche Strategien (effektiverer ÖPNV, nicht motorisierter Individualverkehr) und Technologien (Hybrid, Erdgas, Kraftstoffe aus regenerativen Quellen) in einem Umfang eingesetzt werden, der eine deutliche Minderung der Emissionen bewirkt. Da über diese Entwicklung zu spekulieren nicht möglich ist, wird von einem statischen Modell ausgegangen, in dem sich Fahrleistung und bezogene Emissionen nicht verändern, weil bis dato alle Effizienzsteigerungen bei der Technologie durch höhere Gewichte und Leistungen, und eine höhere Fahrleistung fast vollständig kompensiert wurde.

<sup>50</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

**Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**

Abbildung 52: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

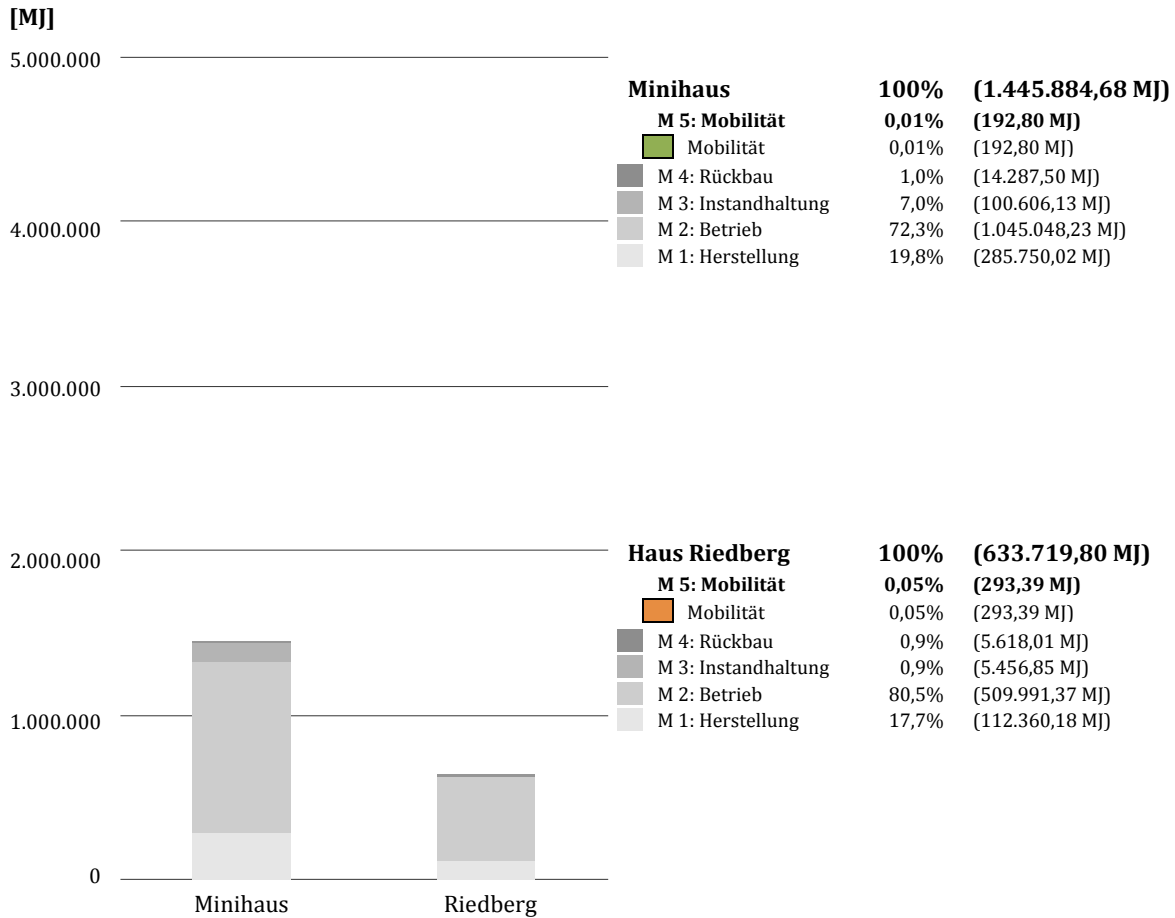
An der Wirkungskategorie Primärenergie, nicht erneuerbar fällt auf, dass bei Prototypen: Minihaus die Mobilität trotz der geringeren Fahreistung (Raumtyp 1 (Stadt über 100'000 EW Zentrums-lage): 8'395 [P km / a]) im Modul 4: Mobilität über die Hälfte (59,5%) des Verbrauchs verursacht werden. Der in absoluten Zahlen höhere Verbrauch beim Vergleichsobjekt: Haus Riedberg (Raumtyp 2 (Stadt über 100'000 EW Randlage): Fahrleistung 12'775 [P km / a]) macht ein Drittel des Gesamtverbrauchs aus, weil dieser in Summe höher ist.

Bei diesem Ergebnis wird deutlich, dass die eingeschränkte Betrachtung der Umweltwirkungen des Gebäudes abgekoppelt von der Standortfrage keine Berechtigung hat. Bei einem Gebäude mit einem so geringen Energieinhalt und –verbrauch wird die Frage des Standortes und der Mobilität entscheidend.

Der Anteil des Energieverbrauchs für motorisierten Individualverkehr macht rund 30% des Gesamtverbrauchs der privaten Haushalte aus.<sup>51</sup> Dieses Bild entspricht dem Werten des Vergleichsobjekt Haus Riedberg, wobei in dieser Studie nicht alle Lebensbereich abgebildet sind, sondern nur die Gebäude- und Standortbezogenen, weswegen der Mobilitätsanteil beim Haus ‚Riedberg‘ insgesamt niedriger liegen dürfte als im Durchschnitt.

<sup>51</sup> Statistisches Bundesamt Deutschland: Gemeinsame Pressekonferenz des Statistischen Bundesamtes und des Umweltbundesamtes. Statement von Vizepräsident Walter Radermacher. - <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pk/2006/UGR/Statement,templateId=renderPrint.psm, Stand Juli 2008.>

**Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

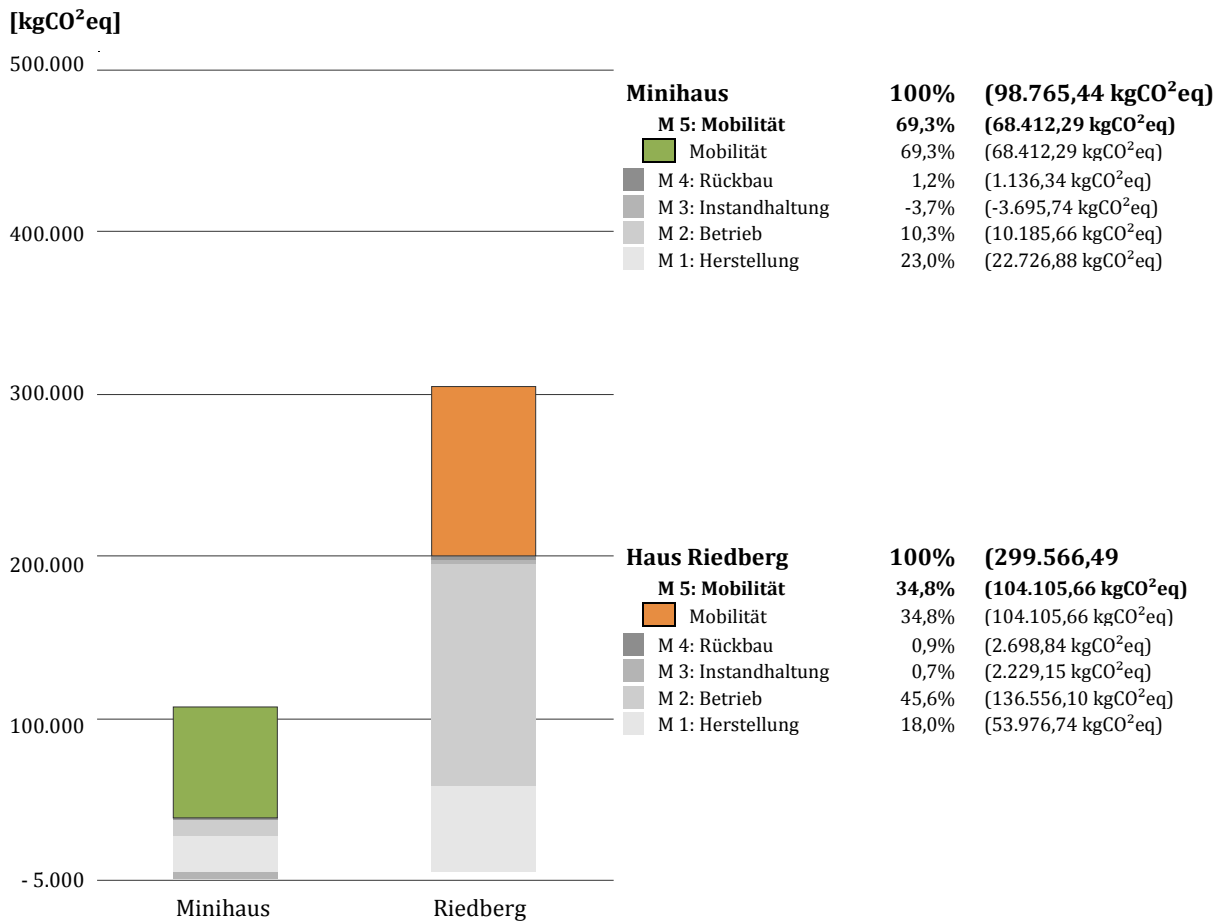


**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

Abbildung 53: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

Da in der Bilanz nur der motorisierte Individualverkehr erfasst, der fast ausschliesslich auf fossiler Energie basiert, sind die Anteile an erneuerbarer Energie verschwindend gering.

**Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität;  
Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

Abbildung 54: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

Noch deutlicher als beim ‚Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar‘ fällt das Bild beim Treibhauspotential aus: Beim Prototypen ‚Minihaus‘ resultieren gut zwei Drittel (69,3%) aller Treibhausemissionen aus dem Modul 4: Mobilität. Beim Vergleichsobjekt Haus Riedberg ergibt sich ein geringerer Anteil, weil dieser einer höheren Gesamtsumme gegenübersteht. Der absolute Wert ist jedoch ca. 50% höher als der des Prototypen.

Statisch gesehen hat der Individualverkehr einen Anteil ca. 18,8%<sup>52</sup> an den Treibhausgas-Emmissionen. Die hier höheren Anteile erklären sich daraus, dass die Emmissionen in anderen Lebensbereichen (Konsum, Energiewirtschaft) einen höheren Anteil haben als bei den primärenergetischen Betrachtungen.

<sup>52</sup> Umweltbundesamt Dessau, Treibhauseffekt – Eine globale Herausforderung, Indikator: CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Quellgruppen <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2842>, vom Juli 2007, Stand Juli 2008. dgj071\_MIH\_Forschungsbericht\_kk\_2008-09-01-14.0.docx  
01.09.2008 dx 94

### 3.3.5 Wirkabschätzung Modul 5: Rückbau (5% der Herstellung)

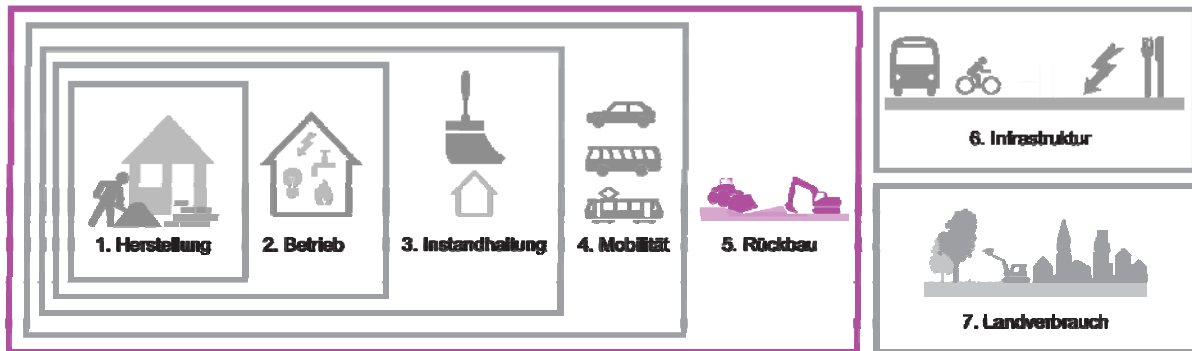


Abbildung 55: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ

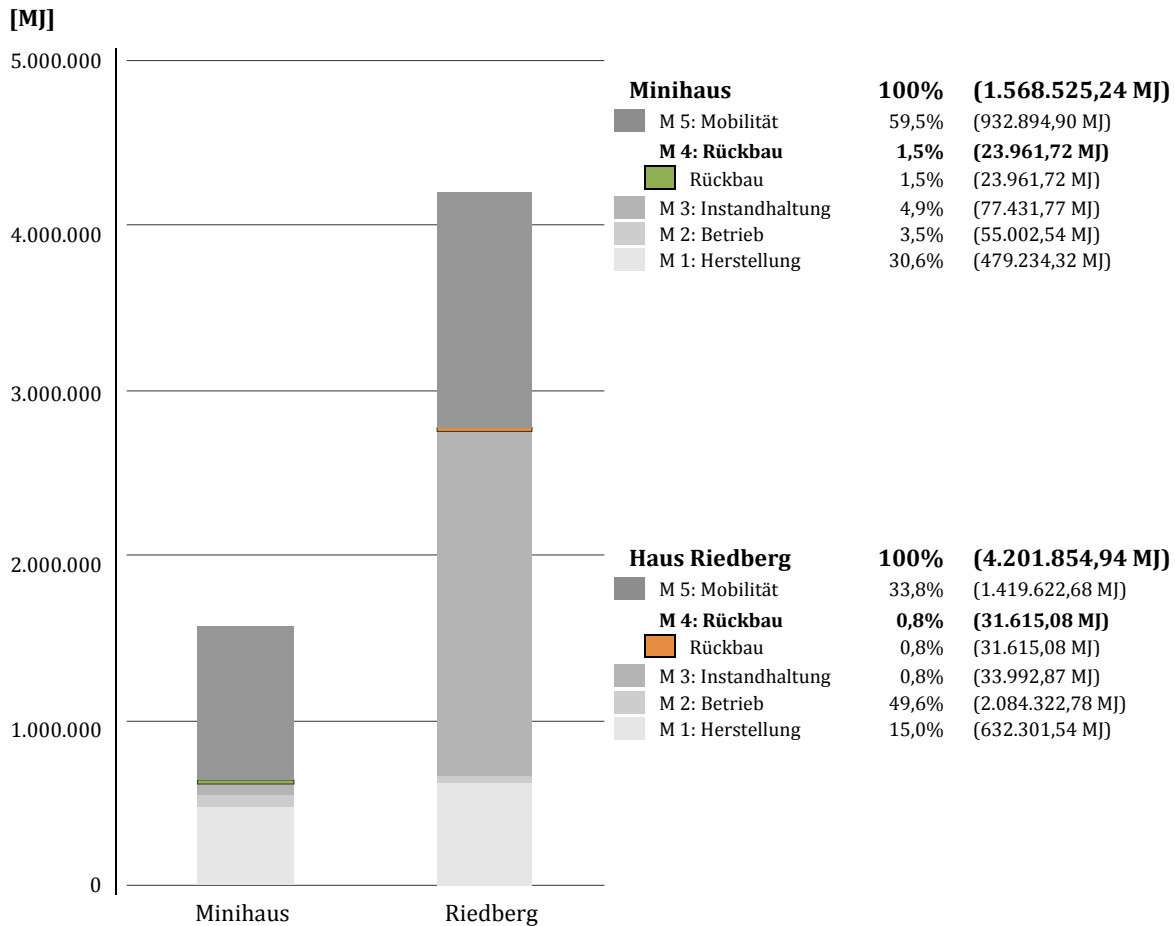
Beim Modul 5: Rückbau fällt auf, dass die Werte grundsätzlich sehr gering sind. Dies erklärt sich aus den Berechnungsmethoden. Das Modul Rückbau enthält den Rückbau, nicht aber die Entsorgung oder das Recycling von Materialien. Die von uns verwendeten Daten enthalten für jedes Material den gesamten Lebenszyklus von der Gewinnung der Rohstoffe bis zur Entsorgung als Summe, so dass eine getrennte Ausweisung der Entsorgung nicht möglich war. Grundsätzlich ist eine solche Betrachtung aber sinnvoll. Es davon auszugehen, dass vor dem Hintergrund von steigenden Rohstoff- und Energiekosten, aber auch gewachsenem Umweltbewusstsein, die Recyclingquote in vielen Segmenten steigt und dementsprechend die Materialien mit höheren Recyclinganteilen sich gegenüber denen, die in offeneren Stoffkreisläufen eingesetzt werden verbessern. Es ist auch davon auszugehen, dass der Anteil der externen ‚Kosten‘ – d.h. Inputs und Outputs, die aus dem System herausfallen, weil sie Umweltfolgen sind, die in anderen Systemen oder zu einer anderen Zeit entstehen besonders gross sind, weil ein Grossteil des Bauabfalls deponiert wird und die Folgen dieser Deponierung nicht absehbar sind. Die Ökobilanzierung würde hier den Aufwand aufweisen, den die Verbringung auf die Deponie und deren Errichtung bedeutet. Ob dies für zukünftige Generationen nicht einen jetzt nicht ersichtlichen Mehraufwand zur Folge, kann man derzeit nicht sagen. Dennoch scheint es nicht unwahrscheinlich. Es gibt zahlreiche Beispiele von Baustoffen, die lange Jahre eingesetzt wurden, wie Asbest im Brandschutz oder polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) als Holzschutzmittel, deren Gefährlichkeit erst im Laufe der Zeit erforscht wurde und die erhebliche Umweltfolgen verursacht haben, indem Gebäude aufwendig renvoiert und teilweise abgerissen werden mussten

Diese Berechnung bedeutet jedoch nicht, dass die Entsorgung in der Ökobilanz nicht dargestellt ist, sondern dass die Festlegung der Systemgrenze zwischen dem Modul 1: Herstellung und dem Modul 5: Rückbau so festgelegt wurde, dass die Entsorgung vielleicht etwas gegen die Intuition im Modul Herstellung liegt, weil sie im Lebenszyklus des Materials eingerechnet wurde.

Die Summen in diesem Modul sind deshalb gering. Die DIN ISO 14 040 können Anteile unterhalb von einem Prozentpunkt vernachlässigt werden. Diese Schwelle wird für das Modul 5: Rückbau teilweise unterschritten.

Insgesamt würde man sich in diesem Segment eine genauere Erfassung und eine bessere Datenlage, als dies mit den eingesetzten Materialdaten möglich ist, wünschen.

**Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;**  
**Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘

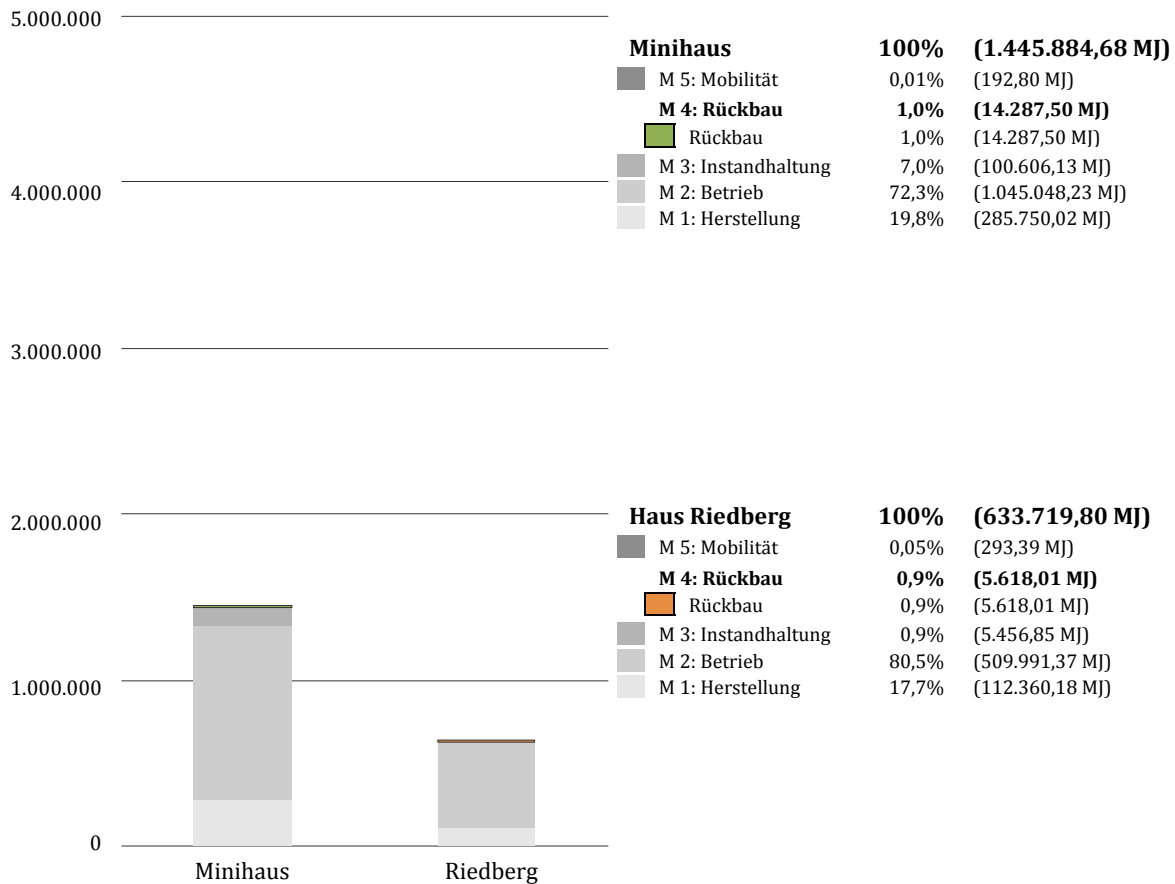
Abbildung 56: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

Der Anteil des Moduls 5:Rückbau beträgt beim Prototyp ‚Minihaus‘ 1,5 %, beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ nur 0,8 %. Das Haus Riedberg hat einen geringeren prozentualen Anteil im Bereich Rückbau, da die Gesamtsumme höher ist. Vergleicht man die absoluten Werte, so ist der Wert beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ größer. Dies ist auf die größeren Massen der Baumaterialien zurückzuführen.



**Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

[MJ]

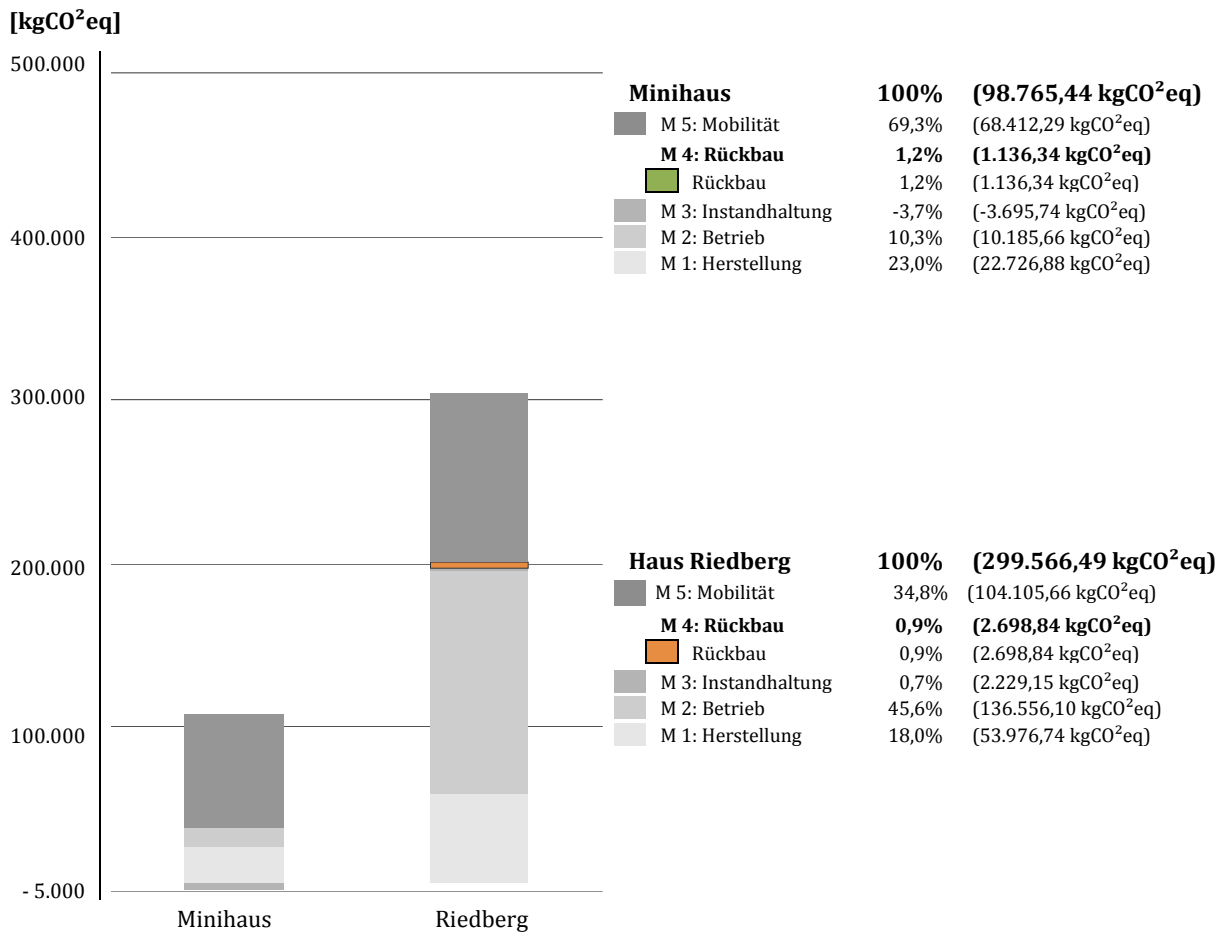


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;  
Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘

Abbildung 57: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

Der Anteil an ‚Primärenergie, erneuerbar‘ ist noch geringer und liegt nur knapp oberhalb der Erfassungsgrenze von 1%. Beim Prototypen ‚Minihaus‘ ist ein relativ hoher Anteil von erneuerbarer Primärenergie ausgewiesen, weil zur Ermittlung das Herstellungsmodul faktorisiert wurde. Der hohe Inhalt erneuerbarer Energie im Modul 1: Herstellung findet sich so auch hier wieder. Tatsächlich ist jedoch davon auszugehen, dass der Anteil geringer ist, weil die hier eingesetzte Energie für den Betrieb der Baustelle, den Transport des Abraums und der Materialien fast ausschliesslich aus nicht regenerativen Quellen gedeckt werden muss. Marc Cevin Pohlmann weist in seiner Ökobilanz den Primärenergieinhalt erneuerbar und nicht erneuerbar als Summe aus, weswegen die von ihm vorgeschlagene Faktorisierung einfacher anzuwenden ist als bei der getrennten erfassung, die hier eingesetzt wird.

**Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;**  
**Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

Abbildung 58: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

Auch das ausgewiesene Treibhauspotential ist gering. Würde man die Werte aus der Entsorgung einbeziehen, so ergäbe sich jedoch beim Prototypen ‚Minihaus‘ ein anderes Bild. Die energetische Wiederverwendung der Holzanteile wirkt sich minderend auf das Treibhauspotential aus. Diese Minderung wird als Herstellung und Entsorgung der Baustoffe im Modul 1: Herstellung erfasst und taucht deswegen beim Rückbau nicht auf.

### 3.3.6 Wirkabschätzung Summe der Module 1 – 5:

Für die Module 1 – 5 konnten gemäß der definierten Wirkungskategorien Werte ausgelesen und eine Wirkungsabschätzung vorgenommen werden. Dies war bei den Modul 6 ‚Infrastruktur‘ und dem Modul 7 ‚Landverbrauch‘ nicht möglich. Deswegen werden in der Summe nur die Module 1 – 5 betrachtet.

Zusätzlich zu den oben aufgeführten Wirkungskategorien werden für die Summe alle Module, als Herzstück der Ökobilanzierung, auch die anderen Wirkungskategorien ausgewiesen:

- Primärenergie	PEI	[MJ]
- Primärenergie nicht erneuerbar	PEI	[MJ]
- Primärenergie erneuerbar	PEI	[MJ]
- Treibhauseffekt	GWP	[kgCO <sub>2</sub> eq]
- Ozonabbaupotential	ODP	[kgR11eq]
- Versauerungspotential	AP	[kgSO <sub>2</sub> eq]
- Überdüngungspotential	EP	[kgPO <sub>4</sub> <sup>3</sup> eq]
- Sommersmogpotential	POCP	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]
- (Bildung von bodennahem Ozon)		

Bei der Betrachtung dieser Kategorien wird unter anderem deutlich, dass die Korrelation zwischen den Indikatoren oder Wirkungskategorien nicht in dem Maß gegeben ist, in dem sie erwartet wurde. Während wenige Wirkungskategorien sich ähnlich verhalten, wie der Primärenergieinhalt, nicht erneuerbar und das Treibhauspotential, was aufgrund der mit dem Verbrauch von nicht regenerativen Energie einhergehenden Freisetzen von Kohlendioxid plausibel erscheint, laufen die anderen Wirkungskategorien sehr unterschiedlich von einer anderen. Diese Erkenntnis legt nahe, dass eine Betrachtung der Umweltwirkungen nicht allein auf die Wirkungskategorien Primärenergie und Treibhauspotential beschränkt werden sollte.

#### **Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5; Wirkungskategorie Primärenergie, gesamt**

Die Wirkungskategorie ‚Primärenergie, gesamt‘ kann herangezogen werden, um die Verbräuche mit Durchschnittsverbräuchen zu vergleichen, bei denen meist nicht zwischen erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteilen unterschieden wird.

Energieverbrauch Insgesamt (14'408 PJ) <sup>53</sup>	14'408'000'000'000	MJ
Einwohner	82'855'500	EW
<b>Pro Kopf</b>	<b>173'894</b>	<b>MJ/Pers*a</b>
	<b>48'303</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Pro Haushalt mit 4 EW</b>	<b>193'212</b>	<b>kWh/4Pers*a</b>
In 50 Jahren <b>Pro Haushalt mit 4 EW</b>	<b>9'660'600</b>	<b>kWh/4Pers*50a</b>
Davon in Modulen 1 bis 5 erfasst 62,2% <b>Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5</b>	<b>6'008'893</b>	<b>kWh/4 Pers*50a</b>
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% <b>Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5</b>	<b>3'651'706</b>	<b>kWh/4 Pers*50a</b>

Tabelle 22: Vergleich Primärenergie gesamt mit Durchschnittsverbräuchen, Quelle: DGJ

<sup>53</sup> Statistisches Bundesamt (Hrsg.) In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftszentrum Berlin und dem Zentrum Methoden und Analysen, Mannheim (ZUMA): Datenreport 2006. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland. Auszug aus Teil I, <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/Datenreport/Downloads/1EnergieRohstoffe.property=file.pdf>, vom Juli 2007, Stand Juli 2008.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Energieverbrauch Private Haushalte (5'999 PJ) <sup>54</sup>	5'999'000'000'000	MJ
Einwohner	82'855'500	EW
<b>Pro Kopf</b>	<b>72'400</b>	<b>MJ/Pers*a</b>
	<b>20'111</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Pro Haushalt mit 4 EW</b>	<b>80'444</b>	<b>kWh/4Pers*a</b>
In 50 Jahren <b>Pro Haushalt mit 4 EW</b>	<b>4'022'200</b>	<b>kWh/4 Pers*50a</b>
Davon in Modulen 1 bis 5 erfasst 62,2% <b>Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5</b>	<b>2'501'808</b>	<b>kWh/4 Pers*50a</b>
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% <b>Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5</b>	<b>1'520'392</b>	<b>kWh/4 Pers*50a</b>

Tabelle 23: Betrachtung der privaten Haushalte, Quelle DGJ

### Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft:

2000 Watt Dauerleistung ergeben bei 365 Tagen und 24 h =

**17.500 kWh/pers\*a**

**bei einem Anteil fossil/nicht erneuerbar max. 25%**

Dabei schlägt die Vision-2000-Watt-Gesellschaft folgende Aufteilung auf die Funktionen/Lebensbereiche vor:

	Zulässig nach der Vision der 2000-Watt-Gesellschaft	
	kWh/m <sup>2</sup> a	KWh/pro Person * a
<b>Material</b>	27,8	3.988
<b>Raumklima</b>	19,4	2.783
<b>Warmwasser</b>	11,0	1.578
<b>Strom</b>	36,0	5.164
<b>Mobilität</b>	27,8	3.988
<b>Summe</b>	<b>122</b>	<b>17.500</b>

Tabelle 24: Verteilung Energie auf Funktionen / Lebensbereiche, Quelle: DGJ

### Diese Maßgabe der Vision-2000-Watt Gesellschaft für den Bereich Wohnen ergibt folgende Jahresrichtwerte pro Kopf:

Gesamter Primärenergieverbrauch: 17'500 kWh/Pers\*a

Fossiler Primärenergieverbrauch: 4'375 kWh /Pers\*a

Regenerat. Primärenergieverbrauch: 13'125 kWh /Pers\*a

1 kWh = 3.600.000 J oder 3,6 MJ

Die Zielgrößen sind nur bedingt mit dem Ergebnis der vorliegenden Studie zu vergleichen. Zwar sind in der vorliegenden Bilanz ein Grossteil des Energieverbrauchs für die Funktionen Wohnen, Gebäude und standortbezogene Mobilität erfasst. Diese sind aber nach statistischen Auswertungen nur ca 62% aller Verbräuche in diesen Bereichen enthalten.<sup>55</sup>

<sup>54</sup> Statistisches Bundesamt (Hrsg.) In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftszentrum Berlin und dem Zentrum Methoden und Analysen, Mannheim (ZUMA): Datenreport 2006. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland. Auszug aus Teil I, <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/Datenreport/Downloads/1EnergieRohstoffe,property=file.pdf>, vom Juli 2007, Stand Juli 2008.

<sup>55</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

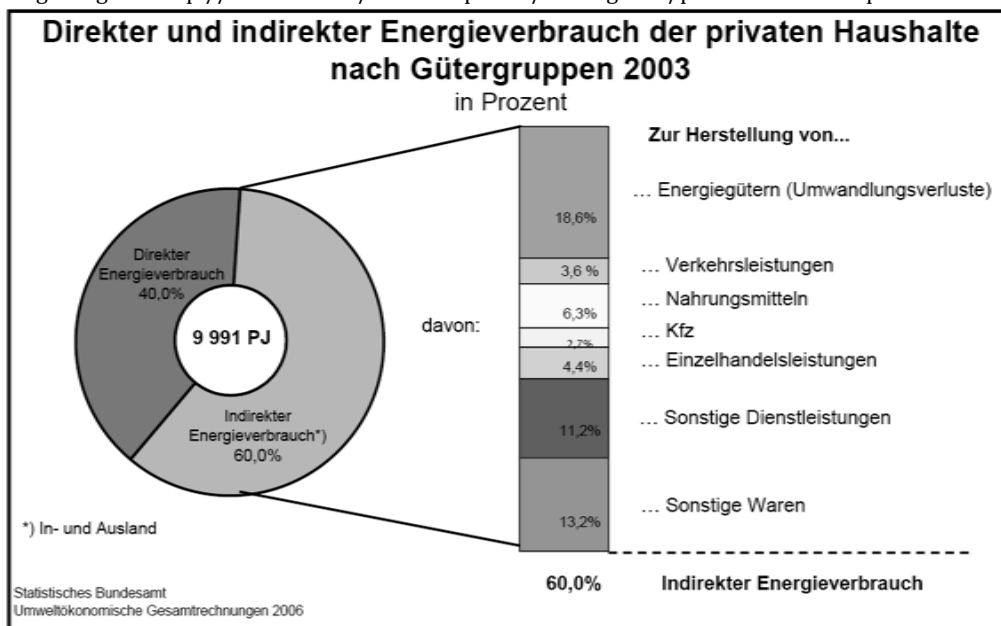
Um einen Vergleich der Gesamtverbräuche der beiden Gebäude mit den Vorgaben der Vision-2000-Watt-Gesellschaft zu erlauben, müssten zu den errechneten Werten noch mit Hilfe eines statistischen Mittelwerts die nicht erfassten Bereiche zugerechnet werden.

Beim Vergleich der Summe des Primärenergieverbrauchs ist zu erkennen, dass das Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ ca. 62,6% mehr Energie verbraucht. Die geringe Summendifferenz ergibt sich auch aus dem hohen Anteil des Moduls Mobilität bei beiden Bilanzen, der sich wenig unterscheidet.

Gesamtenenergetisch ergibt sich beim Prototypen eine Drittelung zwischen den Modulen Mobilität, Betrieb und Herstellung, die den zusammen grössten Anteil haben. Beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ führt der höhere Energieverbrauch im Betrieb dazu, dass dieses Modul über die Hälfte (53,7%) des Gesamtverbrauchs ausmacht. An diesem Vergleich kann man erkennen, warum die jetzt gültige Energie-Einspar-Verordnung EnEV für die Bewertung von modernen Niedrig-Energiehäuser mittelfristig angepasst werden muss. Sie bewertet allein den Betrieb der Gebäude und vernachlässigt die Errichtung. Bei konventioneller Bauweise und durchschnittlichen Energieverbräuchen im Betrieb, ist dieses Modul das energetisch wichtigste und eine solche eingeschränkte Sichtweise sinnvoll. Beim Prototypen ‚Minihaus‘ machen die beiden Anteile selbst über die lange Laufzeit von 50 Jahren noch ungefähr den selben Anteil am Gesamtverbrauch aus. Bei konventioneller Bauweise, wie dem Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ wäre bei einer energiesparenderen Bauweise die Bilanz noch weiter in Richtung der Herstellung verschoben. Notwendig ist mittelfristig eine Anpassung, die auch die Einbeziehung der Herstellung erlaubt. Die Einbeziehung von Standort-Faktoren in eine Energiebilanz wird sich vermutlich schwierig gestalten. Hier bleibt zu hoffen, dass eine Regulierung über die Steigerung der Mobilitätskosten und eine Internalisierung von Umweltschäden einsetzt.

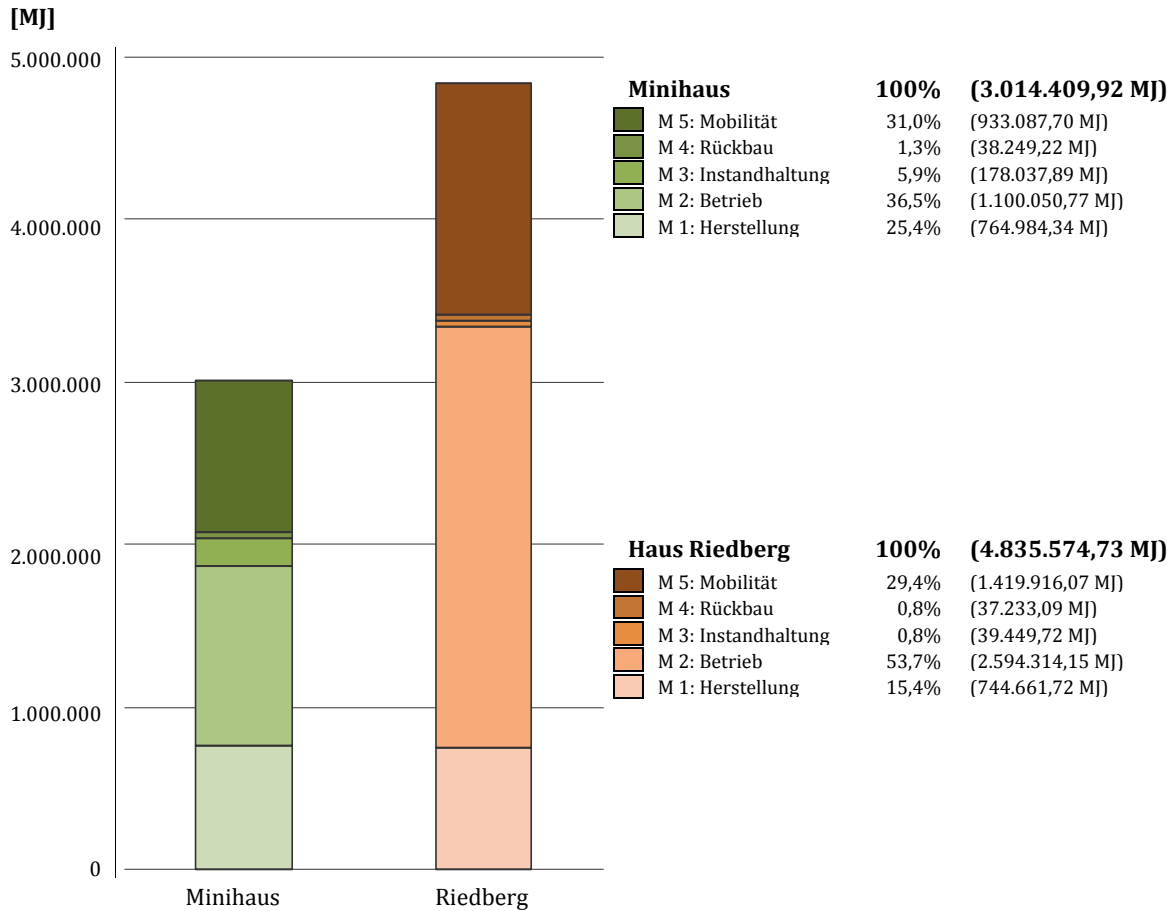
Die für die Beurteilung der Umweltfolgen wichtigere Betrachtung ist die getrennte Erfassung von erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteilen der Primärenergieverbräuche.

Abbildung: Umweltbundesamt: Wie private Haushalte die Umwelt nutzen –höherer Energieverbrauch trotz Effizienzsteigerungen. - <http://www.uba.de/uba-info-presse/hintergrund/private-haushalte.pdf>. Presseinfo, 2007.



Die direkte Nachfrage nach Energiegütern und die indirekte Energie, die bei deren Erzeugung – insbesondere bei der Umwandlung von Energieträgern – zusätzlich benötigt wird, machen zusammen bereits knapp 59 % des gesamten kumulierten Energieverbrauchs aus.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, gesamt**

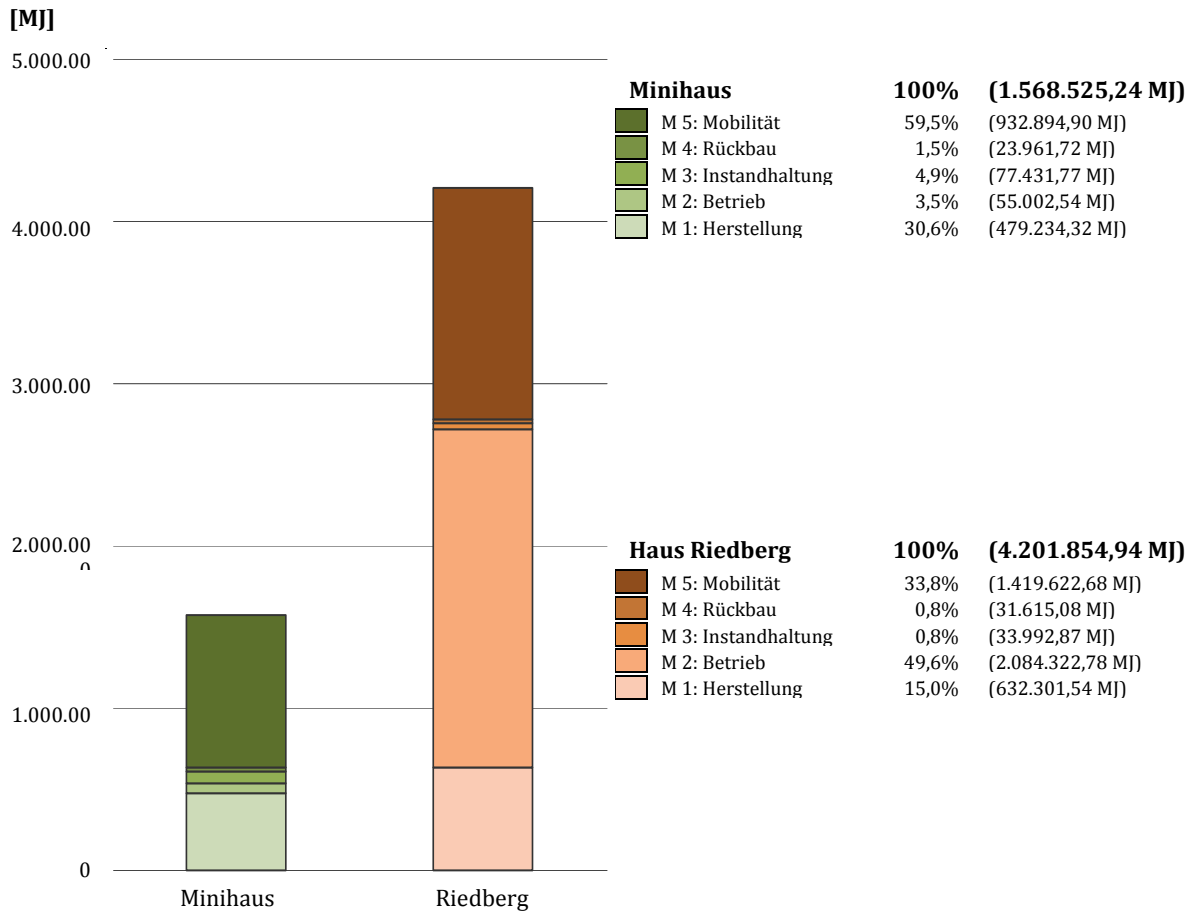


Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, gesamt

Abbildung 59: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie gesamt, Quelle: DGJ

Bei der Analyse des Gesamtverbrauchs an Primärenergie wird deutlich, dass bei der konventionellen Bauweise der Betrieb noch den größten Anteil (53,7%) ausmacht. Diese Verteilung erklärt die Vernachlässigung der grauen Energie (Modul Herstellung) durch die ENEV. Bei dem energetisch optimierten Prototypen ist der Anteil der Herstellung mit 25,4 % in einer ähnlichen Größenordnung wie der Betrieb (36,5 %). Um solche Gebäude sinnvoll energetisch bewerten zu können muss ein Instrument zur ganzheitlich energetischen Bewertung von Gebäuden eingesetzt werden. Bei beiden Objekten macht die standortbedingte Mobilität rund 30% des gesamten Energiebedarfs aus. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Wirkungskategorie.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘**

Abbildung 60: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

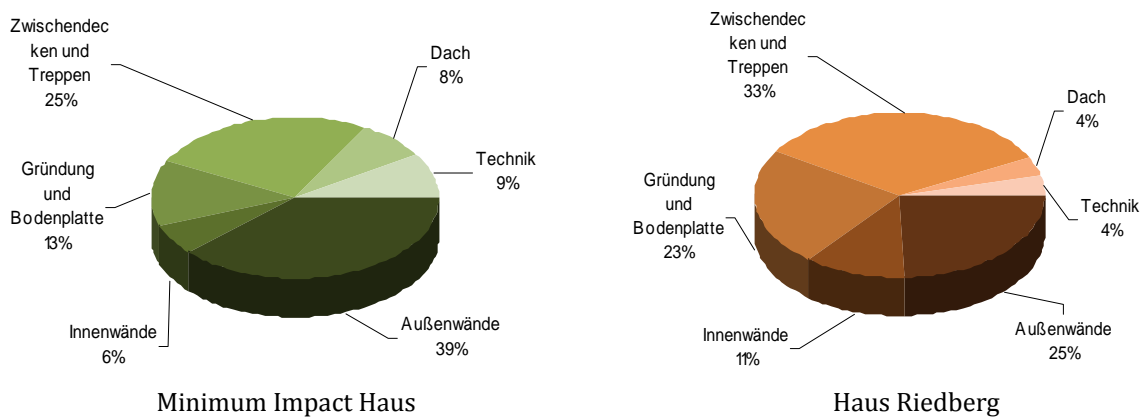


Abbildung 61: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Das Verhältnis des Gesamtverbrauchs ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ zeigt deutlich, dass der Prototyp ‚Minihaus‘ einen geringeren Verbrauch hat. So ist der Verbrauch des Vergleichsobjekts ca 137% höher als der des Prototypen. Noch deutlicher unterscheiden sich die beiden Bilanzen, wenn nur die Module 1 bis 4 (ohne Mobilität) betrachtet werden. Der dann deutlichere Unterschied von 2'782'232 MJ beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ zu 635'630 MJ beim Prototypen sind überwiegend auf das Modul ‚Betrieb‘ zurückzuführen, weil der Einsatz von fossilen Energieträgern zu einem höheren Verbrauch führt.

Dieser Unterschied wird auch beim Vergleich mit den Kriterien der Vision-2000-Watt-Gesellschaft erkennbar: Der Prototyp ‚Minihaus‘ unterschreitet den zulässigen Verbrauch an fossiler Energie um 20%.

<b>Prototyp ‚Minihaus‘ Primärenergie, nicht erneuerbar</b>		
Prototyp ‚Minihaus‘ in Modulen 1 bis 5 erfasst Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	1'568'500	MJ/4 Pers*50a
	2'178	kWh/Pers*a
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	953'200	MJ/4 Pers*50a
	1'324	kWh/Pers*a
<b>Prototyp ‚Minihaus‘ insgesamt Summe</b>	<b>2'521'700</b>	<b>MJ/4 Pers*50a</b>
	<b>3'502</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Kriterium Vision 2000 Watt Gesellschaft</b>	<b>4'375</b>	<b>kWh /Pers*a</b>
<b>Erfüllt</b>	<b>Ja</b>	

Tabelle 25: Primärenergie nicht erneuerbar in 50 Jahren beim Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ

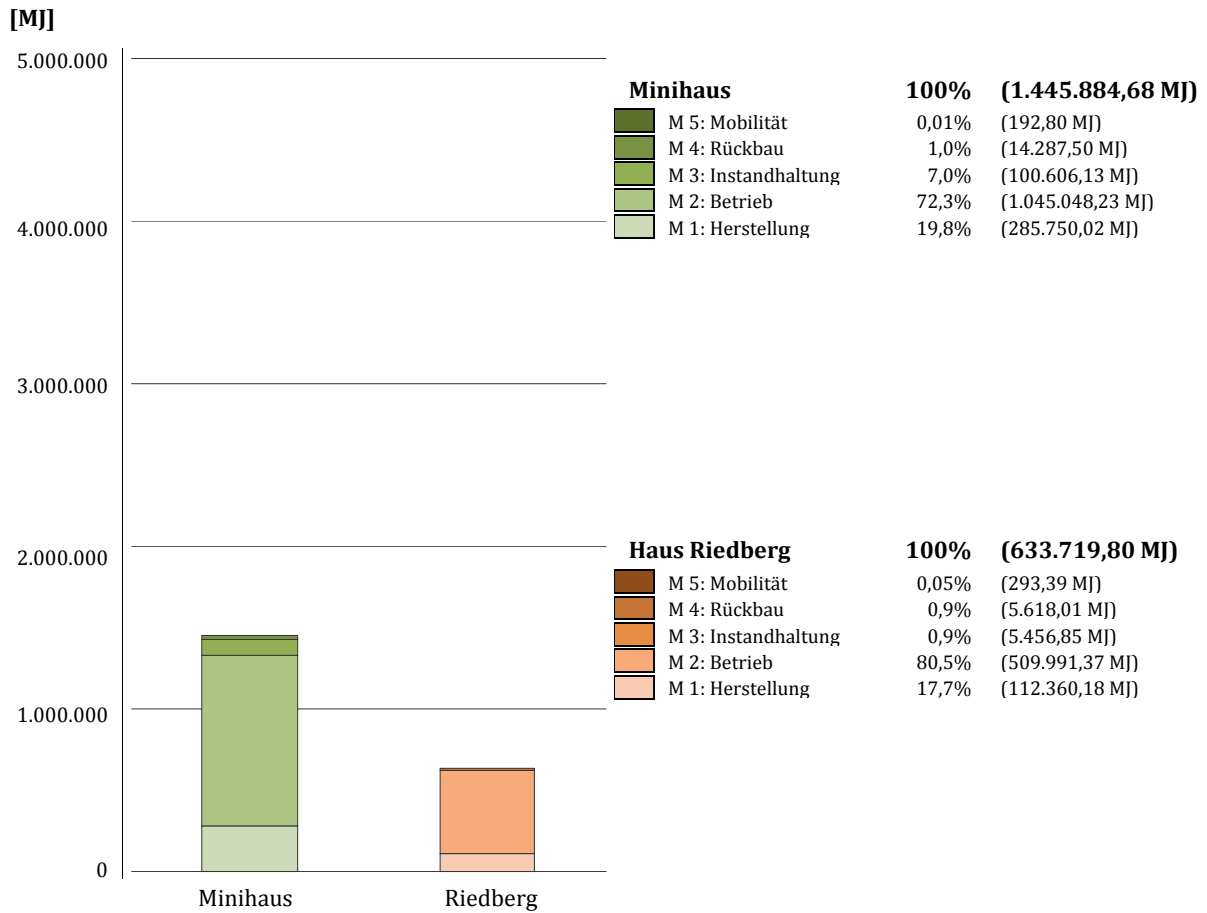
Das Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ überschreitet den zulässigen Richtwert der 2000 Watt-Gesellschaft um 114%.

<b>Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ Primärenergie, nicht erneuerbar</b>		
Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ in Modulen 1 bis 5 erfasst Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	4'202'000	MJ/4 Pers*50a
	5'836	kWh/Pers*a
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	2'554'000	MJ/4 Pers*50a
	3'547	kWh/Pers*a
<b>Vergleichsobjekt Haus Riedberg insgesamt Summe</b>	<b>6'756'000</b>	<b>MJ/4 Pers*50a</b>
	<b>9'383</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Kriterium Vision 2000 Watt Gesellschaft</b>	<b>4'375</b>	<b>kWh /Pers*a</b>
<b>Erfüllt</b>	<b>Nein</b>	

Tabelle 26: Primärenergie nicht erneuerbar in 50 Jahren beim Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ



**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie ‚Primärenergie, erneuerbar‘**

Abbildung 62: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

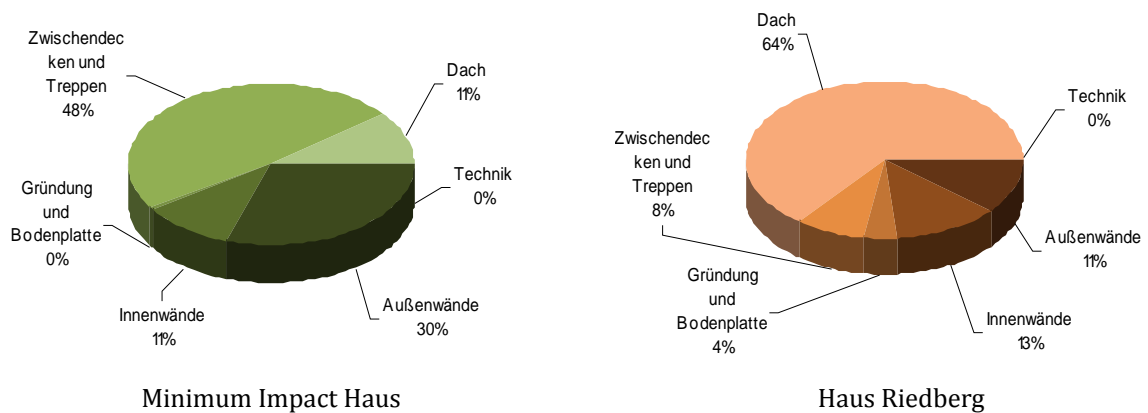


Abbildung 63: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Beim Primärenergieverbrauch, erneuerbar hat der Prototyp ‚Minihaus‘ den deutlich höheren Summenwert, weil in den Modulen 1 und 2 nachwachsende Rohstoffe und Energie aus erneuerbaren Quellen eingesetzt wurde. Da diese Verbräuche ökologisch weniger bedenklich sind, ist eine Verschiebung von nicht erneuerbaren zu erneuerbaren Verbäuchen grundsätzlich positiv.

Die Kriterien der Vision-2000-Watt-Gesellschaft werden von beiden Objekten erfüllt.

<b>Prototyp ‚Minihaus‘ Primärenergie, erneuerbar</b>		
Prototyp ‚Minihaus‘ in Modulen 1 bis 5 Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5 erfasst	1'446'000	MJ/4 Pers*50a
	2'008	kWh/Pers*a
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	878'760	MJ/4 Pers*50a
	1'221	kWh/Pers*a
<b>Prototyp ‚Minihaus‘ insgesamt Summe</b>	<b>2'324'760</b>	<b>MJ/4 Pers*50a</b>
	<b>3'229</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Kriterium Vision 2000 Watt Gesellschaft</b>	<b>13'125</b>	<b>kWh /Pers*a</b>
<b>Erfüllt</b>	<b>Ja</b>	

Tabelle 27: Primärenergie erneuerbar in 50 Jahren beim Minimum Impact Haus, Quelle: DGJ

<b>Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ Primärenergie, erneuerbar</b>		
Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ in Modulen 1 bis 5 erfasst Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	633'720	MJ/4 Pers*50a
	880	kWh/Pers*a
Davon in Modulen 1 bis 5 nicht erfasst 37,8% Pro Haushalt mit 4 EW Module 1 bis 5	385'120	MJ/4 Pers*50a
	535	kWh/Pers*a
<b>Vergleichsobjekt Haus Riedberg insgesamt Summe</b>	<b>1'018'840</b>	<b>MJ/4 Pers*50a</b>
	<b>1'415</b>	<b>kWh/Pers*a</b>
<b>Kriterium Vision 2000 Watt Gesellschaft</b>	<b>13'125</b>	<b>kWh /Pers*a</b>
<b>Erfüllt</b>	<b>Ja</b>	

Tabelle 28: Primärenergie erneuerbar in 50 Jahren beim Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ

**Vergleich der Objekte mit den Kriterien der 2000 Watt-Gesellschaft**

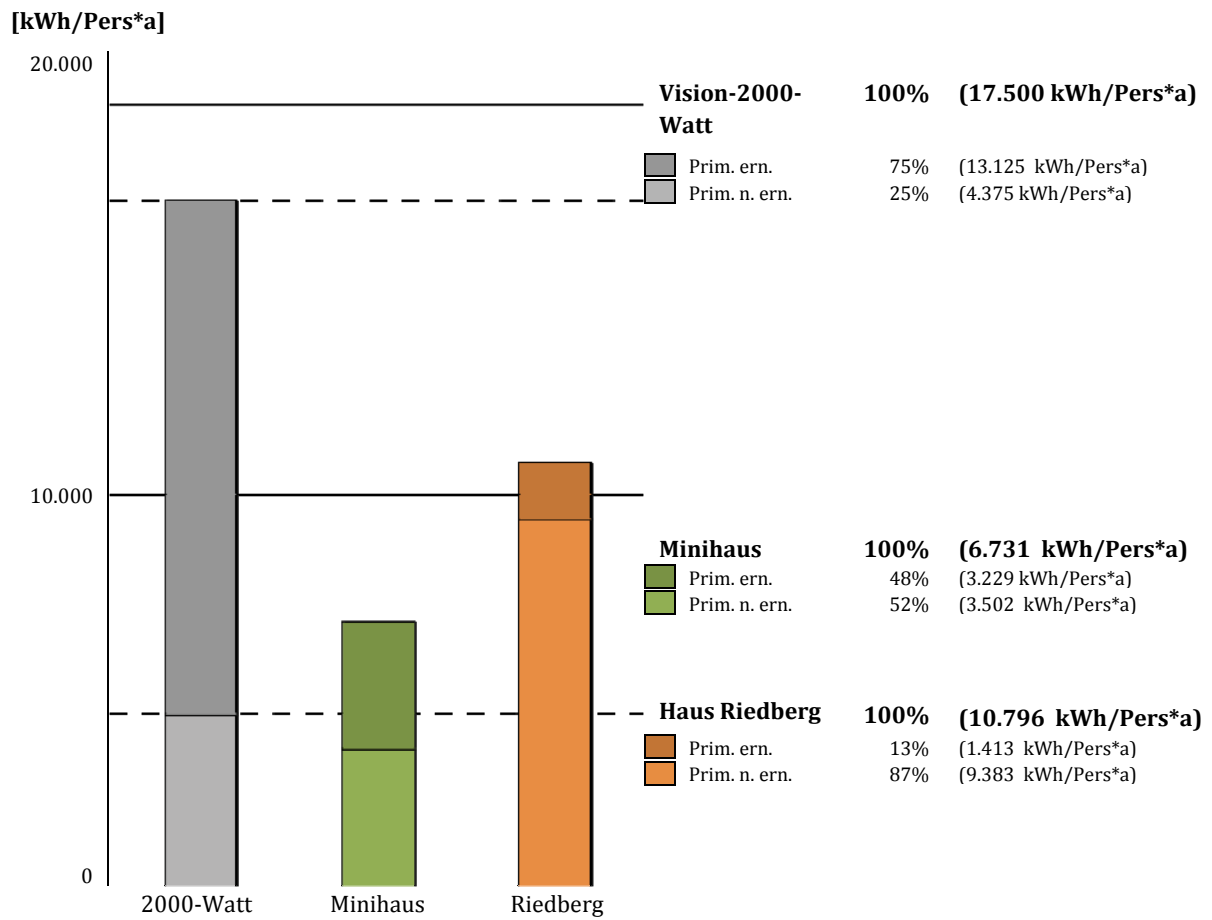


Abbildung 64: Vergleich der Objekte mit den Kriterien der 2000-Watt-Gesellschaft, Quelle: DGJ

### **Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**

Bei der Wirkungskategorie Treibhauspotential ist der Unterschied zwischen dem Prototypen ‚Minihaus‘ und dem Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ dreimal grösser. Fast Zweidrittel der Emissionen in des Prototyps in dieser Wirkungskategorie entstehen im Modul 4: Mobilität. Umgerechnet auf ein Jahr und eine Person ergeben sich Emissionen von 540 kg/Pers\*a. Im Bundesdurchschnitt des Jahres 2003 lagen die Emissionen der privaten Haushalte bei 2510 kg/Pers\*a<sup>56</sup>. Für die beiden Funktionen Wohnen (ohne motorisierter Verkehr) ergibt sich ein Wert von 1448 kg/Pers\*a<sup>57</sup>. Damit stellt der Prototyp eine deutliche Verbesserung gegenüber dem Status Quo dar.

Die Emissionen aller Module pro Jahr und Person beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ liegen bei 1511 kg/Pers\*a. Im Bereich Wohnen (Module 1 bis 4, ohne Mobilität) ergibt sich ein Wert von 1080 kg/Pers\*a, nur rund 50% unter den Durchschnittsemissionen für die Funktion Wohnen.

Beim Prototypen ‚Minihaus‘ entstehen die meisten Emissionen durch das Modul 4: Mobilität (69,3%). Hier ist auch das größte Optimierungspotential über eine umweltverträglichere Lebensführung (Verzicht auf Auto, Kurzstrecken) und effizientere Mobilität (Verbrauch, Fahrgemeinschaften) zu erzielen. Das Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ verursacht fast die Hälfte (45,6%) der Treibhausgas-Emissionen durch den Betrieb mit Erdgas. Hier könnte durch den Einsatz regenerativer Energien (Biomasse, Umweltenergie, Ökostrom) ein Großteil der Emissionen vermieden werden.

Betrachtet man beim Prototypen ‚Minihaus‘ die Bauteile im Modul 1: Herstellung einzeln, so wirken haben die Aussenwände den grössten Anteil. Die Glasherstellung und die Herstellung der Fassadenplatten setzen Treibhausgase frei. Im Falle der Fensterflächen ist zu bedenken, dass diese wegen der solaren Einträge, den Betriebsaufwand des Gebäudes senken, so dass sich diese Emissionen zum Teil durch die Vermeidung von Emissionen im Betrieb kompensiert werden.

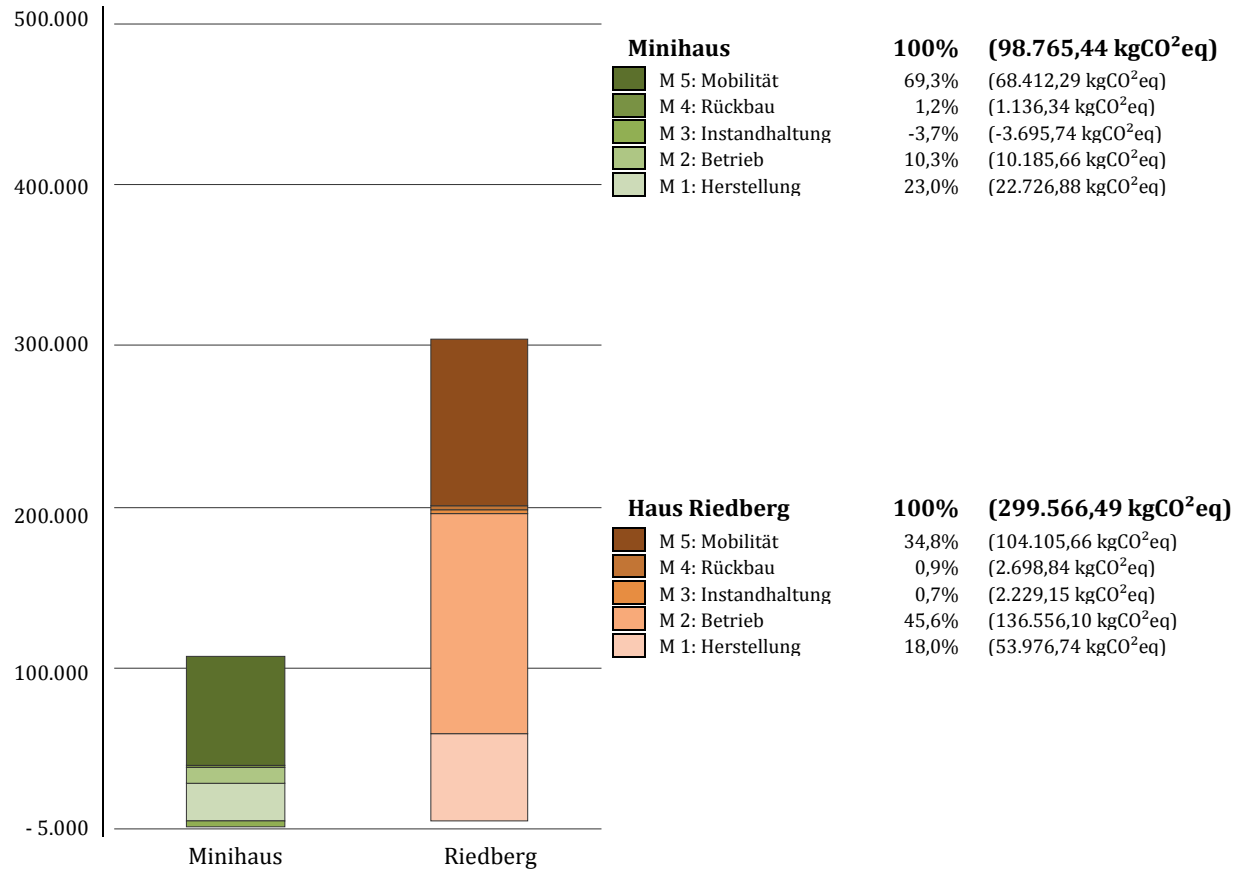
---

<sup>56</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>57</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**

[kgCO<sup>2</sup>eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**

Abbildung 65: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

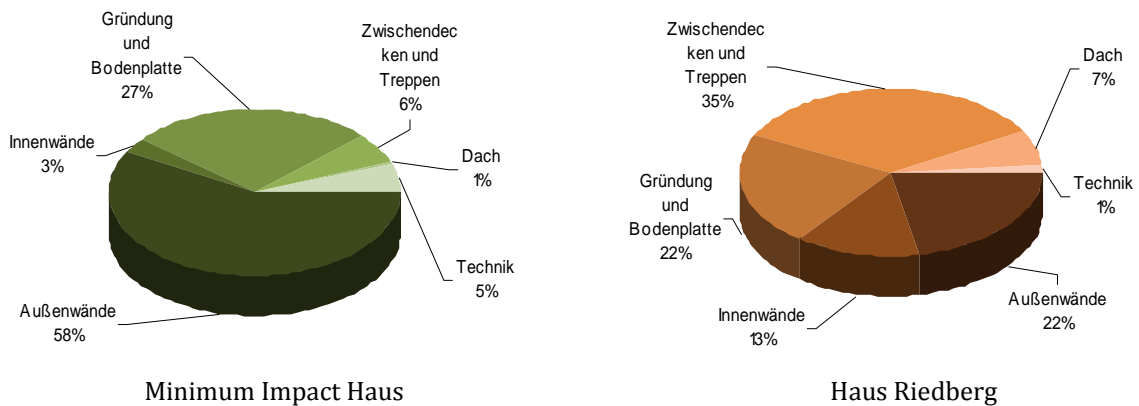


Abbildung 66: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

**Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5;  
Wirkungskategorie Ozonabbaupotential ODP**

Das Ozonabbaupotential wird überwiegend vom Modul 5: Mobilität bestimmt. Hier entstehen durch die Verwendung von Kraftstoff aus fossilen Quellen zwischen 86,7% (Prototyp 'Minihaus') und 90,7% (Vergleichsobjekt Haus Riedberg) der Emissionen.

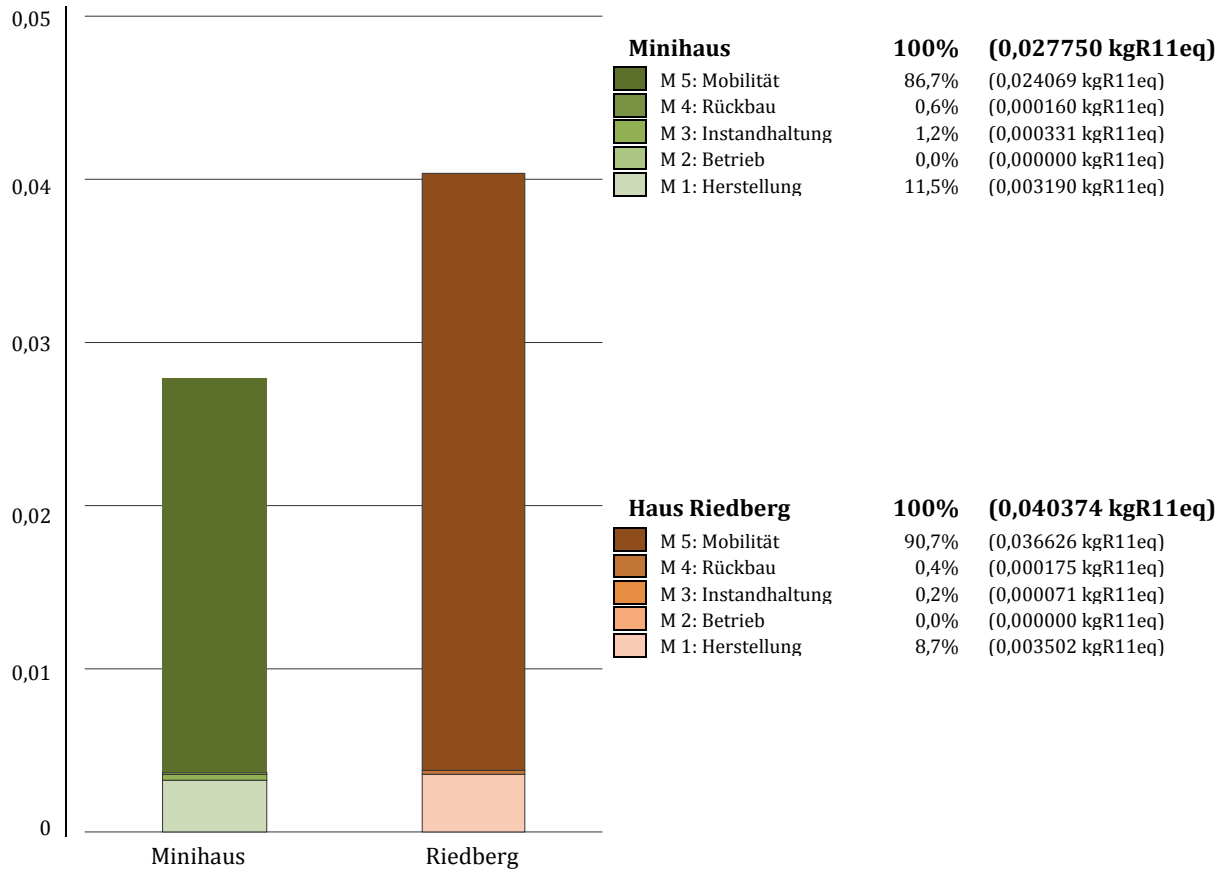
Das Modul Betrieb fällt nicht ins Gewicht, weil die eingesetzten Energieträger, Ökostrom und Erdgas wenig zum Ozonabbau beitragen.

Relevant ist das Modul 1: Herstellung bei beiden Objekten. Hier entsteht ein Grossteil der gebäudebezogenen Emissionen. Relevante Bauteile sind für den Ozonabbau alle Kunststoffe (Folien, Abdichtungen, Dämmmaterialien, Beschichtungen), insbesondere solche lange-kettigen Kohlenwasserstoffen und Lösungsmittel, auch Farben und Lacke. Beim Prototypen sind die Holzwerkstoffplatten mit Phenolharz als Bindemittel der Fassade und die eingesetzten Beschichtungen für die Emissionen entscheidend.

Es ist festzustellen, dass die deutliche Verbesserung der Ökobilanz, die für die ersten drei Wirkungskategorien - Primärenergie, erneuerbar und nicht erneuerbar, Treibhauspotential - erzielt wurden, sich hier nicht wiederholen. Dies hat u.a. einen methodischen Grund, dass die ersten drei Kategorien als Indikatoren eingesetzt wurden, die begleitend zu der Entwicklung des Prototypen 'Minihaus' betrachtet wurden, und der Prototyp stetig in Hinblick auf diese Werte optimiert wurde. Diese Optimierung wurde in Hinblick auf die anderen Faktoren nicht mehr durchgeführt. Um eine umfassendere Optimierung aller Wirkungen zu erreichen, ist ein mehrdimensionales Vorgehen notwendig. Es ist jedoch vorstellbar, dass ein solches Bilanzierungs-Instrument zu erarbeiten wäre, weil die einzelnen Faktoren sich selten gegenseitig bedingen oder ausschliessen. Ein mögliches Vorgehen wäre dementsprechend, eine Definition von Schwellenwerten, die das Gebäude als ganzes und einzelne Bauteile und Bauteilgruppen nicht überschreiten dürfen. Bei einer kontinuierlichen Eingabe des Entwicklungs- oder Planungsstandes des Gebäudes würde das Bilanzierungs-Instrument vor einer Überschreitung der Werte warnen. Diese Iterationen konnten im Rahmen der Entwicklung des Prototypen nicht beliebig oft durchgeführt werden, weil die Laufzeit des Projektes in Verbindung mit dem Zeitaufwand für die Programmierung des Tabellenkalkulationswerkzeug einen Planungsschluss erforderten, der weitere Optimierungen verhinderte.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Ozonabbau ODP**

[kgR11eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Ozonabbau ODP**

Abbildung 67: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Ozonabbau ODP, Quelle: DGJ

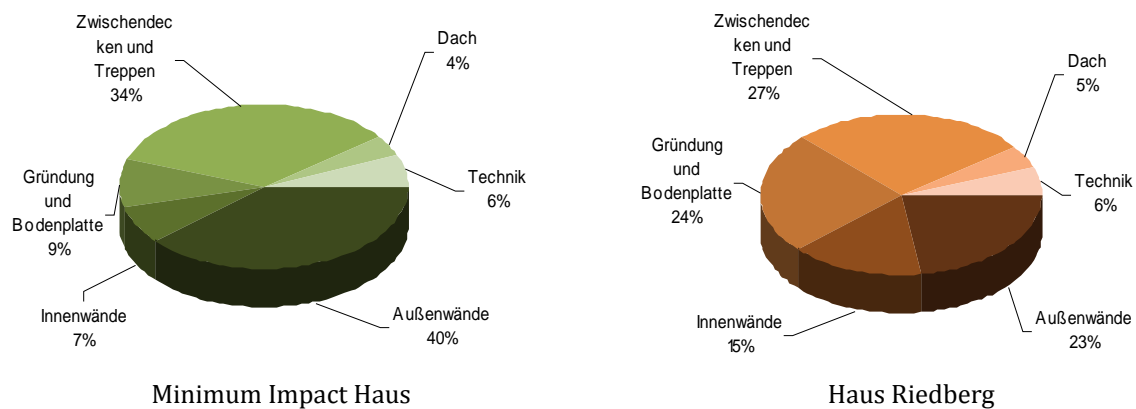


Abbildung 68: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie: Ozonabbau ODP, Quelle: DGJ

**Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5;  
Wirkungskategorie Versauerung AP**

Die Versauerung entsteht vor allem durch Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>), die in die Atmosphäre abgegeben werden und durch den Regen aus der Luft ausgewaschen werden. In Wasser gelöst wirken diese Substanzen sauer und senken der PH-Wert des Regenwasser und der Böden auf die dieser fällt.

Der saure Regen wirkt schädlich auf Flora und Fauna in Oberflächengewässern, aber auch auf Pflanzen direkt oder indirekt über die Versauerung der Böden. Da diese Substanzen vergleichsweise schnell aus der Atmosphäre gewaschen werden, wirken die Schadstoffe im Gegensatz zu den global wirksamen Emissionen (Kohlendioxid, Ozonabbau) regional. Die durchschnittlich von einem SO<sub>2</sub>-Molekül zurückgelegte Distanz wird mit 70km angegeben.<sup>58</sup>

Bei der Wirkungskategorie Versauerung zeigt sich ein ähnliches Gesamtbild wie beim Ozonabbau. Massgeblich sind bei beiden Vergleichsobjekten mit 72,9% (Prototyp , Minihaus') bzw. 78,7% (Vergleichsobjekt Haus ,Riedberg') ist die Mobilität aufgrund des motorisierten Individualverkehrs.

Nach der Mobilität entstehen die meisten Emissionen durch die Herstellung des Gebäudes. Die durch die Herstellung des Vergleichsobjekt ,Haus Riedberg' bedingte Versauerung ist rund ein Viertel grösser als die durch Prototyp ,Minihaus' im Modul 1: Herstellung verursachte.

Massgeblich für die Versauerung ist der Einsatz von Polystyrol (Dämmung), Beton, Stahl und Kupfer. Dementsprechend setzt sich im Modul 1: Herstellung beim Prototypen: ,Minihaus' die Versauerung zusammen aus:

- ca. 19% in Fundamente und Gründung, aufgrund der Anteile an Beton und Polystyrol-Perimeterdämmung
- ca. 33% Aussenwände, im Erdgeschoss Polystyrol-Aussendämmung, Stahlbetonanteile, Stahlaussteifungen der Holztafeln
- ca. 28% Zwischendecken, Boden EG und Decke über EG Stahlbeton
- ca. 15% Dach, Polystyrol dämmung

Beim Vergleichsobjekt ,Haus Riedberg' ergeben sich die grössten Wirkanteile aus dem Einsatz von Beton und Baustahl, die ein grosses Versauerungspotential haben und in grossen Massenanteilen eingesetzt sind.

Ungefähr ein Drittel der Versauerung ergibt sich aus dem Einsatz von Polystyrol-Wärmedämmung an der Fassade und der Bodenplatte. Diese könnten vermieden werden, wenn z.B. Mineralwolle eingesetzt würde. Weitere 10% aus den Kupferleitungen, die man durch weniger schädliche PVC-Leitungen ersetzen könnte.

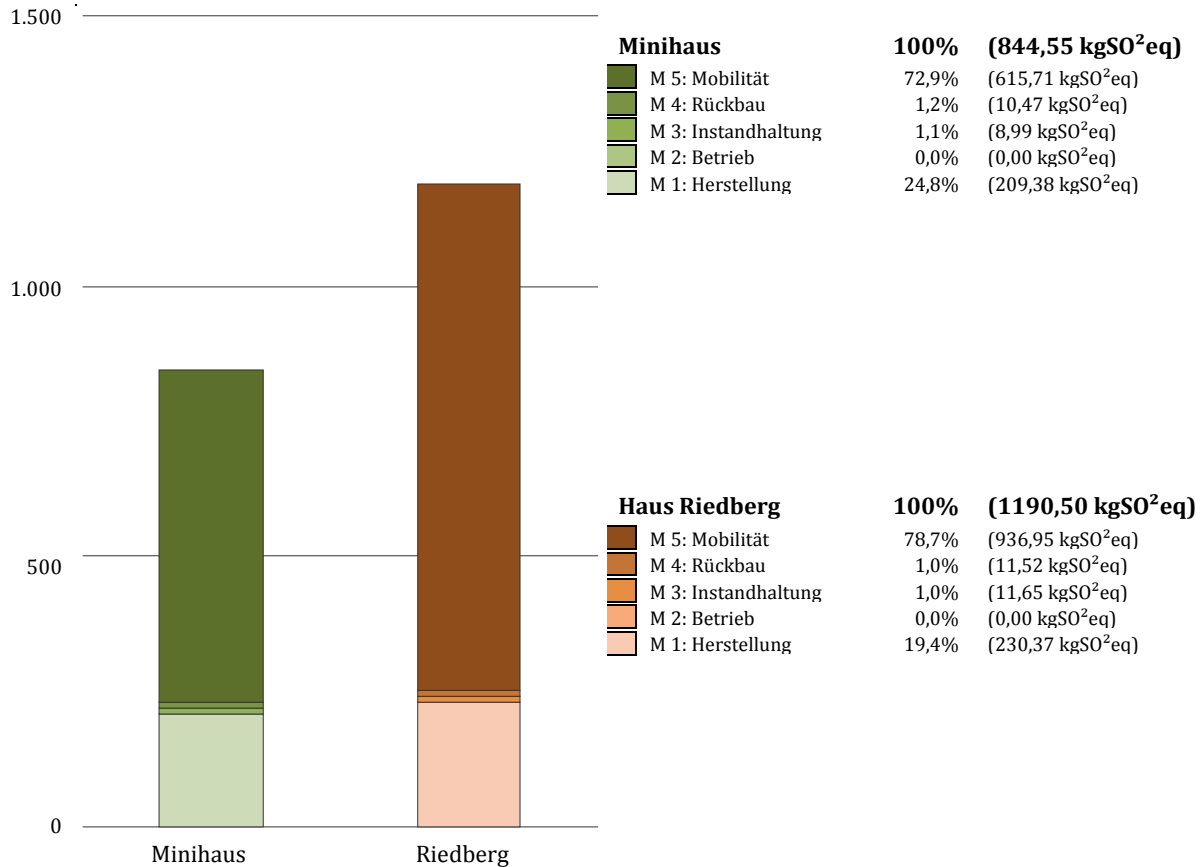
---

<sup>58</sup> Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.



**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Versauerung AP**

[kgSO<sup>2</sup>eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Versauerung AP**

Abbildung 69: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Versauerung AP, Quelle: DGJ

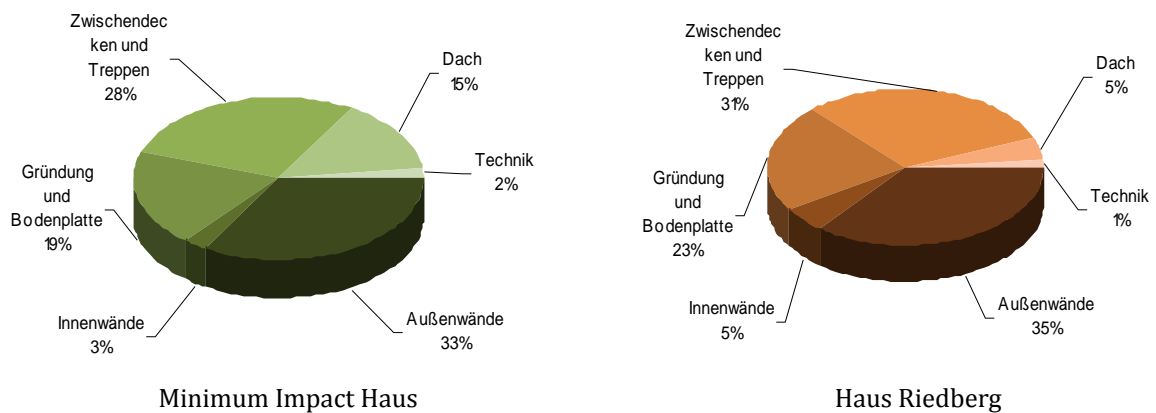


Abbildung 70: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie: Versauerung AP, Quelle: DGJ

**Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5;  
Wirkungskategorie Überdüngung EP**

Die Freisetzung von meist Stickstoff- und Phosphorverbindungen kann zu einer Überdüngung von Böden und Gewässern führen. Bei der Euthrophierung von Böden wird deswegen die heimische Vegetation, die an einen niedrigeren Nährstoffgehalt des Bodens angepasst ist, durch solche ersetzt werden, die nur durch die anthropogen zugeführten Stoffe sich durchsetzen. Bei Gewässern kann die Überdüngung ein übermäßiges Algen- und Pflanzenwachstum hervorrufen. Bei der Verwesung der Reste dieser pflanzlichen Biomasse wird dem Wasser Sauerstoff entzogen so dass Tierarten gefährdet sind, die mit dem niedrigeren Sauerstoffgehalt nicht leben können. Dies kann dazu führen, dass die Gewässer faulen oder umkippen.

Wie bei den vorgenannten Wirkungskategorien fällt bei der Betrachtung der Gesamtbilanz auf, dass die Euthrophierung in erster Linie durch das Modul 5: Mobilität entsteht. Beim Prototypen ‚Minihaus‘ sind dies 82,8% und beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ 87,9%.

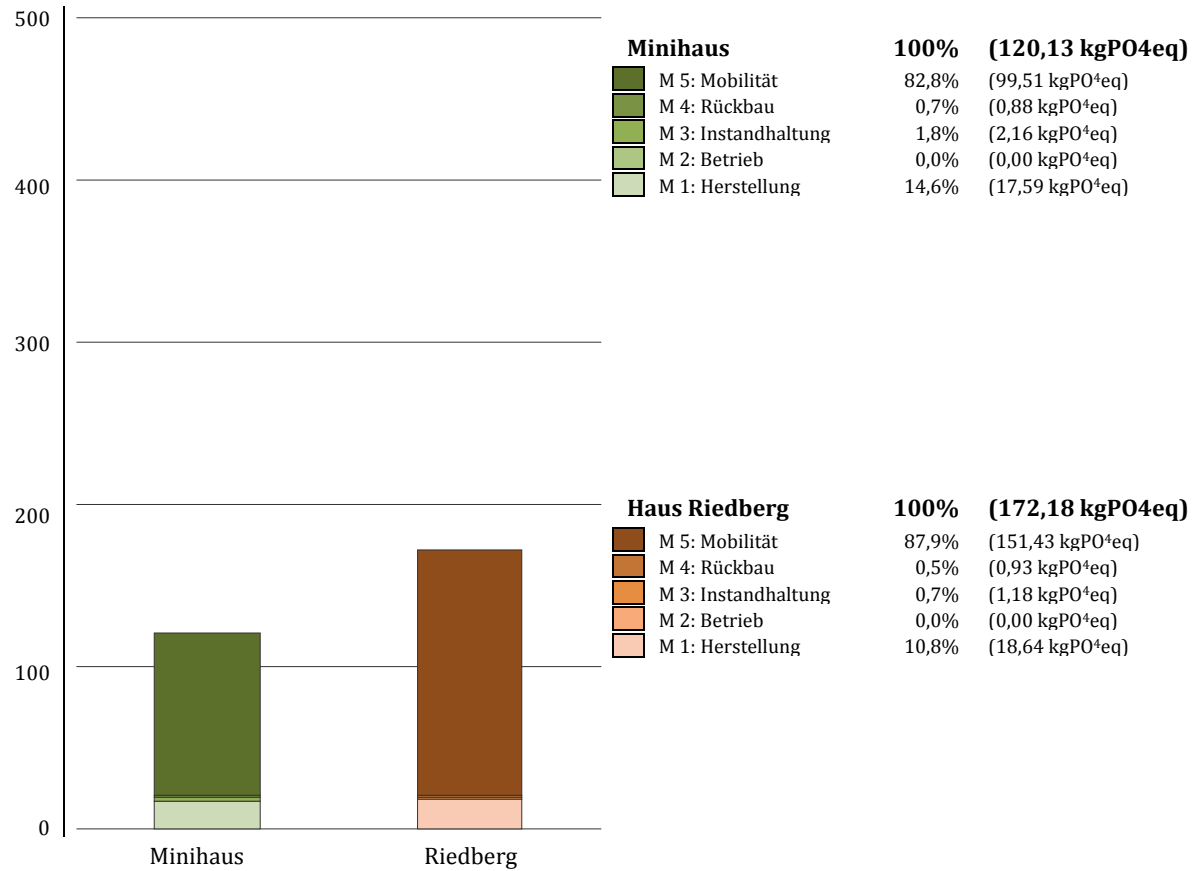
Die restlichen Anteile dieser Wirkungen ergeben sich auch hier fast ausschließlich durch die Errichtung der Gebäude.

Gut die Hälfte der Emissionen ergeben sich beim Prototypen ‚Minihaus‘ bei der Herstellung der Aussenwände (48%). Hohe Emissionen verursacht hier der Einsatz von Glasscheiben (ca. 20%), Holzwerkstoffplatte mit Phenolharz als Bindemitteln in der Fassade (ca. 10%) und Stahlbeton (ca. 30%) im Erdgeschoss in Böden, Decken und Stützen.

Beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ liegen die Emissionen ungefähr 25% über denen des Prototypen. Hier wirken sich Zwischendecken und Treppen mit 42% aus, weil diese einen hohen Anteil an Stahlbeton haben.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Überdüngung EP**

[kgPO<sup>4</sup>eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Überdüngung EP**

Abbildung 71: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Überdüngung EP, Quelle: DGJ

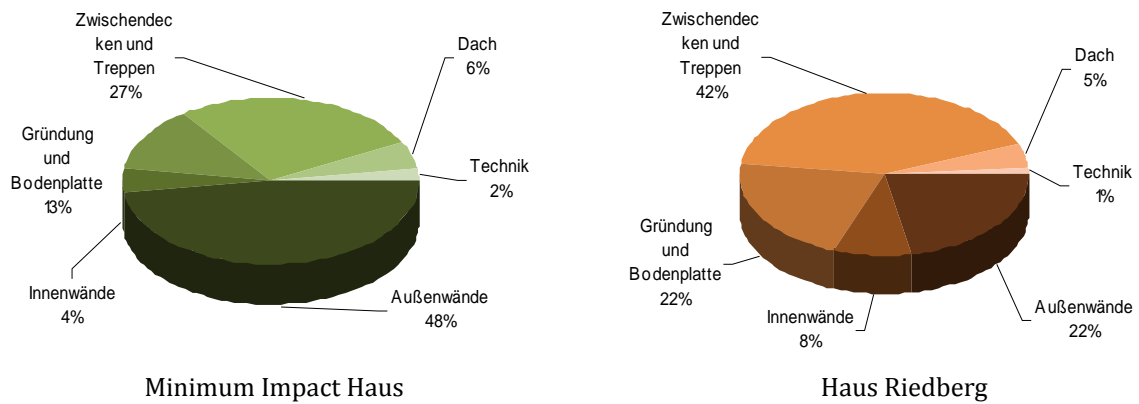


Abbildung 72: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Überdüngung EP, Quelle: DGJ

**Wirkabschätzung Summe der Modul 1-5;  
Wirkungskategorie Sommersmog POCP**

Sommersmog bezeichnet die Belastung der bodennahen Luftschichten durch eine hohe Ozonkonzentration. Ozon schädigt Pflanzen, Tiere und Menschen. Es kann zu Reizungen und Entzündungen führen. Weitere Symptome erhöhter Ozon-Konzentrationen in der Luft können sein Husten, Augenreizungen, Kopfschmerzen und Lungenfunktionsstörungen. Körperliche Anstrengungen sind bei erhöhten Ozon-Werten zu vermeiden, weil durch die gesteigerte Lungenfunktion noch grössere Mengen Ozon eingeatmet würden.

Sommersmog tritt bei wärmerem Wetter, vor allem im Sommer, auf und wird durch das Zusammenspiel von Stickoxiden, Kohlenwasserstoffen als Katalysatoren und UV-Strahlung des Sonnenlichts verursacht, weswegen man auch von Photosmog oder photochemischer Smog spricht. Stickstoffdioxid wird durch die hochenergetische UV-Strahlung in Stickstoffmonoxid und ein einzelnes Sauerstoffatom (Sauerstoff-Radikal) gespalten. Der atomare Sauerstoff (O<sub>2</sub>) verbindet sich mit dem einzelnen Sauerstoff-Molekül zu Ozon (O<sub>3</sub>). Gleichzeitig baut das Stickstoff-Monoxid das Ozon wieder ab. Die Konzentration des Ozons in der Luft ist von der Strahlungsintensität und der Konzentration des Stickstoffmonoxids abhängig.

Die Stickoxide und andere entstehen in Verbrennungsmotoren. Ungesättigte Kohlenwasserstoffe, die ebenfalls in der Abgasen von Verbrennungsmotoren enthalten sind, haben auch ein hohes Ozon-Bildungspotential. Durch die in Fahrzeugen eingesetzten Katalysatoren wird die Ozonbildung um 80% bis 90% reduziert.

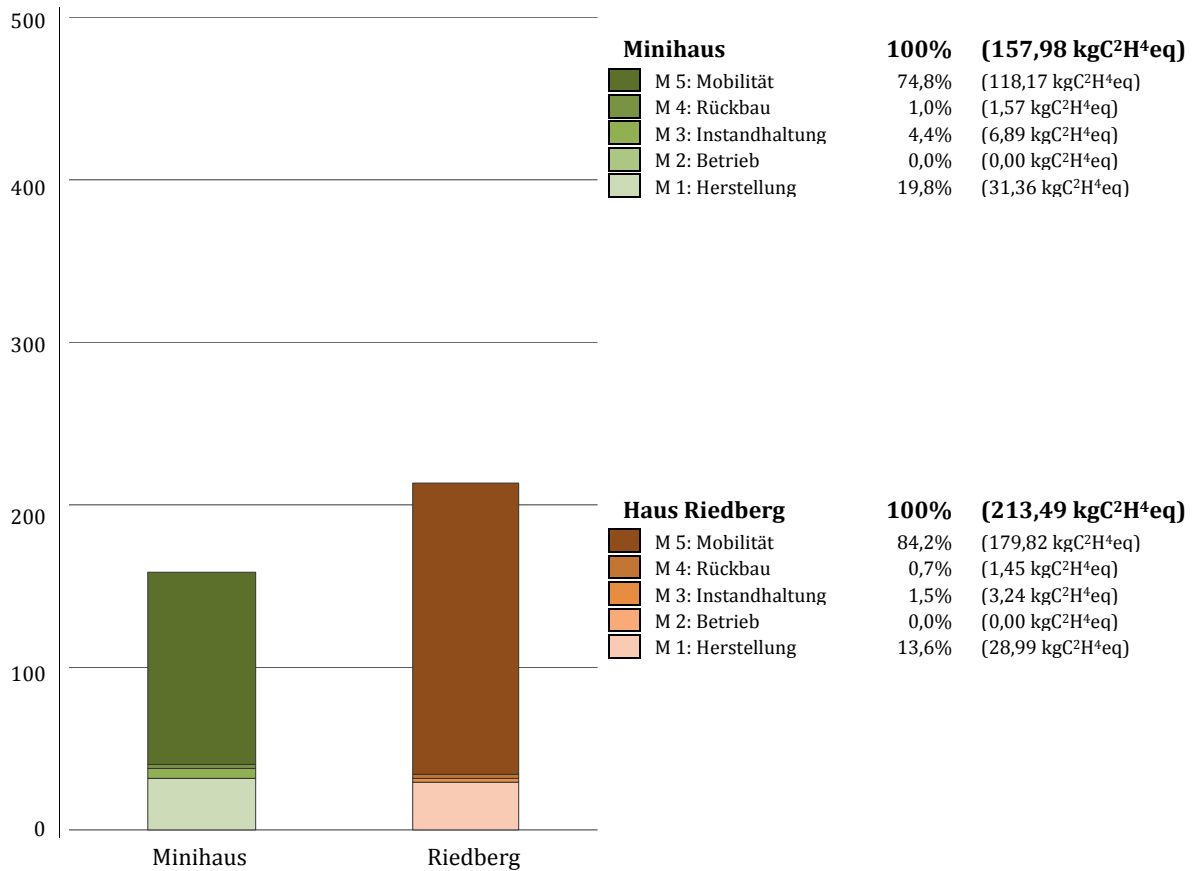
Dies spiegelt sich auch in dem Ergebnis der Ökobilanzierung: Zwischen 74,8% beim Prototypen ‚Minihaus‘ und 84,2% beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ der Emissionen entstehen im Modul 4: Mobilität. Der Betrieb trägt deshalb so wenig bei, weil sowohl durch die Verbrennung von Erdgas, als auch durch den Ökostrom kaum Sommersmog relevante Stoffe freigesetzt werden.

Die restlichen Emissionen entstehen wiederum fast ausschliesslich bei der Herstellung der Gebäude. Im Vergleich der absoluten Werte zeigt sich, dass die beiden Gebäude fast gleich liegen. Eine deutliche Verbesserung gegenüber einer konventionellen Bauweise konnte beim Prototyp deshalb nicht erreicht werden, weil im Erdgeschoss und Fundamente grössere Mengen von Stahlbeton verbaut wurde. Dieser macht einen Anteil von ca. 13% der Emissionen aus. Ungefähr 10% der Emissionen gehen auf die Phenolharze der Fassade zurück und ungefähr ebensoviel auf die Verglasungen. Die Zwischendecken haben einen Anteil von ca. 30% an den Emissionen. Hier sind tragen die Holzwerkstoffe (OSB und KVH) am meisten zu den Emissionen bei.

Beim Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ fallen die Stahlbetonbauteile in Fundamenten (19%) und Zwischendecken (31%) ins Gewicht.

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Sommersmog POCP**

[kgC<sup>2</sup>H<sup>4</sup>eq]



**Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Sommersmog POCP**

Abbildung 73:Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Sommersmog POCP, Quelle: DGJ

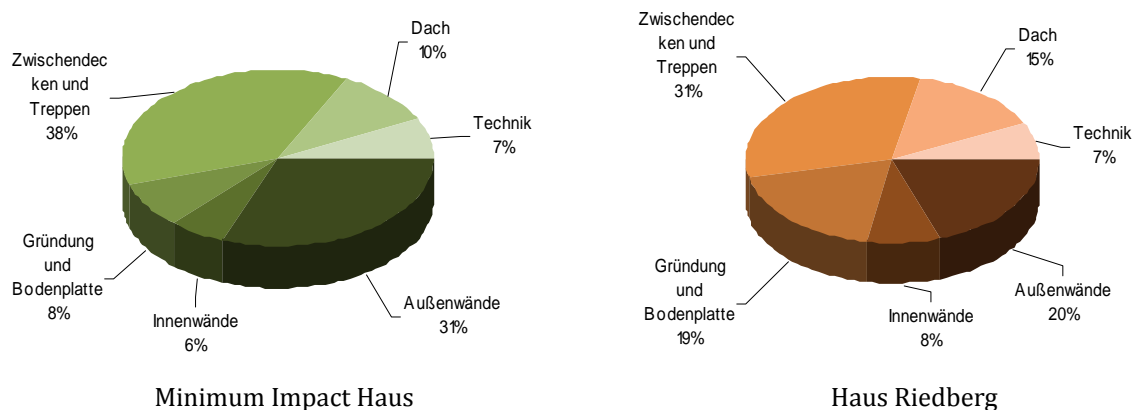


Abbildung 74: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Sommersmog POCP, Quelle: DGJ

### 3.3.7 Wirkabschätzung Module 6: Infrastruktur

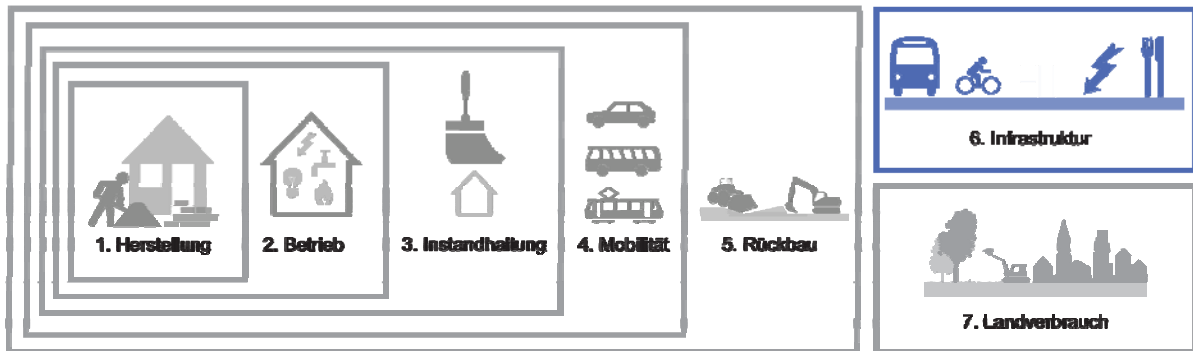


Abbildung 75: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ

Für das Module 6 ‚Infrastruktur‘ ließ sich nicht mit ausreichender Genauigkeit Input- und Outputströme definieren, die sinnvoll auf andere Bauprojekte übertragen werden könnten. Deswegen lassen sich hier auch keine Aussagen im Sinne der definierten Wirkungskategorien machen.

### 3.3.8 Wirkabschätzung Module 7: Landverbrauch

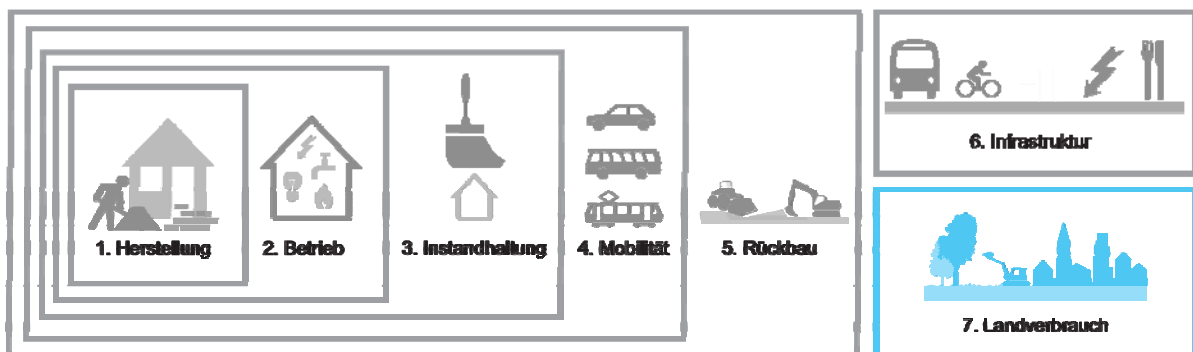


Abbildung 76: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ

Der Landverbrauch, der mit der Erschließung neuer Baugebiete einhergeht, gefährdet den natürlichen Wasserhaushalt und senkt den Grundwasserspiegel langfristig ab, wodurch die Trinkwasserversorgung gefährdet und die Klimaerwärmung befördert wird. Die Denaturierung der Naturräume, die mit der Erschließung neuer Siedlungsgebiete einhergeht, gefährdet die Flora und Fauna. Das Verschwinden der Lebensräume für Pflanzen und Tiere gefährdet die Artenvielfalt. Ökologische Ausgleichsflächen, die wegen dem photosynthetischen Abbau von Kohlendioxid durch die Grünpflanzen dem Treibhauseffekt entgegenwirken und Luftschadstoffe abbauen, werden zerstört. Diese Landschaftsräume haben nicht nur eine ökologische Ausgleichsfunktion, sondern sind auch wichtige Naherholungsräume für die Bevölkerung, die insbesondere in den Großstädten wichtig.

Für eine Wirkungsabschätzung des Landverbrauchs fehlen derzeit die wissenschaftlichen Grundlagen. Die Material- und Energieinputs sind in Abhängigkeit des betroffenen Bodens und der darauf befindlichen Biomasse oder Nutzung unterschiedlich. Für eine Wirkungsabschätzung wäre vermutlich auch weniger die einmalige Wirkung durch den Verlust der auf dem Boden befindlichen Stoffe und Biomasse relevant, sondern das dauerhafte Entfallen der biotischen und abiotischen Systeme für das Ökosystem. Darüber ist mit der hier vorgestellten Methode keine Aussage zu machen.

Die ökologischen Wirkungen aus dem Landverbrauch zu quantifizieren, erwies sich jedoch als unmöglich. Zwar könnte man die Biomasse bilanzieren, die eine definierte Landfläche beinhaltet und der Zerstörung diese Biomasse eine ökologische Wirkung zuweisen, jedoch würde die Bandbreite der Wirkzusammenhänge durch diese Annahme unzulässig vereinfacht. Wie schon im Kapitel 4.10. Wasserhaushalt dargestellt, ist die Wechselwirkung zwischen dem Wasserhaushalt der Landschaft und dem Klima nur unzureichend erforscht. Wenn man mit Detlev Glücklichs ausgeht, dass dieser

Zusammenhang eine ähnliche Bedeutung hat wie die CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>59</sup>, dann wäre auch die Auswirkung des Landverbrauchs und der damit verbundenen Eingriff in den Wasserhaushalt durch die Vernichtung von Retentions-, Versickerungs- und Verdunstungsflächen doppelt relevant. Es muss jedoch festgestellt werden, dass diese Bedeutung mit den hier vorgestellten Instrumenten nicht greifbar ist. Hinzu tritt die Schwierigkeit, dass die Unterschiedlichkeit von Naturräumen und Bodenstrukturen eine Verallgemeinerung von lokalen Ergebnissen erschwert. Während sich anthropogene Systeme, wie das hier vorgestellte Vergleichsgebäude Haus Riedberg in fast baugleicher Art wiederholt und diese Gebäude in ihren Wirkungen durchaus vergleichen lassen, wäre eine solche Verallgemeinerung in Hinblick auf heterogene Naturräume voreilig. Auch hier ist darauf hinzuweisen, dass es sinnvoll scheint, die ökologischen Folgen des Landverbrauchs genauer zu untersuchen.

Der Flächenverbrauch gefährdet den natürlichen Wasserhaushalt und senkt den Grundwasserspiegel langfristig ab, wodurch die Trinkwasserversorgung gefährdet und die Klimaerwärmung gefördert wird. Die Denaturierung der Naturräume, die mit der Erschließung neuer Siedlungsgebiete einhergeht, gefährdet die Flora und Fauna. Das Verschwinden der Lebensräume für Pflanzen und Tiere gefährdet die Artenvielfalt. Ökologische Ausgleichsflächen, die wegen dem photosynthetischen Abbau von Kohlendioxid durch die Grünpflanzen dem Treibhauseffekt entgegenwirken und Luftschadstoffe abbauen, werden zerstört. Diese Landschaftsräume haben nicht nur eine ökologische Ausgleichsfunktion, sondern sind auch wichtige Naherholungsräume für die Bevölkerung, die insbesondere in den Großstädten wichtig sind.

### 3.4 Kritische Prüfung

#### 3.4.1 Art und Umfang der kritischen Prüfung

Während der Durchführung wurden die Eingaben und Ausgangsdaten mehrfach geprüft und überarbeitet. Hier ist jedoch zu bedenken, dass das Öko-Bilanzierungsinstrument im Rahmen des Forschungsvorhabens eigens programmiert wurde. Die entstandene Tabellenkalkulation ist im Anhang beigefügt. Man kann sich vorstellen, dass es schwierig ist, die Vielzahl der Verknüpfungen und dahinterstehenden Eingaben zu kontrollieren, weswegen in der Tabelle bis zum Schluss kleinere Fehler aufgetreten sind. Wünschenswert wäre es, das entstandene Werkzeug in einem nächsten Projekt so weiterzuentwickeln, dass die im Prinzip einfache Bilanzierungsmethode von jedem Planer in der Praxis eingesetzt werden kann, um ein Gebäude bereits im Planungsprozess ökologisch und gesamtenergetisch zu beurteilen.

Die Ergebnisse der Ökobilanzierung wurden mit ähnlichen Untersuchungen von Dietlinde Quack und Cavin Marc Pohlmann auf Plausibilität verglichen.

Die Arbeit ‚Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltwirkungen von Wohngebäuden – eine Ökobilanz‘ stammt aus dem Jahr 2001. Dietlinde Quack untersuchte insgesamt sechs Gebäude, deren Wohnflächen zwischen 177qm und 200qm liegen und die damit grösser sind als der Prototyp ‚Minihaus‘ und das Vergleichsgebäude ‚Haus Riedberg‘ (jeweils 154qm). Die untersuchten Gebäude haben einen eher durchschnittlichen Energieverbrauch. Die Baukonstruktion dieser Gebäude (siehe dazu Quack, Seite 55) ist eher mit dem Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ zu vergleichen. Fünf der sechs Gebäude sind Massiv-Konstruktionen und nur eines wurde in einer Holz-Ständer-Bauweise errichtet. Bei diesem einen Gebäude wurde eine elektrische Direkt-Heizung eingebaut, weswegen die Verbrauchsdaten und Emissionen in diesem Modul aussergewöhnlich hoch sind. Der Heizwärmebedarf der Gebäude, die von Quack berechnet wurden liegt zwischen 34KWh/qm\*a und 52KWh/qm\*a, und damit im Bereich des Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘. Das konventionelle Referenzhaus hat ebenfalls einen bezogenen Heizwärmebedarf von 98KWh/qm\*a. In den Modulen Betrieb und Instandhaltung geht Quack von 80 Jahren Lebensdauer aus, weswegen die Werte dieser Module höher liegen als die Ergebnisse der vorliegenden Studie.

#### 3.4.2 Fehlerbetrachtungen

Grundsätzlich lassen sich drei Fehlerquellen benennen:

- Fehler bei der Erfassung (Sachbilanz)
- Nutzerverhalten

<sup>59</sup> Glücklich, Detlef (Hg.): Ökologisches Bauen – Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten. München 2005.

- Fehler in der Datengrundlage
- Methodische Fehler in der Berechnung oder Betrachtung
- Annahme der Lebensdauer
- Ökobilanzdaten, Lebenszyklusdaten

Grundsätzlich sind 5 Arten von Daten zu benennen, die sich in der Qualität und Genauigkeit unterscheiden:

- gemessene Daten (z.B. Massenermittlung durch Aufmass, hohe Verlässlichkeit)
- errechnete Daten (z.B. Massenberechnung anhand von Plänen, Energieberechnungen, hohe Verlässlichkeit)
- statistische Daten (z.B. durchschnittliche Verbräuche, mittlere Verlässlichkeit im Einzelfall, hohe Verlässlichkeit bei einer grösseren Anzahl von Datensätzen)
- geschätzte Daten (Abschätzungen anhand von Erfahrungswerten, mittlere Verlässlichkeit)
- Annahmen / angenommene Daten (Annahmen aus anderen Quellen übernommen oder aufgrund von Erfahrungen, geringe bis mittlere Verlässlichkeit)

### **Fehler in der Erfassung**

Bei der Erfassung der Daten musste in den einzelnen Modulen mit Vereinfachungen gearbeitet werden, um die Bilanzierung in der Projektlaufzeit abschliessen können. Diese Vereinfachung bedingt Ungenauigkeiten in der Datenerfassung der Sachbilanz. Die DIN ISO 14040ff. gestattet eine Vernachlässigung von Wirkanteilen von unter 1%. Da die Daten jedoch bereits in der Sachbilanz nicht erfasst wurden, lässt sich in der vorliegenden Studie nicht aussagen, ob die vernachlässigten Stoff- und Energiemengen eine entsprechend kleine Wirkung gehabt hätten.

### **Genauigkeit der Daten in Modulen**

Die Genauigkeit der Daten in den einzelnen Modulen ist sehr unterschiedlich. Während im Modul 1: Herstellung die Daten im Grunde beliebig genau ermittelt werden könnten und nur aus methodischen Gründen Annahmen und Vereinfachungen zu Fehlern führen, deren Grösse sich gut abschätzen lässt, handelt es sich bei allen anderen Modulen um Extrapolationen von Durchschnittswerten. Die Sicherheit der Daten ist im Modul 1: Herstellung am grössten und nimmt mit der Ausweitung des Betrachtungsrahmens auf die weiteren Module notwendig ab.

#### **Nicht-Erfassung von Kleinteilen und Kleinmengen**

Die Gebäudedaten wurden eingegeben, indem die Bauteilgruppen gemäss der DIN 276 erfasst wurden. Dabei entstehen notwendig drei Arten von Vereinfachungen:

- Nicht-Erfassen von Bauteilen, die nicht in der Kostenschätzung auftauchen
- Vernachlässigung von Kleinmengen und Kleinteilen
- Nicht-Erfassung von Bauabfall (Verpackung und Verschnitt)

Bauteile, die nicht in der Kostenschätzung auftauchen, werden nicht erfasst. Hierzu zählen Ausstattungsgegenstände wie Möbel, Lampen, Elektrische Geräte, aber auch Schalter und kleinere Installationsgegenstände, die nicht einzeln aufgeführt wurden.

Kleinteile und Kleinmengen, die nicht als einzelne Positionen in der Kostenschätzung ausgewiesen sind, werden tendentiell vernachlässigt. Dazu zählen unter anderen auch Klebstoffe und Verbindungsmittel, weil hierfür beim Prototypen zum Zeitpunkt der Bilanzierung und auch beim Vergleichsobjekt keine ausreichenden Daten verfügbar waren. Die tatsächlich verbauten Mengen dieser Kleinteile können sich jedoch zu einem größeren Volumen summieren. So wurden beispielsweise ca 300 Stahlwinkel und ca 200 lfm. Gewindestäbe an der Fassade des Prototypen verbaut. Bei der Verklebung des Parketts kamen rund 60kg Polyurethan-Dispersions-Klebstoff zum Einsatz. Diese Mengen können sich durchaus auf die Ökobilanz auswirken, weil teilweise ihre Wirkungsfaktoren sehr hoch sind. Im Sinne einer methodischen Gleichbehandlung der Vergleichsobjekte wurden diese Mengen jedoch vernachlässigt, weil auch für das Vergleichsobjekt keine entsprechenden Informationen vorlagen.

Nicht erfasst wurden auch Bauabfälle. Dazu zählen alle Abfallstoffe aus dem Bauprozess. Es wird davon ausgegangen, dass die Abfälle der Produktionsketten in den Materialdaten enthalten sind. Die vorliegende Bilanz zeigt nur die tatsächlich verbauten Materialien und nicht den Verschnitt und die Verpackung. Beim Bau des Prototypen ‚Minihaus‘ ist ca. 15m<sup>3</sup> Abfall auf der Baustelle angefallen. Diese Mengen sind in der Bilanz nicht erfasst. Ein Teil davon waren Holzreste, die einer getrennten Wiederverwertung zugeführt wurden. Ein Grossteil wurde jedoch schon auf der Baustelle so stark vermischt, dass eine getrennte Entsorgung unmöglich war.



Im Modul 2: Betrieb wurde der Verbrauch nach EnEV zugrunde gelegt. Die Abweichungen der tatsächlichen Verbrauchsdaten kann erheblich sein. Sie sind abhängig von Wetter, der Anzahl der Nutzer und deren Verhalten.

Für das Modul 3: Instandhaltung wurden wie bereits dargestellt nur technische Aspekte der Lebensdauer der Bauteile erfasst. Die tatsächliche Lebensdauer hängt jedoch von vielen Faktoren ab. Der baukonstruktiv richtige und nutzerfreundliche Einsatz eines Bauteils ist für seine Lebenserwartung entscheidend. Konstruktionsfehler können die Bauteile schneller altern lassen. Außerdem hat die Qualität der Ausführung von eingesetzten Bauteilen einen erheblichen Einfluss auf deren Lebensdauer. Auch der Nutzer wirkt auf die Bauteile ein. Somit können ein höherer Verschleiss oder auch außergewöhnlich lange Lebensdauern von Einzelbauteilen zu stande kommen, wenn diese vom Nutzer entsprechend gebraucht werden. Ein wichtiger Aspekt ist das Feld des Nutzerwechslens und der ästhetischen Anpassungen. Bauteile werden in Abhängigkeit von den persönlichen Neigungen der Nutzer häufig erheblich länger oder kürzer als technisch möglich oder sinnvoll beibehalten. Durch die übernommenen Baustoffdaten aus dem Baustoff-Atlas<sup>60</sup> wird ein repräsentativer Durchschnitt der technischen Lebensdauern der jeweiligen Bauteilgruppe wiedergeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass die oben genannten Effekte in Summe für eine grosse Zahl betrachteter Gebäude auftreten.

Im Modul 4: Mobilität liegen nur statistische Durchschnittswerte vor. Für das Mobilitätsverhalten der Bewohner der beiden Standorte konnten wie dargestellt keine genauen Werte ermittelt werden. Die hier eingesetzten Fahrleistungen erscheinen gemessen an der Lebenserfahrung vergleichsweise hoch und vor allem für die Innenstadtlage ungünstig. Ein Grund hierfür ist sicherlich darin zu sehen, dass die Studie über die Auswirkungen von Kraftstoffpreisen auf das Fahrverhalten des Nutzers von Fahrzeugen analysiert und nicht die Gruppe der Personen darstellt, die keine Fahrzeuge benutzen. Hier wäre es sehr interessant weitere Studien zu unternehmen, welche die Abhängigkeit von Standort und Mobilität genauer untersuchen.

Die Datenerfassung im Modul 5: Rückbau wurde drastisch vereinfacht. Dies ist aufgrund der geringen Stoff- und Energiemengen, die hier umgesetzt werden gerechtfertigt. Es ist erneut darauf hinzuweisen, dass die Entsorgung der Baustoffe bereits im Modul 1: Herstellung integriert ist. Da der Anteil der Entsorgung der Baustoffe, der mit größerer Genauigkeit im Modul 1: Herstellung bereits erfasst ist, den meisten Teil der Umwelteinwirkungen ausmacht, ist die hier vorgenommene Vereinfachung für den verbleibenden Teil des Baubetriebs und der Transporte vertretbar. Es ist auch zu bedenken, dass die angenommenen 5% des Herstellungsaufwandes bei Marc Cevin Pohlmann die Entsorgung beinhalten. Somit ist der Einsatz dieses Prozentsatzes für den Rückbauprozess ohne die Entsorgung eine Abschätzung im oberen Grenzbereich.

Das Modul 6: Infrastruktur wurde aufgrund der unsicheren Datenlage in der Sachbilanz aus der Ökobilanzierung herausgenommen. Zwar lassen sich für das Neubaugebiet Riedberg genaue Flächenangaben der errichteten Infrastruktur machen. Eine Auswertung dieser Massnahmen im Sinne der hier vorgestellten Ökobilanzierung sprengt jedoch den Rahmen dieser Studie. An dieser Stelle wäre es sinnvoll umfassend zu untersuchen, welchen Einfluß die städtische Infrastruktur auf die Funktion Wohnen hat, wenn sie in einer Bilanz geeignet dargestellt werden könnte. Dabei könnten zumindest für die sich wiederholenden Standard-Konstruktionen wie Strassen, Gehwege, Leitungsnetze einfache Richtwerte angegeben werden. Da sich die Erschliessungsflächen relativ schnell errechnen und anteilig den Gebäuden zuordnen lassen, könnte die Infrastruktur über Richtwerte in Teilen dargestellt werden. Schwieriger wird eine Pauschalierung der Infrastruktur-Gebäude, weil diese in Mengen und Bauart stark variieren. Fraglich ist auch, wie eine Grenzziehung und Zuordnung vorgenommen werden kann. Selten ist eine so deutliche räumliche Zuordnung von baulichen Infrastruktur-Anlagen und Wohngebäuden wie in Riedberg gegeben. Diese wird jedoch schon bei geringfügiger Ausweitung des Betrachtungsraumes aufgelöst. Der direkt an das Neubaugebiet Riedberg grenzende neue Universitäts-Campus ist ebenfalls eine Infrastruktur-Einrichtung, die aber einem größeren Raum als dem Baufeld Riedberg zuzurechnen ist.

Im Modul 7: Landverbrauch

Hier stellt sich ähnlich wie beim Modul 6: Infrastruktur die Frage der Grenzziehung und Zuordnung von sekundären Landverbräuchen für Infrastruktur und Nebenflächen. In der vorliegenden Studie wurden

---

<sup>60</sup> Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias u.a.: Baustoff Atlas. München 2005.

deshalb nur die innerhalb des Siedlungsgebietes gelegenen Flächen erfasst. Dadurch war eine ziemlich genaue Quantifizierung der Flächen-Verbräuche möglich. Weniger genau lässt sich die Qualität der Flächen nach der Bebauung des Gebietes bestimmen. Die überbauten Flächen sind eindeutiger bewertbar. Die nicht bebauten Flächen, insbesondere die Grünflächen können eine sehr unterschiedliche Ausbildung haben: Während ein Garten unter Umständen eine reiche Flora und Fauna, sowie mehr Biomasse aufweisen kann als die Vornutzung der Flächen als landwirtschaftliche Nutzflächen, gibt es in Vor- und Hintergärten häufig gepflasterten Bereiche, die ökologisch weniger wertvoll sind. In der Sachbilanz ergeben sich zwei Probleme: Erfassung der Flächen vor der Bebauung und deren Zuordnung in bestimmte Flächentypen. Naturräume sind grundsätzlich anders zu bewerten als landwirtschaftliche Nutzflächen, bei denen unter Umständen die fortlaufende Nutzung auch negative Umweltfolgen hat (z.B. Viehhaltung). Auch innerhalb der Kategorien sind die Flächen je nach Biomasse und Biodiversität sehr unterschiedlich zu bewerten. Forstflächen und Wälder haben vermutlich die höchste eingelagerte Biomasse (CO<sub>2</sub>-Speicherung) sind aber in Hinblick auf Artenvielfalt und Erträge (Holzproduktion) unterschiedlich.

Zur Ökobilanzierung dieser Flächenverluste fehlen die wissenschaftlichen Grundlagen. Für eine Bewertung der Auswirkungen müsste eine stoffliche und energetische Bewertung der Flächen vor und nach einer Bebauung durchgeführt werden. Dann könnten die erhobenen Daten in eine Ökobilanz eingepflegt werden. Die uns vorliegenden Studien zu den ökologischen Folgen des Bodenverbrauchs weisen jedoch auch darauf hin, dass die Umweltfolgen nicht nur in den stofflichen Verbräuchen zu sehen sind. Zwar sind z.B. auf den land- und forstwirtschaftlichen Flächen und Naturräumen teilweise grössere Mengen an Kohlendioxid in der Biomasse gespeichert, die Freisetzung dieses Kohlendioxid im Sinne der hier vorliegenden Ökobilanz, die diese als Treibhauspotential bewertet, würde jedoch den Blick auf die eigentlichen Folgen verstellen: Lebende Organismen und Ökosysteme sind mehr als die Summe ihrer Inhaltstoffe. Bei der Zerstörung der Naturräume sind die klimatischen, hydrologischen und biologischen Folgen vermutlich bedeutender als die Verschiebung innerhalb der Stoff- und Energiebilanz. Auf unbebauten Flächen kann Niederschlagswasser frei versickern und stabilisiert damit den Grundwasserspiegel. Die Pflanzen und Böden verdunsten einen Teil des Wassers lokal und führen in damit direkt der Atmosphäre zu. Im Gegensatz dazu wird der grösste Teil der Niederschläge auf die bebauten Flächen kanalisiert und in den Vorfluter abgeführt. Überschwemmungen, sinkende Grundwasserspiegel und Veränderungen des Mikro- und Makroklimas sind die Folgen dieser Eingriffe in den Wasserhaushalt. Zur Beurteilung der Biodiversität einer Fläche gibt es Berechnungsmethoden, die abbilden wie viele unterschiedliche Arten in einem Ökosystem vorhanden sind. Hier ist jedoch zu betonen, dass die hierzu notwendigen taxonomischen Grundlagen schon für unsere Breiten fehlen, in denen die Biodiversität durch Jahrtausende von anthropogenen Einwirkungen drastisch eingeschränkt ist.<sup>61</sup> Die klassische Taxonomie beschränkt sich auf die grossen, sichtbaren Pflanzen und Tiere, die entsprechend gut erforscht sind.<sup>62</sup> Nicht genügend erfasst ist hingegen die Bandbreite der Pilze, Einzeller und Bakterien. Die Bedeutung für die Ökosysteme und auch die Mengen in denen diese Organismen auftreten werden unterschätzt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die hier angewandte Methode der Abschätzung ökologischer Folgen über die Quantifizierung von Input und Output-Strömen in definierbare Systeme nur in anthropogenen Systemen sinnvoll ist. Naturräume haben eine ungleich höhere Komplexität und müssen mit anderen Methoden erfasst werden, die bis jetzt nur teilweise entwickelt sind, weil auch der Kenntnisstand über die natürlichen Systeme schlecht ist. Die oben beschriebenen Wirkungen der Inanspruchnahme von Böden auf Hydrologie und Klima sind einleuchtend. Trotzdem gibt es keine zuverlässige Möglichkeit eine solche Umweltwirkung quantitativ zu beschreiben. Dringend müssen neue Methoden entwickelt werden, um die Umweltfolgen zu erfassen und ihre Auswirkungen bewusst zu machen.

Die privaten Haushalte haben einen Anteil von 52,1% an der Inanspruchnahme von Land.<sup>63</sup> Derzeit liegt der Flächenverbrauch bei 113ha pro Tag.<sup>64</sup>

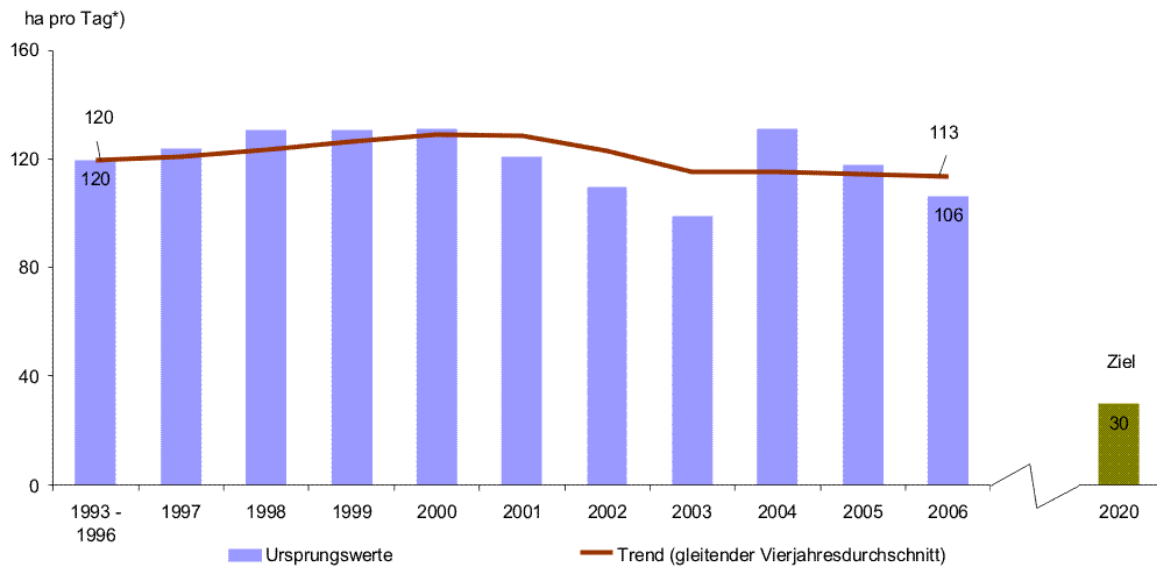
<sup>61</sup> Wilson, Edward Oswald: The Diversity of Life. 1992.

<sup>62</sup> Gould, Stephen Jay: Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin. 1996.

<sup>63</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

<sup>64</sup> Umweltbundesamt Dessau: Entwicklung der Siedlungs- und Verkehrsfläche. - <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2277>. vom Januar 2008, Stand Juli 2008. - „Gegenüber dem Ende des letzten Jahrhunderts ist die tägliche Flächenneuanspruchnahme von 129 ha (1997-2000) auf 113 ha (2003-2006) zurückgegangen (siehe Abb. „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche“).

**Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche**



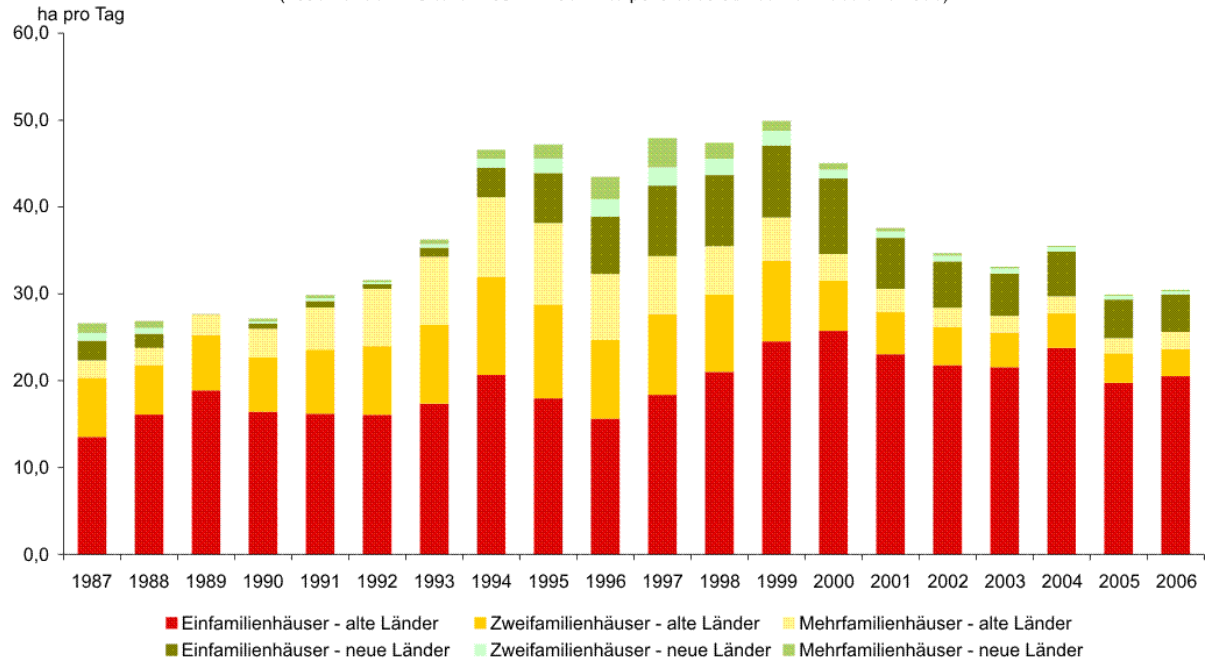
\* Die Flächenerhebung beruht auf der Auswertung der Liegenschaftskataster der Länder. Aufgrund von Umstellungsarbeiten in den amtlichen Katastern Umschlüsselung der Nutzungsarten im Zuge der Digitalisierung) ist die Darstellung der Flächenzunahme am aktuellen Rand verzerrt.

**Quelle:** Statistisches Bundesamt, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung 2007

Abbildung 77: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Quelle: Statistisches Bundesamt, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2007

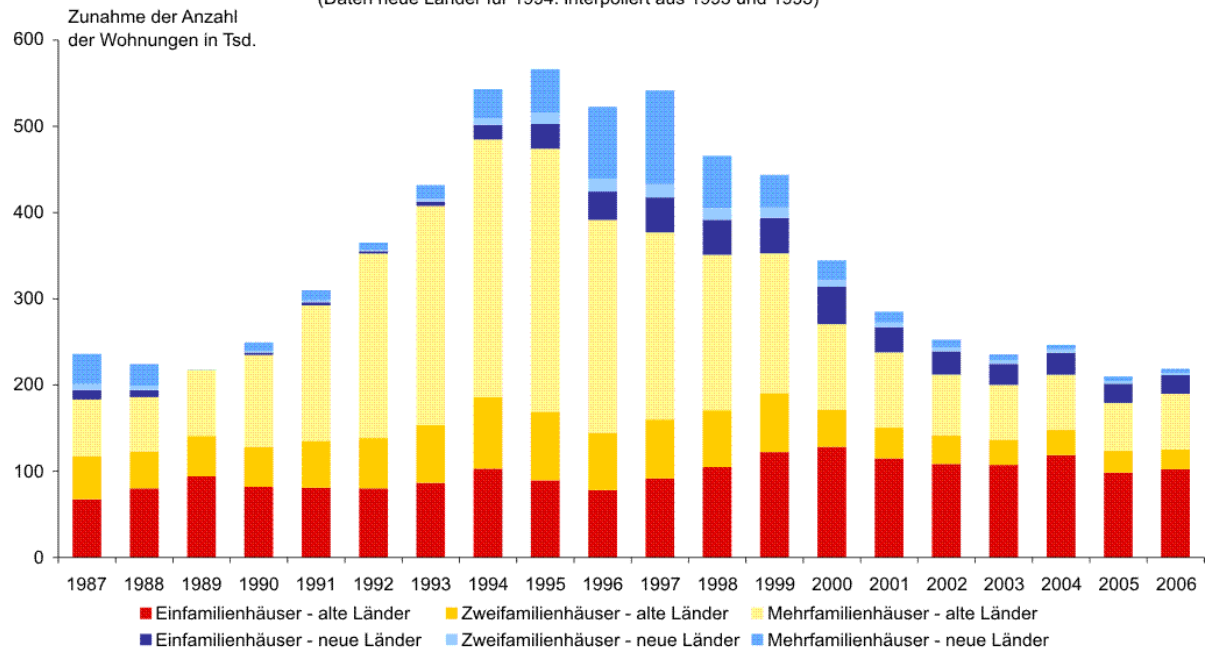
Die bundesweite Zunahme teilte sich im Zeitraum 2003 bis 2006 auf in rund 74 ha pro Tag in den alten Bundesländern und rund 39 ha pro Tag in den neuen Bundesländern.“

**Zunahme der Wohnbauflächen aufgrund der Zunahme des Wohnungsbestandes**  
 (neue Länder: Werte für 1994 wurden interpoliert aus den Jahren 1993 und 1995)



**Quelle:** Umweltbundesamt, eigene Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes  
 Abbildung 78: Zunahme der Wohnbauflächen aufgrund der Zunahme des Wohnungsbestandes, Quelle: Umweltbundesamt Dessau, Umweltdaten Online, <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277>, Stand Juli 2008.

**Zuwachs des Wohnungsbestandes durch Wohnungsbau**  
 (Daten neue Länder für 1994: interpoliert aus 1993 und 1995)



**Quelle:** Umweltbundesamt, eigene Berechnungen nach Angaben des Statistischen Bundesamtes  
 Abbildung 79: Zuwachs des Wohnungsbestandes durch Wohnungsbau, Quelle: Umweltbundesamt Dessau, Umweltdaten Online, <http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277>, Stand Juli 2008.

Der hier vom Umweltbundesamt festgestellte positive Trend der abnehmenden Inanspruchnahme von Flächen wird auf die sinkenden Bevölkerungszahlen und eine Sättigung des Marktes mit Ein- und Zweifamilienhäusern zurückgeführt. In den Ballungsräumen ist der Trend zur Ausweitung der Siedlungsfläche jedoch ungebrochen (siehe dazu nächstes Kapitel).

### Unsicherheit bei den Materialdaten

Die eingesetzten Ökobilanzdaten stammen aus einem Forschungsbericht<sup>65</sup> des Fachgebiets Energie-Effizientes Bauen, der das Ziel hatte die Datensätze der beiden führenden Anbietern von Ökobilanzdaten LEGEP Software GmbH und sowie der PE-Europe GmbH abzugleichen, um eine einheitliche Berechnungsgrundlage für den Einsatz in Ökobilanzen für Architekturprojekte zu erlangen. Es ist somit davon auszugehen, dass die Daten dem aktuellen Forschungsstand entsprechen. Die in der vorliegenden Studie eingesetzten Daten stammen mit einer Ausnahme aus dieser Quelle, weswegen davon auszugehen ist, dass die dahinterliegenden Bilanzierungsmethoden einheitlich sind. Nur die Daten für die Fassade des Prototypen ‚Minihaus‘ wurden aus einer anderen Quelle hinzugenommen. Für die Fassade aus Holzwerkstoffplatten mit Phenolharz als Bindemittel lagen keine Daten in den Forschungsprojekten oder bei den Anbietern vor. Deswegen wurden die Daten eingesetzt, die ein anderer Hersteller einer ähnlichen Holzwerkstoff-Platte mit Phenolharz im Rahmen einer Lebenszyklusanalyse LCA hat errechnen lassen.<sup>66</sup> In wieweit die Daten auf die tatsächlich eingesetzten Platten übertragen werden können, die nicht in Deutschland sondern Spanien produziert werden, konnte nicht geprüft werden.

Hier ist jedoch anzumerken, dass es sich die eingesetzten Produktionsverfahren im Laufe der Zeit verändern. Vor allem die stark steigenden Energiepreise, insbesondere für fossile Energie, dürften sich mittelfristig so auswirken, dass energieintensive Produktionsprozesse effizienter gemacht werden. Es ist davon auszugehen, dass die Werte in Hinblick auf den Energieverbrauch eher sinken werden. Über die Entwicklung der anderen Indikatoren ist momentan keine Aussage zu machen. Sinnvoll ist es jedoch die Werte regelmässig zu prüfen und zu aktualisieren. Hierfür gibt es in der Schweiz bereits ein Internet-Portal, durch das eine entsprechende Aktualisierung vereinfacht wäre: <http://www.bauteilkatalog.ch><sup>67</sup>.

## 3.5 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Objekte

Die Übertragbarkeit der Ergebnisse ist bei den beiden betrachteten Systemen sehr unterschiedlich. Das Vergleichsobjekt wurde gerade in Hinblick auf seinen generischen Charakter ausgewählt und repräsentiert in vielerlei Hinsicht eine grosse Masse an Gebäuden ähnlichen Bauart in Deutschland. Auch die städtebauliche Situation und zugehörige Infrastruktur sind repräsentativ für eine ganze Reihe von Siedlungen, die derzeit im Rhein-Main-Gebiet und bundesweit entstehen. Auf diese Fälle lässt sich die vorliegende Bilanz übertragen, wenn die Gebäudekenndaten denen des Untersuchungsobjekts entsprechen. In wieweit die Daten auf grössere Vorhaben zu übertragen sind, konnte nicht geprüft werden. Es ist zu vermuten, dass bei nur geringfügig größeren (bis 200qm), typologisch aber vergleichbaren Projekten eine Extrapolation der Ergebnisse möglich ist. Bei grösseren Gebäuden (grosse Einfamilienhäusern, Mehrfamilienhäuser) werden Unterschiede in Baukonstruktion und Energieverbräuche einer Übertragung der Daten im Wege stehen. Auch eine Übertragung auf andere Typologien (Reihenhäuser, freistehende Einfamilienhäuser, Hofhäuser) ist aufgrund der starken Auswirkung von Hüllflächen auf den Energieverbrauch und die Baukonstruktion nicht ohne weiteres möglich.

<sup>65</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.

<sup>66</sup> TRESPA International BV (Hg.); van der Wall, W.: LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) VON TRESPA, LCA ACCORDING TO NEN 8006:2004 OF, TRESPA METEON PANELS, MRPI-file of TRESPA October 2006. Amsterdam 2007. - Trespas International B.V. hat für ihre Produkte Meteor, Athlon, TopLabplus und Virtuon LCAs erstellt, wobei sie von INTRON, einem unabhängigen LCA-Berater, unterstützt wurde. Die LCAs wurden gemäß ISO 14040 und 14041 ausgeführt, Intron, Amsterdam, 20. Februar 2007.

<sup>67</sup> eco-bau (Hg.): Bauteilkatalog. - [www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch), Stand Juli 2008.

Beim Prototypen ist die Übertragbarkeit eingeschränkter. Die Baukonstruktion ist massgeblich durch die örtlichen Gegebenheiten geprägt (Pfahlgründung, Brandwandbebauung, Erdgeschoss aus Massivbauweise). Auch das energetische Konzept des Gebäudes mit dem hohen Anteil an solaren Gewinnen ist durch die Besonnung des Grundstückes möglich. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse der Ökobilanz ist nur sehr bedingt sinnvoll. Vielmehr können Einzelerkenntnisse aus dieser Ökobilanz herausgelöst werden und auf andere Vorhaben angewandt werden. Ziel dieser Untersuchung ist es eine Methode vorzustellen, mit der solche Ergebnisse auch unter anderen Umständen möglich wären. In diesem Zusammenhang sind die Ergebnisse der Studentarbeiten zum Entwurfsthema ‚Minimum Impact House I und II‘<sup>68</sup> interessant: An fast allen Standorten, die städtebaulich sehr unterschiedlich waren, sind Energieeffiziente Gebäude entwickelt worden. So wird z.B. einen enge Bebauung zwischen zwei Brandwänden nicht die gleichen solaren Gewinne haben, wie die dreiseitig freistehende Kubatur des Prototypen. Dafür entfällt in diesem Falle eine weitere Längswand als Wärmeverlustfläche, wodurch der Wärmebedarf deutlich sinkt. Die hier aufgezeigten Ergebnisse zur effizienten Haustechnik lassen sich ebenfalls auf andere Gebäude übertragen.

In Hinblick auf die Baukonstruktion war das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung, dass die Holzbauweise grosse Vorteile gegenüber einer Massivkonstruktion aus Mauerwerk und Stahlbeton hat. Ferner wirkt sich ein möglichst umfassender Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen positiv auf die Ökobilanz des Gebäudes aus. Kunststoffe und Beschichtungen sind im Sinne der meisten hier untersuchten Indikatoren besonders kritisch zu beurteilen. Diese Erkenntnisse lassen sich auch auf die Entwicklung anderer Gebäude übertragen.

### 3.6 Möglichkeiten zur Gesamtbewertung und Gewichtung

Eine erste wichtige Wertung wird durch die Auswahl der Indikatoren vorgenommen. Die in der vorliegenden Studie bilanzierten Indikatoren wurden vom „Runden Tisch für Nachhaltiges Bauen“ festgelegt (s.o.). Dietlinde Quack erfasst in ihrer Studie darüber hinaus karzinogene Substanzen, Schwermetalle, Humantoxizität und Ökotoxizität.<sup>69</sup> Marc Cevin Pohlmann beschränkt sich in seiner späteren Untersuchung auf die Wirkungskategorien ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘, ‚Primärenergie, erneuerbar‘ und Treibhauspotential, die auch in der vorliegende Studie für die Diskussion der Einzel-Module hervorgehoben werden. Grundsätzlich ist festzustellen, dass eine Beschränkung der Anzahl der Wirkungskategorien die Lesbarkeit der Ökobilanzierung erhöht. Um eine Gesamtbewertung der Ergebnisse vornehmen zu können, ist eine Gewichtung der Faktoren untereinander notwendig.

Für die Gewichtung der Umweltfaktoren untereinander schlagen Goedkoop und Braunschweig einen Vergleich der einzelnen Wirkungsindikatoren mit den europäischen Durchschnittsemissionen vor, aus denen sich ein Faktor zur Normalisierung der Werte ableiten lässt (Öko-Indikator)<sup>70</sup>:

---

<sup>68</sup> Hegger, Manfred; Studenten des Sommersemesters 2007 und Wintersemesters 2007/2008: Minimum Impact House und Minimum Impact House II, 2000 Watt. Studienarbeiten am Fachgebiet Entwerfen und Energie-Effizientes Bauen, Umdruck der Ergebnisse am Fachgebiet erhältlich, Darmstadt 2007/2008.

<sup>69</sup> Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.

<sup>70</sup> Gruppe für Sicherheit und Umweltschutz Laboratorium für Technische Chemie; Goedkoop, M.; Müller-Wenk, R.; Mettier Th. u.a.: Eco-indicator 99 - eine schadensorientierte Bewertungsmethode, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich 2000.

Wirkungskategorien	Einheit	Normalisierungsfaktoren [kg Emission pro Kopf in Europa]	Unsicherheit der Normalisierungsfaktoren	Öko-Indikator Goedkoop (1995)	Altern. Reduktionsfaktoren nach Braunschweig et al. (1996)
GWP	kg CO <sub>2</sub> -Äquivalent	13.100	gering	2,5	5
ODP	kg R11-Äquivalent	0,93	groß	100	10
Versauerung	kg SO <sub>2</sub> -Äquivalent	113	gering	10	5
Überdüngung	kg PO <sub>4</sub> -Äquivalent	38,2	moderat	5	2,5
Sommersmog	kg Ethylen-Äquivalent	17,9	groß	2,5	5
Wintersmog	kg SO <sub>2</sub> -Äquivalent	94,6	klein	5	5
Karzinogene Substanzen	kg PAH-Äquivalent	0,0109	groß	10	10
Schwermetalle	kg Pb-Äquivalent	0,0543	groß	5	5

Tabelle 29: Überblick über die Normalisierungs- und Reduktionsfaktoren, dem die Bewertungen der Wirkungskategorien zugrunde liegen, Quelle: Goedkoop (1995, Seite 36 und 41) und Braunschweig et al. (1996, Seite 237) aus Dissertation von Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.

Der Faktor zur Normalisierung erlaubt eine Aussage darüber, welchen Anteil der Umweltwirkung durch das betrachtete System verursacht wird. Was dabei nicht berücksichtigt wird, welche Wirkung diese Pro-Kopf-Emissionen haben. Basierend auf dieser Normierung stellt Dietlinde Quack fest, dass die Kriterien Ozonabbau und Überdüngung in ihrer Studie, welche die Mobilität nicht beinhaltet, weniger als 1% der Durchschnittswerte ausmachen und deswegen nach Vorgaben der DIN ISO 14040ff. vernachlässigt werden könnten, um die Lesbarkeit der Bilanz zu erhöhen. Diese Methode lässt sich auf die vorliegende Studie nicht übertragen, weil durch die Einbeziehung der Mobilität die Ergebnisse dieser beiden Indikatoren einen deutlich grösseren Anteil an den Durchschnittsemissionen haben.

Im vorliegenden Forschungsprojekt wurde von dieser Bewertung abgesehen, weil damit keine Aussage möglich ist, ob sich die Emissionen in einem umweltverträglichen Rahmen bewegen. Als Beispiel hierfür sollen die Kohlendioxid-Emissionen dienen. Der Durchschnittsverbrauch lag in Deutschland bei 92916 t/EW\*a. Die Umweltbundesamt strebt aber eine Reduktion dieser Emissionen um 40% bis 2020 an, weil absehbar ist, dass die heutigen Emissionen die Umwelt in ungeeignetem Umfang belasten.<sup>71</sup> Eine ähnliche Betrachtung ergibt sich für die Wirkungskategorien ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ und ‚Primärenergie, erneuerbar‘ anhand der Überlegungen, die im Rahmen des Konzepts der Vision-2000-Watt-Gesellschaft angestellt wurden. Die derzeitigen Durchschnittswerte in Europa sind sicherlich zu hoch, um als umweltverträglich gelten zu können. An diesen Beispielen wird deutlich, dass die Normalisierung nur ein erster Schritt zu einer Gesamtbewertung sein kann.

Sinnvoller scheint ein Bench-Mark-System, wie es von der Vision-2000-Watt-Gesellschaft eingeführt wurde. Bei diesem wird als Grenzwert für eine nachhaltige Entwicklung ein weltweiter Pro-Kopf-Verbrauch von 2000 Watt Dauerleistung, wovon nur 25% aus nicht erneuerbaren Quellen stammen sollen, angenommen. Die Ergebnisse im Bereich ‚Primärenergie, erneuerbar‘ und ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘ wurden in der Wirkungsbilanz bereits mit den Grenzwerten verglichen.

Eine solche Grenzwert-Betrachtung aller Wirkungsindikatoren wäre eine Grundlage für eine sinnvolle Bewertung der Einzelwirkungen.

<sup>71</sup> Umweltbundesamt Dessau: Klimaschutz in Deutschland: 40%-Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2020 gegenüber 1990. - [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de), Stand Juli 2008.

In einem weiteren Schritt wären dann die einzelnen Wirkungskategorien zu vergleichen. Es ist davon auszugehen, dass die ökologische Wirkung nicht gleich kritisch oder wichtig ist. Um die Gesamtwirkung eines untersuchten Systems abschätzen zu können, müssen die Faktoren gegeneinander gewichtet werden. Diese Gewichtung hängt sicher auch vom aktuellen Kenntnisstand, Trends und der Tagespolitik ab, die sich an den Trends orientiert. Derzeit werden die Themen Energieverbrauch und Treibhauspotential öffentlich diskutiert. Der Klimawandel ist zu einem allgemein anerkannten Phänomen geworden und die Folgen werden sehr kritisch beurteilt. Dieser Trend reflektiert sich auch in der Gestalt dieser Arbeit. In den Einzel-Betrachtungen der Module wurden nur die Wirkungskategorien ‚Primärenergie, nicht erneuerbar‘, ‚Primärenergie, erneuerbar‘ und Treibhauspotential analysiert, weil diesen eine herausragende Bedeutung zugemessen wird. Die allgemeine Anerkennung der Problematik gab es vor dem Jahr 2007 noch nicht. Die Veröffentlichung des 4. Bericht UN-Klimarates, in dem das offizielle Organ der vereinten Nationen ungewöhnlich deutlich vor den Folgen des Klimawandels warnt<sup>72</sup>, der Stern-Report<sup>73</sup>, in dem die ökonomischen Folgen des Klimawandels dargestellt werden und der bereits im Folgejahr als zu optimistisch revidiert werden musste, und Al-Gore’s Klimaschutzkampagne ‚An Inconvenient Truth‘<sup>74</sup> haben dazu beigetragen, dass diese Aspekte eine herausragende Bedeutung erlangt haben. Die drastisch gestiegenen Energiepreise in 2007 und 2008 haben auch einen wesentlich Anteil an dieser Bewusstseinsbildung geleistet, weil dadurch die öffentlichen, ökologischen Interessen parallel laufen zu den privaten, wirtschaftlichen Interessen. In den 80er Jahren wäre das wichtigste Thema einer solchen Ökobilanz vielleicht die Verstörung der Ozonschicht gewesen, weil dieses Thema von besonderem öffentlichem Interesse war.

Hier ist auch anzumerken, dass die hier dargestellten Wirkungsindikatoren räumlich sehr unterschiedlich wirken. Während der Energieverbrauch, das Treibhauspotential und der Ozonabbau global wirken, sind die übrigen Faktoren in Ihrer Wirkung auf den regionalen Kontext begrenzt. Hier wäre ein Kriterium für eine Gewichtung der Faktoren gegeben. Eine höhere Gewichtung könnte auch den Faktoren gegeben werden, die sich langfristig auswirken, irreversibel sind oder sich nur sehr langsam regenerieren. Artenverluste sind irreversibel. Die Auswirkung auf das Ökosystem ist schwer abzuschätzen. Die Folgen des Klimawandels sind noch nicht in ganzem Umfang absehbar. Es gilt jedoch als erwiesen, dass die Veränderungen erheblich und in den meisten Fällen negativ für Natur und Mensch sind.

Aufgrund des Fehlens von geeigneten Bewertungssystemen wurde von einem Gewichtungsschritt in dieser Untersuchung Abstand genommen. Die Entwicklung eines solchen Systems sprengt den Rahmen dieses Vorhabens.

Eine weitere Möglichkeit einer Gesamtbewertung besteht in einer Sensitivitätsanalyse der Ergebnisse mit deren Hilfe die Korrelation der Faktoren untersucht werden kann.

### 3.7 Diskussion der Ergebnisse nach Bauteilgruppen

Eine Analyse der Ergebnisse nach Bauteilgruppen ist in dem Modul 1: Herstellung bereits erfolgt. Bei der Diskussion der Ergebnisse der Summe der Module 1 bis 5 hat sich herausgestellt, dass die Wirkungskategorien ausser Primärenergie, nicht erneuerbar, Primärenergie, erneuerbar und Treibhauspotential überwiegend (zwischen 70% und 90%) von dem Modul 5: Mobilität beeinflusst werden. Von diesem Modul 5: Mobilität abgesehen werden die Emissionen fast ausschließlich durch die Herstellung des Gebäude (Modul 1) hervorgerufen. Deswegen wurden an dieser Stelle die Einflüsse der einzelnen Bauteile überprüft.

Marc Cevin Pohlmann betrachtet die Wirkung der Bauteile über die Module Herstellung und Betrieb als funktionelle Einheiten. Grundlage für diese bauteilbezogene Analyse ist die Zuordnung energetischer Wirkungen von bestimmten Bauteilen. Diese Methode funktioniert für Bauteile, die der Energieerzeugung

<sup>72</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hg.); Bernstein, Lenny; Bosch, Peter; Canziani, Osvaldo u.a.: Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. - [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf), vom November 2007, Stand Juli 2008.

<sup>73</sup> Office of Climate Change: Stern Review on the Economics of Climate Change. - [http://www.hm-treasury.gov.uk/independent\\_reviews/stern\\_review\\_economics\\_climate\\_change/sternreview\\_index.cfm](http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm), Stand Juli 2008.

<sup>74</sup> Participant Media, LLC (Hg.); Gore, Al: An Inconvenient Truth. A Global Warning. - [prod.takepart.com/social\\_network/action/ait/studyguides.html](http://prod.takepart.com/social_network/action/ait/studyguides.html), Film von 2007, Stand Juli 2008.



dienen: Bei einem Solarkollektor kann man die Energiegewinne während einer angenommenen Betriebsdauer gegen die Emissionen bei der Herstellung verrechnen. Zusätzlich kann man die gewonnene Energie als Substitut für Energie aus fossilen Quellen betrachten. Eine ähnliche Bilanz lässt sich für Dämmstoffe aufstellen, wobei hier die oben bereits gestellte Frage, welcher Vergleichswert für die Minderung der Wärmeverluste nur darin beantwortet werden kann, dass ein höherer energetischer Standard als die Mindestvorschriften (EnEV-Standard) mit einem höheren Dämmwert verglichen werden kann. Bei dieser energetischen Einzelwertung von Bauteilen bleibt ein Grossteil der Bauteile nicht berücksichtigt, weil Sie keine direkte energetische Wirkung haben. Um eine gesamtheitliche Beurteilung der ökologischen Folgen eines Gebäudes zu erreichen, ist eine isolierte Betrachtung einzelner Bauteile nicht zielführend. Das Gebäude kann nur als funktionales Ganzes verstanden werden, in dem auch die energetisch nicht relevanten Bauteile bilanziert werden, weil diese notwendig sind, um die Funktionalität des Gebäudes als System zu gewährleisten.

Sinnvoll ist eine Betrachtung nach Bauteilgruppen vor allem, um gezielt Bauteile mit den grössten Wirkanteilen zu identifizieren und bei einer Optimierung innerhalb des Planungsprozesses zu adressieren.

### 3.8 Ökologische Optimierung des Prototypen

Die Ökobilanzierung hat gezeigt, dass der Prototyp bei einzelnen Bauteilen und Prozessen hohe Wirkanteile verursacht. Das punktuelle Auftreten dieser hohen Werte legt nahe, eine optimierte Version des Prototypen zu bilanzieren und diese den Daten des gebauten Prototypen und des Vergleichsobjektes gegenüber zu stellen.

Da der Prototypen nicht nur in Hinblick auf die ökologische Wirkung optimiert wurde, ist das maximale Optimierungspotential in Hinblick auf die Ökologie nicht ausgeschöpft. Im Folgenden wird untersucht, wie groß das Potential für eine weitere Optimierung im Modul1: Herstellung ist. Dafür wurden folgende Bauteildefinitionen angepasst:

- Fassade aus Vollholz statt Phenolharzplatten

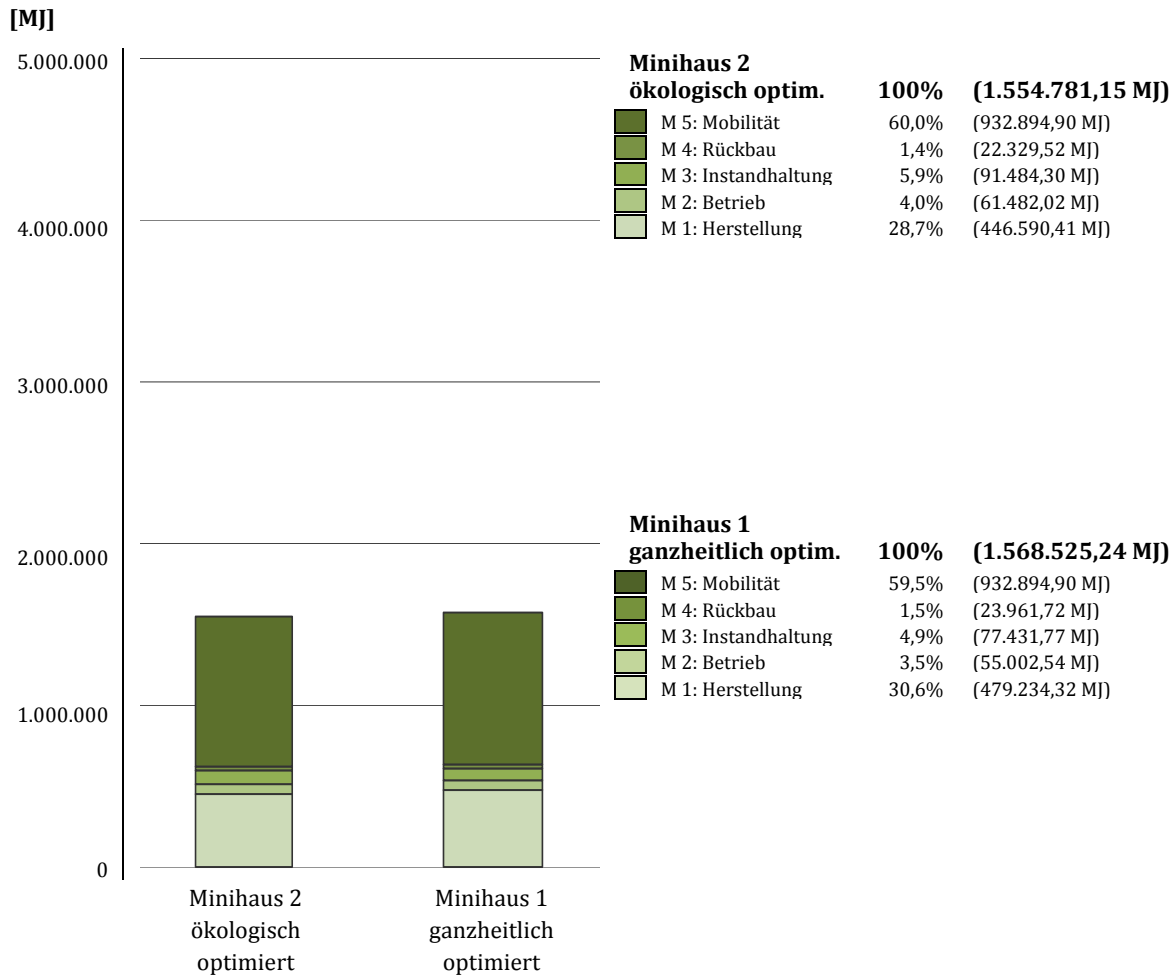
Gegenüberstellung Minihaus: ökologisch optimiert vs. ganzheitlich optimiert	Prim.En.n.ern. [MJ]			PEI Prim.En.ern. [MJ]			GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]		
	Minihaus 2 ökolo- gisch optimiert	Minihaus 1 ganzheit- lich optimiert	Diffe- renz in %	Minihaus 2 ökolo- gisch optimiert	Minihaus 1 ganzheit- lich optimiert	Diffe- renz in %	Minihaus 2 ökolo- gisch optimiert	Minihaus 1 ganzheit- lich optimiert	Diffe- renz in %
<b>1 Herstellung</b>	446.590	479.234	-7	319.379	285.750	+12	15.682	22.727	-31
<b>2 Instandhaltung</b>	91.484	77.432	+18	123.363	100.606	+23	-4.754	-3.696	-29
<b>3 Betrieb</b>	61.482	55.003	+12	986.308	1.045.048	-6	79.541	10.186	+680
<b>4 Mobilität</b>	932.895	932.895	0	193	193	0	68.412	68.412	0
<b>5 Rückbau</b>	22.330	23.962	-7	15.969	14.288	+12	784	1.136	-31

Tabelle 30: Gegenüberstellung Ergebnisse der einzelnen Bilanzräume Minimum Impact Haus mit Haus Riedberg, Quelle: DGJ

**Wirkungskategorie Primärenergie, nicht erneuerbar**

Minihaus 2 ökologisch optimiert	Minihaus 1 ganzheitlich optimiert	Haus Riedberg
1.554.781	1.568.525	4.201.855

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, nicht erneuerbar**



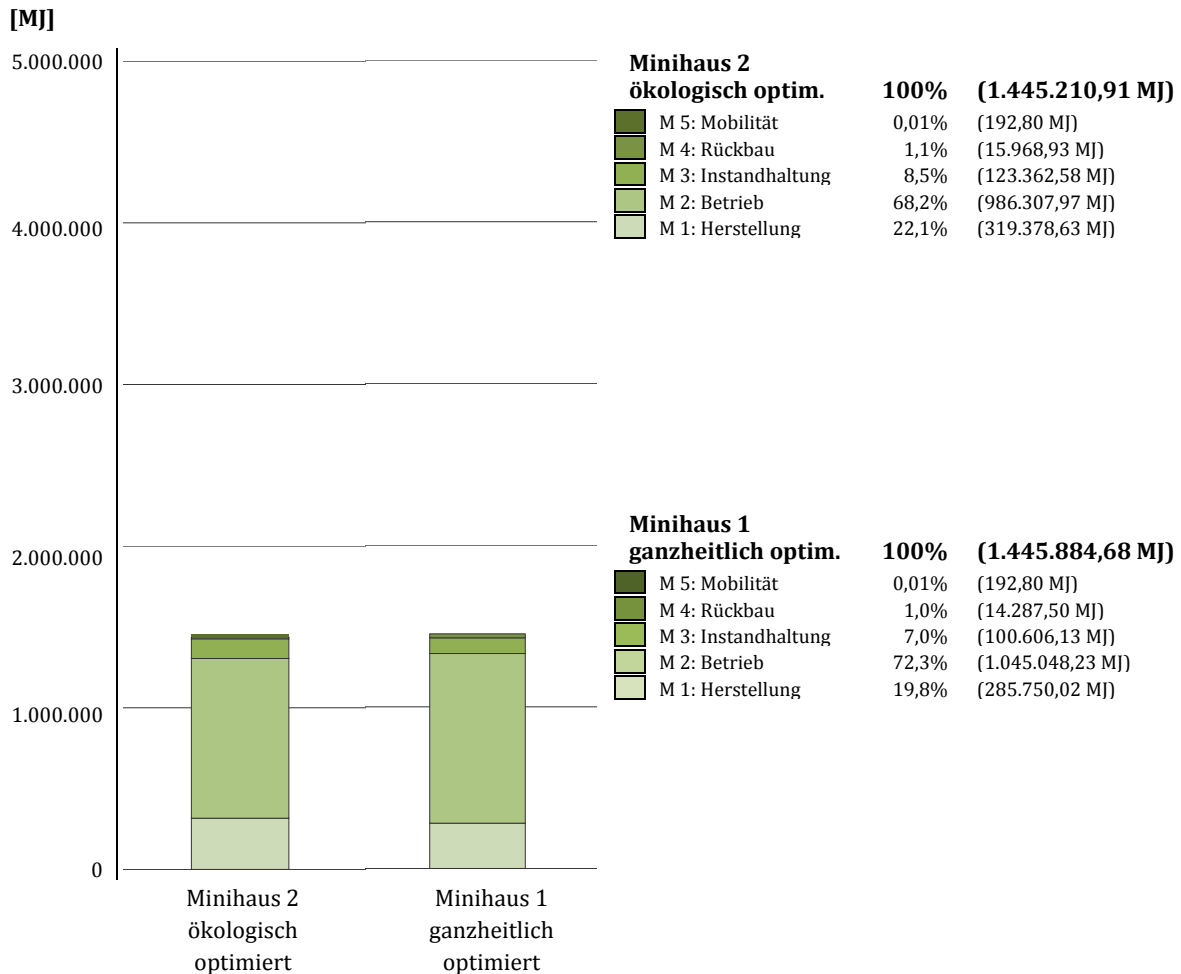
Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, nicht erneuerbar

Abbildung 80: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ

**Wirkungskategorie Primärenergie, erneuerbar**

Minihaus 2 ökologisch optimiert	Minihaus 1 ganzheitlich optimiert	Haus Riedberg
1.445.211	1.445.885	633.720

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, erneuerbar**



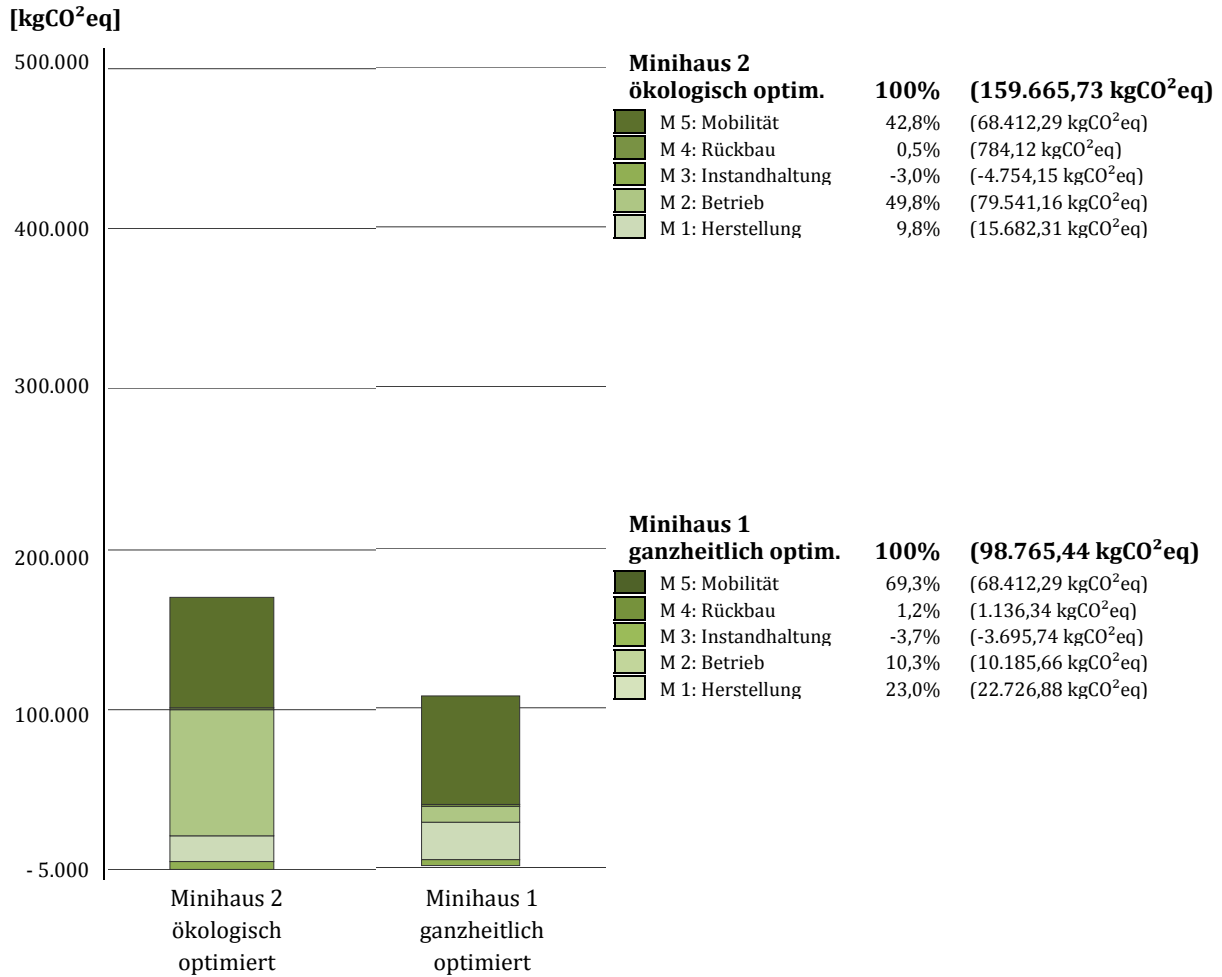
Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Primärenergie, erneuerbar

Abbildung 81: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ

**Wirkungskategorie Treibhauseffekt GWP**

Minihaus 2 ökologisch optimiert	Minihaus 1 ganzheitlich optimiert	Haus Riedberg
159.666	98.765	299.566

**Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP**



Ökobilanzierung - Graphische Auswertung:  
 Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5;  
 Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP

Abbildung 82: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ

### **3.9 Abschliessende methodische Betrachtungen**

Es muss festgestellt werden, dass die angestrebte ganzheitliche Betrachtung aller vorgestellten Module im Sinne einer einheitlichen Ökobilanz derzeit nicht möglich ist. Die Datengrundlage (Mobilität, Infrastruktur-Aufwand) und der Kenntnisstand über Umweltfolgen von Landverbrauch sind unzureichend. In diesem Zusammenhang sind auch die vom „Runden Tisch für Nachhaltiges Bauen“ festgelegte Auswahl an Öko-Indikatoren in Frage zu stellen. Ein Kriterium zum Landverbrauch und Wasserverbrauch scheint sinnvoll und wäre methodisch relativ einfach einzubinden. Eine Einbeziehung der Infrastruktur wird methodisch durch die oben diskutierte Frage der Grenzziehung und Zuordnung der Infrastruktur zu einzelnen Gebäuden erschwert.

Als weiteres Ergebnis der Untersuchung ist festzustellen, dass der Einfluss des Moduls 5: Mobilität auf die Gesamtbilanz in fast allen Wirkungskategorien erheblich ist. Die hier vorgeschlagene Ausweitung der Betrachtung ist durchaus sinnvoll und führt zu einer genaueren und umfassenderen Darstellung der Umweltfolgen der Funktion.

### **3.10 Fazit der Ökobilanzierung – Das optimale Haus**

#### **Abschliessende Betrachtungen zu den Umweltfolgen**

Es ist vorzuschicken, dass auch der hier vorgestellte Prototyp nur eine Optimierung innerhalb eines bestimmten Betrachtungsrahmen darstellt. Grundsätzlich ist ein Neubau, wie auch an den hier vorliegenden Ergebnissen abzulesen ist, eine erhebliche Belastung der Umwelt. Ökologischer wäre es in jedem Fall, überhaupt nicht zu bauen. Damit wäre aber die Kultur und Lebensweise in Frage gestellt. Die vorliegende Studie geht davon aus, dass Wohnraum in gewohnter Menge und Qualität geschaffen werden muss, weil sie nach Antworten in diesem Problemfeld geben möchte. Ob die Schaffung von Wohnraum in diesen Mengen und die stete Zunahme der Pro-Kopf-Flächen eine sinnvolle Entwicklung ist, ist eine durchaus berechtigte Frage, die jedoch den Rahmen dieser Studie verlässt (s. dazu Thema Suffizienz - Kapitel 1.2 Ziele des Forschungsvorhabens). Sicher ist jedoch, dass die Zunahme der Wohnfläche keine ökologisch sinnvolle Entwicklung ist. Die Zunahme der Pro-Kopf-Wohnfläche ist der treibende Motor der Neubau-Tätigkeit, wie in dem folgenden Kapitel gezeigt wird. Interessant wäre in diesem Fall eine Untersuchung zu der Frage, ob eine optimierte Neubau-Lösung mit der Renovierung eines Bestands-Gebäude verglichen werden kann.

Akzeptiert man jedoch grundsätzlich die Neubau-Tätigkeit als notwendiges Übel oder sogar Teil des Ausdrucks der Kultur, dann stellt sich die Frage, auf die in dieser Studie Hinweise erarbeitet wurden: Gibt es das optimale Haus. In dem vorangegangenen Kapitel wurde diese Frage in Hinblick auf die ökologischen Folgen eines Neubaus diskutiert. Hier ist deutlich geworden, dass die Neubauten sehr stark unterscheiden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig auch noch einmal zu betonen, dass der hier vorgenommene Vergleich so gewählt wurde, dass auch das Vergleichsobjekt ‚Haus Riedberg‘ einen durchaus hohen energetischen Standard (Niedrigenergie oder KfW-60-Haus) und eine günstige städtebauliche Lösung (Reihenhaus, Reihenhendhaus) darstellt. Würde der Prototyp mit einem freistehenden Einfamilienhaus auf EnEV-Standard verglichen worden, so wäre der Unterschied sicher deutlicher ausgefallen.

#### **Das autarke Haus**

Ein Leit-Gedanke, der in der Entwicklung des Prototypen eine zunehmend wichtige Rolle gespielt hat ist die Idee des autarken Hauses. Beeinflusst ist dieser Gedanke auch aus der Beschäftigung mit dem internationalen Wettbewerb Solar Decathlon, bei dem von Studenten der TU Darmstadt unter Betreuung des Fachgebietes ‚Energie-Effizientes Bauen‘ ein Prototyp für ein energieautarkes Kleinst-Haus entwickelt und gebaut wurde. Am Beispiel der Energie kann man erkennen, dass die Forderung einer vollständigen oder weitgehenden Autarkie des Gebäudes dazu führt, dass das Gebäude in dem Sinne nachhaltiger wird, als das es seine Energie aus dem aktuellen Angebot an Umweltenergie gewinnt und keine Ressourcen verbraucht, die über einen langen Zeitraum gebildet wurden. Wenn man sich an Brundtlands Definition von Nachhaltigkeit orientiert: „Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs“, dann wird

deutlich, dass ein lokales autarkes System grundsätzlich weniger geneigt ist Ressourcen zu verbrauchen, die nicht erneuerbar sind oder zu lange brauchen, ehe sie sich regenerieren. Erweitert man dieses Verständnis von Nachhaltigkeit in den Bereich von Umwelt und Kultur, so wird deutlich, dass sich daraus auch eine ökologische Grundhaltung ergibt, indem dem System Umwelt nur Stoffe und Energien in dem Maße und der Geschwindigkeit entnommen werden sollen, in dem sie sich erneuern. Im Kapitel 3.11. wurden Konzepte vorgestellt mit denen eine solche Autarkie auch auf den Bereich der Wasserversorgung ausgeweitet werden kann.

Das Konzept der Autarkie auf die Herstellung die Beschaffung von Baustoffen zu übertragen ist schwieriger. Es gibt in der Baugeschichte eine grosse Anzahl positiver Beispiele lokaler Bautraditionen, die sich aus der lokalen An- oder Abwesenheit bestimmter Baustoffe ableiten. Beim heutigen Bauen spielen jedoch die Transportkosten, trotz steigender Energiekosten nur eine untergeordnete Rolle. Gerade im Bausektor werden derzeit zunehmend die Potentiale der Globalisierung erschlossen, die in anderen Wirtschaftsbereichen schon weitgehend umgesetzt sind. Aus ökologischer ist in zweierlei Hinsicht ökologisch problematisch. Bei Baumaterialien werden große Massen und Volumina bewegt. Diese Transporte belasten die Umwelt in grösserem Umfang als der Transport von kleinen und leichten Gütern. Der Transportaufwand ist auch der Grund dafür ist, dass die Globalisierung sich in der Baubranche langsamer durchsetzt. Die Produktion in anderen Ländern lässt sich nicht kontrollieren, weswegen davon ausgegangen werden muss, dass sie unter Umständen nicht den gleichen sozialen und ökologischen Standards genügt wie eine inländische Produktion. Deswegen können diese Baustoffe eine grössere Umweltbelastung bedeuten als heimische Produkte. Sinnvoll scheint es deswegen vorzugsweise heimische Produkte einzusetzen, deren Produktion und Inhaltsstoffe bekannt sind und beurteilt werden können.

## 4 Die Stadt als soziales Bezugssystem – Nachverdichtung oder Zersiedelung

In diesem Kapitel werden die sozio-kulturellen Aspekte der Nachhaltigkeit diskutiert. Die Stadt wird dabei als das soziale Bezugssystem des Gebäudes betrachtet. Im Sinne des Drei-Säulen-Modells der Nachhaltigkeit, das im „Leitfaden nachhaltiges Bauen“<sup>75</sup> vom BMVBS und in der Empfehlung „SIA 112/1 Nachhaltiges Bauen“<sup>76</sup> beschrieben ist, beinhaltet der dritte Bereich der Nachhaltigkeit gesellschaftliche und sozio-kulturelle Fragen. Dieses Kapitel setzt sich mit den sozialen Implikationen der Vergleichsgebäude auseinander. Die gebäudebezogenen Fragestellungen nach Bau- und Wohnkultur werden im Kapitel 4 besprochen.

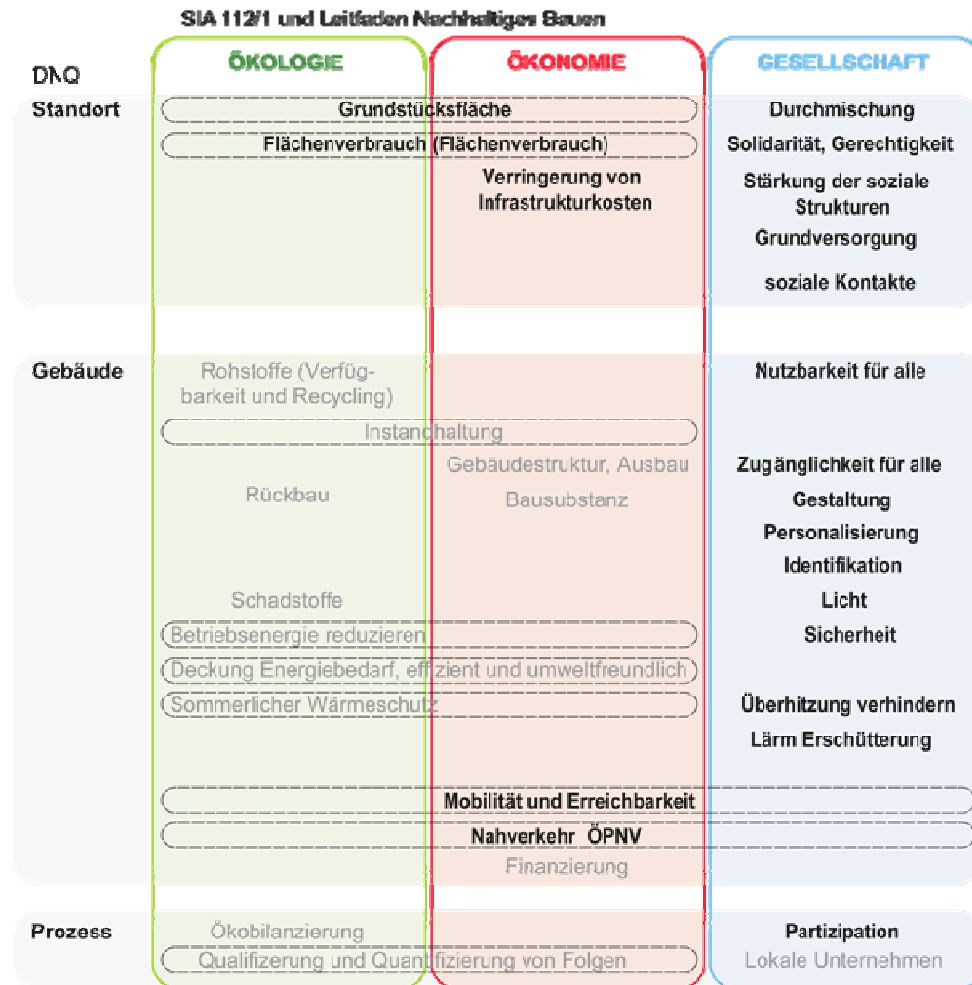


Tabelle 31: Kapitelübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ

Die Schaffung von Wohnraum ist eine gesellschaftliche Aufgabe. Deswegen wird im ersten Abschnitt dargestellt, in welchem Umfang Wohnraum geschaffen werden soll. Anschließend werden die städtebaulichen Strategien verglichen, mit denen bei der konventionellen Stadtplanung und durch Nachverdichtungslösungen neuer Wohnraum geschaffen werden kann und welche städtebaulichen Strukturen als Grundlage für die sozialen Strukturen dabei entstehen. Neben diesem Vergleich wird untersucht ob der Bedarf an Wohnraum durch die Möglichkeit der Nachverdichtung gedeckt werden kann, bzw. in welchem Umfang diese eine Alternative zu konventionellen Strategien darstellt.

<sup>75</sup> Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. - [www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen\\_-Leitfaeden\\_-Ric\\_1777/Nachhaltiges-Bauen.htm](http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen_-Leitfaeden_-Ric_1777/Nachhaltiges-Bauen.htm), 2. Nachdruck, vom Januar 2001, Stand Juli 2008.

<sup>76</sup> SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

## 4.1 Städtebauliche Rahmenbedingungen

### 4.1.1 Prognostizierte demographische Entwicklung Frankfurts als Beispiel für Ballungsräume

#### Nachfrage - Wohnungsbau

Die Nachfrage nach Wohnraum in der Stadt ist hoch. Dieser langfristige Trend wird durch die Zunahme der Wohnflächen pro Kopf und die Abnahmen der Haushaltsgrößen gestützt. Beide Phänomene in Summe erklären den anhaltend hohen Wohnbedarf.

Die Haushaltsgrößen in Deutschland sinken, während die Anzahl der Haushalte stetig steigt. Neben den zunehmenden Singlehaushalten fordern neue mobile Berufsbilder mehr Zweitwohnungen, welche sich ebenfalls nicht proportional auf das Bevölkerungswachstum umrechnen lassen. Die Summe der betrachteten Aspekte zeigt die Grundlage für einen steigenden Wohnungsbedarf.<sup>77</sup> Zwischen 1939 und 2003 ist in Frankfurt die Zahl der privaten Haushalte kontinuierlich auf das Doppelte gestiegen, während die Einwohnerzahl nur um 20 % gestiegen ist. Hintergrund dieser Entwicklung ist eine konstant sinkende Haushaltsgröße. Heute besteht die Hälfte aller Frankfurter Haushalte aus Ein-Personenhaushalten.<sup>78</sup> Die durchschnittliche Haushaltsgröße in Frankfurt sank von 2,85 Personen/Haushalt im Jahr 1939 auf 1,77 Personen/Haushalt im Jahr 2003.

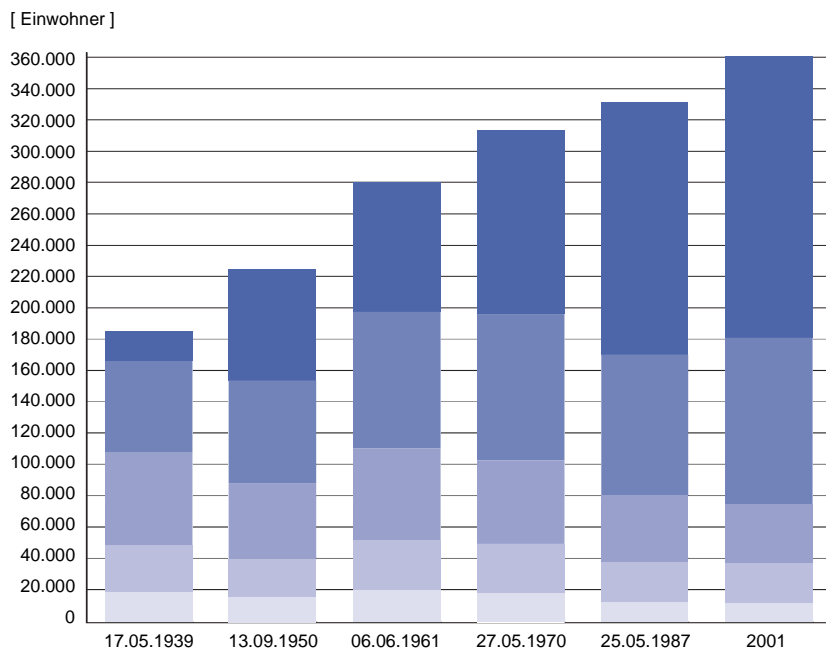
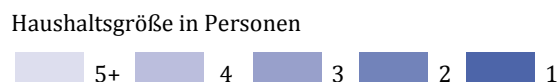


Abbildung 83: Privathaushalte Frankfurt am Main, Quelle: Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.



Im Ergebnis steigt die durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf seit dem Krieg an. Während 1980 in Frankfurt eine durchschnittliche Wohnfläche pro Person von 30,7qm errechnet wurde, ist dieser Wert bis 2003 auf 35,6qm

<sup>77</sup> vgl. Brake, Klaus; Einacker, Ingo; Mäding, Heinrich: Kräfte, Prozesse, Akteure – zur Empire der Zwischenstadt, Bd. 3/9. Wuppertal 2005, S. 75/76.

<sup>78</sup> vgl. Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 33.



## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

angestiegen. Bundesweit liegt der Durchschnitt derzeit bei 39,2 qm pro Person.<sup>79</sup> Dabei unterschieden sich die Flächenverbräuche in Abhängigkeit von der Haushaltsgröße erheblich:

	Durchschnittliche Wohnfläche je Haushalt [qm/WE]. Stand 2004	Durchschnittliche Wohnfläche je Person [qm/Person]. Stand 2004
1 Person	62,5	62,5
2 Personen	86,7	43,4
3 Personen	97,5	32,5
4 Personen	110,1	27,5
5 und mehr Personen	121,6	22,8
<b>insgesamt</b>	<b>83,2</b>	<b>39,2</b>

Tabelle 32: Haushaltsgrößen und Wohnungsgrößen, Quelle: Statistisches Bundesamt: Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte. 2006

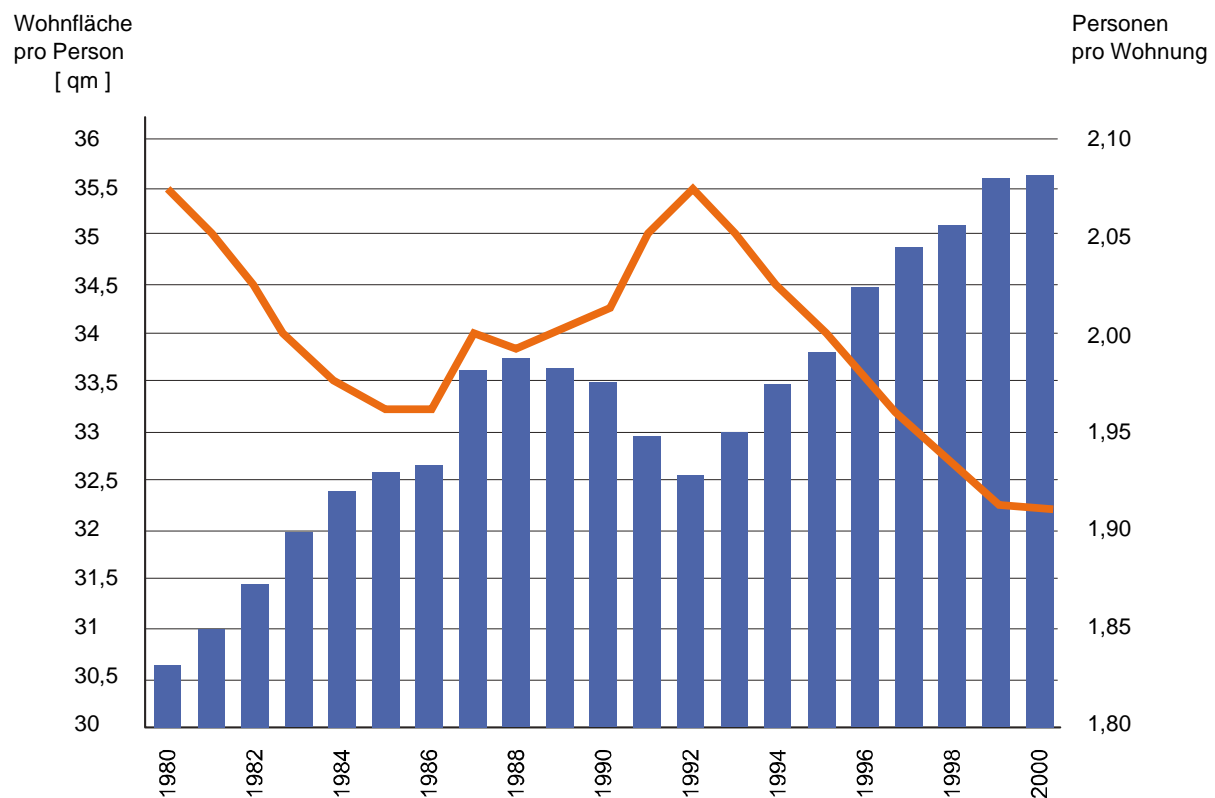


Abbildung 84: Wohnflächenkonsum in Frankfurt am Main, Quelle: DGJ; Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

- Wohnfläche pro Person
- Personen pro Wohnung

### Bedarf an Wohnungen in Frankfurt

Im Ergebnis nimmt der Bedarf an Wohnraum trotz konstanter Bevölkerungsentwicklung zu. Die Stadt Frankfurt geht in ihrem Bericht zur Stadtentwicklung von einem aktuellen Nachholbedarf von 9.000 bis 12.600 Wohnungen aus. Darüber hinaus prognostiziert die Stadt Frankfurt für nächsten zehn Jahre, ein

<sup>79</sup> Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

Gesamtbedarf von insgesamt ca. 35.000 Wohneinheiten.<sup>80</sup> Die vorliegende Untersuchung beschränkt sich exemplarisch auf Frankfurt und die Rhein-Main Region<sup>81</sup>, weil es eine typischer Ballungsraum für die mitteleuropäische Stadtentwicklung ist (vgl. Begriff Zwischenstadt nach Sieverts)<sup>82</sup>. Die im Vergleich zu anderen Zentren (Ruhrgebiet, München, Randstadt) geringere Ausdehnung lässt vermuten, dass die Ergebnisse in Hinblick auf die Auswirkung der Standortfaktoren noch drastischer ausfallen würden, wenn ein größeres Siedlungsgebiet betrachtet würde.

In Marktsegmenten aufgeschlüsselt zeigt sich ein besonderer Bedarf und Nachfrage günstigen Mietwohnungen, Wohnraum zur Eigentumbildung für breite Einkommensgruppen und nach familiengerechtem Wohnraum<sup>83</sup>. Solcher Wohnraum ist in der Frankfurter Innenstadt schwer zu finden, wodurch ein großer Teil der Nachfrage durch Angebote aus dem Umland gedeckt wird. Dort wird den Bauwilligen Bauland auf neu erschlossenen Siedlungsflächen angeboten.<sup>84</sup> Diese Angebote finden sich vor allem in Stadtrandbezirken und Vorstädten. Hier werden Parzellen für Einfamilienhäuser ausgewiesen, die für mittlere und höhere Einkommen geeignet sind. Durch den geringen Anteil an Mehrfamilienhäuser und sozialem Wohnungsbau ist eine steigende Homogenisierung der Bevölkerung zu beobachten. Eine Veränderung dieser Entwicklung kann erreicht werden wenn auch in der Stadt familientauglicher Wohnraum geschaffen wird und somit das soziale Gefüge der Stadt gestärkt wird. Hierfür sind Nachverdichtungen, Restgrundstücke und Baulücken gut geeignet. Durch den geringen ökonomischen Druck der institutionellen Investoren auf diese Parzellen, besteht auch für mittlere Einkommen die Möglichkeit zum Erwerb an Wohneigentum, wenn diese Bauformen gezielt gefördert werden (s. dazu Kapitel Kostenvergleich).

Für die Wohnsituation und das soziale Gefüge in der Stadt ist eine Durchmischung wünschenswert, vor allem eine Integration von Familien. Die Vorzüge der öffentlichen und sozialen Infrastruktur, des kulturellen Angebots und der Nähe zum Arbeitsplatz stehen einem schlechten Wohnungsangebot für Haushalte über zwei Personen entgegen.

### 4.1.2 Strategie der Stadtplanung Frankfurts

Die Städte und Gemeinden sind daran interessiert den Wohnungsbedarf zu decken, um die Abwanderung von Bürgern in die umliegenden Gemeinden zu verhindern. Das Mittel für die Umsetzung des politischen Willens in Stadtplanung und Wohnungsbaupolitik sind die städtebaulichen Rahmenbaupläne. Für einzelne Stadtgebiete werden Bebauungspläne oder Gestaltungssatzungen erarbeitet, in denen die Bebauungsstruktur festgelegt wird. Durch die städtebaulichen Rahmenpläne werden mittel- und langfristige Zielsetzungen der Stadtplanung festgelegt und städtebaulichen Handlungsanweisungen herausgegeben. Die daraus resultierende städtebauliche Entwicklung ist dabei allerdings nicht in erster Linie geprägt durch Wunschvorstellungen der späteren Nutzer. Im Wesentlichen haben politische Abwägungen auf Basis von Bevölkerungsstatistiken, wirtschaftliche Entwicklungstendenzen und Prognosen der Nachfrage Einfluss auf die Stadtbaupolitik.

---

<sup>80</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 37. - „Zusammenfassend stellt sich der Bedarf für die kommenden zehn Jahre folgendermaßen dar: Ein Nachholbedarf von ca. 9000 bis 12.600 Wohneinheiten, ein Zusatzbedarf aufgrund steigendem Wohnflächenkonsum und anhaltendem Trend zu kleineren Haushalten in Höhe von ca. 26.000 Wohneinheiten, ein Gesamtbedarf von ca.35.000 bis 38.600 Wohneinheiten.“

<sup>81</sup> Brake, Klaus; Einacker, Ingo; Mäding, Heinrich: Kräfte, Prozesse, Akteure – zur Empire der Zwischenstadt, Bd. 3/9. Wuppertal 2005, S. 40. - „Der Raum um Frankfurt am Main bzw. der Raum zwischen Wiesbaden und Hanau, Bad Homburg und Darmstadt gilt allgemein als einer der Präzedenzräume der Suburbanisierung in Deutschland: auffällig und oft Vorreiter, was Art und Maß neuerer Suburbanisierung seit 1950 anbelangt, ...“

<sup>82</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.13 ff.

<sup>83</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 37.

<sup>84</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 37.

Die Stadtplanung der Stadt Frankfurt hat das Ziel den Bedarf mit einem ausreichenden Angebot an Wohnraum zu decken. Das planungsrechtliche Instrument zur Flächenvorsorge ist der Rahmenbauplan Wohnen (RAW). Dieser beschreibt die Strategie der Stadtplanung der Stadt Frankfurt und Festlegungen übergeordneter Ziele der Stadtplanung. In dem aktuellen Rahmenbauplan weist die Stadt Frankfurt 45 Baugebiete aus, auf denen insgesamt 30'800 Wohneinheiten gebaut werden sollen<sup>85</sup>. Hierbei liegt ein Schwerpunkt auf Flächenrecycling und Stadtteilerweiterungen<sup>86</sup>. Mit diesen Maßnahmen hofft die Stadt 11'330 Wohneinheiten abbilden zu können. In den Konversionsflächen wird somit ca. ein Drittel des prognostizierten Bedarfs von 35.000 Wohneinheiten geschaffen. Die von der Stadt Frankfurt angestrebte Neubautätigkeit beträgt für die nächsten zehn Jahre 3.000 Wohneinheiten pro Jahr, um einen Großteil der prognostiziert nachgefragten 35'000 Wohneinheiten zu decken. Die verbleibenden zwei Drittel werden über eine Ausweitung der Siedlungsfläche am Stadtrand abgebildet. Den wesentlichen Beitrag zum Wohnungsbauangebot leistet zur Zeit eine aufgelockerte Bebauung mit hohem Einfamilienhaus-Anteil in den Neubaugebieten wie dem Baugebiet Riedberg, das derzeit eines der größten Stadtentwicklungsprojekte bundesweit ist. Solche Strukturen werden gegenüber Einzelgebäuden von Investoren und Bauträgern bevorzugt, weil sie generalisierte Planungen und großflächige Bebauungen zulassen. Die Rendite solcher Vorhaben ist aufgrund des hohen Wiederholungsgrades in der Planung und der Effizienzsteigerung im Bauablauf besonders hoch. Für die Städte und Gemeinden ergeben sich Einnahmen durch Landveräußerung und durch Steuereinnahmen über den Einkommenssteueranteil der Gemeinden für die angesiedelten Bürger. Aus diesen finanziellen Interessen entsteht ein Wettbewerb zwischen den Städten und Gemeinden, die mit konkurrierenden Angeboten versuchen, ihre Neubaugebiete am Markt durchzusetzen. Die Konkurrenzsituation der benachbarten Kommunen untereinander ist ein entscheidender Faktor, der in Ballungsgebieten wie dem Rhein-Main-Gebiet besonders spürbar ist, da die Distanzen in der Regel kurz sind und deswegen die Standorte in Hinblick auf die Verkehrsanbindung vergleichbar sind.

---

<sup>85</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 38. - „Der RAW 2000/2001 umfasst 75 Wohnbauflächen in 45 Baugebieten, die den Bau von ca. 30.080 Wohneinheiten ermöglichen.“

<sup>86</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 40. - „Die insgesamt 45 Gebiete des RAW 2000/2001 beinhalten 17 Umstrukturierungsflächen mit einem Potenzial von ca. 11.330 Wohnungen.“

Das Ergebnis ist eine anhaltende Ausweitung der Siedlungsfläche im Stadtgebiet und im Umland.

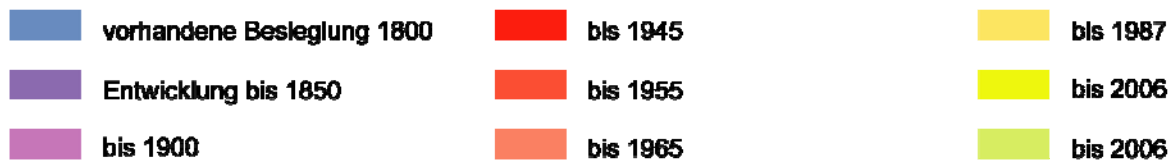
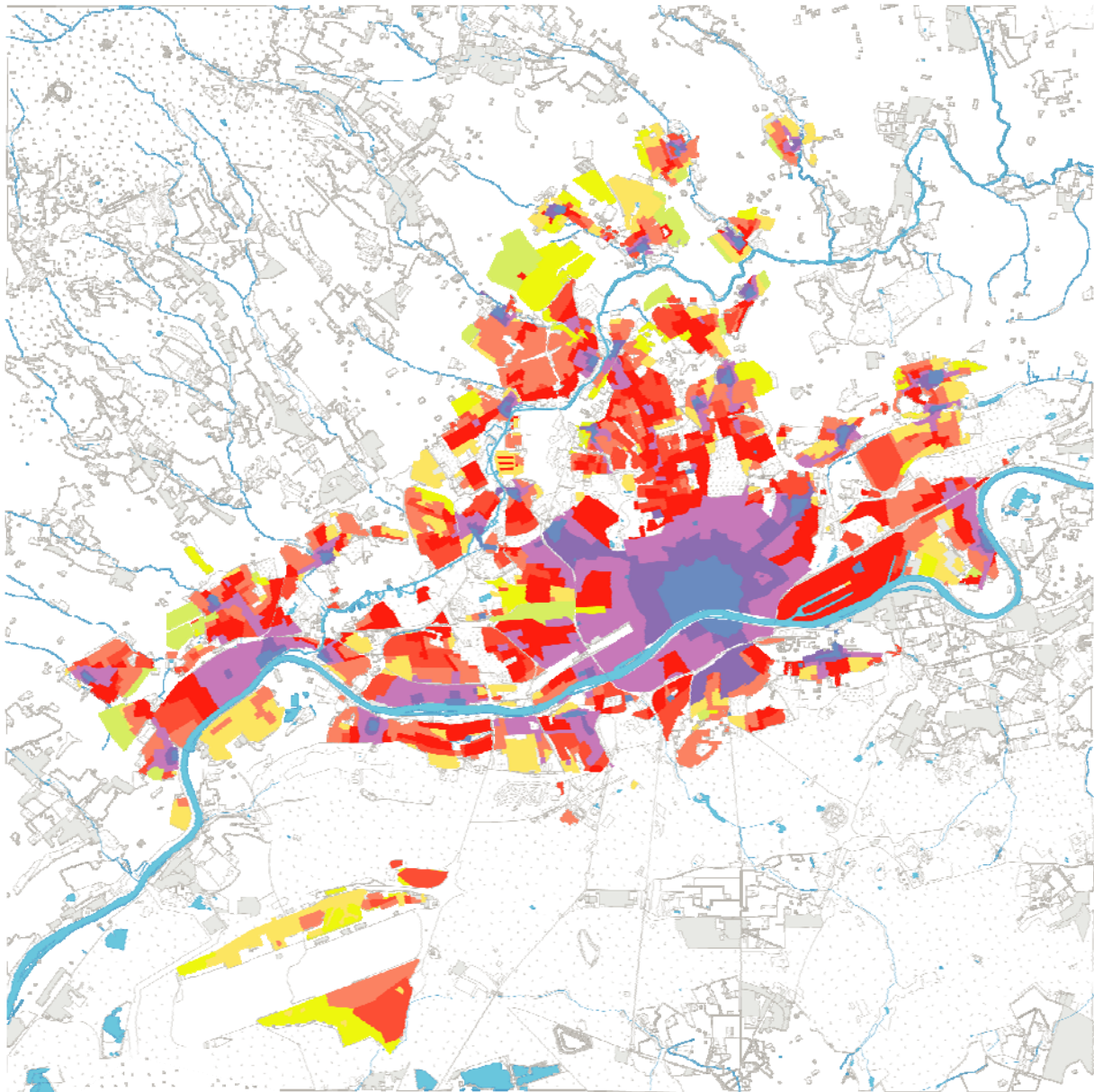


Abbildung 85: Bauflächenentwicklung Frankfurt am Main. - Stadtplanungsamt der Stadt Frankfurt am Main, Quelle: DGJ

Diese Ausweitung der Siedlungsfläche läuft dabei seit dem Ende des zweiten Weltkrieges abgekoppelt von der Zunahme der Bevölkerung. Die Bevölkerung im Stadtgebiet ist relativ konstant geblieben, wohingegen die Siedlungsfläche im selben Zeitraum um 140% zugenommen:

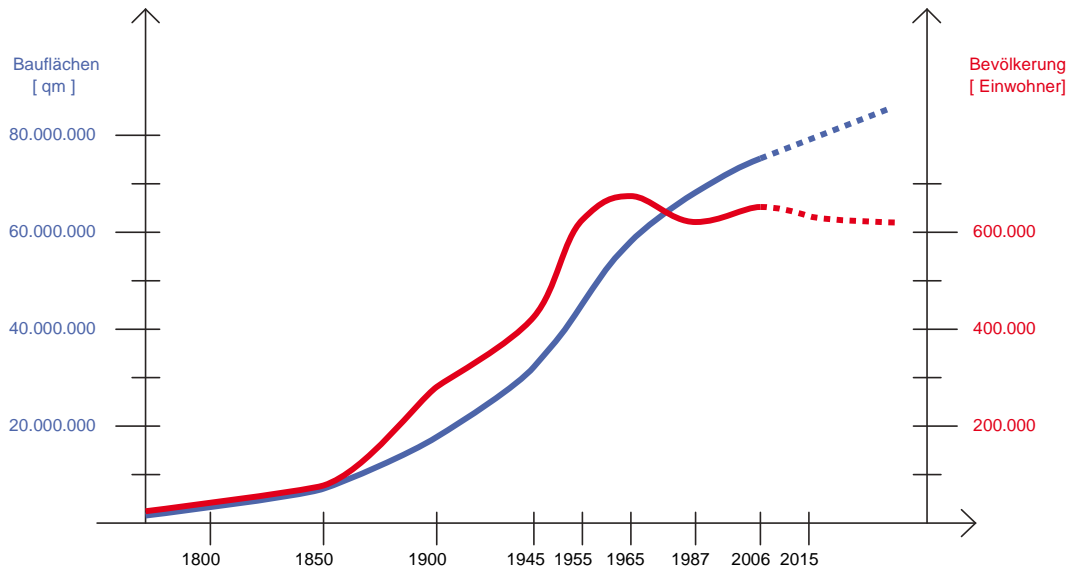
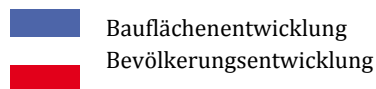


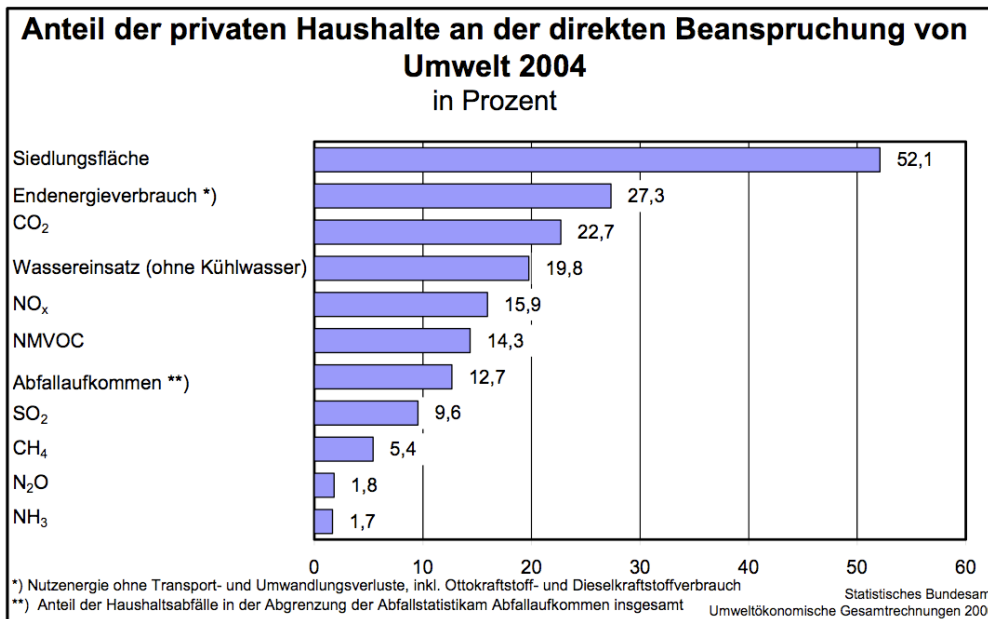
Abbildung 86: Bauflächenentwicklung im Verhältnis zur Bevölkerungsentwicklung, Quelle: DGJ; Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung; Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.



### 4.1.2.1 ZUNAHME DER BAUFLÄCHEN IN FRANKFURT

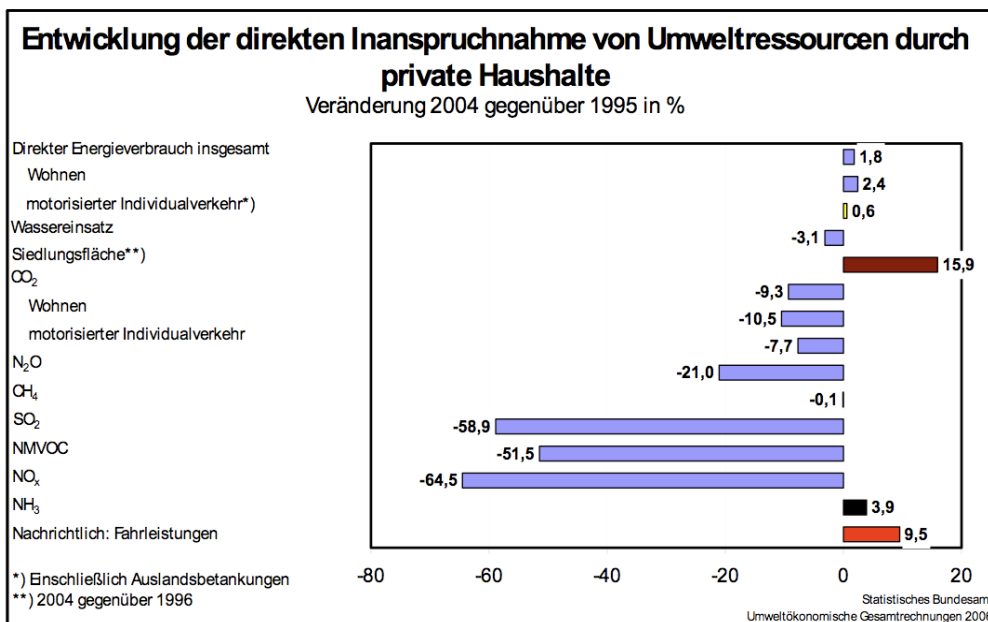
1800	3.946.931 qm = 395 ha
1850	2.229.951 qm = 223 ha
1900	11.453.198 qm = 1.145 ha
1945	15.295.057 qm = 1.530 ha
1955	11.363.053 qm = 1.136 ha
1965	13.209.245 qm = 1.321 ha
1987	11.368.119 qm = 1.137 ha
2006	6.673.247 qm = 667 ha
2015	3.612.660 qm = 361 ha

Von besonderer Bedeutung ist diese Entwicklung deshalb, weil der private Verbrauch an Siedlungsfläche den grössten Anteil am Gesamtverbrauch hat. 52,1% der neuen Siedlungsfläche ist auf die privaten Haushalte zurückzuführen. Dabei hat sich der Bedarf zwischen Jahren 1995 und 2004 um 15,9% gesteigert:



**Quelle:** Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Statistisches Bundesamt 2006. CO<sub>2</sub> = Kohlendioxid, NO<sub>x</sub> = Stickstoffoxide, NMVOC = Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan, SO<sub>2</sub> = Schwefeldioxid, CH<sub>4</sub> = Methan, N<sub>2</sub>O = Distickstoffoxid (Lachgas), NH<sub>3</sub> = Ammoniak.

Abbildung 87: Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Quelle: Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.



**Quelle:** Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Statistisches Bundesamt 2006. Statistisches Bundesamt, Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2006. UGR Pressekonferenzbericht 2006: Hintergrundpapier.

Abbildung 88: Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Quelle: Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Dies erklärt sich durch den erhöhten Flächenverbrauch pro Kopf (s.o.). Die Ausbreitung der Siedlungsgebiete setzt sich trotz des zunehmenden ökologischen Bewusstseins in Politik und Bevölkerung ungebremst fort. Neben dem Flächenverbrauch für die Gebäude sind zusätzliche Flächen für die Infrastruktur notwendig. Die Neubausiedlungen müssen mit Straßen erschlossen und mit Einkaufsmöglichkeiten und öffentlichen Einrichtungen ausgestattet werden. Hierfür werden weitere Flächen verbraucht und versiegelt. (s.o. Sachbilanz Modul 5: Infrastruktur und Modul 6: Flächenverbrauch).

Betrachtet man die Flächenverbrauchsrechnung am Beispiel des Stadtteils Frankfurt-Riedberg, wird jedoch auch klar, welcher Aufwand von Seiten der öffentlichen Hand erbracht werden muss, um neu zu entwickelnde Stadtgebiete an das bestehende Infrastrukturnetz anzuschließen. Da die neu ausgewiesenen Baugebiete weder über die Verkehrsinfrastruktur noch soziale Einrichtungen verfügen, sind teilweise erhebliche Investitionen der öffentlichen Hand notwendig, um funktionsfähige Wohnquartiere zu gewährleisten. Die Neubausiedlungen müssen mit Straßen erschlossen und mit Einkaufsmöglichkeiten und öffentlichen Einrichtungen ausgestattet werden. Auch für Handel und Gewerbe werden oft in Folge der Ansiedlung neuer Wohngebiete neue Flächen verbraucht und versiegelt. Die Investitionskosten und Umweltfolgen dieser Infrastrukturen sind erheblich größer als die notwendige Ertüchtigung der allgemein guten innerstädtischen Infrastruktur.

Newman und Kenworthy (1989) untersuchten 32 Städte und stellten eine signifikante statistische Korrelation zwischen der Siedlungsdichte und dem Energieverbrauch für Verkehrszwecke je Einwohner fest. Diese Studie bezieht sich auf den Energieverbrauch, der durch den Verkehr verursacht ist. Eine ähnlich direkte Korrelation kann basierend auf der vorliegenden Studie für die gebäudebezogene Parameter, wie Energieverbrauch für die Gebäude und die Errichtung der Infrastruktur angenommen werden. Eine Überlagerung dieser beiden Effekte (verkehrbezogener Energieverbrauch und gebäudebezogener Energieverbrauch) würde zeigen, dass die dichteren Stadtstrukturen einen noch deutlich geringeren Energieverbrauch haben, als in der hier abgebildeten Graphik:

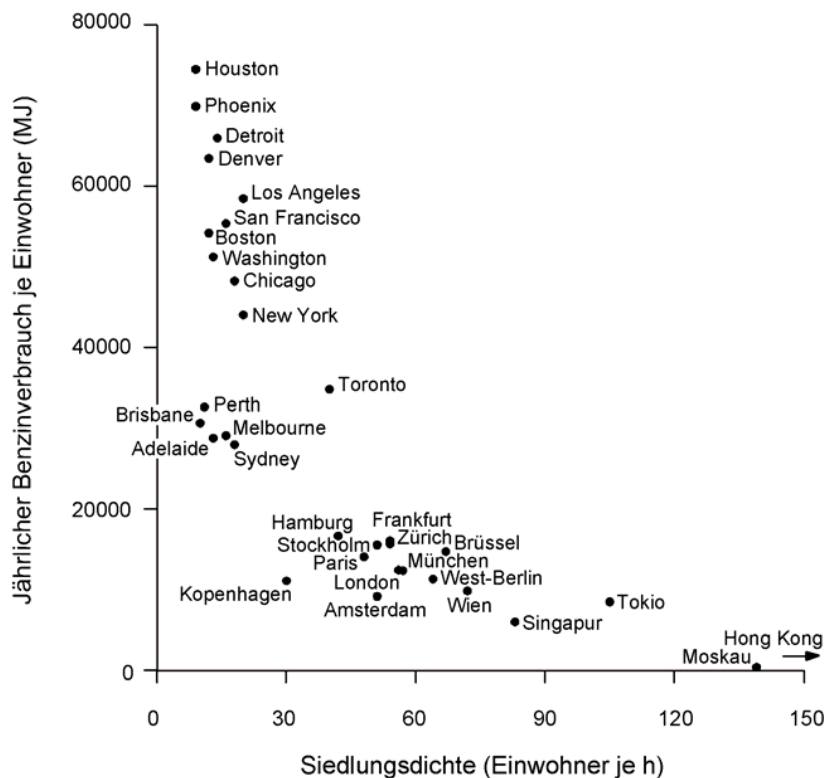


Abbildung 89: Energieverbrauch in Abhängigkeit zur Bevölkerungsdichte, Quelle: Newman und Kenworthy, 1989<sup>87</sup>

<sup>87</sup> Transport and urban form in thirty-two of the world's principal cities, Authors: Peter W. G. Newman; Jeffrey R. Kenworthy, Murdoch University, Murdoch, Western Australia, published in: Transport Reviews, Volume 11, Issue 3 July 1991, pages 249 - 272, Oxford, 1991

**Flächenverbrauchsrechnung Frankfurt Riedberg**

Innerhalb der Studie wurden Standorte verglichen, die beide innerhalb des Stadtgebiets Frankfurt liegen. Die Siedlung Riedberg kann dabei als prototypisches Beispiel gelten. Am Projekt Riedberg wird exemplarisch der Flächenverbrauch in vorstädtischen Gebieten anhand von Flächenberechnungen gezeigt.

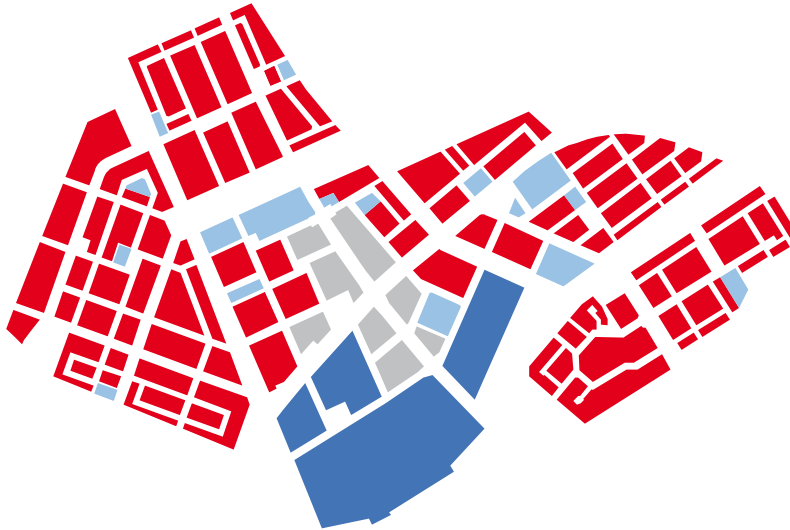
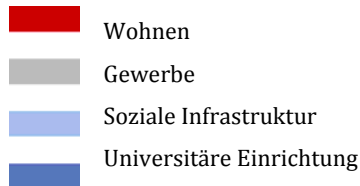


Abbildung 90: Frankfurt Riedberg – Nutzungsplan (Parzellen) , Quelle: DGJ; Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.



**Flächenermittlung und -verbrauch der öffentlichen Infrastruktur**

(1 WE = 4 Ew.)

geplante Einwohnerzahl 2017	15.000 EW
Fläche Riedberg insgesamt	2.908.761 qm
Unversiegelte Fläche / Grünanteil	1.657.340 qm
Versiegelte Fläche	1.251.421 qm
Bebaute Fläche	261.139 qm

<b>Landversiegelung</b>	1.251.421 qm	83,43 qm / Ew. = <b>334 qm / WE</b>
<b>Straße</b>	545.538 qm	36,73 qm / Ew. = <b>147 qm / WE</b>
<b>Bürgersteig</b>	183.605 qm	12,24 qm / Ew. = <b>49 qm / WE</b>
<b>Soz. Infrastruktur</b>	26.005 qm	1,73 qm / Ew. = <b>7 qm / WE</b>



Die Betrachtungen der Entwicklungen im Stadtteil Riedberg zeigen eine zunehmende Landversiegelung im suburbanen Raum mit 334 qm/Wohneinheit, insbesondere einen erheblichen Aufwand für sozial funktionale Einrichtungen und die Verkehrsanbindung. Neben dem ökologischen Aspekt ist der ökonomische Aufwand bei einem neu entwickelten Stadtgebiet zu berücksichtigen. Während in der Innenstadt ein funktionierendes Wegenetz vorhanden ist, erfordert der suburbane Standort eine Neuschaffung von 147 qm/WE Straßen und 49 qm/WE Bürgersteigen. Im Gegensatz zur Stadt kann auf keinerlei soziale Infrastruktur zurückgegriffen werden. Somit entstehen im Stadtteil Riedberg in der Summe aus Kindertagesstätten, Schulen und kirchlichen Einrichtungen 7 qm / WE neu versiegelte Fläche für soziale Infrastruktur. Auf diesen Zahlen stützt sich die Ansicht einer steigenden Autonomie des suburbanen Raums innerhalb der Stadtregion.

Das neue Quartier will Selbständigkeit gegenüber dem Zentrum von Frankfurt, als eigener Standort wahrgenommen werden und eine eigene Identität erhalten.<sup>88</sup> Ökonomisch betrachtet ist es fraglich, ob solche Standortkonzepte in der Zukunft tragbar sein werden, da die einzelnen Gebäudevolumen im Vergleich zur Innenstadtbauung eine geringerer Auslastung pro Tag bzw. Jahr haben. Während die Einwohner- und Arbeitsplatzdichte gering ist, ist die Baumasse pro Einwohner im Vergleich zur Stadt hoch, da den Vorhaben lediglich finanzielle und keine räumlichen Grenzen gesetzt sind.<sup>89</sup> Die geringe Nachfrage führt zu einer eingeschränkten Verkehrsversorgung und mangelnder sozialer Infrastruktur.

### Ausweitung der Siedlungsfläche bundesweit

Die Zersiedlung der Landschaft ist ein bundesweites und international zu beobachtendes Phänomen. Der Trend zur Ausweitung der Siedlungsgebiete hat sich entgegen des zunehmenden ökologischen Bewusstseins in Politik und Bevölkerung fortgesetzt. So werden derzeit bundesweit täglich rund 113 ha/d an Flächen verbraucht<sup>90</sup>. Diese Art der Stadtentwicklung ist kein Phänomen jüngster Zeit, sondern lässt sich schon seit dem 19. Jahrhundert nachweisen. Dieser Prozess wird jedoch heute deutlich schneller voran getrieben als in der Vorkriegszeit. Der anhaltende Flächenverbrauch steht dem Grundsatz des schonenden Umgangs mit Ressourcen entgegen, der die Grundlage einer ökologisch vertretbaren nachhaltigen Entwicklung ist. Dieser sparsame und schonende Umgang mit Grund und Boden ist auf Bundesebene im Raumordnungsgesetz verankert<sup>91</sup>. Der ‚Rat für Nachhaltige Entwicklung‘ empfiehlt der Bundesregierung, bis zum Jahr 2020 den Flächenverbrauch pro Tag auf 30ha zu reduzieren<sup>92</sup>.

Die Umweltfolgen der Flächenversiegelung wurden im Abschnitt 5.2.6. qualitativ beschrieben. Auch für die Lebenswirklichkeit der Bewohner der Vororte hat die Ausdehnung der Siedlungsfläche soziale Folgen. Indirekt wirkt sie sich auf die Innenstädte, indem durch die Entmischung und Ausdünnung der Bevölkerung den Kerngebieten Lebendigkeit, sowie soziales und wirtschaftliches Potential entzogen wird.

### 4.1.3 Die Vorstadt als soziales Umfeld

Klaus Brake beschreibt diese Ausweitung des Stadtgebietes mit dem Begriff Suburbanisierung<sup>93</sup>. Die entstehenden Stadterweiterungen oder Vorstädte, zeichnen sich im Vergleich zu den Kernstädten durch eine geringere Bebauungs- und Bevölkerungsdichte aus.<sup>94</sup> Durch die kurzen Planungs- und Entwicklungszeiten, aber auch aufgrund homogenisierender planungsrechtlicher Vorgaben ist die

<sup>88</sup> Brake, Klaus; Einacker, Ingo; Mäding, Heinrich: Kräfte, Prozesse, Akteure – zur Empire der Zwischenstadt, Bd. 3/9. Wuppertal 2005, S. 35 f.

<sup>89</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.14 ff.

<sup>90</sup> Umweltbundesamt Dessau: Ressourcennutzung und Abfallwirtschaft Bodenressourcen. Indikator: Flächeninanspruchnahme. - [www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2898](http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeIdent=2898). vom Dezember 2007, Stand Juli 2008.

<sup>91</sup> Raumordnungsgesetz. (ROG) § 2 Abs. 2, Nr. 8.

<sup>92</sup> Rat für Nachhaltige Entwicklung: Mehr Wert für die Fläche: Das „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. - [www.nachhaltigkeitsrat.de](http://www.nachhaltigkeitsrat.de), Stand Juni 2008.

<sup>93</sup> Brake, Klaus; Einacker, Ingo; Mäding, Heinrich: Kräfte, Prozesse, Akteure – zur Empire der Zwischenstadt, Bd. 3/9. Wuppertal 2005, S. 40. - „die weitere Besiedlung im Umfeld größerer Städte“

<sup>94</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt (Hg.): statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2006. Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ, Frankfurt 2006. zudem eigene Berechnungen für den Stadtteil Riedberg - Bevölkerungsdichte Frankfurt Innenstadtbezirke: 6.072 Einwohner je km<sup>2</sup>, Stadtteil Riedberg 5.157 Einwohner je km<sup>2</sup>.

Bebauung stark vereinheitlicht und bietet räumlich und ästhetisch wenig Vielfalt. In den Kernstädten, in denen unterschiedliche Epochen, Baustile und Gebäudeformen seit Jahrhunderten gewachsen sind, finden sich vielfältige Räume und eine große Fülle an architektonischen Ausdrucksformen, die den Bürgern Anknüpfungspunkte für Orientierung und Identifikation bieten. Diese Fülle und Vielfalt erklärt die Attraktivität von historischen Städten.

Der besondere Reiz der Vorstädte ergibt sich nicht aus der eigentlichen Siedlungsstruktur im Nahumfeld sondern aus der Randlage: Die Nähe zum Stadtgebiet bietet zum einen wirtschaftliche Grundlagen durch Angebot von Arbeitsplätzen, zum anderen bietet die Stadt Einkaufsmöglichkeiten, kulturelle Einrichtungen und Bildungseinrichtungen wie Schulen und Universitäten. Auf der Nachfrageseite besteht der Wunsch nach einem Eigenheim, welcher durch die Idealvorstellung von Sicherheit, Stabilität und Unabhängigkeit ausgebildet ist. Dieser Wunsch ist verbunden mit der Vorstellung vom Wohnen-im-Grünen. Auf der Angebotsseite wird die Suburbanisierung durch Städte und Gemeinden bewusst gefördert. Brachflächen, Naturräume und landwirtschaftliche Nutzflächen werden zu Neubaugebieten umgenutzt. Im Falle von der Siedlung Riedberg wurden die Voreigentümer zwangsenteignet und gemäß des bisherigen Nutzwertes des Ackerlandes entschädigt. Anschließend wurde das Gebiet parzelliert und an privatwirtschaftliche Bauträger vermarktet. Für Städte und Gemeinden sind solche suburbanen Siedlungen doppelt lukrativ. Die angesiedelten Bürger führen über Konsum zu Steuererhöhungen und die Veräußerung des durch die Umzonierung aufgewerteten Landes führt zu Verkaufserlösen. Umlandgemeinden und Kernstadt betreiben daher einen Wettstreit um die Neuausweisung von Bauland. Vor allem in einem wirtschaftlichen Ballungszentrum wie dem Rhein-Main-Gebiet entsteht zwischen den dicht benachbarten Städten und Kommunen eine Konkurrenzsituation im Anwerben der hier arbeitenden und lebenden Bevölkerung. Bürger können auf engstem Raum zwischen diversen Wohnmodellen wählen. Dieser Druck führt regelmäßig zu einer Stadtpolitik, die weniger auf weitsichtige Stadtplanung ausgelegt ist als vielmehr auf eine kurzfristige Rentabilität durch schnelle Stadtteilentwicklung.

### **Wohnen im Grünen**

Wohnen im Grünen ist die weitestgehende Autonomisierung des Individuums oder der Bezugsgruppe in einem geschützten Raum. Die oft vehement ausgetragenen Streitigkeiten zwischen Nachbarn sind Ausdruck dafür wie stark dieser Wunsch ausgeprägt ist.

In der Stadt sind diese Abgrenzungen kleinmaßstäblicher. Die Außenräume sind vielfältig besetzt und die Bevölkerung heterogener. Die daraus entstehende Wahrnehmung eines breiteren Bevölkerungsquerschnittes ist wesentliche Voraussetzung für die Bildung eines gesamtgesellschaftlichen Bewusstseins.



### Sachsenhausen



### Riedberg

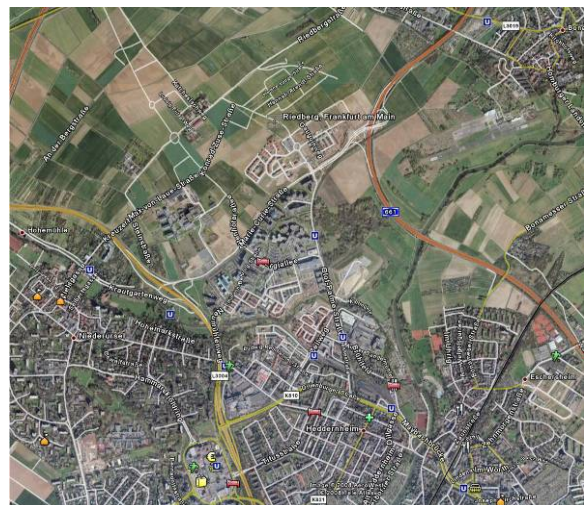


### Straßenraum

Der Straßenraum von Sachsenhausen ist sehr vielfältig. Es existieren enge Stadträume, die sich in einzelnen Grünräumen aufweiten. In Riedberg ist ein sehr breiter Straßenraum vorhanden, durch dessen Ausbau viel Fläche versiegelt wird.



### Öffentliche Wege



### Infrastruktur

Die innerstädtische Infrastruktur ist sehr gut ausgebaut. Es gibt viele Einkaufsmöglichkeiten, kulturelle Einrichtungen und ein sehr dichtes ÖPNV-Netz. Riedberg ist hingegen durch den öffentlichen Nahverkehr schlecht erschlossen. Bildungseinrichtungen müssen neu errichtet werden und die Nahversorgung durch Geschäfte ist kaum gegeben.

**Sachsenhausen**



**Riedberg**



**Öffentliche Freiflächen**

Auch die öffentlichen Freiräume sind sehr unterschiedlich ausgebildet. Das Mainufer bietet einen urbanen Grünraum, der für kulturelle Angebote und in der Freizeit als Ort der Erholung genutzt wird. In Riedberg erscheinen die Freiflächen wenig attraktiv. Sie sind weitläufig und besitzen kein heterogenes Umfeld, welches es erlaubt diese unterschiedlich zu nutzen.



**Bebauung**

Die Bebauung in Sachsenhausen ist sehr heterogen. Unterschiedliche Nutzungen reihen sich aneinander und beleben das Stadtgebiet. Die homogene Bebauung in Riedberg bedingt ein sehr einfältiges Stadtbild.



Die gleichförmige Bebauung bietet nur ein geringes Identifikationspotential der Bewohner mit ihrem Haus. Die Wohngebiete werden durch keine anderen Nutzungen ergänzt und erscheinen deswegen sehr eintönig.

## 4.2 Strategien zur Nachverdichtung

### 4.2.1 Potential für Nachverdichtungen

Am Stadtrand wird eine Wohnform gewählt, die ein naturnahes, gesundes Wohnen verspricht und deswegen insbesondere Familien eine Umgebung darstellt, die den Kindern ein sicheres, naturnahes Aufwachsen in Aussicht stellt. Die geringe Bebauungsdichte und der hohe Grünanteil geben der Vorstadt eine landschaftliche Qualität. Die Vorstellung des Wohnens-Im-Grünen lebt von der gewählten Nähe zu ungestörten Natur- und Landschaftsräumen. Tatsächlich führt die Suburbanisierung jedoch zu einer Zerstörung solcher Rückzugsräume. Die Randlagen werden in den folgenden Siedlungswellen von neuer Bebauung eingefasst und verlieren die spezifische Qualität. Um den Randlagen wenigstens in Teilen ihrem Charakter zu erhalten tendiert die Siedlungsfläche zum Ausfransen, zum fraktalen Wachstum mit exponentiell zunehmenden Randlängen.<sup>95</sup> Aus ökologischer Sicht ist diese Form der Zersiedlung besonders kritisch zu beurteilen. Der hohe Grünanteil der Siedlungen und die eingeschlossenen Landschaftsreste führen zu einem rechnerisch geringeren Flächenverbrauch. Die verbleibenden Grünflächen und Gärten sind jedoch keine zusammenhängenden Naturräume. Für die meisten Tier- und Pflanzenarten sind diese Räume nicht zu besiedeln oder zu bewohnen, weswegen sie eine signifikant geringere Artenvielfalt aufweisen. Auch für das Makroklima und den Wasserhaushalt sind diese Restflächen weit weniger wirksam.

*Eigenschaften wie die Durchdringung von Freiräumen und Bebauung verbinden solche Standorte – ein neues Stadtfeld entsteht, welches nicht an die Stadt heranwächst. Dieses Zwischenspiel von Stadt und Land<sup>96</sup> ist es auch, was für viele Menschen diese Siedlungsform so attraktiv macht und sie schließlich diese Lebensform wählen. „Es ist, anders ausgedrückt, die Sehnsucht nach der Verbindung von Hirtenromantik und Stadtkomfort.“<sup>97</sup>*

Aber auch das soziale Umfeld und die Lebensqualität in den Vorstadtsiedlungen können kritisch beurteilt werden. Das Fehlen von kulturellem Angebot auf der einen, mangelnde soziale Vielfalt auf der anderen Seite, führt zu homogenen und ereignisarmen Wohngebieten. Dagegen bieten die Innenstädte eine große Vielfalt an kulturellen Einrichtungen, öffentlicher Infrastruktur, und Einkaufsmöglichkeiten. Die größere Durchmischung der Bevölkerung der Innenstadt führt zu sozialen Realerfahrungen, die den Bewohnern ermöglichen, die Lebenswirklichkeit anderer Mitglieder der Gesellschaft erfahren und verstehen zu können, die Grundlage des demokratischen Grundverständnisses und des sozialen Zusammenhalts der Gesellschaft sind.<sup>98</sup> Die Nachverdichtung der Kernzonen der Innenstädte ist auch ein Beitrag zu deren Erhalt von Wohn- und Lebensqualität, da die sozialen Strukturen gestärkt werden. Die einseitige Kommerzialisierung der Innenstädte für Büros und Einkaufsmöglichkeiten hat dazu geführt, dass die Einwohnerzahlen in Innenstadtkernen stetig sinken. Infolge dessen hat die Lebensqualität in den Innenstädten dramatisch abgenommen, da diese nicht mehr als sozial diversifizierte Lebensräume dienen. Innerstädtisch freiwerdende Konversionsflächen werden trotz der negativen Auswirkungen auf die Lebensqualität und die zunehmende Verdrängung der Wohnbevölkerung aus den Innenstädten in zunehmendem Maße mit kommerziellen Großprojekten überplant. Als Beispiel seien in diesem Zusammenhang der Neubau der Hafencity in Hamburg mit einem Wohnanteil von lediglich 30% genannt, sowie die Überbauung des ehemaligen Telekom-Areals in Frankfurts Innenstadt. Die zunehmend unbewohnten Innenstädte bieten wenig Identifikationspotential für die Bürger und Entwicklungspotential für kulturelles und ökonomisches Engagement im kleinen und mittleren Bereich. Um den Wohnanteil in den Innenstadtkernen zu steigern, müssen Nischen erschlossen werden, die für die Entwicklung durch institutionelle Investoren nicht erfasst werden. Dazu sind die Restgrundstücke und Baulücken gut geeignet.

Dieser andere Ansatz zur Schaffung neuen Wohnraumes ist die innerstädtische Nachverdichtung. Die Stadtstruktur weist an vielen Stellen Potentiale zur Nachverdichtung auf. Solche ergeben sich in Baulücken (entwickelte Grundstücke oder Restflächen) oder als Erweiterungen bzw. Aufstockungen bestehender Gebäude. In Innenhöfen von Blockrandstrukturen finden sich bebaubare Flächen. Häufig

<sup>95</sup> vgl. Archplus: Der Sprawl. 109/110 (Dezember 1991), Aachen 1991.

<sup>96</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.14 ff.

<sup>97</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.19.

<sup>98</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997.

können auch durch untergeordnete Gebäude schlecht ausgenutzte Grundstücke. Grundsätzlich ist auch eine Bebauung der Gebäudeabstandsflächen denkbar, auch wenn hierfür häufig Eingriffe an den angrenzenden Gebäuden notwendig sind.

Das soziale Gefüge in den Innenstädten unterscheidet sich von dem der Vorstädte. Ein Schlüsselbegriff in diesem Zusammenhang ist die Urbanität, die dem Begriff der Suburbanisierung gegenübergestellt werden kann. Urbanität bedeutet Begegnungs- und Nutzungsdichte als besondere Qualitäten für den Menschen in seinem direkten Wohnumfeld. Die hierfür notwendige Dichte kann durch Nachverdichtungen befördert werden. Hierfür gibt es grundsätzlich drei Strategien: Eine tatsächliche Erhöhung der Bebauungsdichte, eine Nutzungsintensivierung vorhandener Gebäude, die für neue Nutzungen erschlossen werden und die zeitliche Staffelung von Nutzungen, die in den selben Räumen zeitlich getrennt abgebildet werden, wodurch die Gebäude auch ökonomisch besser ausgelastet werden.<sup>99</sup>

Da in Baulücken vor allem kleine Gebäude errichtet werden und aufgrund der kleinen Grundstücksgrößen geringere Kosten für den Landerwerb entstehen, ist es grundsätzlich denkbar in diesen Parzellen günstigen Wohnraum zu schaffen. Somit könnten auch für die mittleren Einkommenschichten Eigenheime entwickelt werden, die mittels Finanzierungen auch mit geringem Eigenkapital errichtet werden könnten. Hierbei wirken sich auch die Förderungen für ökologisches Bauen positiv auf die Finanzierungskosten aus (siehe dazu Kapitel 7: Kosten).

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde abgeschätzt, wie groß das Potenzial für die Schaffung neuen Wohnraums durch kleinteilige Nachverdichtung ist. Hierzu wurden Baulücken gesucht, die für Minihäuser, Aufstockungen oder Hofbebauungen geeignet sind. Stellvertretend wurde ein Innenstadtbezirk im Nordosten Frankfurts systematisch untersucht und alle vorhandenen Baulücken erfasst. Um die Potenziale für Nachverdichtung zu qualifizieren, wurden die Grundstücke des Baulückenkataloges der Stadt Frankfurt in zwei Kategorien, Mehrfamilienhäuser und Minihäuser, eingeteilt und neben der allgemeinen Betrachtung zusätzlich getrennt bewertet.

### Potenziale durch Baulücken

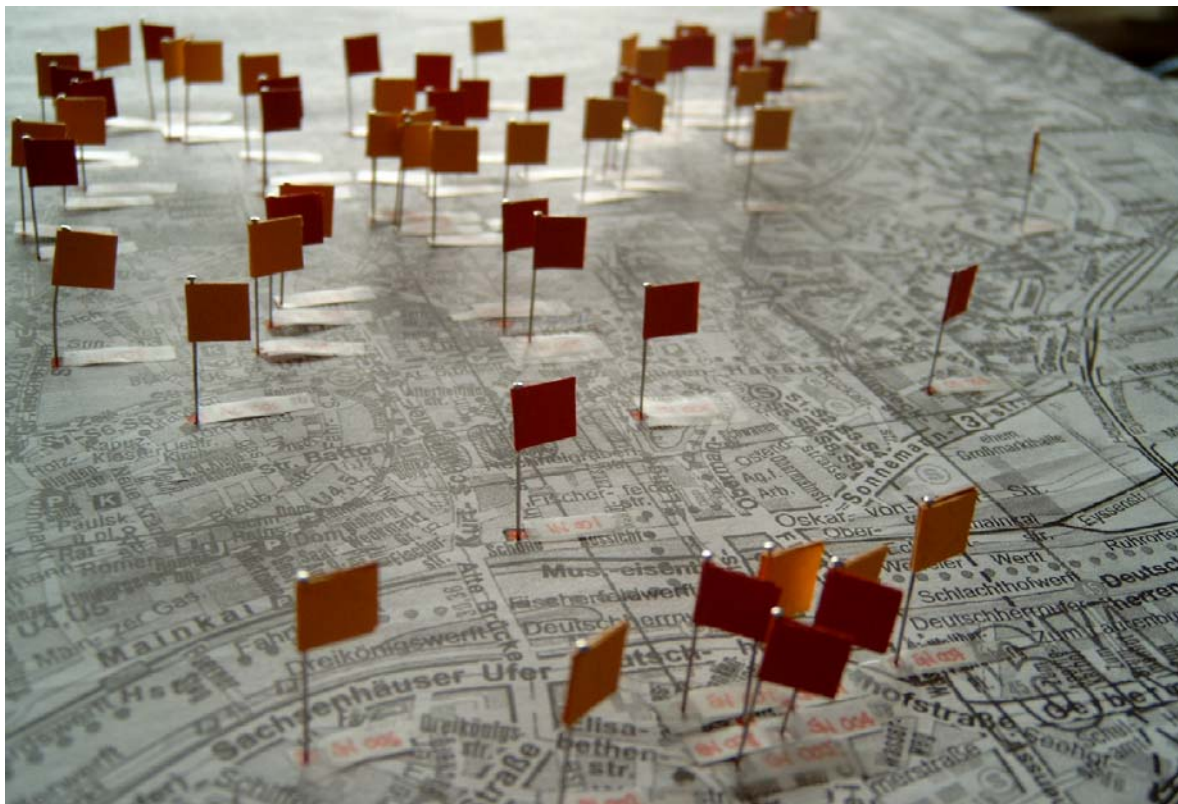


Abbildung 91: Baulückenkarte nach Baulückenatlas der Stadt Frankfurt, Quelle: DGJ; Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt. Stand 07.09.2004.

<sup>99</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.36.

Sinnvoll sind solche Nachverdichtungen vor allem im Innenstadtbereich, weil hier die Nachfrage nach Wohnraum am höchsten ist. Deswegen wurde die Untersuchung zum Nachverdichtungspotential auf innerstädtische Stadtteile von Frankfurt beschränkt. Es ist davon auszugehen, dass die bauliche Struktur in den weiter außerhalb liegenden Stadtvierteln ein höheres Potential zur Nachverdichtung hat, die Neigung der Eigentümer zur Nachverdichtung jedoch weniger ausgeprägt ist und aufgrund des geringeren Mietniveaus wirtschaftlich weniger interessant ist. Es wurde ein innerstädtisches Gebiet, welches eine hohe Wohnattraktivität besitzt, ausgewählt und genau untersucht. Die Auswertung in dem untersuchten Bereich, ein Wohngebiet aus der Gründerzeit in Nordend-Ost und Bornheim, sollte auf den Rest des Untersuchungsraumes hochgerechnet werden, da dieser eine ähnliche Stadtstruktur aufweist. Um dennoch schwächer besiedelte Wohngebiete zu berücksichtigen, wurden die Stadtteile Altstadt und Innenstadt aus der Fläche für die Hochrechnung ausgenommen. Die im Folgenden dargestellte Zahlen beziehen sich somit auf die Innenstadtbezirke Bahnhofsviertel, Gutleutviertel, Gallusviertel, Westend-Süd, Westend-Nord, Bockenheim, Nordend-West, Nordend-Ost, Ostend, Bornheim und Sachsenhausen-Nord (siehe dunkelgrau markierte Fläche in Abbildung 9).

Dieses Gebiet wurde systematisch auf das Potential zur Nachverdichtung untersucht. Dabei wurden zwei Quellen herangezogen:

### **Datenquelle 1: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt am Main**

Die Stadt Frankfurt hat Ende der 90er Jahre einen Baulücken-Atlas erstellt, in dem freie Grundstücke erfasst sind. Der Baulückenatlas der Stadt Frankfurt erfasst nicht alle Grundstücke nur Bauflächen für Wohngebäude mit konventionellen Dimensionen berücksichtigt werden. Die hier aufgelisteten Grundstücke wurden auf die aktuelle Bebaubarkeit geprüft und nach der Erfassung des Forschungsprojektes gegliedert.

### **Datenquelle 2: Eigene Ermittlung vor Ort (Baulücken-Safari)**

Darüber hinaus wurde ein Untersuchungsgebiet in Frankfurts Nordosten flächendeckend begangen um Restflächen, sowie Möglichkeiten für Anbauten oder Aufstockungen zu ermittelt. Bei dieser Begehung wurden die Potentiale auch quantitativ abgeschätzt: Es wurde ermittelt, welche Gebäudefläche in der einzelnen Baufeldern errichtet werden könnte.



## Nachverdichtungspotential aus Datenquelle 1: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt am Main

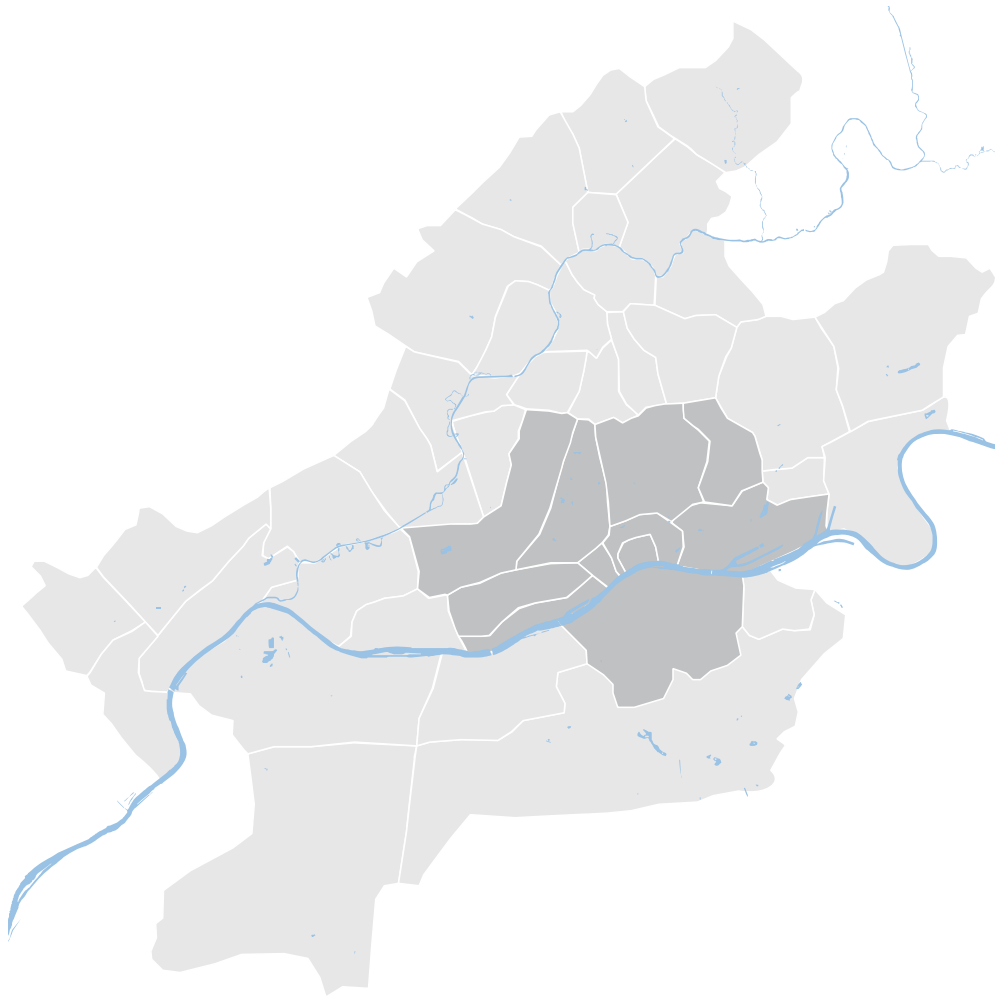
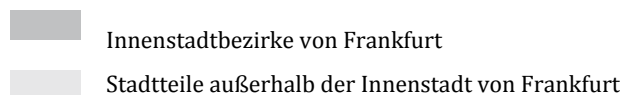


Abbildung 92: Stadtteile von Frankfurt, Quelle: Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt. Stand 07.09.2004.



Die Gesamtfläche des untersuchten Innenstadtgebietes beträgt 2.750 ha. Für diese Fläche weist der Baulückenatlas der Stadt Frankfurt eine Anzahl von 63 Baulücken aus, die für eine Nachverdichtung geeignet sind. Auf diesen 8.500 qm Bruttogrundfläche ließen sich ca. 40.150 qm Bruttowohnfläche errichten.

Die Baulücken wurden nach Größenordnungen unterschieden: In der Kategorie Minihäuser sind Baulücken mit einer Grundstückfläche von 50 bis 120 m<sup>2</sup> erfasst und in der Kategorie Mehrfamilienhäuser Baulücken von 120 bis 300 m<sup>2</sup>, die in konventioneller Weise zu bebauen sind. Dies bedeutet für Minihäuser 26 Baulücken mit ca. 10.200 m<sup>2</sup> Bruttowohnfläche und somit ein Potenzial von ungefähr 100 neuen Wohneinheiten, für Mehrfamilienhäuser 37 Baulücken mit ca. 30.000 m<sup>2</sup> Bruttowohnfläche und daher etwa 300 neue Wohneinheiten.

**Datenquelle 2: Eigene Ermittlung vor Ort (Baulücken-Safari)**

Eine genaue Erfassung aller Baulücken im Innenstadtgebiet hätte den Rahmen des Vorhabens gesprengt. Deswegen wurde in einer systematischen und erschöpfenden Untersuchung eines Teilbereichs der Innenstadt, dessen relativ dichte Bebauungsstruktur als repräsentativ für die Innenstadtbereiche gelten kann, wurden in einer Begehung alle Baulücken erfasst und die Gebäudefläche abgeschätzt, die dort zu errichten wäre. Die untersuchte Teilfläche hat eine Größe von knapp 40 ha (395.770 m<sup>2</sup>), die Gesamtfläche des Innenstadtbereichs beträgt 2.330 ha (23.317.942 m<sup>2</sup>). Damit ist der untersuchte Ausschnitt 1,7% der Innenstadt. Daraus ergibt sich ein Hochrechnungsfaktor von 58,9, mit dem die Ergebnisse im Teilbereich auf die Innenstadt projiziert werden können.

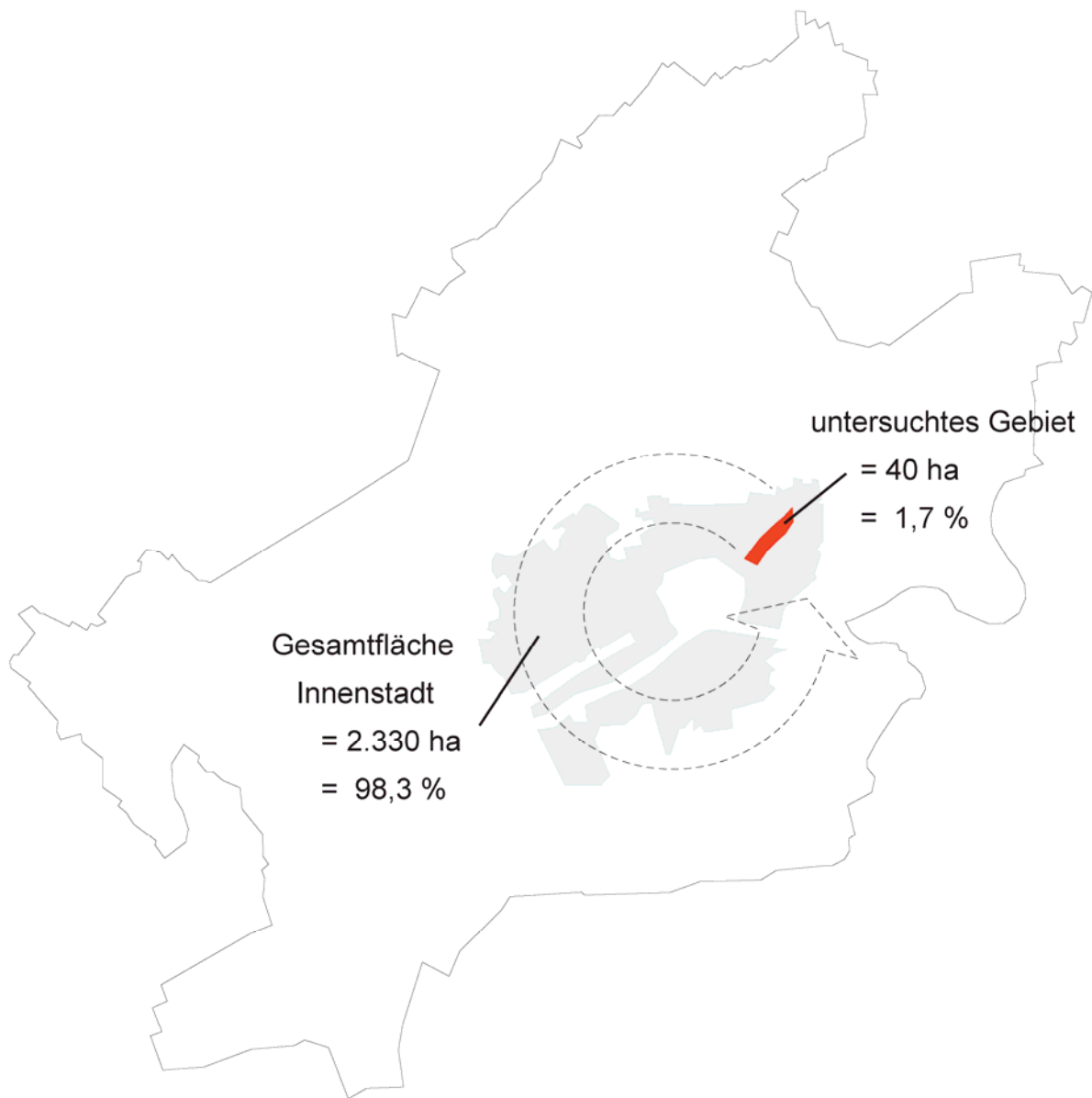


Abbildung 93: Betrachtungsraum Innenstadt von Frankfurt, Untersuchtes Gebiet (entspricht 1,70 % der grauen Fläche) Hochrechnung des genau untersuchten Gebietes auf die stark besiedelten Innenstadtbereiche, Quelle: DGJ; Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

- untersuchtes Gebiet
- Innenstadt mit dichter Besiedlung

Bei der Begehung wurden wieder zwei Typen von Baulücken unterschieden: Minihäuser auf kleinen Restflächen und Mehrfamilienhäuser für konventionelle Vorhaben. Nicht berücksichtigt wurden hingegen Aufstockungen von Dächern und Grundstücke, die durch die bestehende Bebauung nur unzureichend ausgenutzt sind. Es wurde davon ausgegangen, dass für die Nachverdichtung keine Bausubstanz abgerissen wird. Würden solche Nachverdichtungen in die Betrachtung einbezogen, wäre das sich ergebende Potential noch größer.

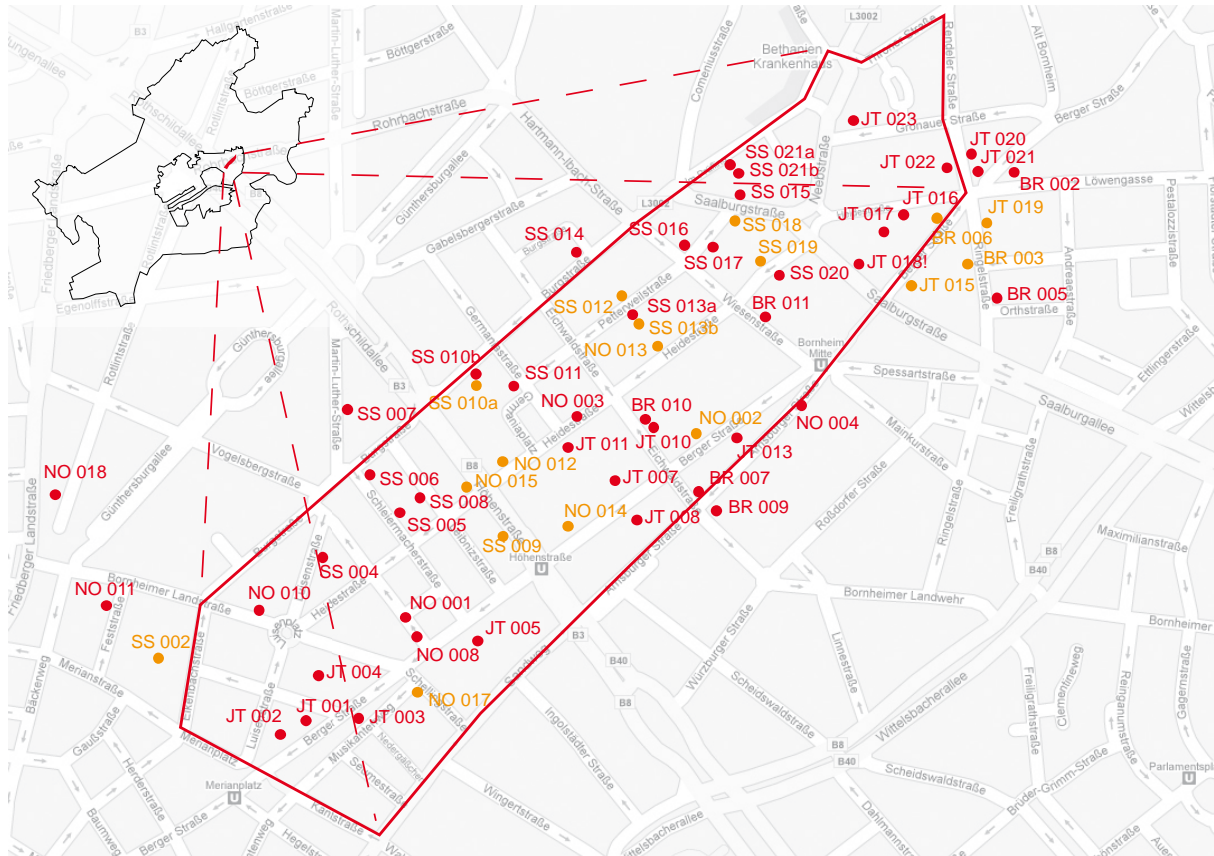
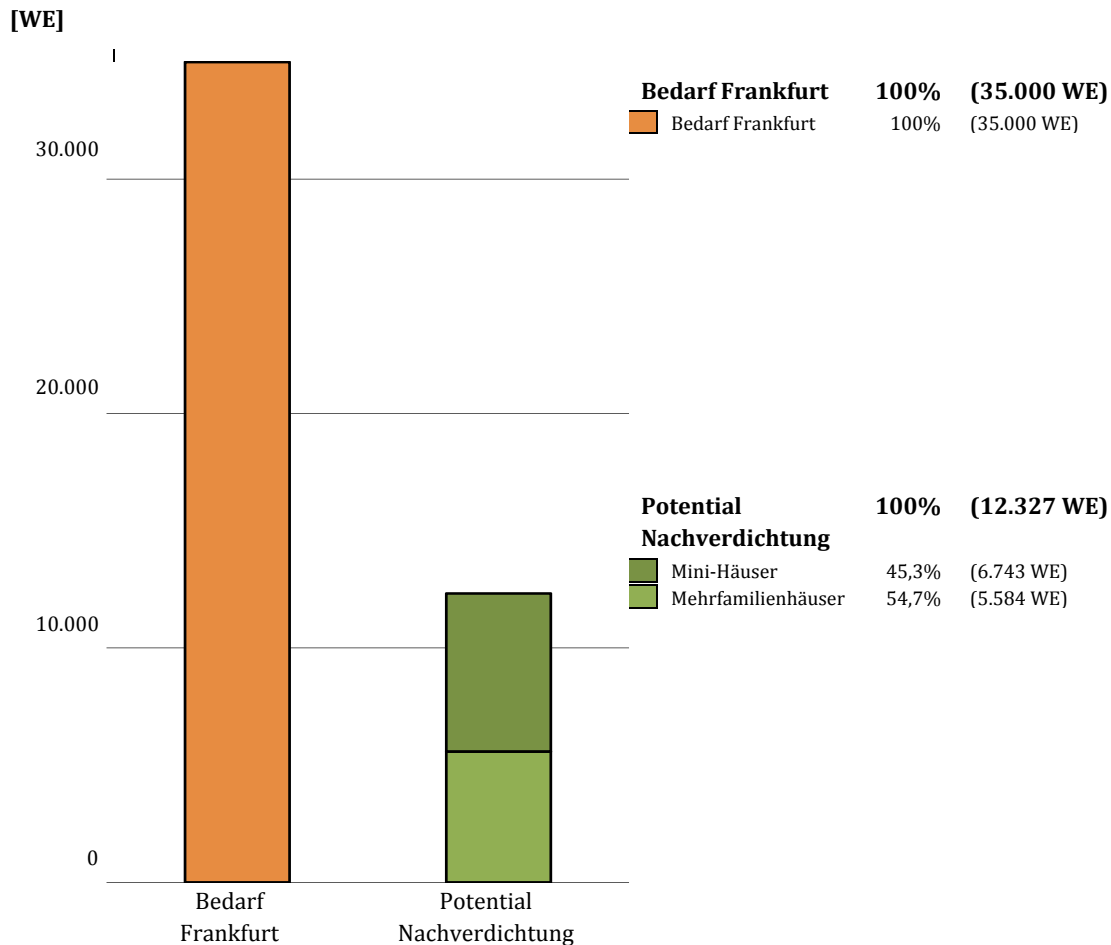


Abbildung 94: Untersuchtetes Gebiet in Stadtbezirk Nordend/Bornheim, Baulücken für Minihäuser, Quelle: DGJ; Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

- Minihäuser
- Mehrfamilienhäuser

**Potential Nachverdichtung der Baulücken in Frankfurt am Main**



**Potential Nachverdichtung der Baulücken in Frankfurt am Main**

Abbildung 95: Potential Nachverdichtung der Baulücken in Frankfurt am Main, Quelle:DGJ.

Die Baulücken-Safari im Untersuchungsgebiet hat ergeben, dass die Stadtstruktur Frankfurt mehr Potenzial zur Nachverdichtung bietet als im Baulückenatlas der Stadt erfasst sind. Die Minihaus-Baulücken (rot) bieten eine Bruttowohnfläche von 9.645 m<sup>2</sup>, was nach der Hochrechnung für die Stadt Frankfurt eine Bruttowohnfläche von 568.091 m<sup>2</sup> bedeutet. Ebenso stark verschiebt sich das Ergebnis der Mehrfamilienhäuser-Baulücken (orange). Hierbei ergibt die Bruttowohnfläche für den Teilbereich 11.641 m<sup>2</sup>, was nach der Hochrechnung ca. 685.655 m<sup>2</sup> Bruttowohnfläche besagt.

In der Summe ergibt die Hochrechnung 1.479.342 m<sup>2</sup> Bruttowohnfläche. Rechnet man ungefähr 120 m<sup>2</sup> pro Wohneinheit, entstünden rein theoretisch bei einer totalen Nachverdichtung 12.500 Wohneinheiten im Innenstadtbereich der Stadt Frankfurt.

Diese Anzahl weist darauf hin, dass entgegen der Erwartung, die aus dem Baulückenatlas abgeleitet werden kann, ein signifikanter Anteil des Gesamtbedarfs an Wohnfläche für die nächsten 10 Jahre von 35'000 Wohneinheiten innerstädtisch gedeckt werden kann, auch wenn aufgrund erschwelter Umstände im Einzelfall davon auszugehen ist, dass nur ein Teil der Baulücken für eine Bebauung geeignet ist. Demnach ist es notwendig und sinnvoll diese Form der Bebauung gezielt zu fördern und das Bewusstsein für Nachverdichtung bei Architekten und Bürgerschaft zu stärken um auf Qualitäten für Planer und Eigentümer hinzuweisen.

**4.2.2 Baulücken: Chancen und Widerstände**

Das Baugrundstück ist einer der entscheidenden Faktoren für die Nachhaltigkeit eines Bauprojekts. Dennoch wird dieses bei der Beurteilung eines Vorhabens durch die Planer häufig ausgeblendet, weil

davon ausgegangen wird, dass die Grundstückssuche außerhalb der Zuständigkeit der Planer liegt. Diese verstehen ihre Aufgabe in der Optimierung im Rahmen vorgegebener Parameter. So entstandene Lösungen berücksichtigen nicht, dass durch eine ungünstige Standortwahl und die daraus erwachsenden langfristigen Effekte, die Gesamtbilanz des Projektes schlechter ausfällt.

Neben den im ‚Kapitel 3: Entwicklung des Prototypen‘ besprochenen projektbezogenen Aspekte, sind auf städtebaulicher und politischer Ebene neue Rahmenbedingungen zu schaffen, um die Nachverdichtungen zu fördern. Ein großes Hindernis für innerstädtische Bauprojekte sind die unzeitgemässen Stellplatzverordnungen, die z.B. in Frankfurt am Main auch im innerstädtischen Bereich pro neu geschaffene Wohneinheit einen Stellplatz fordern. Diese Stellplätze sind in den seltensten Fällen im dicht bebauten Innenstadtbereich nachzuweisen. Es kann eine Ausnahme beantragt werden, so dass die Stadtverwaltung von dieser Forderung absieht dann jedoch eine Ablöse fordert, die im Fall der Stadt Frankfurt bei Euro 7'500 – 10'000 liegt. Durch eine solche Summe werden die Nachverdichtungsprojekte unverhältnismäßig hoch belastet. Hier müssen alternative Regelungen gefunden werden. Die Innenstadtbewohner besitzen seltener Autos, weil viele Ziele fußläufig oder mit ÖPNV erreicht werden können. Vor dem Hintergrund der hier vorgelegten Ergebnisse muss bezweifelt werden, ob das öffentliche Interesse an der Parkplatzsituation in den Innenstadtquartieren und die dadurch geförderte Ausdehnung der Siedlungsfläche überwiegt. In Hamburg existiert eine Gesellschaft zur Vermittlung von Baulücken. Diese hat es sich zur Aufgabe gemacht zwischen Eigentümern von Baulücken und Bauwilligen zu vermitteln. Die Aktivitäten dieser Gesellschaft scheinen aber einen überschaubaren Umfang zu haben.

### **4.2.3 Strategien für den Umgang mit Baulücken**

Um eine langfristige Verlagerung der Bauaktivität hin zu innerstädtischen Nachverdichtungen zu erreichen, müssten die nach dem Ergebnis ungünstigeren Faktoren nicht weiter gefördert werden. Städte und Gemeinden sollten der Ausdehnung der Siedlungsfläche Einhalt gebieten. Dies kann durch die städtebauliche Rahmenplanung geschehen. Hier ist jedoch festzuhalten, dass die Städte und Gemeinden die Ausweisung neuer Baufelder aktiv fördern. Über die Ansiedlung zahlungskräftiger Neubürger steigt der Gemeindeanteil an der Einkommenssteuer. Über die Enteignung, Erschließung und Veräußerung der Baugrundstücke erzielen die Gemeinden hohe Veräußerungsgewinne, die oft der Anreiz für die Stadterweiterung sind. Das öffentliche Interesse beschränkt sich jedoch nicht auf die Höhe der Einnahmen von Städte und Gemeinden. Die Vorteile einer nachhaltigen, ökologisch sinnvollen und sozial verträglichen Siedlungspolitik übersteigen den Betrachtungshorizont vieler Kommunalpolitiker, der auf die Dauer einer Legislaturperiode begrenzt ist. Von der hier diskutierten Nachverdichtung abgesehen, stehen in den Städten zahlreiche Brachflächen und Konversionsflächen zur Verfügung, die bei guter stadt- und raumplanerischer Vorarbeit leicht den Bedarf an Bauland decken können. Für die Zukunft ist davon auszugehen, dass weitere Industriegebiete umgewandelt werden können. Es ist abzusehen, dass die Dienstleistungen, für die von gierigen Investoren Gewerbebauten errichtet werden, durch die Effekte der Globalisierung in günstigere Regionen abwandern werden und auf den Gewerbeflächen Wohn- und Mischnutzungen angesiedelt werden können.

#### **Grunderwerb und Eigentumsverhältnisse:**

Da die Restgrundstücke und Baulücken oft in einem untrennbaren Zusammenhang mit den Nachbargrundstücken- und gebäuden stehen, weil z.B. Teile der äußeren Erschließung über die Baulücken erfolgt, sind solche Baulücken häufig nur durch den Eigentümer sinnvoll zu entwickeln, der danach Eigentum am Bestand und dem neugeschaffenen Gebäudeteilen hat. Die Besitzer solcher Liegenschaften haben jedoch eine geringe Motivation ein finanzielles Risiko einzugehen und den Aufwand zur Entwicklung der Baulücken voran zu treiben. Die zu erwartenden Mieteinnahmen stellen aufgrund der geringen Gesamtfläche keinen ausreichend großen Anreiz dar. Sinnvoll scheinen die Minihäuser vor allem für selbstgenutztes Wohneigentum, bei dem der Immobilie neben dem möglichen Ertragswert ein nicht finanzieller Nutzwert zugewiesen wird. Sinnvoll wäre eine Zusammenführung von Eigentümern bebaubarer Baulücken und Bauwilliger. Eigentumsrechtlich scheint das Erbbaurecht eine im besonderen Maße geeignete Umsetzung einer solchen Zusammenarbeit. So verfügen die Bauwilligen für die Dauer des Erbpachtrechts wie die Eigentümer über das Grundstück, so dass die Investitionen von Zeit und Kapital geeignet abgesichert sind. Der Grundstücksteil wird dann nicht endgültig veräußert, sondern dem Bauwilligen wird durch eine Erbpacht ein Baurecht über einen Zeitraum von beispielsweise 50 Jahren eingeräumt. Anschließend könnte die Erbpacht verlängert werden oder das Grundstück wieder an den Voreigentümer zurückfallen. Das Grundstück bleibt im Eigentum des Grundstückseigentümers.

Im Falle des Minihauses war die günstige Situation gegeben, dass die Restfläche im Eigentum der Stadt Frankfurt war und diese nach Verhandlungen bereit war, die Fläche zu verkaufen. Dieses Interesse war dabei nicht allein finanzieller Natur. Seitens der Stadtplanung wurde die Schließung der Baulücke und Komplementierung der Stadtstruktur positiv bewertet. Dieses übergeordnete Interesse bleibt bei privaten Eigentümern bei der Entscheidungsfindung meist unberücksichtigt, auch wenn diese durchaus greifbare Vorteile, wie die Reduktion der Wärmeverlustflächen durch einen Anbau zu verzeichnen haben. Deswegen ist es anzuraten, sich bei der Entwicklung von Grundstücken auf diejenigen zu konzentrieren, die in städtischem Besitz sind oder von öffentlichen Trägern, wie etwa städtischen Wohnungsbaugesellschaften.

### **4.2.4 Initiativen zur Baulückenthematik**

Einen ersten Schritt zur Förderung der Nachverdichtung hat die Stadt Frankfurt durch die Einrichtung eines Baulückenatlas gemacht. Hier wurden alle Baufelder und Brachen im Stadtgebiet gesammelt und quantitativ beschrieben. Der Baulückenatlas, der inzwischen seit ca. 10 Jahre nicht fortgeschrieben oder erweitert wurde, erfasst auch nur Baulücken, die nach konventioneller Betrachtung als solche erkannt werden. Nicht erfasst werden Restflächen auf nicht erschöpfend genutzten Grundstücken, mögliche Aufstockungen auf Gebäuden und Dächern, Kleinflächen oder bebaubare Hinterhöfe und Einfahrten. Es wäre sinnvoll, eine internetgestützte Plattform einzurichten, durch die Eigentümer von Baulücken und Bauwillige zusammengeführt werden. Ein vorbildliches Projekt wurde von der Architektenkammer Nordrhein-Westfalen 2003 gestartet. Die Initiative 1000 Baulücken<sup>100</sup> will vor allem ein Bewusstsein schaffen für das große Potential der Baulücken und eine öffentliche Diskussion über deren Nutzung anstoßen.

Die Nachverdichtungen bilden für kleine Bauträger, Planer und Architekturbüros Chancen für eigene Projektentwicklungen, da sie mit überschaubarem Einsatz an Kapital und Arbeit umzusetzen sind. Während der Einfamilienhausmarkt überwiegend von Investoren mit hoch standardisierten Lösungen mit geringem Planungsanteil bedient wird, können Nachverdichtungslösungen nur mit genauer und individueller Planung umgesetzt werden. Hier bietet sich dem Architekten die Möglichkeit nach Baulücken Ausschau zu halten und in einer gewachsenen Stadtstruktur Architektur mit hoher Qualität und Brauchbarkeit zu gestalten.

Bei Bauwilligen und Behörden ist zunächst das Bewusstsein dafür zu stärken, dass das Wohnen in der Stadt, in maßgeschneiderten, individuellen Minihäusern eine besondere Qualität hat, die insbesondere durch das hochwertige soziale und kulturelle Wohnumfeld mit suburbanen Wohnlagen konkurrieren kann. Es sind vorbildliche Pilotprojekte gefragt, die diese Wohnform und ihre Qualitäten für Fachleute verständlich und für Bauherren erlebbar machen.

## **4.3 Fazit der Nachverdichtungsproblematik**

Die grundsätzlich positive Wirkung der Nachverdichtung ist offensichtlich: Neuer Wohnraum in attraktiven Innenstadtlagen wird geschaffen, die Landschaft weniger zersiedelt und die bestehende Infrastruktur besser ausgelastet. Diese Sinnhaftigkeit auf übergeordneter Ebene steht im Kontrast zu den Schwierigkeiten im Einzelfall. Grundstückeigentümer, Behörden und Bauwillige stehen diesen Ansätzen im Rahmen eines konkreten Bauprojektes oft kritisch gegenüber. Das hohe Potential zur Nachverdichtung, dass durch die Untersuchungen von Bestandsdaten und die Baulücken-Safari ermittelt wurde, ist in diesem Sinne nicht nur ein Beleg für die Möglichkeiten, sondern dokumentiert gleichzeitig die Schwierigkeiten dieser Projekte, die trotz der allseits wiederholten Willensbekundungen in geringer Zahl umgesetzt werden.

Derzeit sind jedoch zwei Trends zu beobachten, die den Bemühungen um die Nachverdichtung neuen Auftrieb geben könnten: Das allgemein zunehmende ökologische Bewusstsein, das von steigenden Energiekosten gefördert wird und eine Art Renaissance der Innenstädte, mit der dort erlebbaren Urbanität.

---

<sup>100</sup> Architektenkammer Nordrhein-Westfalen: 1000 Baulücken in NRW. – [www.1000-bauluecken.de](http://www.1000-bauluecken.de), Stand Juli 2008.

## 5 Ökonomie: Kostenvergleich für Herstellung, Betrieb und Folgekosten

In diesem Abschnitt werden die ökonomischen Aspekte der beiden Objekte verglichen.

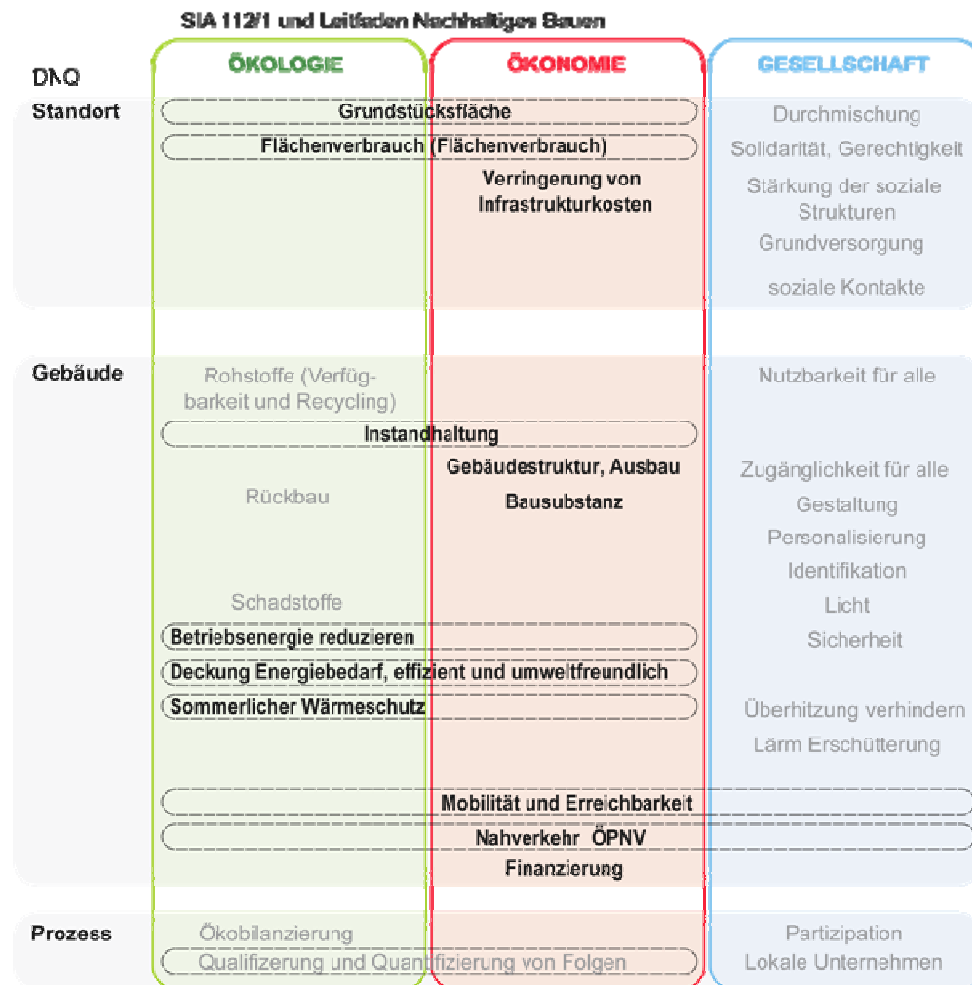


Tabelle 33: Kapitelübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ.

### 5.1 Kostenvergleichsrechnung, Kostenerfassung

In diesem Abschnitt sollen die entstehenden Kosten entsprechend der anderen Betrachtungen dieser Studie möglichst umfassend und langfristig betrachtet werden:

- Baukosten
- Betriebskosten
- Mobilitätskosten

Nicht betrachtet werden externe Folgekosten, etwa für die Herstellung von Infrastruktur oder Umweltfolgen, weil diese in diesem Rahmen nicht zu quantifizieren sind.

Analog zu der Methode der Ökobilanzierung werden zunächst die objektbezogenen Kosten verglichen: Investitionskosten, Finanzierung und Finanzierungsbedingungen. Bei den Betriebskosten werden die Verbräuche angesetzt, die sich aus dem Betrieb des Gebäudes ergeben: Heizkosten, Warmwasserbereitung, Stromkosten für Hausgeräte, Wasser und Abwasser. In einer weiteren Betrachtung werden die standortbezogenen Faktoren aufgezeigt, insbesondere die Mobilitätskosten.

## 5.2 Berechnungsgrundlagen

Um eine Vergleichbarkeit der Zahlen zu gewährleisten, wurden entweder in den Projekten tatsächlich entstandene Kosten eingesetzt, oder für beide Objekte einheitliche Grundlagen angenommen. Die Investitionskosten wurden über derzeit marktübliche Finanzierungsmodelle auf eine laufende Belastung umgerechnet, um eine Betrachtung der Gesamtkosten zu ermöglichen.

Für die Energiekosten wurden gültige Durchschnittswerte von Juni 2008 eingesetzt. In einem zweiten Szenario wurde die Kostenentwicklung für den Fall einer Energiekostensteigerung um 50% berechnet, mit der nach verschiedenen Prognosen bis Ende 2008 oder spätestens im Laufe des kommenden Jahres gerechnet wird.

## 5.3 Investitionskosten

### Investitionskosten Haus Riedberg

Für das Vergleichsobjekt Riedberg wurde ein Herstellungspreis von 1'300,00 Euro/qm angenommen. Bei vergleichbaren Gebäuden (Doppelhaushälften, Keller, kein ausgebautes Dach) werden Baukosten (Kostengruppe 300 und 400) von 1187,00Euro/qm<sup>101</sup> angegeben. Hinzu kommen ca. 5% Erschließungskosten (Straßen, Ver- und Entsorgung von Wasser, Strom, Medien) und 5% Baunebenkosten (Planung, Genehmigungen, Erstattungen, Notarkosten). Bei einem weniger repetitiven Planungsprozess steigen diese Kosten.

Die Baukosten wurden mit den Verkaufspreisen vergleichbarer Gebäude am selben Standort verglichen. Es ist festzustellen, dass die Preise in einem relativ großen Bereich schwanken. Dies kann zum einen auf einen unterschiedlichen Ausbaustandard, zum anderen auf unterschiedliche hohe Gewinnspannen an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette zurückgeführt werden. Besonders im Baurägergeschäft werden Einstiegsangebote mit einer relativ mageren Grundausstattung inseriert, bei denen häufig die tatsächlichen Endkosten nach Einbeziehung aller Nebenkosten und notwendigen Ausstattungen erheblich steigen. Die angenommenen Werte entsprechen einem Durchschnitt der angebotenen Gebäude.

Die Bodenpreise für den Standort Riedberg entsprechen ungefähr dem des Prototypen. Da die Parzelle für das Haus Riedberg jedoch größer ist, ergeben sich höhere Landerwerbskosten.

### Investitionskosten Prototyp ‚Minihaus‘

Beim Minihaus wurden die tatsächlichen Baukosten angesetzt. Diese Kosten decken sich in etwa mit der Kostenschätzung, die auf Grundlage von Baupreistabellen und Erfahrungswerten ermittelt wurde. Es sind im Bauprozess eine Reihe von Effekten zum Tragen gekommen, die die Baukosten erhöht haben, z.B. Insolvenz des Rohbauers. Auf der anderen Seite wurden durch erbrachte Eigenleistungen Kosten reduziert. Im Ergebnis wurden die Kosten auf 1'398,96 Euro/qm angenommen. Die gegenüber dem Vergleichsobjekt höheren Baukosten erklären sich aus drei Faktoren:

- Höhere Herrichtungskosten und Anschlusskosten (Umlegungen Leitungen und Kanal)
- Aufwendige Gründung (Pfahlgründung)
- Höherer energetischer Standard (Fenster und Gebäudehülle)
- Aufwendige Haustechnik (Lüftungsanlage, Wärmepumpe)

Obwohl im Innenstadtbereich eine Erschließung der Grundstücke durch Leitungen meist gegeben ist, kann der Anschluss an diese Systeme aufwendig werden. Bei einem neu erschlossenen Baugebiet werden die Leitungen bei der Herstellung der Infrastruktur direkt auf die Grundstücke geführt. Beim Prototypen ‚Minihaus‘ waren umfangreiche Arbeiten am öffentlichen Bereich (Strassen, Gehwege, öffentliche Leitungen) notwendig. Da diese Arbeiten nicht frei vergeben werden, sondern durch die Versorger monopolisiert sind und durch die Anbieter selbst nachgefragt werden, ergeben sich unverhältnismäßig hohe Kosten.

---

<sup>101</sup> Schmitz, Heinz; Gerlach, Reinhard; Meisel, Ulli: Baukosten, Periswertes Bauen von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Essen 2006.



Beim Prototypen und im Innenstadtbereich allgemein sind die Gründungsverhältnisse häufig dadurch erschwert, daß Nachbargebäude in nächster Nähe stehen und dass der Baugrund durch anthropogene Einwirkungen gestört ist. In diesen Fällen muss eine aufwendigere Tiefgründung ausgeführt werden (siehe dazu Kapitel 3.5. Baukonstruktion).

Der Prototyp ‚Minihaus‘ wurde im Passivhaus-Standard ausgeführt. Um diesen zu erreichen, waren an verschiedenen Bauteilen kostenträchtigere Ausführungen notwendig: Die Fenster wurden mit einer Dreifach-Wärmeschutzverglasung ausgeführt und die Wände haben eine größere Wandstärke um die notwendigen U-Werte zu erreichen. Auch im Bereich der Haustechnik erforderte die Energieeffizienz höhere Investitionen: Das Gebäude wurde mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet, welche die Energieverluste über die Lüftung minimiert. Das eingebaute Kompaktgerät mit Wärmepumpe ist deutlich teurer als die im Vergleichsobjekt eingebaute Gas-Brennwert-Therme. Die Wärmeverteilung über die Fußbodenheizung ist energetisch sinnvoll, in den Investitionskosten jedoch teurer. Die höheren Investitionskosten werden zum Teil durch Förderprogramme kompensiert. Hier sind insbesondere die Marktanreizprogramme des BAFA zu nennen, die die Nutzung von erneuerbaren Energien und energieeffizienter Technologie durch Zuschüsse fördern (Siehe dazu Tabelle im Anhang). Im Falle des Prototypen beliefen sich diese Förderungen auf ca. 2'000 Euro (Wärmepumpe, Solarthermie).

Im Innenstadtbereich sind die Bodenpreise höher als in der Peripherie. Für den Standort Sachsenhausen gibt der Gutachterausschuss der Stadt Frankfurt einen Bodenrichtpreis von 1'200,00 Euro an. Legt man einen solchen Preis zugrunde, dann wären die Minihäuser nicht konkurrenzfähig. In den Verhandlungen um einen Grundstückspreis muss darauf hingewiesen werden, dass die Grundstücke meist nur dann zu entwickeln sind, wenn die Grundstückskosten gering sind, um die höheren Baukosten teilweise zu kompensieren. In diesem Zusammenhang ist noch einmal auf die Option des Erbbaurechts zu verweisen, mit der die Investitionskosten gesenkt werden können. Wichtig ist jedoch, dass die Erbpachtzinsen nicht höher werden als die Finanzierung eines Grundstückserwerbs, um eine niedrige Gesamtbelastung zu erreichen.

In Summe ergeben sich für das Haus Riedberg und den Prototypen fast die gleichen Investitionskosten. Diese scheinen im Vergleich zu verschiedenen Angeboten auf dem Markt relativ hoch. Hier ist zu berücksichtigen, dass bei beiden Gebäuden ein mittlerer Ausbaustandard und ein relativ hoher energetischer Standard angenommen wurden. In Zusammenhang mit der Diskussion um die Baukosten muss immer darauf hingewiesen werden, dass die Bauherren mit ihren Entscheidungen über Ausbau und Material entscheidend zu der Kostenentwicklung beitragen. So können allein in Küche und Bad die Kosten eines solchen Gebäudes zwischen 10'000 Euro (untere Schwelle im marktüblichen Bereich) und 45'000 Euro (obere Schwankungsbreite) liegen, womit die Kosten bezogen auf die Gesamtsumme um ca. 10% schwanken. Eine ähnliche Schwankung ergibt sich aus Einzelentscheidungen für Böden, Elektrik und Einbaumöbel. Bei der Wahl von günstigeren Baumaterialien und Konstruktionen, sowie dem Verzicht auf eine energieeffiziente Gebäudetechnik, hätten die Investitionskosten gesenkt werden können. Dies wäre jedoch der Nachhaltigkeit des Gebäudes zu Lasten gefallen, die bei der Prototypenentwicklung im Vordergrund stand. Um eine Vergleichbarkeit zu erlauben wurde beim Vergleichsobjekt von einem ähnlichen Mindeststandard (Ausbau, KfW60) ausgegangen.

Es muss bei den hier vorgelegten Berechnungen festgehalten werden, dass die erhöhten Planungs- und Entwicklungskosten für den Prototypen ‚Minihaus‘ nicht in die Berechnung einbezogen wurden. Aufgrund des prototypischen Charakters des Gebäudes war die Planung um ein Vielfaches aufwendiger, als die eines konventionellen Gebäudes. Es ist davon auszugehen, dass die individuellen Baulückenbebauungen einen höheren Planungsaufwand erfordern. Dieser kommt in den höher angenommenen Herstellungskosten zum Ausdruck.

## **5.4 Finanzierung**

Da ein öffentliches Interesse an ressourcen-schonendem und energieeffizientem Bauen besteht, gibt es verschiedene Förderprogramme, die solche Bauformen durch zinsgünstige Darlehen fördern. Diese Programme erlauben einen Teil der Investitionskosten für einen Zinssatz unterhalb der marktüblichen Zinsen zu leihen. Die Programme der KfW-Förderbank bieten in verschiedenen geschnittenen Programmen für ökologisches Bauen bis zu 50'000 Euro je Wohneinheit, die je nach Energieverbrauch zu 3,96% für

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Niedrigenergie- und Passivhäuser (KfW40) oder 4,96% für KfW60-Häuser aufgenommen werden können. Damit bewegt sich das Angebot für die Niedrigenergiehäuser knapp 1,0% unter dem derzeit üblichen Zinsen am Hypothekenmarkt. Bei den KfW60 Häusern dürfte in Abhängigkeit von den Risikofaktoren, die auch zinsrelevant sind, auf dem freien Hypothekenmarkt ein ähnlicher Zinssatz zu realisieren sein.

Die Programme ‚ökologisch Bauen‘ haben in den letzten Jahren sehr deutlich an Attraktivität verloren, weil der Unterschied zum nicht geförderten Hypotheken-Markt klein oder kaum erkennbar geworden ist. Als 2004 mit den ersten Ideen die Arbeit am Prototypen begonnen wurde beliefen sich die Zinsen im Programm KfW40 auf nur 1,96% und damit fast 2,0% unter dem derzeit erreichbaren 4,0% am freien Markt. Ein Faktor sind sicher die höheren Re-Finanzierungskosten der Kredite, die bei steigenden Discot-Sätzen auch auf die KfW wirken. Dennoch scheint eine Stärkung des ökologischen Bauens mit so geringen Anreizen nicht wirksam gefördert zu werden.

Die Kosten für die Finanzierung setzen sich aus einem Zinsanteil und einem Tilgungsanteil zusammen. Der Tilgungssatz errechnet sich aus der Laufzeit des Darlehens. Meist werden Darlehen so ausgelegt, dass die Raten gleichbleibend sind. Dies bedeutet, dass durch die Abzahlung die Schuldsumme abnimmt und der Tilgungsanteil gegenüber dem Zinsanteil kontinuierlich anwächst. Je kürzer die Gesamtlaufzeit sein soll, desto höher muss die Tilgung sein, um am Ende der Laufzeit die gesamte Darlehenssumme abgezahlt zu haben. Längere Laufzeiten führen zu höheren Finanzierungskosten, weil über einen längeren Zeitraum Zinsen anfallen, dafür sind die monatlichen Raten niedriger. Bei der Beurteilung der Belastung durch eine Finanzierung muss zwischen den Zinsen unterschieden werden, die reine Kosten sind, und dem Tilgungsanteil, der als Eigentumserwerb oder Sparquote gelten kann. Bei den beiden zu vergleichenden Finanzierungen ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Zinssätze unterschiedliche Tilgungsanteile. Durch die niedrigere Zinsbelastung beim Prototypen ‚Minihaus‘ ergibt sich eine höhere anfängliche Tilgung. Im Vergleich der Ergebnisse wird deshalb Tilgung als Sparquote von den Kosten getrennt ausgewiesen.

Eigenkapital 50.000 Euro	Minihaus		Riedberg	
<b>Darlehensbeträge</b>	50.000,00 (KfW40)	282.738,11 (Bank)	50.000,00 (KfW60)	277.036,00 (Bank)
<b>vollständige Darlehensrückzahlung nach</b>	30 Jahre		30 Jahre	
<b>Nominalzins</b>	3,96%	5,00%	4,96%	5,00%
<b>Summe der geleisteten Zinszahlungen</b>	35.520,18	263.669,64	46.188,34	258.352,09
<b>erforderliche anfängliche Tilgung</b>	1,74%	1,44%	1,45%	1,44%
<b>Erste Tilgungsrate</b>	72,56	339,72	60,52	332,87
<b>Zinsanteil der ersten Rate</b>	165,00	1.178,08	206,67	1.154,32
<b>daraus resultierende Darlehensrate</b>	237,56	1.517,80	267,19	1.487,19
<b>Summe der beiden geleisteten Zinszahlungen</b>	299.189,82		304.540,43	
<b>Summe der ersten Tilgungsraten</b>	412,28		393,39	
<b>Summe des Zinsanteils der ersten Rate</b>	1.343,08		1.360,99	
<b>Mittel der erforderlichen anfänglichen Tilgung</b>	1,59%		1,45%	
<b>Summe der resultierenden Darlehensraten</b>	1.755,36		1.754,38	

Tabelle 34: Vergleich der Finanzierung vom Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ.

Eine noch genauere Betrachtung der tatsächlichen Kosten einer langfristigen Finanzierung erfordert eine Einbeziehung der Inflation in die Betrachtung. Da der geliehene Betrag im Laufe der Zeit an Kaufkraft verliert, kann die Inflationsrate von der Restschuld abgezogen werden. So verliert der Darlehensbetrag jedes Jahr an Wert in Höhe der Inflationsrate, die derzeit bei ca 2% liegt. Da diese Effekte auf beide Finanzierungen gleich wirken und konjunkturellen Schwankungen unterlegen sind, wurden Sie beim vorliegenden Kostenvergleich ausgeblendet. Bei einem Vergleich der Wirtschaftlichkeit zwischen einer Mietwohnung und dem Eigentumserwerb ist die Inflation, die eine marktunabhängige Steigerung der Mietpreise bedingt unbedingt einzurechnen.

Die Betriebskosten wurden in zwei Szenarien errechnet. Im ersten Fall wurde von gleichbleibenden Energiekosten ausgegangen und im zweiten von um 50% gestiegenen, um der langfristigen Entwicklung am Energiemarkt Rechnung zu tragen.

Im dritten Abschnitt wurden die Mobilitätskosten verglichen, denen die Fahrleistungen zu Grunde gelegt wurden, die in der Studie zur Auswirkung der Benzinpreissteigerung auf das Fahrverhalten für die unterschiedlichen Raumtypen ermittelt wurden<sup>102</sup>:

Auf diesen Zahlen basierend läßt sich für die Vergleichsobjekte folgende Jahresfahrleistung annehmen:

**Minihaus:** Raumtyp 1 (Stadt über 100'000 EW Zentrumslage): **8'395** [P km / a]

**Riedberg:** Raumtyp 2 (Stadt über 100'000 EW Randlage): **12'775** [P km / a]

## 5.5 Kostenvergleich

### Annahmen für den Kostenvergleich

Für beide Objekte wurde eine Reihe von gemeinsamen Annahmen für eine Finanzierung getroffen, die eine vergleichende Betrachtung zulassen. Der Eigenkapitalanteil wird für beide Objekte mit 100'000,00 Euro angenommen (damit ergibt sich eine übliche Eigenkapitalquote von ca. 26%), der von fast allen Banken akzeptiert wird. Die Finanzierung wurde auf 30 Jahre ausgelegt. Für diesen Zeitraum wurde von einem konstanten Zinssatz ausgegangen (siehe Tabelle).

### Szenario I konstante Energiekosten

Im ersten Szenario wird davon ausgegangen, dass die Energiekosten konstant bleiben:

<b>Annahmen:</b>	Für beide Vergleichsobjekte	
Eigenkapital:	100.000,00 €	
vollständige Darlehensrückzahlung nach	30 Jahren	
Energiekosten [ct/kWh]:	Strompreis (Ökostrom): 19,99	Gaspreis: 6,7
Fahrtkosten je Kilometer [€/km]:	0,371 €/km	
Energetischer Standard	Passivhaus	KfW 60
Wasserkosten	Minihaus - Option 3: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Grauwassernutzung, Versickerung Niederschlag	Riedberg - Option 2: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Versickerung Niederschlag
<b>Vergleichsbeispiel Energiepreis-Steigerung</b>		
Annahme der Energiepreisentwicklung	keine	
Annahme zur Entwicklung der Kilometerpauschale	keine	

<sup>102</sup> Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. Heilbronn / Mannheim (Hg); Hautzinger, Heinz; Mayer, Karin: Analyse von Änderungen der Mobilitätsverhalten – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Analyse für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heilbronn 2004.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

### Szenario I: Konstante Energiekosten

	Minihaus Sachsenhausen Grundstück 120 m <sup>2</sup> BGF 203,1 m <sup>2</sup>	Haus Riedberg Grundstück 275 m <sup>2</sup> BGF 187 m <sup>2</sup>	Differenz
<b>1.0 Investition</b>			
Grunderwerb Kosten [€]	44.624,70	110.000,00	
durchschnittlicher Bodenpreis [€/m <sup>2</sup> ]	371,87	400,00	
Baukosten [€]	338.113,41	267.036,00	
durchschnittliche Baukosten [€/m <sup>2</sup> ]	1.398,96	1.200,00	
<b>Gesamtkosten Bau- und Grunderwerb [€]</b>	<b>382.738,11</b>	<b>377.036,00</b>	<b>5.702,11</b>
<b>2.0 Finanzierung</b>			
Gesamtkosten Bau- und Grunderwerb [€] ohne Eigenleistung	382.738,11	377.036,00	
Eigenkapital [€]	50.000,00	50.000,00	
<b>Finanzierungsbedarf [€]</b>	<b>332.738,11</b>	<b>327.036,00</b>	
Hypothek 1	Energiesparhaus 40/ Passivhaus, Programm 144 3,96% 50.000,00 1.980,00	Energiesparhaus 60 und Heizung, Programm 145 4,96% 50.000,00 2.480,00	
Hypothek 1 - Tilgung (KfW nach 5 Jahren)	1,74% 50.000,00 870,00	1,45% 50.000,00 725,00	
Hypothek 5; Bank	5,00% 282.738,11 14.136,91	5,00% 277.036,00 13.851,80	
Hypothek 5 - Bank Tilgung	1,44% 282.738,11 4.071,43	1,44% 277.036,00 3.989,32	
<b>Darlehensrate [€/a]</b>	<b>21.058,33</b>	<b>21.046,12</b>	<b>12,22</b>
Darlehensrate [€/m]	1.754,86	1.753,84	
<b>Zinsanteil der ersten Rate [€/m]</b>	<b>1.343,08</b>	<b>1.360,99</b>	<b>-17,91</b>
<b>Tilgungsanteil der ersten Rate [€/m]</b>	<b>411,78</b>	<b>392,85</b>	<b>18,93</b>

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

<b>3.0 Betriebskosten [€/a]</b>				
3.1 Heizkosten (Gasbrennwert)	sind im Strom erfasst	706,86	Summe: 1'174,58	-156,52
3.2 Strom	1018,06	467,72		
3.3 Wasser	508,54	817,55		
3.4 Sonstige (Straße, Grundsteuer, Versicherung)	100,00	100,00		
3.5 Instandhaltung	1000,00	1000,00		
<b>Summe Betriebskosten [€/a]</b>	<b>2626,60</b>	<b>3092,13</b>		
<b>Summe Gebäudebezogene Kosten [€/a]</b>	<b>23.684,93</b>	<b>24.138,25</b>		<b>-453,32</b>
<b>Monatliche Belastung gebäudebezogener Kosten [€/m]</b>	<b>1973,74</b>	<b>2011,52</b>		<b>-37,78</b>
<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>411,78</b>	<b>392,85</b>		<b>18,93</b>
<b>Kosten (Betrieb, Zinsen, Sonstiges) [€/m]</b>	<b>1561,96</b>	<b>1618,67</b>		<b>-56,70</b>
<b>4.0 Mobilität</b>				
Betriebskosten PKW [€/km]	0,371	0,371		
Tagesfahrleistung [P x km/d]	23,00	35,00		
Tages-Betriebskosten [P x €/d]	8,53	12,99		
Jahresfahrleistung [P x km/a]	8.395,00	12.775,00		
Standortbezogene Fahrleistung (Haushalt) im Jahr [P x €/a]	<b>3.114,55</b>	<b>4.739,53</b>		<b>-1'624,98</b>
<b>Summe Gesamtkosten [€/a]</b>	<b>26.799,48</b>	<b>28.877,77</b>		<b>-2'078,30</b>
<b>Summe Gesamtkosten über 50 Jahre [€]</b>	<b>1.339.974,00</b>	<b>1.443.888,50</b>		<b>103.914,5</b>
<b>Monatliche Gesamtbelastung [€/m]</b>	<b>2233,29</b>	<b>2406,48</b>		<b>-173,19</b>
<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>411,78</b>	<b>392,85</b>		<b>18,93</b>
<b>Kostenanteil (Betrieb, Mobilität, Zinsen, Sonstige) [€/m]</b>	<b>1821,51</b>	<b>2013,63</b>		<b>-192,12</b>

Tabelle 35: Kostenvergleich vom Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Szenario I: konstante Energiekosten, Quelle: DGJ.

Die Belastung aus der Finanzierung ist in beiden Fällen praktisch gleich hoch sind, weil die höheren Investitionskosten beim Prototypen durch die günstigere Finanzierung ausgeglichen werden.

Bei den Betriebskosten fällt auf, dass beim Prototypen ‚Minihaus‘ die entstehenden Kosten trotz des deutlich geringeren Energieverbrauchs fast genauso hoch sind. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Strom eine hochwertigere Energieform ist, deren Primärenergieinhalt höher ist und bei der die größten Verteilungsverluste auftreten. Hinzu kommt die Tatsache, dass für diese Studie immer von Ökostrom aus 100% regenerativen Quellen ausgegangen wurde. Dieser ist ca. 50% teurer als die günstigsten Stromangebote. Die hohe Differenz erklärt sich auch durch den in Deutschland geringen Anteil des Stroms aus regenerativen Quellen von ca. 11%.

Durch die unterschiedliche Wasserver- und entsorgung des Prototypen sind die Wasserkosten ca 40% günstiger als bei dem Vergleichsobjekt ‚Riedberg‘. Trotzdem sind im Betrieb bei dem Szenario mit konstanten Energiekosten keine signifikanten Kostenvorteile für den Prototypen auszumachen.

Die gebäude-bezogenen Kosten unterscheiden sich in diesem Szenario nur geringfügig. Die monatliche Belastung differiert um ca. 37 Euro. Bei getrennter Ausweisung der Tilgung als Sparquote ergibt sich eine Kostendifferenz von ca. 57 Euro pro Monat.

Deutlicher werden die Unterschiede auch hier bei den standort-bezogenen Kostenfaktoren. Obwohl die angenommenen Unterschiede in der Fahrleistung nur vergleichsweise gering sind (Minihaus: Raumtyp 1: 8'395 [P km / a] und Riedberg: Raumtyp 2: 12'775 [P km / a]) wirken sich diese entscheidend auf die Kosten aus: Die Innenstadtlage spart ca 1'600,00 Euro im Jahr.

In Summe ergeben sich bei diesem Szenario keine signifikanten Kostenunterschiede.

## **5.6 Betriebskosten**

### **Dynamische Entwicklung der Energiekosten**

Im Zeitraum von Oktober 2007 bis Juni 2008 ist der Ölpreis um mehr als 50% gestiegen. Dieser Anstieg wirkt sich auch auf den Preis von Erdgas aus, weil dieser an den Ölpreis gekoppelt ist. In den für die Berechnung angesetzten Preisen für Energie, also Strom, Erdgas und Benzin (enthalten in den Fahrtkosten), ist diese Preisbewegung noch nicht abgebildet, weil die korrigierten Durchschnittspreise noch nicht vorliegen. In einem Szenario, dass vermutlich bis Ende des Jahres 2008 bereits eingetreten sein wird, wurden deshalb die Gesamtkosten mit der Annahme verglichen, dass die Energiekosten um 50% steigen und die Fahrtkosten um 40%. Letzteres, weil davon ausgegangen muss, dass in diesem Bereich schnell Kompensationsmechanismen greifen, wie Verringerung der Fahrleistung, Verlagerung der Mobilität in weniger energieintensive Bereiche, wie ÖPNV oder Fahrradverkehr und höhere Effizienz von Fahrzeugen. Die Kilometerpauschale enthält außerdem Kostenanteile für die Anschaffung, Wartung, Steuer und Versicherung, die nicht verbrauchsabhängig sind und deswegen nicht ansteigen.

Theoretisch könnten die Preise für Ökostrom langfristig weniger stark ansteigen, da hier die Beschaffung unabhängig von der Preissteigerung im Bereich der fossilen Energieträger und deren Verteuerung läuft. Da jedoch die Preise am Energiemarkt auf absehbare Zeit nicht von dem Angebot sondern von der Nachfrageseite bestimmt werden, werden diese Effekte nur mittelfristig wirksam, wenn ein deutlich höherer Deckungsanteil aus regenerativen Quellen am Strommarkt realisiert ist. Dies erklärt sich dadurch, dass die Produktionskosten durch die Umlegung der Anfangsinvestitionen im regenerativen Bereich noch höher sind als bei größtenteils abgeschriebenen fossilen oder atomaren Anlagen. Ohne die gesetzliche Förderung durch das Erneuerbare Energien Gesetz EEG wären die meisten Anlagen wirtschaftlich nicht wettbewerbsfähig.

**Szenario II: Steigerung Energiekosten**

<b>Annahmen:</b>	Für beide Vergleichsobjekte		Anmerkung
Eigenkapital:	100.000,00 €		
vollständige Darlehensrückzahlung nach	30 Jahren		
Energiekosten [ct/kWh]:	Strompreis (Ökostrom): 19,99	Gaspreis: 6,7	Stand Juni 2008
Fahrtkosten je Kilometer [€/km]:	0,371 €/km		Stand Juni 2008
Energetischer Standard	Passivhaus	KfW 60	EneV 2007/ PhPP
Wasserkosten	Minihaus - Option 3: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Grauwassernutzung, Versickerung Niederschlag	Riedberg - Option 2: Abwasser in öffentliche Kanalisation, Versickerung Niederschlag	
<b>Vergleichsbeispiel Energiepreis-Steigerung</b>			
Annahme der Energiepreisentwicklung	Steigerung um 50 %		
Annahme zur Entwicklung der Kilometerpauschale	Steigerung um 40 %		
Energiekosten [ct/kWh]:	Strompreis (Ökostrom): 29,98	Gaspreis: 10,05	

	<b>Minihaus Sachsenhausen</b> Grundstück 120 m <sup>2</sup> BGF 203,1 m <sup>2</sup>	<b>Haus Riedberg</b> Grundstück 275 m <sup>2</sup> BGF 187 m <sup>2</sup>	<b>Differenz</b>
<b>1.0 Investition</b>			
Grunderwerb Kosten [€]	44.624,70	110.000,00	
durchschnittlicher Bodenpreis [€/m <sup>2</sup> ]	371,87	400,00	
Baukosten [€]	338.113,41	267.036,00	
durchschnittliche Baukosten [€/m <sup>2</sup> ]	1.398,96	1.200,00	
<b>Gesamtkosten Bau- und Grunderwerb [€]</b>	<b>382.738,11</b>	<b>377.036,00</b>	<b>5.702,11</b>
<b>2.0 Finanzierung</b>			
Gesamtkosten Bau- und Grunderwerb [€] ohne Eigenleistung	382.738,11	377.036,00	
Eigenkapital [€]	100.000,00	100.000,00	
<b>Finanzierungsbedarf [€]</b>	<b>282.738,11</b>	<b>277.036,00</b>	<b>5.702,11</b>
Hypothek 1	Energiesparhaus 40/ Passivhaus, Programm 144	Energiesparhaus 60 und Heizung, Programm 145	
	3,96% 100.000,00 3.960,00	4,96% 100.000,00 4.960,00	
Hypothek 1 - Tilgung (KfW nach 5 Jahren)	1,74% 100.000,00 1.740,00	1,45% 100.000,00 1.450,00	
Hypothek 5; Bank	5,00% 182.738,11 9.136,91	5,00% 177.036,00 8.851,80	
Hypothek 5 - Bank Tilgung	1,44% 182.738,11 2.631,43	1,44% 177.036,00 2.549,32	
<b>Darlehensrate [€/a]</b>	<b>17.468,33</b>	<b>17.811,12</b>	<b>-342,78</b>
Darlehensrate [€/m]	1.455,69	1.484,26	-28,57
<b>Zinsanteil der ersten Rate [€/m]</b>	<b>1.091,41</b>	<b>1.150,98</b>	<b>-59,57</b>
<b>Tilgungsanteil der ersten Rate [€/m]</b>	<b>364,28</b>	<b>333,28</b>	<b>31,00</b>

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

<b>3.0</b>	<b>Betriebskosten [€/a]</b>			
3.1	Heizkosten (Gasbrennwert)	sind im Strom erfasst	706,86	
3.1a	Heizkosten (Gasbrennwert) nach Energiepreis-Steigerung	sind im Strom erfasst	1060,29	
3.2	Stromkosten	1018,06	467,72	
3.2a	Stromkosten nach Energiepreis-Steigerung	1527,08	701,58	
3.3	Wasserkosten	508,54	817,55	
3.4	Sonstige Kosten (Straße, Grundsteuer, Versicherung)	100,00	100,00	
3.5	Instandhaltungskosten	1000,00	1000,00	
	<b>Summe Betriebskosten [€/a]</b>	<b>2626,60</b>	<b>3092,13</b>	<b>-465,53</b>
	<b>Summe Betriebskosten [€/a] nach Energiepreis- Steigerung</b>	<b>3135,62</b>	<b>3679,42</b>	<b>-543,79</b>

	<b>Summe Gebäudebezogene Kosten [€/a]</b>	<b>20.094,93</b>	<b>20.903,25</b>	<b>-808,32</b>
	<b>Monatliche Belastung gebäudebezogener Kosten [€/m]</b>	<b>1674,58</b>	<b>1741,94</b>	<b>-67,36</b>
	<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>364,28</b>	<b>333,28</b>	<b>31,00</b>
	<b>Kosten (Betrieb, Zinsen, Sonstiges) [€/m]</b>	<b>1310,29</b>	<b>1408,66</b>	<b>-98,36</b>
	<b>Summe Gebäudebezogene Kosten [€/a] nach Energiepreis- Steigerung</b>	<b>20.603,96</b>	<b>21.490,53</b>	<b>-886,58</b>
	<b>Monatliche Belastung gebäudebezogener Kosten [€/m]</b>	<b>1717,00</b>	<b>1790,88</b>	<b>-73,88</b>
	<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>364,28</b>	<b>333,28</b>	<b>31,00</b>
	<b>Kosten (Betrieb, Zinsen, Sonstiges) [€/m]</b>	<b>1352,71</b>	<b>1457,60</b>	<b>-104,89</b>



## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

<b>4.0</b>	<b>Mobilität</b>			
4.1	Betriebskosten PKW [€/km]	0,371	0,371	
4.1a	Betriebskosten PKW nach Energiepreissteigerung (EPS) um 40% [€/km]	0,519	0,519	
	Tagesfahrleistung [P x km/d]	23,00	35,00	
4.1	Tages-Betriebskosten [P x €/d]	8,53	12,99	
4.1a	Tages-Betriebskosten n. EPS. um 40% [P x €/d]	11,95	18,18	
	Jahresfahrleistung [P x km/a]	8.395,00	12.775,00	
4.1	Standortbezogene Fahrleistung (Haushalt) im Jahr [P x €/a]	<b>3.114,55</b>	<b>4.739,53</b>	<b>-1.624,98</b>
4.1a	Standortbezogene Fahrleistung (Haushalt) im Jahr n. EPS [P x €/a]	<b>4.360,36</b>	<b>6.635,34</b>	<b>-2.274,97</b>

<b>Summe Kosten [€/a]</b>	<b>23.209,48</b>	<b>25.642,77</b>	<b>-2.433,30</b>
<b>Summe Kosten in 50 Jahren [€]</b>	<b>1.160.474,00</b>	<b>1.282.138,50</b>	<b>121.554,50</b>
<b>Monatliche Gesamtbelastung [€/m]</b>	<b>1934,12</b>	<b>2136,90</b>	<b>-202,77</b>
<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>364,28</b>	<b>333,28</b>	<b>31,00</b>
<b>Kostenanteil (Betrieb, Mobilität, Zinsen, Sonstige) [€/m]</b>	<b>1569,84</b>	<b>1803,62</b>	<b>-233,78</b>
<b>Summe Kosten [€/a] nach Energiepreissteigerung</b>	<b>24.964,32</b>	<b>28.125,87</b>	<b>-3.161,55</b>
<b>Summe Kosten in 50 Jahren [€] nach Energiepreissteigerung</b>	<b>1.248.216,00</b>	<b>1.406.293,50</b>	<b>158.077,50</b>
<b>Monatliche Gesamtbelastung [€/m]</b>	<b>2080,36</b>	<b>2343,82</b>	<b>-263,46</b>
<b>Anfänglicher Tilgungsanteil [€/m]</b>	<b>364,28</b>	<b>333,28</b>	<b>31,00</b>
<b>Kostenanteil (Betrieb, Mobilität, Zinsen, Sonstige) [€/m]</b>	<b>1716,08</b>	<b>2010,54</b>	<b>-294,47</b>

Tabelle 36: Kostenvergleich vom Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Szenario II: Steigerung Energiekosten, Quelle: DGJ.

## 6 Nachhaltigkeitsbewertung

In diesem Kapitel sollen alle in den vorangegangenen Kapiteln besprochenen Aspekte unter dem Oberbegriff der Nachhaltigkeit zusammengefasst werden. Die verschiedenen Ansätze für eine Begriffsdefinition des nachhaltigen Bauens wurden im Kapitel 2 vorgestellt.

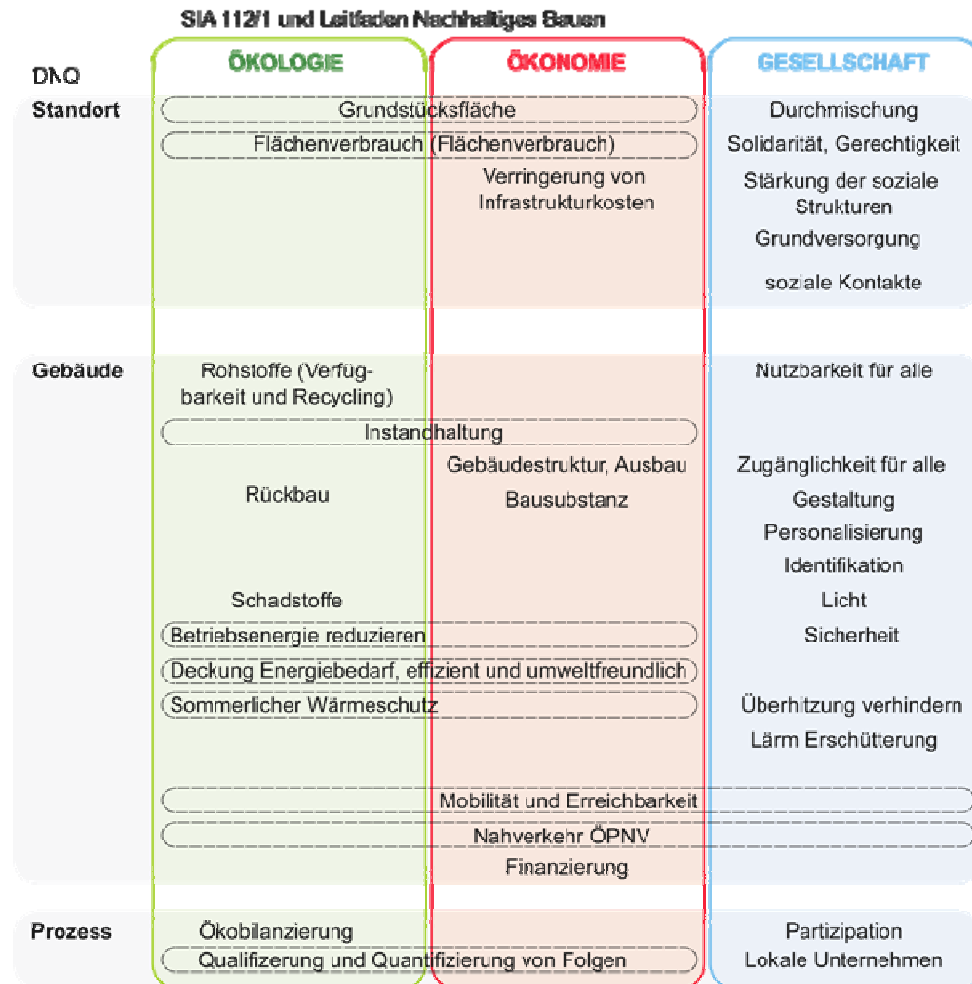


Tabelle 37: Themenübersicht geordnet nach Nachhaltigkeitszielen der DNQ, Quelle: DGJ .

### 6.1 Nachhaltigkeitsbewertungssysteme

Die Bedeutung und Komplexität des Begriffs ‚Nachhaltigkeit‘ hat dazu geführt, dass es zahlreiche Ansätze gibt, den Begriff zu definieren. Ebenso gibt es verschiedene Ansätze, um die Nachhaltigkeit von Gebäuden zu messen. Da die Begriffsdefinition und Grundlagenforschung in diesem Bereich noch nicht abgeschlossen sind, muss davon ausgegangen werden, dass in Zukunft bessere und genauere Bewertungssysteme zur Verfügung stehen werden. Die heutigen Instrumente, die im Rahmen des Forschungsvorhabens eingesetzt wurden, sind so weit fortgeschritten, dass davon ausgegangen werden kann, dass sie zumindest alle Themen beinhalten, die für die Nachhaltigkeit relevant sind und somit eine umfassende aber nicht vollständige Beschreibung des Begriffs Nachhaltigkeit im Bauwesen ermöglichen. Nicht gewährleistet ist, dass die Bewertungssysteme alle Einzelkriterien benennen und vor allem sinnvolle Bewertungsmaßstäbe angeben. Dies kann aus der geringen Deckungsgleichheit und der unterschiedlichen Bewertungsmethoden gefolgert werden. Die Herausforderung der Forschung besteht darin, Systeme zu entwickeln, in denen harte, ingenieurwissenschaftlich greifbare Faktoren (z.B. Betriebsenergie (Kosten und Emissionen), Primärenergieinhalte, Treibhauspotentiale, Lebenszyklusdaten), die sich mit naturwissenschaftlichen Verfahren quantifizieren lassen, mit den weichen Faktoren (städtebauliche Einbindung, Nutzungsflexibilität, Identifikation durch Nutzer,

Gestaltungsqualität), welche sich solcher Methodik entziehen, verglichen werden können. Für diese Faktoren sinnvolle Bewertungsmethoden zu entwickeln ist ebenso notwendig wie anspruchsvoll, wenn man Nachhaltigkeit zu Beurteilung und Vergleich von Gebäuden heranziehen möchte. Die grundsätzliche Schwierigkeit liegt dabei in der Objektivierbarkeit der weichen Faktoren, da hier persönliche und kulturelle Vorprägungen einen entscheidenden Einfluss haben. Dies sei am Beispiel der Gestaltungsqualität erläutert: Es ist sinnfällig, dass bei sonst vergleichbaren Eigenschaften ein gut gestaltetes Gebäude nachhaltiger ist als ein schlecht gestaltetes. Das gut gestaltete Gebäude wird von den Eigentümern und Nutzern über einen langen Zeitraum geschätzt und gepflegt werden und im Zweifel wieder neue Nutzer finden, die es erhalten. Schlecht gestaltete Gebäude mit abstoßendem Äußeren und unangenehmen Innenräumen werden dagegen schneller abgerissen werden und somit schneller zu Abfallaufkommen und Ersatzmaßnahmen führen, wodurch Kosten entstehen und die Umwelt belastet wird. Auch die Eigenwahrnehmung der Anwohner wird durch einen großen Anteil an schlecht gestalteten Gebäuden negativ beeinflusst. Auf die wirtschaftliche Bewertung und die Bodenpreise hat die Gestaltqualität des einzelnen Gebäudes und seines Kontextes ebenfalls einen entscheidenden Einfluss. In diesem gedachten Vergleich wird deutlich, dass der Faktor Gestaltqualität für alle drei Bereiche der Nachhaltigkeit Umwelt (Abriss und Neubau), Wirtschaft (Baukosten, Wert der Immobilie, Mietpreise, Bodenpreise) und Gesellschaft (Identifikation der Bewohner und der Stadt) eine große Rolle spielt. Dennoch ist es schwierig, diesen Faktor objektiv zu bewerten.

Um eine erste Abschätzung machen zu können, wie die Nachhaltigkeitskriterien aus Nutzersicht zu bewerten wären, wurden bei den Nutzern von Gebäuden, die den beiden Vergleichsobjekten ähnlich sind, Umfragen durchgeführt. An dieser Stelle eine statistisch aussagekräftige Anzahl von Umfragen zu machen, hätte den Rahmen des Vorhabens gesprengt, weswegen wir die Umfragen als Stichproben gewertet haben, die Hinweis auf die Beurteilung geben. Eine umfassende Beurteilung kann sich jedoch nicht allein auf Nutzerumfragen stützen, weil diese zu stark von Einzelinteressen geprägt sind. Bei vielen Aspekten der Nachhaltigkeit, insbesondere im Bereich Gesellschaft und Umwelt stehen unter Umständen die Einzelinteressen im Widerspruch zu den Interessen der Allgemeinheit oder der kommenden Generationen.

Für die Bewertung von Nachhaltigkeit ist die Verbindung der Faktoren zu einem einheitlichen Wirkungsgefüge notwendig. Gewichtungen und Abhängigkeiten zwischen den Faktoren abbildbar zu machen, ist die große Herausforderung der Forschung der kommenden Jahre.

Für die Forschungsarbeit wurden drei Systeme betrachtet, die dem Anspruch einer ganzheitlichen Beurteilung besonders nahe kommen:

- **SIA 112/1, Nachhaltiges Bauen – Hochbau**
- **LEEDs (Leadership in Energy and Environmental Design)**
- **Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ**

Von diesen Systemen ist allein LEEDs als Bewertungssystem konzipiert. DNQ und SIA 112/1 hingegen sind Planungshilfen, die während der Planung Hinweise und Kriterien zur Nachhaltigkeit aufzeigen. In diesem Zusammenhang ist auch der „Leitfaden nachhaltiges Bauen“<sup>103</sup> herausgegeben vom BBR für das BMVBS zu erwähnen. Dieser basiert wie die Handlungsempfehlung SIA 112/1 auf dem Dreisäulen-Modell der Nachhaltigkeit: Ökologie, Ökonomie und sozio-kulturelle Faktoren (in der SIA 112/1 mit dem Begriff ‚Gesellschaft‘ gefasst):

Der Leitfaden legt einen deutlichen Schwerpunkt auf die ökologischen und ökonomischen Faktoren. Für diese werden ausführlich Zielwerte angegeben, die mit Berechnungsverfahren nachgewiesen werden

---

<sup>103</sup> Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (Hg.): Leitfaden Nachhaltiges Bauen. - [www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen\\_-Leitfaeden\\_-Ri-1777/Nachhaltiges-Bauen.htm](http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Arbeitshilfen_-Leitfaeden_-Ri-1777/Nachhaltiges-Bauen.htm), 2. Nachdruck, vom Januar 2001, Stand Juli 2008.

können. Von diesem Leitfaden ausgehend wird im Herbst 2008 ein Zertifizierungssystem vorgestellt, das vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung BMVBS und der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen DGNB gemeinsam entwickelt wurde. Dieses System, das noch nicht in der endgültigen Form veröffentlicht ist, beinhaltet ausschließlich quantifizierbare, harte Faktoren. Vorlage für diese Bewertung ist die Energie-Einspar-Verordnung EnEV gewesen, weswegen es auch hiermit möglich sein soll eine Art Gebäudepass auszustellen, der eine Aussage über die im System abgefragten Nachhaltigkeitsfaktoren zusammenfasst und visualisiert.

Diese Vorgehensweise ist geprägt von einem ingenieurmäßigen, naturwissenschaftlich geprägten Verständnis. Architektur als Disziplin und die Fragen des nachhaltigen Bauens finden sich hier in einem Spannungsfeld wieder, das seit dem neunzehnten Jahrhundert prägend ist für die Architekturdiskussion: Durch den großen Anteil an technischen, ökonomischen und ökologischen Fragen, lassen sich viele Aspekte der Architektur naturwissenschaftlich diskutieren und Aussagen hierzu quantifizieren. Auf der anderen Seite stehen die soziokulturellen Fragen, die sich mit Gestaltung und der Wirkung auf Individuum und Gesellschaft auseinandersetzen. Hier können zwar sozial- und geisteswissenschaftliche Untersuchungen gemacht werden, doch verbleibt ein nicht unwesentlicher Teil der Fragen im Bereich von Kunst und Gestaltung, die sich meist wissenschaftlichen Beurteilungsmethoden entziehen. Der Anspruch dieses Forschungshabens ist es eine möglichst umfassende Betrachtung der beiden Vergleichsgebäude durchzuführen, weswegen hierfür die Verfahren geeignet sind, die möglichst breit angelegt sind.

## 6.2 Empfehlung SIA 112/1, Nachhaltiges Bauen – Hochbau<sup>104</sup>

Ein Instrument, welches auch weiche Faktoren in die Betrachtung der Nachhaltigkeit einbezieht ist die Handlungsempfehlung des schweizerischen Ingenieurs- und Architektenvereins SIA 112/1 – Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Die Handlungsempfehlung gliedert die Nachhaltigkeitskriterien in drei Bereiche, die inhaltlich gleich gewichtet werden:

- Gesellschaft
- Wirtschaft (Ökonomie)
- Umwelt (Ökologie)

Zu jedem der Unterthemen formuliert die Empfehlung SIA 112/1 Anforderungen. Gemäß des Titels ist die SIA 112/1 eine Empfehlung und kein Bewertungssystem. Es werden zwar Anforderungen an ein Gebäude gestellt, diese jedoch nicht gewichtet oder bewertet. Im Vergleich zum Leitfaden fällt jedoch auf, dass die drei Bereiche einen ähnlichen Umfang haben und versucht wurde eine ausgewogene und umfassende Beschreibung der Nachhaltigkeit von Gebäuden zu erreichen. Im Sinne ihrer Zielsetzung ist die SIA 112/1 ein nützliches Werkzeug, da die Nachhaltigkeit umfassend beschrieben und die Kriterien trotzdem klar und übersichtlich formuliert sind. So ist sie ein nützliche Planungshilfe, die als eine Art Leitfaden oder Checkliste dem Planer an die Hand gegeben werden kann, um die Einzelaspekte der Nachhaltigkeit zu erfassen und die Anforderungen in das konkrete Projekt zu übersetzen. Während der Entwicklung des Prototypen, die größtenteils in einen Zeitraum fiel, zu dem das Bewertungssystem DNQ noch nicht entwickelt war, wurde überwiegend mit der SIA 112/1 gearbeitet um Kriterien für die Nachhaltigkeit festzulegen.

Sinnvoll scheint bei der SIA 112/1 vor allem die Einbeziehung der Wirtschaft (Ökonomie), weil diese für viele Entscheidungen ausschlaggebend ist. Der Bereich Umwelt (Ökologie) ist durch die Ökobilanzierung und Optimierung des Prototypen (siehe Kapitel 4 und 5) erschöpfend diskutiert. Der Bereich Gesellschaft gliedert sich in die projekt-bezogenen Aspekte: Gestaltung, Nutzung, Erschließung, Wohlbefinden und Gesundheit (siehe dazu Kapitel 4) und die städtebaulichen Aspekte, die unter dem Begriff Gemeinschaft zusammengefasst sind.

Den Kategorien werden Unterthemen und Kriterien / Leistungsbereiche zugeordnet:

---

<sup>104</sup> Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006.

**6.2.1 Leistungsbereiche und Zielvereinbarungen nach SIA 112/1 2004 "Nachhaltiges Bauen - Hochbau":**

Bereich	Thema	Kriterium
<b>SIA</b>		
<b>1 Gesellschaft</b>	<b>1.1 Gemeinschaft</b>	1.1.1 Integration, Durchmischung Optimale Vorraussetzungen für soziale, kulturelle und altersmässige Integration und Durchmischung schaffen
		1.1.2 Soziale Kontakte Kommunikationsfördernde Begegnungsorte schaffen
		1.1.3 Solidarität, Gerechtigkeit Unterstützung benachteiligter Personen
		1.1.4 Partizipation Hohes Mass an Akzeptanz durch Partizipation
	<b>1.2 Gestaltung</b>	1.2.1 Räumliche Identität, Wiedererkennung Orientierung und räumliche Identität durch Wiedererkennung
		1.2.2 Individuelle Gestaltung Hohes Mass an Identifikation durch persönliche Gestaltungsmöglichkeiten
	<b>1.3 Nutzung, Erschliessung</b>	1.3.1 Grundversorgung, Nutzungsmischung Kurze Distanzen, attraktive Nutzungsmischung im Quartier
		1.3.2 Langsamverkehr und öffentlicher Verkehr Gute und sichere Erreichbarkeit und Vernetzung
		1.3.3 Zugänglichkeit und Nutzbarkeit für alle Gebäude und Umgebung behindertengerecht gestalten
	<b>1.4 Wohlbefinden, Gesundheit</b>	1.4.1 Sicherheit Hohes Sicherheitsempfinden
		1.4.2 Licht Optimierte Tageslichtverhältnisse, gute Beleuchtung
		1.4.3 Raumlufte Geringe Belastung der Raumlufte durch Allergene und Schadstoffe
		1.4.4 Strahlung Geringe Immissionen durch ionisierende und nichtionisierende Strahlung
		1.4.5 Sommerlicher Wärmeschutz Hohe Behaglichkeit durch guten sommerlichen Wärmeschutz
		1.4.6 Lärm, Erschütterungen Geringe Immissionen durch Lärm und Erschütterungen
	<b>2 Wirtschaft</b>	<b>2.1 Gebäude-Bausubstanz</b>
2.1.2 Bausubstanz Eine langfristige, dem Standort entsprechende wirtschaftliche Nutzung gewährleisten ? S.o.		
2.1.3 Gebäudestruktur, Ausbau Hohe Flexibilität für verschiedene Raum- und Nutzungsbedürfnisse		
<b>2.2 Anlagenkosten</b>		2.2.1 Lebenszykluskosten Investitionen unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten tätigen
		2.2.2 Finanzierung Langfristig gesicherte Finanzierung von Anlage-,

			Instandsetzungs- und Rückbaukosten
		2.2.3	Externe Kosten Minimierung und Internalisierung der externen Kosten
	<b>2.3 Betriebs- und Unterhaltungskosten</b>	2.3.1	Betrieb und Instandhaltung Niedrige Instandhaltungskosten durch frühzeitige Planung und kontinuierliche Massnahmen
		2.3.2	Instandsetzung Niedrige Instandsetzungskosten durch gute Zugänglichkeit und Qualität gewährleisten
<b>3 Umwelt</b>	<b>3.1 Baustoffe</b>	3.1.1	Rohstoffe: Verfügbarkeit Gut verfügbare Primärrohstoffe und hoher Anteil an Sekundärrohstoffen
		3.1.2	Umweltbelastung Geringe Umweltbelastung bei der Herstellung
		3.1.3	Schadstoffe Wenig Schadstoffe in Baustoffen
		3.1.4	Rückbau Einfach trennbare Verbundstoffe und Konstruktionen zur Wiederverwendung bzw. Verwertung
	<b>3.2 Betriebsenergie</b>	3.2.1	Wärme (Kälte) für Raumklima Geringer Heizwärme- und Heizenergiebedarf durch bauliche und haustechnische Vorkehrungen
		3.2.2	Wärme für Warmwasser Geringer Wärme- und Energiebedarf für Warmwasser durch bauliche und haustechnische Vorkehrungen
		3.2.3	Elektrizität Geringer Elektrizitätsbedarf durch konzeptionelle und betriebliche Massnahmen
		3.2.4	Deckung Energiebedarf Grosser Anteil an erneuerbarer Energie
	<b>3.3 Boden, Landschaft</b>	3.3.1	Grundstücksfläche Geringer Bedarf an Grundstücksfläche
		3.3.2	Freianlagen Grosse Artenvielfalt
	<b>3.4 Infrastruktur</b>	3.4.1	Mobilität Umweltverträgliche Abwicklungen der Mobilität
		3.4.2	Abfälle aus Betrieb und Nutzung Gute Infrastruktur für Abfalltrennung
		3.4.3	Wasser Geringer Trinkwasserverbrauch und geringe Abwassermengen

Tabelle 38: Kriterien für nachhaltiges Bauen, Quelle DGJ nach Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006.

Jeder Anforderung eines Kriteriums oder Leistungsbereichs wird die gleiche Bedeutung beigemessen. Es werden darüber hinaus detaillierte Ziele und Empfehlungen zum Erreichen dieser Ziele formuliert, die dem Planer eine klare Orientierung geben. Ferner werden Werkzeuge, Hilfsmittel (Verfahren), Links und Literaturquellen benannt, die herangezogen werden können, um weitere Informationen über diesen Leistungsbereich zu erhalten. Die Empfehlung ist nicht als Bewertungswerkzeug entwickelt worden, weswegen sie auch keine Hinweise auf eine Gewichtung der Leistungsbereiche oder Bewertungsverfahren enthält. Um im Rahmen des Forschungsprojektes trotzdem einen Vergleich der beiden Objekte anstellen zu können, wurden die Kriterien oder Leistungsbereiche mit einer Wertung von 1 (trifft nicht zu) bis 5 (trifft voll zu) gewichtet. Es muss jedoch betont werden, dass der Einsatz der Empfehlung als Bewertungssystem nicht von den Autoren angelegt ist und deshalb die hier dargestellten Werte nur eine Tendenz wiedergeben und keine zuverlässige Auswertung. Hierzu wäre eine Überprüfung der Relevanz

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

der Leistungsbereiche für das Vorhaben, nachfolgend eine Gewichtung notwendig. Die hier vorgelegte Abschätzung sollte weniger als eine Bewertung gelesen werden, als ein Indikator für die unterschiedlichen Leistungsbilder der beiden Vergleichsobjekte:

### Leistungsbild Prototyp ‚Minihaus‘ nach SIA 112/1:

Minihaus	1	2	3	4	5	Summe	von max
<b>1.0 Gesellschaft</b>						<b>58</b>	<b>75</b>
<b>1.1 Gemeinschaft</b>						<b>16</b>	<b>20</b>
1.1.1 Integration, Durchmischung				x		4	5
1.1.2 Soziale Kontakte				x		4	5
1.1.3 Solidarität, Gerechtigkeit			x			3	5
1.1.4 Partizipation					x	5	5
<b>1.2 Gestaltung</b>						<b>10</b>	<b>10</b>
1.2.1 Räumliche Identität, Wiedererkennung					x	5	5
1.2.2 Individuelle Gestaltung					x	5	5
<b>1.3 Nutzung/ Erschließung</b>						<b>12</b>	<b>15</b>
1.3.1 Grundversorgung, Nutzungsmischung					x	5	5
1.3.2 Langsamverkehr und öffentlicher Verkehr					x	5	5
1.3.3 Zugänglichkeit und Nutzbarkeit für alle		x				2	5
<b>1.4 Wohlbefinden/ Gesundheit</b>						<b>20</b>	<b>30</b>
1.4.1 Sicherheit			x			3	5
1.4.2 Licht					x	5	5
1.4.3 Raumluf					x	5	5
1.4.4 Strahlung			x			3	5
1.4.5 Sommerlicher Wärmeschutz		x				2	5
1.4.6 Lärm, Erschütterungen		x				2	5
<b>2.0 Wirtschaft</b>						<b>28</b>	<b>40</b>
<b>2.1 Gebäudesubstanz</b>						<b>10</b>	<b>15</b>
2.1.1 Standort				x		4	5
2.1.2 Bausubstanz			x			3	5
2.1.3 Gebäudestruktur, Ausbau			x			3	5
<b>2.2 Anlagenkosten</b>						<b>11</b>	<b>15</b>
2.2.1 Lebenszykluskosten		x				2	5
2.2.2 Finanzierung				x		4	5
2.2.3 Externe Kosten					x	5	5
<b>2.3 Betriebs-/Unterhaltungskosten</b>						<b>7</b>	<b>10</b>
2.3.1 Betrieb und Instandhaltung			x			3	5
2.3.2 Instandsetzung				x		4	5
<b>3.0 Umwelt</b>						<b>62</b>	<b>65</b>
<b>3.1 Baustoffe</b>						<b>18</b>	<b>20</b>
3.1.1 Rohstoffe: Verfügbarkeit					x	5	5
3.1.2 Umweltbelastung			x			3	5
3.1.3 Schadstoffe					x	5	5
3.1.4 Rückbau					x	5	5
<b>3.2 Betriebsenergie</b>						<b>20</b>	<b>20</b>
3.2.1 Wärme (Kälte) für Raumklima					x	5	5
3.2.2 Wärme für Warmwasser					x	5	5
3.2.3 Elektrizität					x	5	5
3.2.4 Deckung Energiebedarf					x	5	5
<b>3.3 Boden/Landschaft</b>						<b>9</b>	<b>10</b>
3.3.1 Grundstücksfläche					x	5	5
3.3.2 Freianlagen				x		4	5
<b>3.4 Infrastruktur</b>						<b>15</b>	<b>15</b>
3.4.1 Mobilität					x	5	5
3.4.2 Abfälle aus Betrieb und Nutzung					x	5	5
3.4.3 Wasser					x	5	5
						<b>148</b>	<b>180</b>

Tabelle 39: Leistungsbild Prototyp Minihaus, Quelle: DGJ nach SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

Das Leistungsbild des Prototypen ‚Minihaus‘ zeigt in dem Bereich Gesellschaft Optimierungsbedarf, der vor allem aus der sehr spezifischen Gebäudetypologie und Erschließung zu erklären ist. Die vertikale Organisation des Gebäudes führt dazu, dass das Gebäude nicht für alle zugänglich ist. Ältere Menschen und Gehbehinderte haben praktisch keine Möglichkeit das Gebäude zu nutzen. Diese Probleme sind aufgrund der geringen Grundstücksfläche nur schwer zu kompensieren. Auch für Familien ist das Gebäude nur bedingt geeignet. Zum einen führt die vertikale Anordnung der Räume zu unübersichtlichen räumlichen Verhältnissen, welche die Kommunikation zwischen den Familienmitgliedern erschwert und zu langen Wegen führt. Es sind außerdem nur wenige abgeschlossene Räume zu bilden, die einen Rückzugsraum für Familienmitglieder bilden. Es ist jedoch vorstellbar, dass eine Familie mit älteren Kindern im Prototypen einen geeigneten Wohnraum findet. Im Teenager-Alter ist der Wunsch nach Privatheit und Autonomie der Kinder größer, so dass sie die Einheit im 1. OG wie eine Einliegerwohnung nutzen könnte. Die Themen Zugänglichkeit und Nutzungsflexibilität ist bei der Entwicklung von Baulückenbebauungen besonders wichtig.

Für den Bereich Ökonomie besteht sicherlich der größte Optimierungsbedarf, vielleicht aber auch das größte Optimierungspotential. Während beim Prototypen Zeit und Geld für Abstimmungen, Anpassungen und Entwicklungen verbraucht wurden, könnten diese Prozesse langfristig einfacher werden, wenn Nachverdichtungen als Bebauungstyp eine größere Verbreitung fänden. Die aus ökologischer Sicht sinnvolle Holzbauweise ist derzeit teurer als vergleichbare Massivkonstruktionen. Dafür gibt es verschiedene Gründe: Der insgesamt deutlich höhere Marktanteil der Massivkonstruktionen führt dazu, dass in größeren Mengen zu günstigeren Preisen produziert werden kann. Durch das höhere Volumen konkurrieren auch mehr Firmen um die Aufträge, was im Bereich der Ausführung zu mehr Wettbewerb und niedrigeren Preisen führt. Bei einer stärkeren Nachfrage im Bereich Holzbau würden lang- und mittelfristig auch hier Produktionskosten und Preise sinken. Die neu geschaffene Grundlage hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise M-HFHolzR bedeutet einen erheblichen Mehraufwand für den mehrgeschossigen Holzbau, weil Bauteile mit teilweise mehrschichtigen Bekleidungen versehen werden müssen (siehe Kapitel 3.6.). Hier werden Forschungen durchgeführt, um den Brandschutz auch mit geringerem konstruktiven Aufwand zu erreichen, womit diese Bauweise wettbewerbsfähiger würde. Mittel- und langfristig werden die Materialkosten bei der konventionellen Massivbauweise auch aufgrund der steigenden Energiekosten steigen, da die Baumaterialien (Stahl, Beton, Mauerwerk) hohe Energieinhalte haben. Langfristig ist eine Einbeziehung der externen Kosten (Rückbau, Entsorgung, Umweltschäden, CO<sub>2</sub>) unvermeidlich und wünschenswert.



**6.2.2 Leistungsbild Vergleichsobjekt Haus Riedberg nach SIA 112/1:**

<b>Haus Riedberg</b>		<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Summe</b>	<b>von max</b>
<b>1.0</b>	<b>Gesellschaft</b>						<b>36</b>	<b>75</b>
<b>1.1</b>	<b>Gemeinschaft</b>						<b>9</b>	<b>20</b>
1.1.1	Integration, Durchmischung		x				2	5
1.1.2	Soziale Kontakte		x				2	5
1.1.3	Solidarität, Gerechtigkeit			x			3	5
1.1.4	Partizipation		x				2	5
<b>1.2</b>	<b>Gestaltung</b>						<b>3</b>	<b>10</b>
1.2.1	Räumliche Identität, Wiedererkennung	x					1	5
1.2.2	Individuelle Gestaltung		x				2	5
<b>1.3</b>	<b>Nutzung/ Erschließung</b>						<b>5</b>	<b>15</b>
1.3.1	Grundversorgung, Nutzungsmischung		x				2	5
1.3.2	Langsamverkehr und öffentlicher Verkehr	x					1	5
1.3.3	Zugänglichkeit und Nutzbarkeit für alle		x				2	5
<b>1.4</b>	<b>Wohlbefinden/ Gesundheit</b>						<b>19</b>	<b>30</b>
1.4.1	Sicherheit			x			3	5
1.4.2	Licht				x		4	5
1.4.3	Raumluft				x		4	5
1.4.4	Strahlung				x		4	5
1.4.5	Sommerlicher Wärmeschutz		x				2	5
1.4.6	Lärm, Erschütterungen		x				2	5
<b>2.0</b>	<b>Wirtschaft</b>						<b>25</b>	<b>40</b>
<b>2.1</b>	<b>Gebäudesubstanz</b>						<b>7</b>	<b>15</b>
2.1.1	Standort	x					1	5
2.1.2	Bausubstanz			x			3	5
2.1.3	Gebäudestruktur, Ausbau			x			3	5
<b>2.2</b>	<b>Anlagenkosten</b>						<b>10</b>	<b>15</b>
2.2.1	Lebenszykluskosten			x			3	5
2.2.2	Finanzierung				x		4	5
2.2.3	Externe Kosten			x			3	5
<b>2.3</b>	<b>Betriebs-/Unterhaltungskosten</b>						<b>8</b>	<b>10</b>
2.3.1	Betrieb und Instandhaltung				x		4	5
2.3.2	Instandsetzung				x		4	5
<b>3.0</b>	<b>Umwelt</b>						<b>33</b>	<b>65</b>
<b>3.1</b>	<b>Baustoffe</b>						<b>10</b>	<b>20</b>
3.1.1	Rohstoffe: Verfügbarkeit			x			3	5
3.1.2	Umweltbelastung		x				2	5
3.1.3	Schadstoffe			x			3	5
3.1.4	Rückbau		x				2	5
<b>3.2</b>	<b>Betriebsenergie</b>						<b>13</b>	<b>20</b>
3.2.1	Wärme (Kälte) für Raumklima				x		4	5
3.2.2	Wärme für Warmwasser			x			3	5
3.2.3	Elektrizität			x			3	5
3.2.4	Deckung Energiebedarf			x			3	5
<b>3.3</b>	<b>Boden/Landschaft</b>						<b>2</b>	<b>10</b>
3.3.1	Grundstücksfläche	x					1	5
3.3.2	Freianlagen	x					1	5
<b>3.4</b>	<b>Infrastruktur</b>						<b>8</b>	<b>15</b>
3.4.1	Mobilität	x					1	5
3.4.2	Abfälle aus Betrieb und Nutzung				x		4	5
3.4.3	Wasser			x			3	5
							<b>94</b>	<b>180</b>

Tabelle 40: Leistungsbild Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ nach SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Beim Vergleichsobjekt schneidet der Bereich Gesellschaft schlecht ab. Hier wirken sich sowohl die Gestaltung als auch das städtebauliche Umfeld negativ aus.

Auch im Bereich Umwelt besteht für diese konventionellen Bauformen ein großes Entwicklungspotential. Durch einen umfassenden Einsatz von nachwachsenden Baustoffen und einer Haustechnik, die den Einsatz von regenerativen Energien ermöglicht würde sich die ökologische Leistung des Gebäudes deutlich verbessern.

### 6.2.3 Vergleich der Leistungsabschätzungen nach SIA 112/1

Beim graphischen Vergleich der beiden Vergleichsgebäude wird deutlich, dass die Bereiche Ökonomie, Gebäudesubstanz, Wohlbefinden und Gesundheit ungefähr gleich abschneiden. Entscheidene Vorteile ergeben sich durch den Standort, die Gestaltung und die ökologische Optimierung:

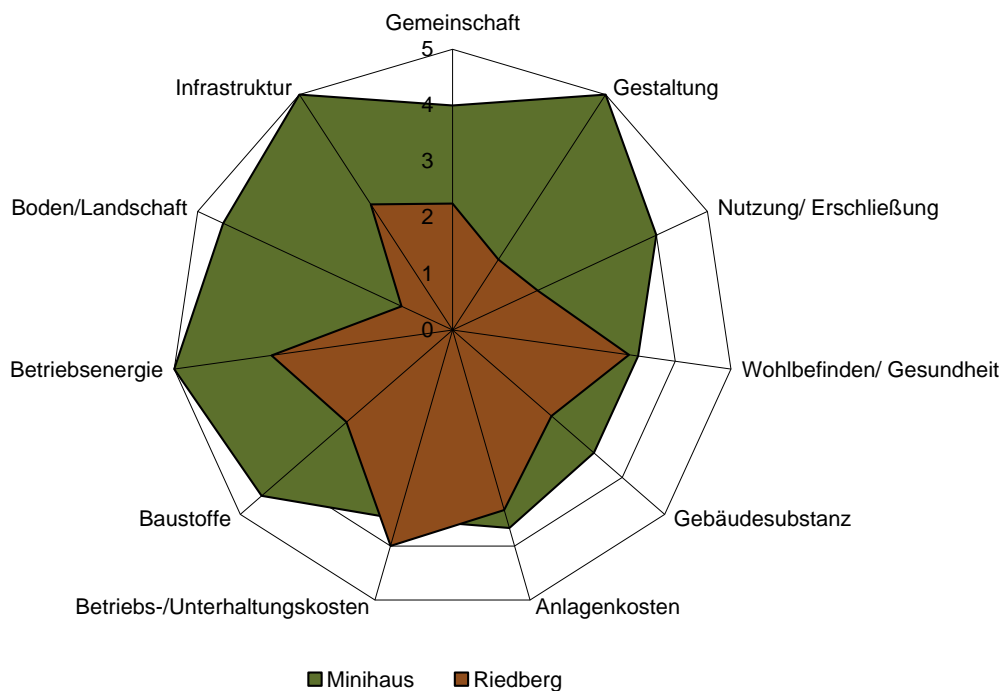


Abbildung 96: Vergleich der Leistungsabschätzungen, Quelle: DGJ nach SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Kriterien	von max	MIH	Riedberg
<b>1.0 Gesellschaft</b>	20	16	9
<b>1.1 Gemeinschaft</b>	5	4	2
1.1.1 Integration, Durchmischung			
1.1.2 Soziale Kontakte			
1.1.3 Solidarität, Gerechtigkeit			
1.1.4 Partizipation			
<b>1.2 Gestaltung</b>	5	5	2
1.2.1 Räumliche Identität, Wiedererkennung			
1.2.2 Individuelle Gestaltung			
<b>1.3 Nutzung/ Erschließung</b>	5	4	2
1.3.1 Grundversorgung, Nutzungsmischung			
1.3.2 Langsamverkehr und öffentlicher Verkehr			
1.3.3 Zugänglichkeit und Nutzbarkeit für alle			
<b>1.4 Wohlbefinden/ Gesundheit</b>	5	3	3
1.4.1 Sicherheit			
1.4.2 Licht			
1.4.3 Raumluf			
1.4.4 Strahlung			
1.4.5 Sommerlicher Wärmeschutz			
1.4.6 Lärm, Erschütterungen			
<b>2.0 Wirtschaft</b>	15	13	9
<b>2.1 Gebäudesubstanz</b>	5	4	2
2.1.1 Standort			
2.1.2 Bausubstanz			
2.1.3 Gebäudestruktur, Ausbau			
<b>2.2 Anlagenkosten</b>	5	4	3
2.2.1 Lebenszykluskosten			
2.2.2 Finanzierung			
2.2.3 Externe Kosten			
<b>2.3 Betriebs-/Unterhaltungskosten</b>	5	5	4
2.3.1 Betrieb und Instandhaltung			
2.3.2 Instandsetzung			
<b>3.0 Umwelt</b>	20	20	10
<b>3.1 Baustoffe</b>	5	5	3
3.1.1 Rohstoffe: Verfügbarkeit			
3.1.2 Umweltbelastung			
3.1.3 Schadstoffe			
3.1.4 Rückbau			
<b>3.2 Betriebsenergie</b>	5	5	3
3.2.1 Wärme (Kälte) für Raumklima			
3.2.2 Wärme für Warmwasser			
3.2.3 Elektrizität			
3.2.4 Deckung Energiebedarf			
<b>3.3 Boden/Landschaft</b>	5	5	1
3.3.1 Grundstücksfläche			
3.3.2 Freianlagen			
<b>3.4 Infrastruktur</b>	5	5	3
3.4.1 Mobilität			
3.4.2 Abfälle aus Betrieb und Nutzung			
3.4.3 Wasser			
	55	49	28

Tabelle 41: Kriterien für Auswertung, Quelle: DGJ SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.

### **6.3 LEEDs (Leadership in Energy and Environmental Design)<sup>105</sup>**

Dieses System, das 1995 vom amerikanischen Green Building Council eingeführt wurde, bildet ein breites Spektrum an Kriterien ab, die in 6 Untergruppen gegliedert sind:

- Sustainable Sites
- Water Efficiency
- Energy & Atmosphere
- Materials & Resources
- Indoor Environmental Quality
- Innovation & Design Process

Erkennbar ist schon in dieser Gliederung, der ökologische und energetische Schwerpunkt des Systems. Der Begriff Nachhaltigkeit taucht nicht als Ziel der Bewertung auf. Eine vollständige Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes ist mit LEEDs nicht möglich, weil wichtige Teilaspekte, insbesondere die kulturellen Faktoren nicht abgebildet sind. Im Bereich der sozialen Aspekte werden gesundheitlich-ökologische Aspekte bewertet. Städtebauliche und standort-bezogene Aspekte sind nur impliziert über andere ökologische Faktoren erfasst.

Interessant sind jedoch die enge Verknüpfung zwischen den ökologischen Faktoren und den Behaglichkeitsanforderungen. Das System ist somit in der Lage, neben dem Mehrwert für die Umwelt und die Allgemeinheit auch die Mehrwerte für den Einzelnen aufzuweisen.

Im Gegensatz zu der Empfehlung SIA 112/1 ist LEEDs als Bewertungssystem entwickelt worden und soll gezielt eingesetzt werden, um Gebäude in Ihrer Nachhaltigkeit zu bewerten. Eine Anwendung zum Vergleich der beiden Gebäude mit diesem System ist somit methodisch zulässig.

---

<sup>105</sup> Scheuer, Chris W.; Keoleian, Gregory A., Center for Sustainable Systems University of Michigan: Evaluation of LEED™ Using Life Cycle Assessment Methods. Prepared for: Barbara C. Lippiatt, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Ann Arbor. Michigan 2002.

**6.3.1 Leistungsbild Prototypen ‘Minihaus’ nach LEEDs:**

**Project Checklist**

		<b>14</b>	<b>Possible</b>
<b>Sustainable Sites</b>		<b>Points</b>	
Pereq 1	Construction Activity Pollution Prevention	Required	
Credit 1	Site Selection	1	1
Credit 2	Development Densitiy & Community Connectivity	1	1
Credit 3	Brownfield Redevelopment	1	1
Credit 4.1	Alternative Transportation, Public Transportation Access	1	1
Credit 4.2	Alternative Transportation, Bicycle Storage & Changing Rooms	1	1
Credit 4.3	Alternative Transportaion, Low Emitting & Fuel Efficient Vehicles	1	1
Credit 4.4	Alternative Transportation, Parking Capacity	1	1
Credit 5.1	Site Development, Protect or Restore Habiat	1	
Credit 5.2	Site Development, Maximize Open Space	1	1
Credit 6.1	Stormwater Design, Quantity Control	1	1
Credit 6.2	Stromwater Design, Quality Control	1	
Credit 7.1	Heat Island Effect, Non-Roof	1	1
Credit 7.2	Heat Island Effect, Roof	1	1
Credit 8	Light Pollution Reduction	1	
<b>Water Efficiency</b>		<b>5</b>	<b>Possible</b>
		<b>Points</b>	
Credit 1.1	Water Efficient Landscaping, Reduce by 50%	1	1
Credit 1.2	Water Efficient Landscaping, No Potable Use or no Irrigation	1	1
Credit 2	Innovative Wastewater Technologies	1	1
Credit 3.1	Water Use Reduction, 20% Reduction	1	1
Credit 3.2	Water Use Reduction, 30% Reduction	1	1
<b>Energy &amp; Atmosphere</b>		<b>17</b>	<b>Possible</b>
		<b>Points</b>	
Prereq 1	Fundamental Commissioning of the Building Energy Systems	Required	
Prereq 2	Minimum Energy Performance	Required	
Prereq 3	Fundamental Refrigerant Management	Required	
Credit 1	Optimize Energy Performance	1 - 10	8
Credit 2	On-Site Renewable Energy	1 - 3	3
Credit 3	Enhanced Commissioning	1	1
Credit 4	Enhanced Refrigerant Management	1	1
Credit 5	Measurement & Verification	1	1
Credit 6	Green Power	1	
<b>Materials &amp; Resources</b>		<b>13</b>	<b>Possible</b>
		<b>Points</b>	
Prereq 1	Storage & Collection of Recyclables	Required	
Credit 1.1	Building Reuse, Maintain 75% of Existing Walls, Floors & Roof	1	
Credit 1.2	Building Reuse, Maintain 95% of Existing Walls, Floors & Roof	1	
Credit 1.3	Building Reuse, Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements	1	
Credit 2.1	Construction Waste Management, Divert 50% from Disposal	1	

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Credit 2.2	Construction Waste Management, Divert 75% from Disposal	1	
Credit 3.1	Materials Reuse, 5%	1	1
Credit 3.2	Materials Reuse, 10%	1	1
Credit 4.1	Recycled Content, 10% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	1	1
Credit 4.2	Recycled Content, 20% (post-consumer + 1/2 pre-consumer)	1	1
Credit 5.1	Regional Materials, 10% Extracted, Processed & Manufactured Regionally	1	1
Credit 5.2	Regional Materials, 20% Extracted, Processed & Manufactured Regionally	1	1
Credit 6	Rapidly Renewable Materials	1	1
Credit 7	Certified Wood	1	1
<b>Indoor Environmental Quality</b>		<b>15</b>	<b>Possible Points</b>
Prereq 1	Minimum IAQ Performance	Required	
Prereq 2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control	Required	
Credit 1	Outdoor Air Delivery Monitoring	1	
Credit 2	Increased Ventilation	1	1
Credit 3.1	Construction IAQ Management Plan, During Construction	1	
Credit 3.2	Construction IAQ Management Plan, Before Occupancy	1	
Credit 4.1	Low-Emitting Materials, Adhesives & Sealants	1	1
Credit 4.2	Low-Emitting Materials, Paints & Coatings	1	1
Credit 4.3	Low-Emitting Materials, Carpet Systems	1	1
Credit 4.4	Low-Emitting Materials, Composite Wood & Agrifiber Products	1	1
Credit 5	Indoor Chemical & Pollutant Source Control	1	1
Credit 6.1	Controllability of Systems, Lightning	1	1
Credit 6.2	Controllability of Systems, Thermal Comfort	1	1
Credit 7.1	Thermal Comfort, Design	1	1
Credit 7.2	Thermal Comfort, Verification	1	
Credit 8.1	Daylight & Views, Daylight 75% of Spaces	1	1
Credit 8.2	Daylight & Views, Views for 90% of Spaces	1	1
<b>Innovation &amp; Design Process</b>		<b>5</b>	<b>Possible Points</b>
Credit 1.1	Innovation in Design	1	1
Credit 1.2	Innovation in Design	1	1
Credit 1.3	Innovation in Design	1	1
Credit 1.4	Innovation in Design	1	1
Credit 2	LEED Accredited Professional	1	1
<b>Project Totals</b>		<b>69</b>	<b>Possible Points 54</b>
<b>Certified 26-32 points</b>			
<b>Silver 33-38 points</b>			
<b>Gold 39-51 points</b>			
<b>Platinum 52-69 points</b>			<b>54</b>

Tabelle 42: Kriterien-Liste des LEEDs Zertifizierungssystem ausgefüllt für den Prototyp, Quelle: DGJ nach Scheuer, Chris W.; Keoleian, Gregory A., Center for Sustainable Systems University of Michigan: Evaluation of LEEDTM Using Life Cycle Assessment Methods. Prepared for: Barbara C. Lippiatt, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Ann Arbor. Michigan 2002.

Für jede der Kategorien definiert LEEDs Zielvorgaben, deren Einhaltung zu einer positiven Punkte Bewertung führt. LEEDs wurde im Rahmen des Forschungsprojekts als Bewertungssystem angewandt, weil es das international am weitest verbreitete System ist und deswegen auch die größte Bekanntheit

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

besitzt. Es ist darauf hinzuweisen, dass keine Zertifizierung durchgeführt wurde, sondern nur eine interne Bewertung der Vergleichsobjekte analog zu den Anforderungen von LEEDs. Das Minihaus erreicht in dieser Bewertung die beste Auszeichnung: Platin. Das Vergleichsgebäude Haus Riedberg ist dagegen im Sinne von LEEDs nicht zertifiziert werden:

### Bewertungssystem LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)

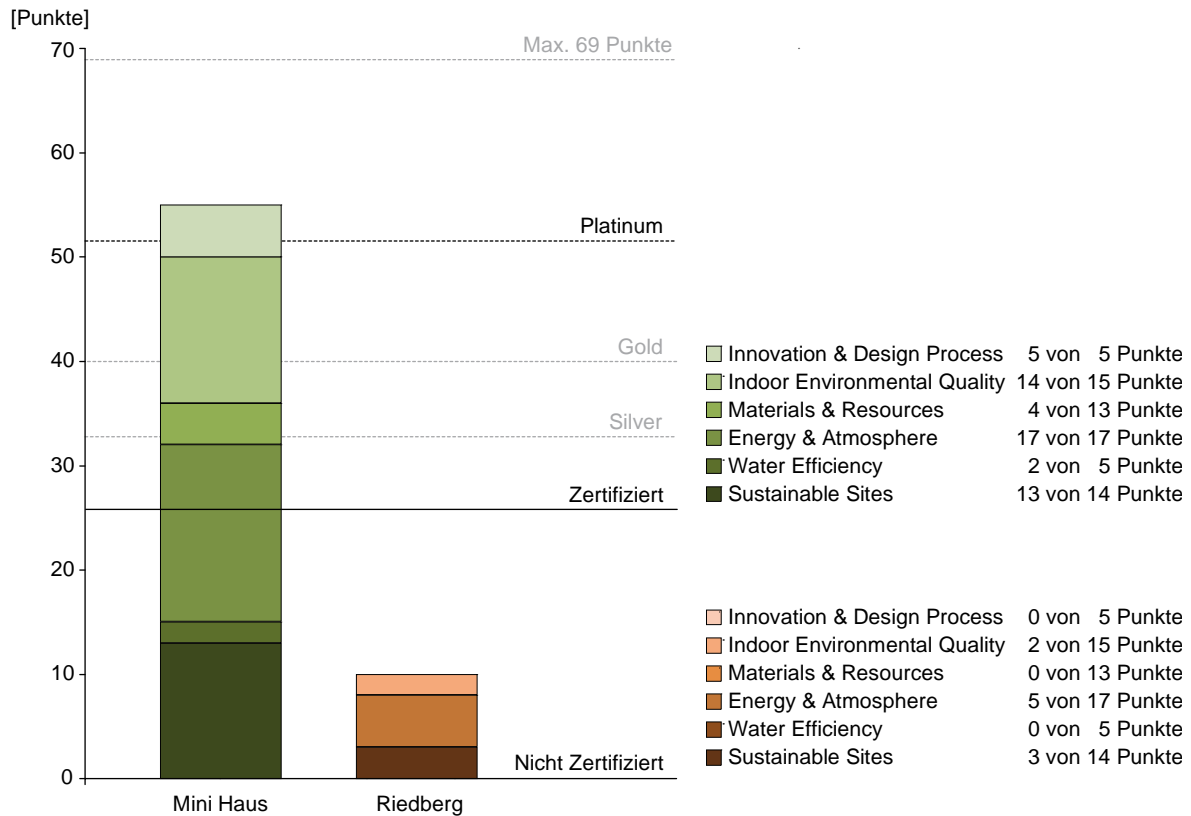


Abbildung 97: Graphische Auswertung und Vergleich der Kriterien-Liste des LEEDs Zertifizierungssystem ausgefüllt, für den Prototypen Minimum Impact Haus und das Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ nach Scheuer, Chris W.; Keoleian, Gregory A., Center for Sustainable Systems University of Michigan: Evaluation of LEEDTM Using Life Cycle Assessment Methods. Prepared for: Barbara C. Lippiatt, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Ann Arbor. Michigan 2002.

## 6.4 Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ:

Einen anderen Ansatz verfolgt das Nachhaltigkeits-Bewertungssystem DNQ. Im Rahmen der Arbeit an dem „Atlas Energie – Nachhaltige Architektur“<sup>106</sup> wurde am Fachgebiet Energieeffizientes Bauen der TU Darmstadt ein Bewertungssystem entwickelt, um dem Planer die Möglichkeit zu geben, die Nachhaltigkeitsziele besser in den Planungsprozess einzubinden. Deswegen wurden die Kategorien nicht nach den Drei-Säulen Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft strukturiert, sondern angelehnt an den Planungsprozess und daraus angeleiteten Themenfeldern. Dies wird durch die Zuordnung der planungsrelevanten Kriterien aus den SIA 112/1 und den im DNQ erfassten Kriterien deutlich:

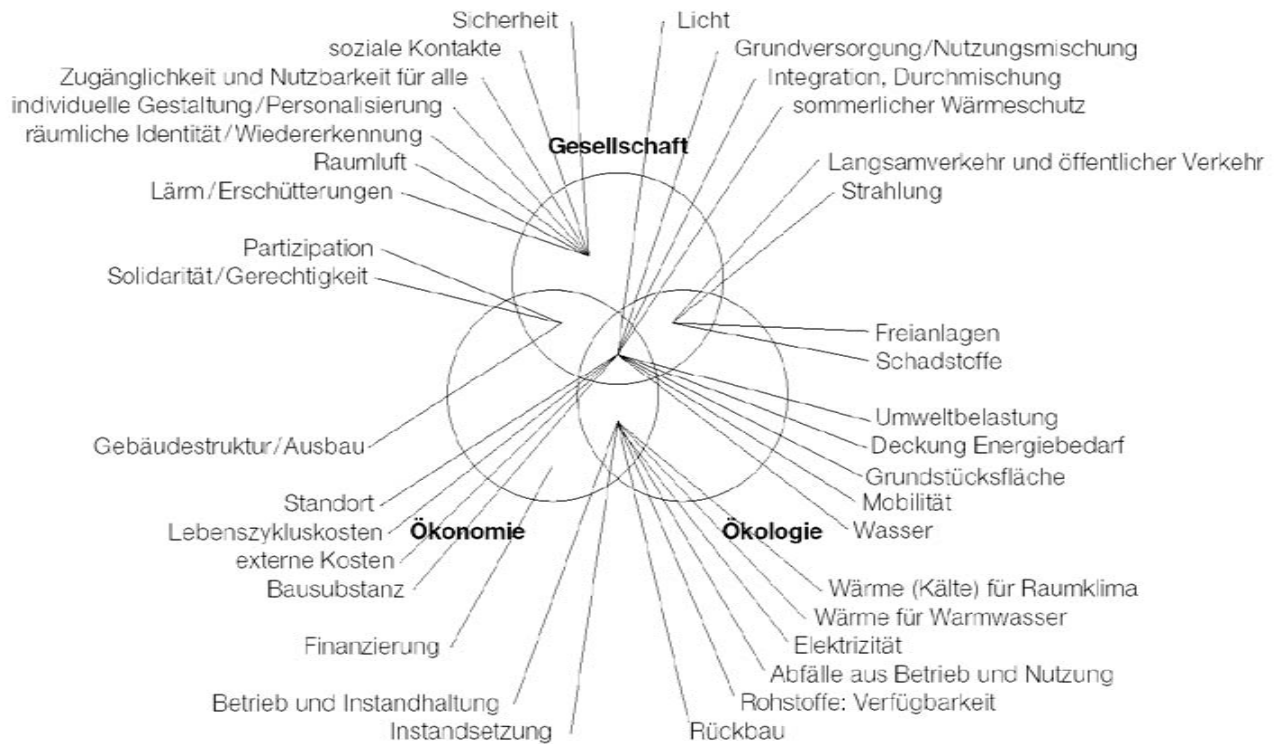


Abbildung 98: Schnittmengen der Nachhaltigkeitskriterien, Quelle Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006<sup>107</sup>

Im Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ wurden die Kriterien in die übergeordneten Themen

- **Standortqualität**
- **Objektqualität und**
- **Prozessqualität**

gegliedert.

<sup>106</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Dr. Stark, Thomas u.a.: Energie Atlas - Nachhaltige Architektur. München 2007.

<sup>107</sup> Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Dr. Stark, Thomas u.a.: Energie Atlas - Nachhaltige Architektur. München 2007.



## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Im Folgenden werden die Kriterien und Anforderungen des Diagnosesystems Nachhaltige Gebäudequalität DNQ aufgeführt und die beiden Vergleichsgebäude in Hinblick auf diese Kategorien bewertet:

### Bewertung mit Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ:

STANDORTQUALITÄT	Minihaus	Haus Riedberg
Energieangebot: lokal verfügbare Energieträger und Umweltenergien effizient nutzen	Luft-Wasser-Wärmepumpe (Umweltwärme der Aussenluft) Leistungszahl 3,8 mit Ökostrom betrieben	Gasbrennwerttherme, Fernwärme
	Solarthermie, Nutzung der Globalstrahlung > 1000 [KWh / m <sup>2</sup> a]	Solarthermie, Nutzung der Globalstrahlung > 1000 [KWh / m <sup>2</sup> a]
Grundversorgung / Nutzungsmischung: kurze Distanzen, attraktive Nutzungsmischung im Quartier erreichen	kurze Distanzen, gute Grundversorgung, Nutzungsmischung	lange Distanzen, da Infrastruktur noch nicht zu genüge ausgebaut; homogene Bebauungsstruktur, keine attraktive Nutzungsmischung
	Bevölkerungsdichte: 13,5 [EW / ha] <sup>108</sup>	Bevölkerungsdichte: 9,2 [EW / ha]
Integration / Durchmischung: optimale Voraussetzungen für soziale, kulturelle und altersmäßige Integration und Durchmischung schaffen	Durchmischung durch unterschiedliche Wohnangebote in der Stadt; Schaffung von Wohnraum für Familien in der Stadt; 23% Ausländeranteil in Sachsenhausen Nord <sup>109</sup> . Ausgeglichenen Altersstruktur, da natürlich gewachsenes Quartier. Schaffung von Wohnraum für Familien in der Stadt verhindert Entmischung.	Bebauung innerhalb vergleichsweise kurzer Bauperiode (15 Jahre für 15'000 Einwohner) errichtet, was zu einer homogenen Altersstruktur im Baugebiet führt. Gleiche Bautypen und Wohnungsangebot, weswegen Wohnkosten homogen, dadurch dürften die meisten Bewohner der gleichen sozialen Schicht angehören. Keine Maßnahmen zur soziodemografischen Durchmischung; 14,4% Ausländeranteil in Riedberg-Kalbach <sup>110</sup> .
Solidarität / Gerechtigkeit: benachteiligte Personen unterstützen	gute Grundversorgung an öffentlicher Infrastruktur, Einkaufen und städtisches	Infrastruktur noch nicht vollständig ausgebaut. Die weiten Wege und schlechte

<sup>108</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt (Hg.): statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2006. Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ, Frankfurt 2006. - Bevölkerungsdichte:

	Bevölkerung [Einwohner]	Fläche [ha]	Dichte [EW/ha]
Sachsenhausen	29475	2181	13,5
Kalbach-Riedberg	6376	690,3	9,2

Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ.

<sup>109</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt (Hg.): statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2006. Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ, Frankfurt 2006.

<sup>110</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt (Hg.): statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2006. Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ, Frankfurt 2006.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

		Leben.	Anbindung durch öffentlichen Verkehr führen in Verbindung mit der Unterversorgung vor Ort zu einer Ausgrenzung von Bewohnern, die nicht mobilisiert sind.
	Nutzung: eine langfristige, dem Standort entsprechende wirtschaftliche Nutzung gewährleisten	<p>Aufgrund von Standort und Grundrissgestaltung lässt sich das Gebäude sowohl ganz als auch teilweise anderen Nutzungen zuführen:</p> <p>Szenario 1: Wohneinheit 1: 4. OG, 3. OG, 2. OG: Wohneinheit 2: 1. OG Gewerbeeinheit 3: EG</p> <p>Szenario 2: Wohneinheit 1: 4. OG, 3. OG, 2. OG: Gewerbeeinheit 2: 1. OG Gewerbeeinheit 3: EG</p> <p>Szenario 3: Gewerbeeinheit 1: 4. OG, 3. OG, 2. OG: Gewerbeeinheit 2: 1. OG Gewerbeeinheit 3: EG</p> <p>Die drei Einheiten sind getrennt und einzeln nutzbar, weil durch Treppenhaus getrennt erschlossen.</p>	Homogene Nutzungsstrukturen (Trennung von Wohngebiet und Gewerbegebiet). Umnutzung innerhalb der Struktur ist bauliche nicht angelegt. ganzjährige Wohnnutzung
	Mobilität: Mobilität umweltverträglich gestalten	<p>Zentraler, innerstädtischer Standort; Verringerung des Verkehrsaufkommens durch induzierten Verkehr (Zentralität-Fußverkehr, Fahrrad) und gute Verkehrsanbindung, besonders ÖPNV. Siehe oben Abschnitt Mobilität.</p>	Vorortsiedlung; Wohngebiet; ÖPNV-Netz nicht dicht, nur durch weite Fußwege zu erreichen. Siehe oben Abschnitt Mobilität.
		<p>1 Bus 20m (Oppenheimer Platz); 2 Buslinien ca.150m (Elisabethen-Straße); 3 U-Bahnen ca. 150m (Schweitzer-Platz); 2 Straßenbahnen 120m (Schweitzer-/Gartenstraße);</p>	<p>Buslinien 26 (200 m) und 29 (900m) zu benachbarten Stadtteilen und Nordwestzentrum, U-Bahn U2 Riedwiese/Mertonviertel (ca. 900m) und U3 Niederursel (ca. 2,5km);</p>

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

		Südbahnhof ca.200m (S-Bahn, U-Bahn, Bus, Straßenbahn); ca. 300m Dom-Römer 2 U-Bahnen	Stadtbahnlinie durch Riedberg geplant
		Fußläufige und Fahrradentfernung zu allen innerstädtischen Zielen.	Entfernung zu Innenstadt 9,9km. Mit Fahrrad 30 Minuten bei flotter Fahrt.
	Lärm / Erschütterung: vor Immissionen durch Lärm und Erschütterungen schützen	Hohes Verkehrsaufkommen auf der Walter-Kolb-Strasse (Bundesstrasse Richtung	Autobahnlärm
	Strahlung: vor Immissionen durch ionisierende und nichtionisierende Strahlung schützen	nein	nein
<b>OBJEKTQUALITÄT</b>			
Erschließung / Kommunikation	Verkehr: gute und sichere Erreichbarkeit und Vernetzung ermöglichen	Grundstück eingebunden in ein vorhandenes Erschließungssystem	Grundstück in einem wenig dichten Erschließungssystem, keine starke Vernetzung
		2 PKW-Stellplätze auf Grundstück à ca. 11,5m <sup>2</sup>	1 PKW-Stellplatz
	soziale Kontakte: kommunikationsfördernde Begegnungsorte schaffen	Mainufer in Fußweite, öffentliche Grünflächen, Parks	öffentlicher Park, Bonifatius-Park
	Zugänglichkeit und Nutzbarkeit: Gebäude und Umgebung übersichtlich und barrierefrei gestalten	Umgebung übersichtlich	Übersichtlichkeit durch homogene Bebauung eingeschränkt
		Nicht barrierefrei	Nicht barrierefrei
Grundstück	Grundstücksfläche: Bedarf an Grundstücksfläche gering halten	Nutzung einer brachliegenden Fläche; Minimierung der überbauten Fläche, Geschossfläche von 30-35m <sup>2</sup>	keine Maßnahme zur Reduktion des Grundflächenbedarfs
		Grundfläche 40,7m <sup>2</sup> ; BGF 203,1 m <sup>2</sup> ; Bebaute Grundstücksfläche 21,7m <sup>2</sup> ; Parzellengröße 92,454m <sup>2</sup> ; GF=154m <sup>2</sup> ; GFZ-vorh.=1,66	Grundfläche 66 m <sup>2</sup> ; BGF 187m <sup>2</sup> ; GF=154m <sup>2</sup> ; GFZ =0,60, GFZ zul.=0,3
	Freifläche: Versiegelung minimieren, Artenvielfalt sichern	Dachterrasse/-garten ersetzt den privaten Garten, Verdunstungs-System Bambus- Garten (20%)	privater Garten
		Dachbegrünung, ca. 76% unversiegelte Fläche	72% unversiegelte Fläche

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Gestaltung	Baukultur: Orientierung und räumliche Identität durch Wiedererkennung verbessern	Erinnerung an verschwundene Bäume; Auseinandersetzung mit den Brüchen in der Stadtstruktur; Schaffung einer kleinteiligen, vielfältigen Stadtstruktur mit Orientierungspunkten und hohem Identifikationswert; Fassade reagiert auf Städtebaulichen Kontext; Aufgreifen der vertikalen Elemente von Gebäuden aus den 70er und 80ern	keine alten Strukturen, keine spezifische Identität, da Bauen auf der grünen Wiese
		kein Wettbewerb	kein Wettbewerb
	Personalisierung: Identifikation herstellen, persönliche Gestaltungsmöglichkeiten eröffnen	Obergeschosse ja: möglichst neutrale Bauteile bzw. Oberflächen - möglich eigene Wohnvorstellungen auszuleben; Räume können unterschiedlich genutzt werden; Erdgeschoss nein (Einbaumöbel etc.); neutrale mit durchgestalteten Geschossen kombiniert	Funktionen festgelegt; Möglichkeit zur Personalisierung ist beim Innenausbau bedingt möglich
Wohlbefinden / Gesundheit	Sicherheit: Gefahrenpotenziale vermindern, Sicherheitsempfinden fördern	gute Übersichtlichkeit; große Belegung und Sichtverbindungen zu Straßenraum	Belegung gering da keine große Nutzungsmischung; Übersichtlichkeit durch homogene Zeilenstruktur erschwert
	Schall: angenehme akustische Bedingungen schaffen	Geräuschempfindliche Räume in oberen Geschossen	Trittschalldämmung; Schallschutzwall zu Autobahn (nicht ausreichend- trotzdem Autobahnlärm)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schallschutz [dB (A)] NN</li> <li>• Nachhallzeit [s] NN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schallschutz [dB (A)] NN</li> <li>• Nachhallzeit [s] NN</li> </ul>
	Licht: optimale Tageslichtverhältnisse, gute Beleuchtung herstellen	große Fensteröffnungen und gute Ausleuchtung durch geringe Raamtiefen; Aufweitung des Innenraum;	gute Ausleuchtung der Räume, (aber dunkler Treppen Kern und Flur bei den mittleren Reihenhäusern)
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tageslichtautonomie [%] NN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tageslichtautonomie [%] NN</li> </ul>
	Raumluft: hohe Raumluftqualität anstreben	maschinelle Lüftung	keine maschinelle Lüftung
		Lüftung natürlich %/NF, NN maschinell %/NF, NN	Lüftung natürlich 100%/NF, maschinell 0%/NF

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

	Raumklima: hohe thermische Behaglichkeit gewährleisten	Ausgleich von Temperaturschwankungen: Massive Innenschale der Außenwand (zwei Lagen a 12,5mm Gipskarton) kann größere Mengen Wärmeenergie kurzfristig speichern und zeitverzögert abgeben, somit schnelle Überhitzung oder Auskühlung des Gebäudes gebremst; Fußbodenheizung	Massive Konstruktion speichert Wärme und gleicht Temperaturschwankungen aus
		U-Werte: Fenster= 0,5 W/(m <sup>2</sup> K); Außenwand Sockel 0,12 W/(m <sup>2</sup> K); Aussenwand Holzständer 0,13 W/(m <sup>2</sup> K); Dach 0,1 W/(m <sup>2</sup> K); Decke EG Überhang 0,19 W/(m <sup>2</sup> K); Bodenplatte unter EG 0,11 W/(m <sup>2</sup> K) • Betriebsstunden [h über 26 °C / a] NN • wirk. Speicherkapazität [Wh / m <sup>2</sup> NF] NN	• U-Werte: Außenwand 0,337 [W / m <sup>2</sup> K] Dach 0,207 [W / m <sup>2</sup> K] Bodenplatte 0,314 [W / m <sup>2</sup> K] Wohnungstrennwand 0,375 [W / m <sup>2</sup> K] Außenwand Erdreich 0,358 [W / m <sup>2</sup> K] • Betriebsstunden [h über 26 °C / a] NN • wirk. Speicherkapazität [Wh / m <sup>2</sup> NF] NN
Gebäude-substanz	Bausubstanz: auf die Lebensdauer bezogene Wert- und Qualitätsbeständigkeit erreichen	hohe Bauqualität durch ein großes Maß an Vorfertigung	
		Dauerhaftigkeit von Bauteilen [a] NN	Dauerhaftigkeit von Bauteilen [a] NN
	Gebäudestruktur / Ausbau: hohe Flexibilität für verschiedene Raum- und Nutzungsbedürfnisse sicherstellen	anpassungsfähige Installation; Schachtprinzip und minimale horizontale Verteilung	geringe Flexibilität
		Alternative Nutzungskonzepte: ja	Keine Alternativen Nutzungskonzepte
Baukosten	Investitionskosten: Investition unter Berücksichtigung der Lebenszykluskosten tätigen	Aktivierung von einer brachliegenden Fläche und Erschließung ungenutztem Kapitals	
		• Baukosten (brutto) 338.133,41 [EUR] • Baukosten 1.664,76 [EUR / m <sup>2</sup> BGF]	• Baukosten (brutto) 267.036,00 [EUR] • Baukosten 1.428,00 [EUR / m <sup>2</sup> BGF]
	Finanzierung: langfristige Finanzierung von Betriebs-, Instandsetzungs- und Rückbaukosten sichern	Förderprogramm DBU	
Betriebs- und Unterhaltskosten	Betrieb und Instandhaltung: niedrige Instandhaltungskosten durch frühzeitige Planung und kontinuierliche Instandhaltung sichern	Reduktion des Energiebedarfs und Optimierung der Energieerzeugung PEI Instandhaltung	keine Maßnahmen PEI Instandhaltung PEI n.ern. 260 [MJ]/m <sup>2</sup> NF PEI ern. 37 [MJ]/m <sup>2</sup> NF

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

		PEI n.ern. 1.569 [MJ/m <sup>2</sup> NF] PEI ern. 674 [MJ/m <sup>2</sup> NF]	
		• Betriebskosten (Heizen, Strom, Wasser, Instandhaltung, Sonstige) 17,06 [EUR / m <sup>2</sup> NFa]	• Betriebskosten (Heizen, Strom, Wasser, Instandhaltung, Sonstige) 20,07 [EUR / m <sup>2</sup> NFa]
	Instandsetzung: niedrige Instandsetzungskosten durch gute Zugänglichkeit und Qualität gewähr- leisten	Lösungen im Ausbau die möglichst dauerhaft sind z.B. harte Bodenbeläge (Bambus); innere+äußere Oberflächen und Objekte des Gebäudes sind die Teile an denen die kürzesten Renovierungsintervalle entstehen können	Austauschbarkeit von Bauteilen eingeschränkt
Baustoffe	Rohstoffe / Verfügbarkeit: gut verfügbare Primärrohstoffe, vornehmlich jedoch nachwachsende und Sekundärrohstoffe einsetzen	hoher Anteil an natürlichen und nachwachsenden Rohstoffen; Tragkonstruktion, Unterkonstruktion des Ausbaus und Fassade aus Holz	Massivbauweise; Stahlbeton- und Kalksandsteinmauerwerks- wände, Dachstuhl aus Holz
		• Anteil nachwachsender Rohstoffe [%] NN • Anteil Sekundärrohstoffe [%] NN	• Anteil nachwachsender Rohstoffe [%] NN • Anteil Sekundärrohstoffe [%] NN
	Umweltbelastung: geringe Umweltbelastung bei der Herstellung anstreben	hoher Vorfertigungsgrad	kaum Vorfertigung
		PEI Herstellung PEI n.ern. 3.644 [MJ/m <sup>2</sup> NF] PEI ern. 1.777 [MJ/m <sup>2</sup> NF]	PEI Herstellung PEI n.ern. 4.756 [MJ/m <sup>2</sup> NF] PEI ern. 1.111 [MJ/m <sup>2</sup> NF]
	Schadstoffe: auf geringe Schadstoffgehalte in Baustoffen achten	Verwendung risikoarmer Materialien	Verwendung risikoarmer Materialien
	Rückbau: einfach trennbare Verbundstoffe und Konstruktionen zur Wiederverwendung bzw. - verwertung einsetzen	Holzrahmenkonstruktion: Leichtbauweise erlaubt grundsätzlich bei Rückbau die Trennung von Bauteilen und Schichten. Einzelne Schichten großteils recycelbar (thermische Verwertung) leicht: organische Bestandteile kompositierbar; Gebäude weitgehend sortenrein trennbar; Erdgeschoss aus geführt in Massivbau	der Hauptanteil der verwendeten Baustoffe ist nicht recycelbar
		Rückbaukonzept. Muss entwickelt werden.	Rückbaukonzept. Muss entwickelt werden.

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Betriebs- energie	Gebäudeheizung: minimierten Heizenergiebedarf anstreben	Minimierung der Wärmeverlustflächen durch Anbau an bestehende Gebäude; gute Dämmung der Gebäudehülle; hohe passive solare Gewinne; (Passivhausstandard); Fussbodenheizung; Solarthermie: Flachkollektor; Luft-Luft- Wärmepumpe für Heizung und WW	Niedrigenergiehaus KfW60: Vergleichsweise Heizenergiebedarf und kompakte Bauweise (Reihen). Effiziente Heiztechnik Gasbrennwertkessel für Heizung und WW, basierend auf fossilen Energieträger Erdgas; Kein Einsatz von regenerativen Energien, erfüllt Anforderungen der EnEV.
		Heizwärmebedarf 13,5 KWh/m <sup>2</sup> a; Endenergieverbrauch: Heizung 13,9 KWh/m <sup>2</sup> a Heizwärme 52% PEI Betrieb PEI n.ern. 357 [MJ/m <sup>2</sup> NF] PEI ern. 6.786 [MJ/m <sup>2</sup> NF]	Heizwärmebedarf 46 KWh/m <sup>2</sup> a Endenergieverbrauch: Heizung 46 KWh/m <sup>2</sup> a Heizenergie 78 % PEI Betrieb PEI n.ern. 13.526 [MJ/m <sup>2</sup> NF] PEI ern. 3.309 [MJ/m <sup>2</sup> NF]
	Gebäudekühlung: technischen Kältebedarf durch bauliche und haustechnische Maßnahmen vermeiden oder minimieren	Gebäudetrennwand als Speichermasse. Massive Innenschale der Außenwand (zwei Lagen a 12,5mm Gipskarton) kann größere Mengen Wärmeenergie kurzfristig speichern und zeitverzögert abgeben. Außen liegender variabler Sonnenschutz (horizontale Jalousien) an den großen Fenster und Verglasungen.	Kleine Fensterflächen verhindern Überhitzung. Große Speichermassen vorhanden (Stahlbeton, Mauerwerk); Außen liegender variabler Sonnenschutz – Klapppläden.
		• Primärenergiebedarf 11,8 [kWh / m <sup>2</sup> a]	• Primärenergiebedarf 81,2 [kWh / m <sup>2</sup> a]
	Warmwasserbereitung: Wärme- und Energiebedarf senken	Solare Warmwasserbereitung Flachkollektor 5,2m <sup>2</sup> (solarer Deckungsbeitrag 57% der Trinkwassererwärmung); Luft-Luft-Wärmepumpe mit Ökostrom betrieben (100% aus regenerativen Quellen) für Heizung und WW.	Warmwasserbedarf bedeckt mittels Gasbrennwerttherme. Keine Maßnahmen zur Reduzierung des Warmwasserbedarfs
		Endenergieverbrauch [Heizung& Warmwasser] 9,8 kWh/m <sup>2</sup> a; Trinkwassererwärmung 48 % des gesamten Endenergiebedarf.	Endenergieverbrauch [Heizung& Warmwasser] 73,7 kWh/m <sup>2</sup> a Trinkwassererwärmung 22 % des gesamten Endenergiebedarf.
	Luftförderung: Strombedarf für Luftförderung minimieren		

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

	Beleuchtung: Strombedarf für Beleuchtung gering halten	große Fensteröffnungen minimieren Strombedarf der Beleuchtung	keine Maßnahmen
	sonstige elektrische Verbraucher: geringen Elektrizitätsbedarf durch konzeptionelle und betriebliche Vorkehrungen verfolgen	durch hoher Tageslichtanteil ist weniger künstliche Beleuchtung nötig	keine Maßnahmen
	Energiebedarfsdeckung: Anteil an erneuerbarer Energie für die Bedarfsdeckung steigern	Nutzung erneuerbarer Energien  Deckungsrate erneuerbarer Energien 100% ; Heizung: Wärmepumpe mit Ökostrom betrieben. Warmwasser: über Solarthermie 57% der Trinkwassererwärmung, Restbedarf gedeckt mit Wärmepumpe/Ökostrom; Luft-Luft-Wärmepumpe mit Ökostrom betrieben (100% aus regenerativen Quellen) für Heizung und WW; Solarthermie Flachkollektor 5,2m <sup>2</sup> ; PV 0m <sup>2</sup>	kein Konzept zum Gebrauch erneuerbarer Energien  Deckungsrate erneuerbarer Energien 33% (bei Ökostrom - Strom); Solarfläche: Solarthermie 0m <sup>2</sup> ; PV 0m <sup>2</sup>
Infrastruktur	Abfälle aus Betrieb und Nutzung: Infrastruktur für Abfalltrennung herstellen	gesetzlich vorgeschriebene Mülltrennung: Altpapier, Biotonne, Restmüll	gesetzlich vorgeschriebene Mülltrennung: Altpapier, Biotonne, Restmüll. Möglichkeit zur Kompostierung im Garten gegeben.
	Wasser: Trinkwasserverbrauch senken	Eingriff in den natürlichen Wasserhaushalt minimiert; Grauwasseranlage, Kleinkläranlage mit Membrantechnologie (geplant aber nicht genehmigt) erlaubt ein weitgehendes Recycling von häuslichem Abwasser.  Grauwassernutzung ja • Wasserverbrauch 28,105 [m <sup>3</sup> / Person a]	keine Maßnahmen  keine Regenwasser oder Grauwassernutzung • Wasserverbrauch 46,72 [m <sup>3</sup> / Person a]
PROZESS-QUALITÄT			
	nachhaltiges Bauen: Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung und zur Stärkung des öffentlichen Bewusstseins leisten	Begleitendes Forschungsprojekt mit Forschungsbericht für Fachpublikum, kompaktere Veröffentlichung für breiteres Publikum und visuelle Kommunikation (Homepage); Veröffentlichung in Tagespresse; Vorträge auf	keine Maßnahmen



## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

		Fachtagungen, Prototyp-Besichtigungen; Transfer des Wissens und der Methodik in Lehre an der TU Darmstadt.	
		nachhaltigkeitsorientierte Benchmarks	keine nachhaltigkeitsorientierten Benchmarks
	Bautradition: Arbeit, Wissen und Baukultur erhalten	Förderung lokaler Handwerksbetriebe; Förderung der Holzbautradition	keine Maßnahmen
	Partizipation: hohes Maß an Akzeptanz durch Partizipation anstreben	Einbindung der zukünftigen Nutzer: Dialog und iterativer Entwurfsprozess	zukünftige Nutzer stehen beim Bauen noch nicht fest;
		Partizipation: ja	Partizipation: nein
	integrale Planung: projektspezifische Nachhaltigkeitspotenziale optimieren	Zusammenarbeit des Büros DGI mit Fachgebiet Energieeffizientes Bauen des Fachbereichs Architektur der TU Darmstadt; Förderprogramm DBU	keine integrale Planung
	Analysen: Stoffströme, Energieaufwendungen und Betriebskosten verringern	Energetische Simulation mittels zwei Anwendungen (BKI Energieberater, Passivhaus-Projektierungspaket PHPP 2007). Ökobilanzierung mittels eigens entwickeltem Tool. Nachhaltigkeitsbewertung mittels LEEDs und DNQ.	Energetische Simulation im Rahmen der EnEV-Nachweis-Verfahren.
	Monitoring: Gebäudeüberwachung und Optimierung einplanen	Daten von zwei Jahren über Betrieb gesammelt; Planungsmethodik wird überprüft und angepasst.	
		Monitoringkonzept ja; Phase: zwei Jahre	kein Monitoringkonzept
	Facility Management: den Betrieb vorausplanen und organisieren	kein FM-Konzept (Facility Management wird als Eigenleistung der Nutzer erbracht)	kein FM-Konzept (Facility Management wird als Eigenleistung der Nutzer erbracht)

Tabelle 43: Bewertung mit Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität DNQ, Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ nach Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

Wenn man die einzelnen Faktoren gleichberechtigt mit jeweils einem Punkt bewerten würde und die Anforderungen mit einer binären erfüllt oder nicht erfüllt Benotung versieht, so ergibt sich folgende Bewertung der beiden Gebäude:

**Bewertung nach DNQ (Diagnosesystem Nachhaltige Gebäudequalität)**

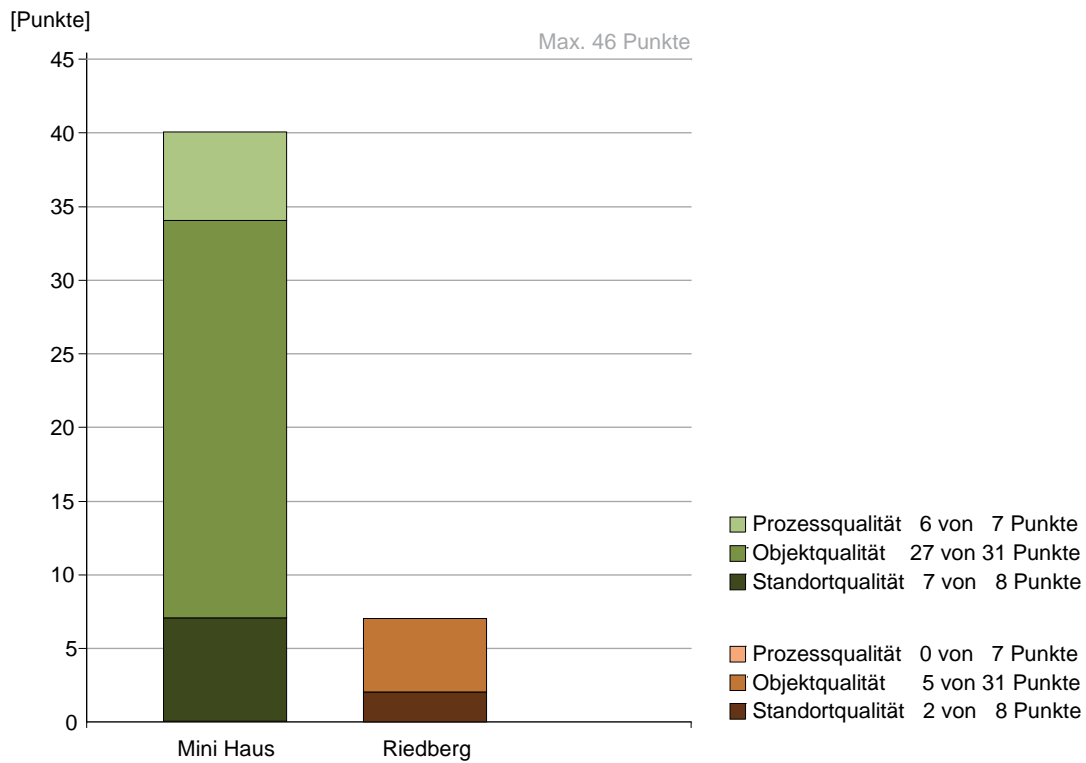


Abbildung 99: vergleichende Bewertung nach DNQ für das Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ nach Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass das DNQ nicht als binäres Bewertungstool aufgebaut ist, sondern vielmehr dem Planer Hinweise geben auf Nachhaltigkeitsziele und Wege aufweisen, wie diese zu erreichen sind.

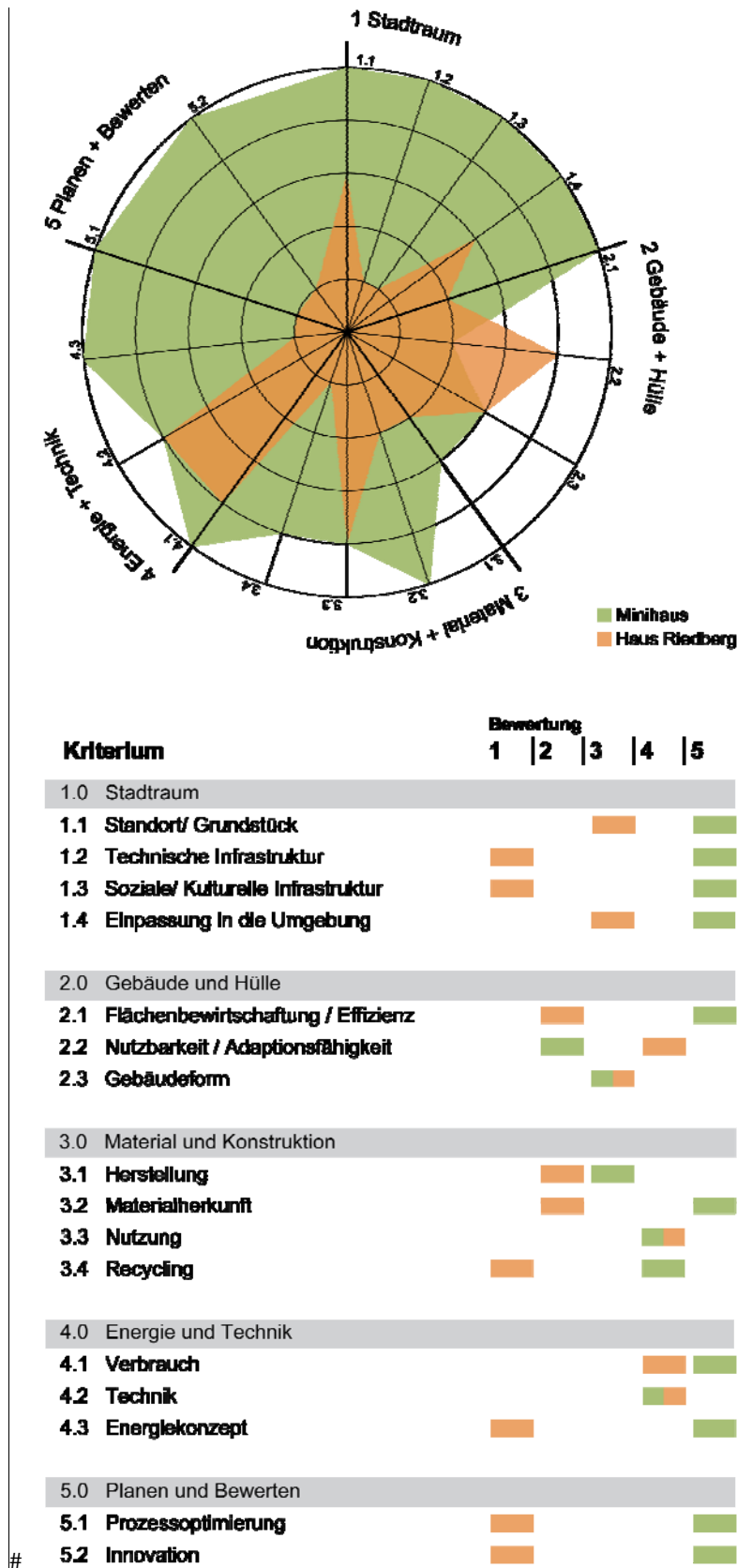


Abbildung 100: vergleichende DNQ-Bewertung für das Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ nach Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.

## 6.5 Vergleich der Nachhaltigkeit der Stadtstrukturen

Durch die Expansion entfernen sich die Siedlungsgebiete immer weiter von der Form und dem Wesen der historischen europäischen Stadt, welche sich in ihrer kompakten Form klar vom dörflichen Raum und der Landschaft abgrenzt.<sup>111</sup> Die historische Stadt ist unter spezifischen meist militärischen Rahmenbedingungen entstanden, die spätestens mit dem Schleifen der barocken Befestigungsanlagen im 18. Jahrhundert weggefallen sind. Trotzdem ist die dichte, kompakte Stadt eine Idealvorstellung, die sich im kulturellen Bewusstsein trotz der jahrzehntelangen Agitation durch die Vertreter der klassischen Moderne gehalten hat. Die Dichte, Vielfältigkeit und Kleinmaßstäblichkeit sind für viele eine Idealvorstellung dessen, was Urbanität auf der Ebene des direkten Erlebens des Stadtraumes bedeutet. Die zugehörige Stadtstruktur kollidiert jedoch mit dem Individualverkehr und der Vorstellung vom Wohnen im Grünen. Die dichte vielfältige Innenstadt führt notwendig zu Überschneidungen von Individualinteressen und Interaktionen.

Neben den Konversions- und Neubaufächen zieht die Stadt auch kleinteilige Grundstücke und Baulücken in Betracht um den Wohnflächenbedarf zu decken. Der Baulückenatlas der Stadt Frankfurt aus dem Jahre 1998 weist Baulücken aus, auf die ca 4.700 Wohneinheiten gebaut werden könnten.<sup>112</sup> Hier sind kleine und mittlere innerstädtische Baufelder erfasst, die groß genug sind für konventionelle Wohngebäude. Nicht erfasst werden Groß- und Konversionsflächen, die Gegenstand eigener Stadtentwicklungsplanungen sind. Auf diesen Flächen ließen sich bereits 10,9% des Gesamtbedarfs (35.000 WE) der nächsten 10 Jahre abbilden. Für die Bebauung von Baulückenflächen gelten auch Maßnahmen zur durchführbaren Verdichtung im Bestand wie An- und Umbau, Aufstockung, Umnutzung, Hofbebauung u.ä. Da die Erschließung und Bebauung dieser Flächen unter Umständen größere planerische Anstrengungen, bauliche Sonderlösungen und eine Aufgeschlossenheit bei Landeignern und Behörden erfordert, müssen gezielt Anreize geschaffen werden, um diese Lösungen zu fördern.<sup>113</sup>

Die Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes im städtebaulichen Konsens eröffnet die Frage nach konkret messbaren und zu bewertenden Kennwerten des Städtebaus, die den übergeordneten Themengebieten wie Gesellschaft, Ökologie oder Wirtschaftlichkeit zugewiesen werden können. Solche Kennwerte sind nur in einigen wenigen Aspekten des urbanen Netzes von Orten und deren Zusammenhänge wieder zu finden. Konkret messbar kann man Infrastrukturmaßnahmen, Landverbrauch, Versiegelung und notwendiges Verkehrsaufkommen zur Erledigung der Tagesgeschäfte der Nutzer quantifizieren. Fundierte Zahlen zu solchen Aspekten sind jedoch nur selten durch Bedarfs- oder Verbrauchsrechnungen anhand wissenschaftlicher Methoden zu erlangen, sondern im Regelfall durch empirische Studien und Langzeitbeobachtungen.

Ein definierter Bereich der Nachhaltigkeitsbewertung, der gesellschaftlich-soziale stellt hier die übergeordnete Bewertungsrichtlinie dar. Nicht alle Auswirkungen der stadtpolitischen Entscheidungsfindung sind nur für die unmittelbare Anliegerschaft von Bedeutung, sondern sind im größeren Zusammenhang langfristiger sozialer Zusammenhänge zu sehen sind.

---

<sup>111</sup> vgl. Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997, S.7 ff.

<sup>112</sup> vgl. Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt. Stand 07.09.2004, 61.G 12 ff. Zusätzlich Tabellarische Auswertung des Baulückenatlas durch DGJ Architekten (siehe Anhang).

<sup>113</sup> Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003, S. 38. - „Eine Mobilisierung dieser Flächen kann jedoch oft nur mit intensiver personeller und finanzieller Unterstützung durch die Stadt Frankfurt am Main erfolgen.“

## **Anhang A: Quellenverzeichnis / Literaturverzeichnis**

### **Inhaltsverzeichnis**

- Arbeitsgemeinschaft Holz e.V.; Dipl.-Ing. Schmidt, H.: Holzbauhandbuch, Holz im Aussenbereich. Reihe 1 Teil 18 Folge 2, Düsseldorf 2000.
- Architektenkammer Nordrhein-Westfalen - [www.1000-bauluecken.de](http://www.1000-bauluecken.de).
- Archplus: Der Sprawl. 109/110 (Dezember 1991), Aachen 1991.
- BDEW Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. - [www.wasser-macht-schule.com](http://www.wasser-macht-schule.com).
- Brake, Klaus; Einacker, Ingo; Mäding, Heinrich: Kräfte, Prozesse, Akteure – zur Empire der Zwischenstadt, Bd. 3/9. Wuppertal 2005.
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen - [www.bmvbs.de](http://www.bmvbs.de).
- Center for a World in Balance - [www.worldinbalance.net](http://www.worldinbalance.net)
- Deutscher Bundestag - [www.dip.bundestag.de](http://www.dip.bundestag.de).
- Deutscher Bundestag, Referat Öffentlichkeitsarbeit (Hg.): Abschlußbericht der Enquete-Kommission "Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung" des 13. Deutschen Bundestages: Konzept Nachhaltigkeit. Vom Leitbild zur Umsetzung. Berlin 1998.
- eco-bau - [www.bauteilkatalog.ch](http://www.bauteilkatalog.ch).
- El Khouli, Sebastian: Regenerative Energien. Grundlagen für die Entwurfsplanung. Vortrag im Rahmen der 3. Fachtagung „Klimaschutz im Wohnungsbau“, Wiesbaden 29.02.2008.
- Europäische Kommission, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Weniger kann mehr sein – Grünbuch über Energieeffizienz. Luxemburg, 2006.
- Fachgebiet Entwerfen und Energieeffizientes Bauen am Fachbereich Architektur der Technischen Universität Darmstadt; Prof. Hegger, Manfred; Keller, Michael: BUSTER. im Bereich Ökobilanzierung für das vorliegende Forschungsprojekt entwickelte Ökobilanzierungswerkzeug, Darmstadt.
- Fachkommission Bauaufsicht der Bauministerkonferenz (Hg.): Muster-Richtlinie über brandschutztechnische Anforderungen an hochfeuerhemmende Bauteile in Holzbauweise. (M-HFHolzR) Fassung Juli 2004.
- Frauenhofer Informationszentrum Raum und Bau IRB: Kurzberichte aus der Bauforschung. Lebenszyklusbetrachtung und Optimierung von Instandsetzungsprozessen im Wohnungsbau - elife. Heft 2, Jahrgang 49 (2008).
- Friedrich-Ebert-Stiftung - [www.library.fes.de](http://www.library.fes.de).
- Glücklich, Detlef (Hg.): Ökologisches Bauen – Von Grundlagen zu Gesamtkonzepten. München 2005.
- Gould, Stephen Jay: Full House: The Spread of Excellence from Plato to Darwin. 1996.
- Hegger, Manfred; Auch-Schwelk, Volker; Fuchs, Matthias u.a.: Baustoff Atlas. München 2005.
- Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Zeumer, Martin: "Integration vergleichender Nachhaltigkeitskennwerte von Baumaterialien nach Bauteilschichten in einem Baustoff Atlas der DETAIL Atlantenserie". Schlussbericht des Forschungsvorhabens, gefördert unter AZ 23555-25 durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Osnabrück November 2005.
- Hegger, Manfred; Fuchs, Matthias; Dr. Stark, Thomas u.a.: Energie Atlas - Nachhaltige Architektur. München 2007.
- Hegger, Manfred; Studenten des Sommersemesters 2007 und Wintersemesters 2007/2008: Minimum Impact House und Minimum Impact House II, 2000 Watt. Studienarbeiten am Fachgebiet Entwerfen und Energie-Effizientes Bauen, Umdruck der Ergebnisse am Fachgebiet erhältlich, Darmstadt 2007/2008.
- Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung e.V. Heilbronn / Mannheim (Hg); Hautzinger, Heinz; Mayer, Karin: Analyse von Änderungen der Mobilitätsverhalten – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Analyse für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heilbronn 2004.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) - [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)
- Koschenz, Markus; Pfeiffer, Andreas: Potenzial Wohngebäude, Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft. Schweiz, Dübendorf 2005.
- LichtBlick: Selbstauskunft, Hamburg 2008.

## **dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

- Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.
- Magistrat der Stadt Frankfurt (Hg.): statistisches Jahrbuch der Stadt Frankfurt am Main 2006. Umgelegt auf die Stadtgebiet nach Berechnungen DGJ, Frankfurt 2006.
- Office of Climate Change - [www.hm-treasury.gov.uk](http://www.hm-treasury.gov.uk).
- Participant Media, LLC - [prod.takepart.com](http://prod.takepart.com).
- Pohlmann, Cevin Marc: Ökologische Betrachtungen für den Holzbau. Dissertation vorgelegt am Fachbereich Biologie der Universität Hamburg, Hamburg 2002.
- Preetz, Holger: Bewertung von Bodenfunktionen für die praktische Umsetzung des Bodenschutzes. Halle-Wittenberg 2003.
- Puente, Antonio - [www.eds-destatis.de](http://www.eds-destatis.de).
- Quack, Dietlinde: Einfluss von Energiestandard und konstruktiven Faktoren auf die Umweltauswirkungen von Ökobilanz, Demonstrationsprojekt: Niedrigenergiehäuser in Heidenheim. Dissertation vorgelegt an der RWTH Aachen, Freiburg 2001.
- Raumordnungsgesetz. (ROG) § 2 Abs. 2, Nr. 8.
- Scheuer, Chris W.; Keoleian, Gregory A., Center for Sustainable Systems University of Michigan: Evaluation of LEEDTM Using Life Cycle Assessment Methods. Prepared for: Barbara C. Lippiatt, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, Ann Arbor. Michigan 2002.
- Schmitz, Heinz; Gerlach, Reinhard; Meisel, Ulli: Baukosten, Periswertes Bauen von Ein- und Mehrfamilienhäusern. Essen 2006.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006.
- SIA (Hg.): Nachhaltiges Bauen – Hochbau Ergänzungen zum Leistungsmodell SIA 112. Zürich 2004.
- Sieverts, Thomas: Zwischenstadt – zwischen Ort und Welt, Raum und Zeit, Stadt und Land. Wiesbaden 1997.
- Frankfurt. Stand 07.09.2004. Frankfurt. Stand 07.09.2004.
- Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt. Stand 07.09.2004.
- Statistisches Bundesamt (Hrsg.) In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftszentrum Berlin und dem Zentrum Methoden und Analysen, Mannheim (ZUMA) - [www.destatis.de](http://www.destatis.de).
- Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.
- TRESPA International BV (Hg.); van der Wall, W.: LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) VON TRESPA, LCA ACCORDING TO NEN 8006:2004 OF, TRESPA METEON PANELS, MRPI-file of TRESPA October 2006. Amsterdam 2007.
- Umweltbundesamt Dessau - [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de); [www.umweltbundesamt-umweltdeutschland.de/umweltdaten/](http://www.umweltbundesamt-umweltdeutschland.de/umweltdaten/); [www.env-it.de/umweltdaten/](http://www.env-it.de/umweltdaten/).
- Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden. (Energieeinsparverordnung – EnEV) BGBl. I S. 3146, 2. Fassung, 2004.
- Von Carlowitz, Hans Carl: Sylvicultura Oeconomica: Hauswirtschaftliche Nachricht und Naturmässige Anweisung zur Wilden Baum-Zucht. Freiburg 2000.
- Wilson, Edward Oswald: The Diversity of Life. 1992.

## **Anhang B: Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Energieverbrauch nach Sektoren (Gebäudebereich Rot), Anteile für Europa, Stand 2002, Zahlen für Deutschland korrespondieren, Quelle: Europäische Kommission, Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften: Weniger kann mehr sein - Grünbuch über Energieeffizienz. Luxemburg 2006.....	11
Abbildung 2: Abfallaufkommen (einschließlich gefährlicher Abfälle) .....	12
Abbildung 3: Schnitt Außenwandaufbau Minimum Impact Haus, o. M. , Quelle: DGJ.....	22
Abbildung 4: Grundriss Außenwandaufbau Minimum Impact Haus, o. M. , Quelle: DGJ.....	23
Abbildung 5: Anteile am Energieverbrauch in den Modulen beim Minimum Impact Haus und Haus Riedberg (Wärme, Kälte, Luft, Licht, Strom) , Quelle: DGJ .....	27
Abbildung 6: Anteile der Wärmeverluste nach Bauteilgruppen, Quelle: DGJ.....	29
Abbildung 7: Darstellung Wärmeverluste im Monatsverfahren, ermittelt mit dem Passivhaus Projektierungspaket PHPP 2007 für den Prototypen, Quelle: DGJ .....	30
Abbildung 8: Vergleich Treibhauspotential [kgCO <sub>2</sub> ] verschiedener Energieträger des Minihauses, Quelle: DGJ .....	33
Abbildung 9: Vergleich Primärenergie-Summe [kWh/m <sup>2</sup> a] aufgeteilt in PEI nicht erneuerbar/ PEI erneuerbar verschiedener Energieträger des Minihauses, Quelle: DGJ .....	33
Abbildung 10: Anteile in % der CO <sub>2</sub> -Belastung durch Strom des Minihauses, Quelle: DGJ.....	36
Abbildung 11: Anteile in kWh/Jahr am Energieverbrauch der Elektrischen Verbraucher des Minihauses, Quelle: DGJ .....	36
Abbildung 12: Schnitt Abwassersystem Minimum Impact Haus, o. M. , Quelle: DGJ.....	39
Abbildung 13: Übersicht Bilanzräume, Quelle: DGJ.....	51
Abbildung 14: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ .....	51
Abbildung 15: Bilanzraum 2. Betrieb, Quelle: DGJ .....	52
Abbildung 16: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ.....	52
Abbildung 17: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ.....	53
Abbildung 18: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ .....	53
Abbildung 19: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ.....	54
Abbildung 20: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ.....	54
Abbildung 21: Auszug aus der Baustoffkennwerttabelle, Quelle: DGJ.....	56
Abbildung 22: Emissionen von Kohlendioxid nach Quellgruppen, Quelle: Umweltbundesamt, Stand Juli 2007.....	59
Abbildung 23: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ .....	62
Abbildung 24: Sachbilanz Modul 1: Herstellung; Kategorie Masse, Quelle: DGJ .....	63
Abbildung 25: Sachbilanz Modul 1: Herstellung; Kategorie: Volumen der verbrauchten Materialien, Quelle: DGJ.....	64
Abbildung 26: Bilanzraum 2. Betrieb, Quelle: DGJ .....	65
Abbildung 27: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ.....	67
Abbildung 28: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ.....	69
Abbildung 29: Entwicklung der Verkehrsleistung (Pkm/Tag) für unterschiedliche Raumtypen, Quelle: Institut für angewandte Verkehrs- und Tourismusforschung: Analyse von Änderungen der Mobilitätsverhalten – insbesondere der Pkw-Fahrleistung – als Reaktion auf geänderte Kraftstoffpreise. Analyse für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Heilbronn 2004.....	71
Abbildung 30: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ .....	72
Abbildung 31: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ.....	73
Abbildung 32: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ.....	74
Abbildung 33: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ .....	76
Abbildung 34: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ .....	77
Abbildung 35: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	78
Abbildung 36: Wirkungsabschätzung Modul 1: Herstellung; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	79
Abbildung 37: Bilanzraum 1. Herstellung, Quelle: DGJ .....	80
Abbildung 38: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	81
Abbildung 39: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Strommix, Quelle: DGJ82	
Abbildung 40: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ .....	83
Abbildung 41: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Strommix, Quelle: DGJ.....	84
Abbildung 42: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	85
Abbildung 43: Wirkungsabschätzung Modul 2: Betrieb; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Strommix, Quelle: DGJ.....	86
Abbildung 44: Bilanzraum 3. Instandhaltung, Quelle: DGJ.....	87
Abbildung 45: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ....	88
Abbildung 46: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ .....	89

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Abbildung 47: Wirkungsabschätzung Modul 3: Instandhaltung; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	90
Abbildung 48: Bilanzraum 4. Mobilität, Quelle: DGJ.....	91
Abbildung 49: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	92
Abbildung 50: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	93
Abbildung 51: Wirkungsabschätzung Modul 4: Mobilität; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	94
Abbildung 52: Bilanzraum 5. Rückbau, Quelle: DGJ.....	95
Abbildung 53: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	96
Abbildung 54: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	97
Abbildung 55: Wirkungsabschätzung Modul 5: Rückbau; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	98
Abbildung 56: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie gesamt, Quelle: DGJ.....	102
Abbildung 57: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	103
Abbildung 58: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	103
Abbildung 59: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	105
Abbildung 60: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	105
Abbildung 61: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	109
Abbildung 62: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	109
Abbildung 63: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Ozonabbau ODP, Quelle: DGJ.....	111
Abbildung 64: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie: Ozonabbau ODP, Quelle: DGJ.....	111
Abbildung 65: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Versauerung AP, Quelle: DGJ.....	113
Abbildung 66: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie: Versauerung AP, Quelle: DGJ.....	113
Abbildung 67: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Überdüngung EP, Quelle: DGJ.....	115
Abbildung 68: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Überdüngung EP, Quelle: DGJ.....	115
Abbildung 69: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Sommersmog POCP, Quelle: DGJ.....	117
Abbildung 70: Aufschlüsselung der Werte der Herstellung; Wirkungskategorie Sommersmog POCP, Quelle: DGJ.....	117
Abbildung 71: Bilanzraum 6. Infrastruktur, Quelle: DGJ.....	118
Abbildung 72: Bilanzraum 7. Landverbrauch, Quelle: DGJ.....	118
Abbildung 73: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche, Quelle: Statistisches Bundesamt, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, 2007.....	123
Abbildung 74: Zunahme der Wohnbauflächen aufgrund der Zunahme des Wohnungsbestandes, Quelle: Umweltbundesamt Dessau, Umweltdaten Online, <a href="http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277">http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277</a> , Stand Juli 2008.....	124
Abbildung 75: Zuwachs des Wohnungsbestandes durch Wohnungsbau, Quelle: Umweltbundesamt Dessau, Umweltdaten Online, <a href="http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277">http://www.umweltbundesamt-umwelt-deutschland.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2277</a> , Stand Juli 2008.....	124
Abbildung 76: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie nicht erneuerbar, Quelle: DGJ.....	130
Abbildung 77: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie: Primärenergie erneuerbar, Quelle: DGJ.....	131
Abbildung 78: Wirkungsabschätzung Modul 1 - 5; Wirkungskategorie Treibhauspotential GWP, Quelle: DGJ.....	132
Abbildung 79: Privathaushalte Frankfurt am Main, Quelle: Magistrat der Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt, Abteilung Stadtentwicklung und Flächennutzung: Bericht zur Stadtentwicklung Frankfurt am Main 2003 (aktuellster Stand bis 2007). Frankfurt am Main 2003.....	136
Abbildung 80: Wohnflächenkonsum in Frankfurt am Main, Quelle: DGJ.....	137
Abbildung 81: Bauflächenentwicklung Frankfurt am Main. - Stadtplanungsamt der Stadt Frankfurt am Main, Quelle: DGJ.....	140
Abbildung 82: Bauflächenentwicklung im Verhältnis zur Bevölkerungsentwicklung, Quelle: DGJ.....	141
Abbildung 83: Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Quelle: Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.....	142
Abbildung 84: Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Quelle: Statistisches Bundesamt (Hg.); Schoer, Karl; Buyny, Sarka; Flachmann, Christine u.a.: Umweltökonomische Gesamtrechnungen (UGR). Die Nutzung von Umweltressourcen durch die Konsumaktivitäten der privaten Haushalte, Ergebnisse der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 1995 – 2004, Wiesbaden 2006.....	142
Abbildung 85: Energieverbrauch in Abhängigkeit zur Bevölkerungsdichte, Quelle: Newman und Kenworthy, 1989.....	143
Abbildung 85: Frankfurt Riedberg – Nutzungsplan (Parzellen), Quelle: DGJ.....	144
Abbildung 86: Baulückenkarte nach Baulückenatlas der Stadt Frankfurt, Quelle: DGJ.....	151
Abbildung 87: Stadtteile von Frankfurt, Quelle: Stadt Frankfurt am Main, Dezernat Planung und Sicherheit, Stadtplanungsamt: Baulückenatlas der Stadt Frankfurt. Stand 07.09.2004.....	153
Abbildung 88: Betrachtungsraum Innenstadt von Frankfurt, Untersuchtes Gebiet (entspricht 1,70 % der grauen Fläche) Hochrechnung des genau untersuchten Gebietes auf die stark besiedelten Innenstadtgebiete, Quelle: DGJ.....	156
Abbildung 90: Untersuchtes Gebiet in Stadtbezirk Nordend/Bornheim, Baulücken für Minihäuser, Quelle: DGJ.....	157



## **dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**

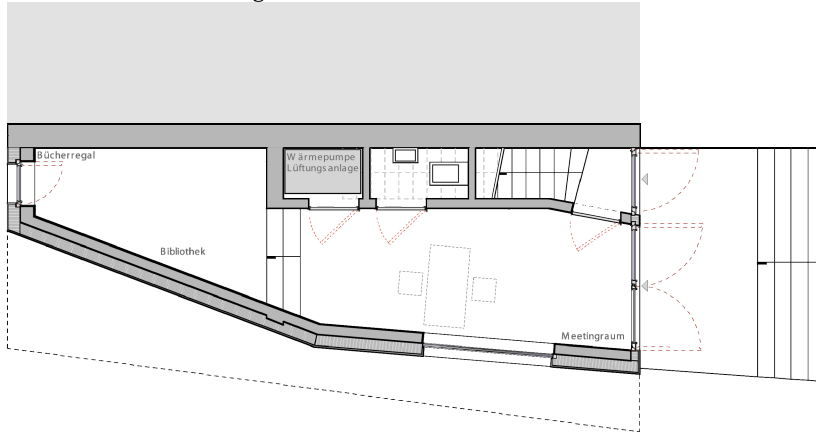
Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

Abbildung 91: Potential Nachverdichtung der Baulücken in Frankfurt am Main, Quelle:DGJ .....	159
Abbildung 90: Vergleich der Leistungsabschätzungen, Quelle: DGJ nach Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006.....	183
Abbildung 91: Graphische Auswertung und Vergleich der Kriterien-Liste des LEEDs Zertifizierungssystem ausgefüllt, für den Prototypen Minimum Impact Haus und das Vergleichsobjekt Haus Riedberg, Quelle: DGJ.....	188
Abbildung 92: Schnittmengen der Nachhaltigkeitskriterien, Quelle Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Hrsg.): Empfehlung SIA 112/1. Nachhaltiges Bauen – Hochbau. Zürich 2006.....	189
Abbildung 93: vergleichende Bewertung nach DNQ für das Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ.....	199
Abbildung 94: vergleichende DNQ-Bewertung für das Minimum Impact Haus und Haus Riedberg, Quelle: DGJ .....	200

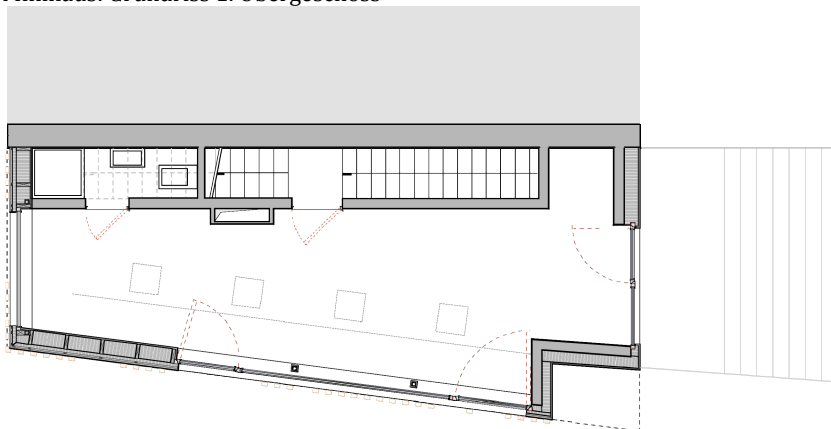
## Anhang C: Darstellungen der Vergleichsobjekte

Pläne Minihaus o.M.

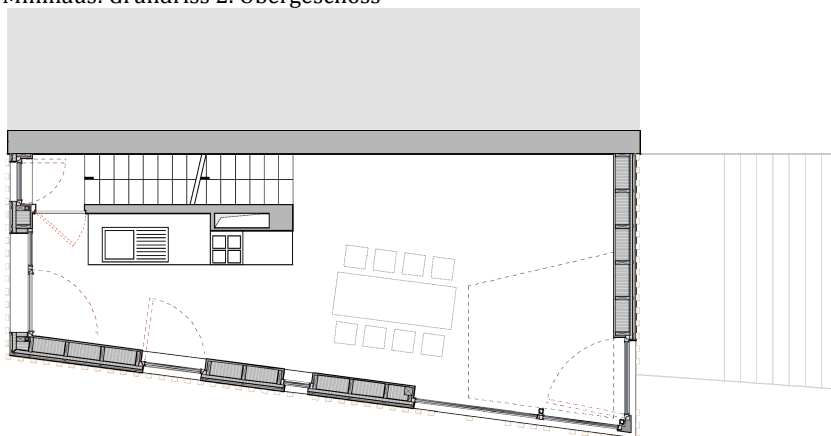
Minihaus: Grundriss Erdgeschoss



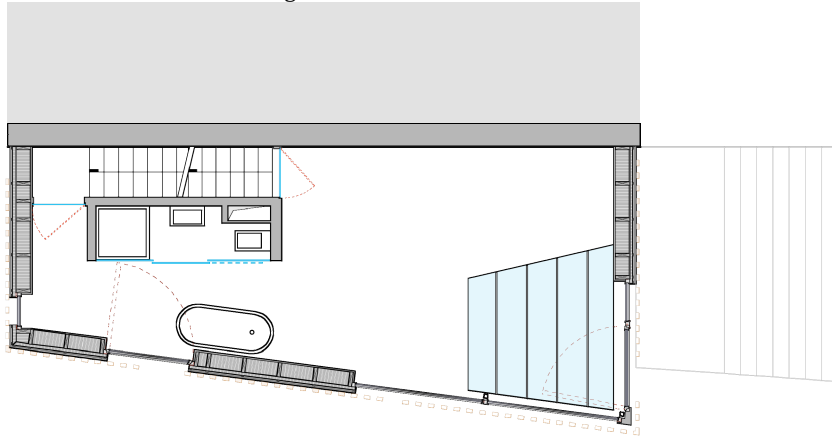
Minihaus: Grundriss 1. Obergeschoss



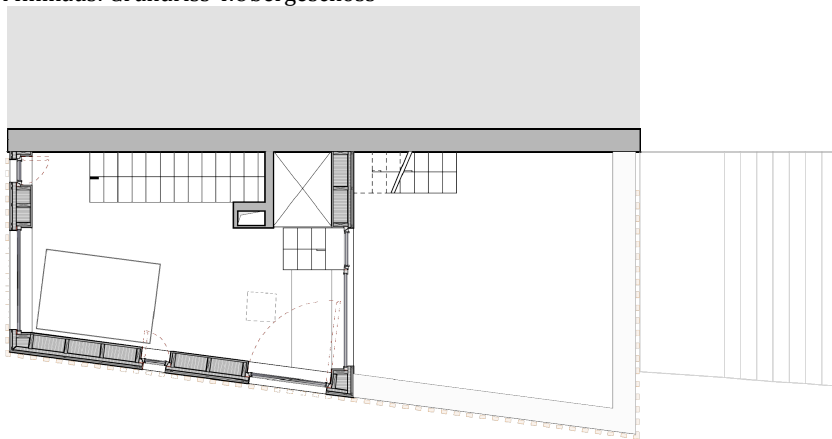
Minihaus: Grundriss 2. Obergeschoss



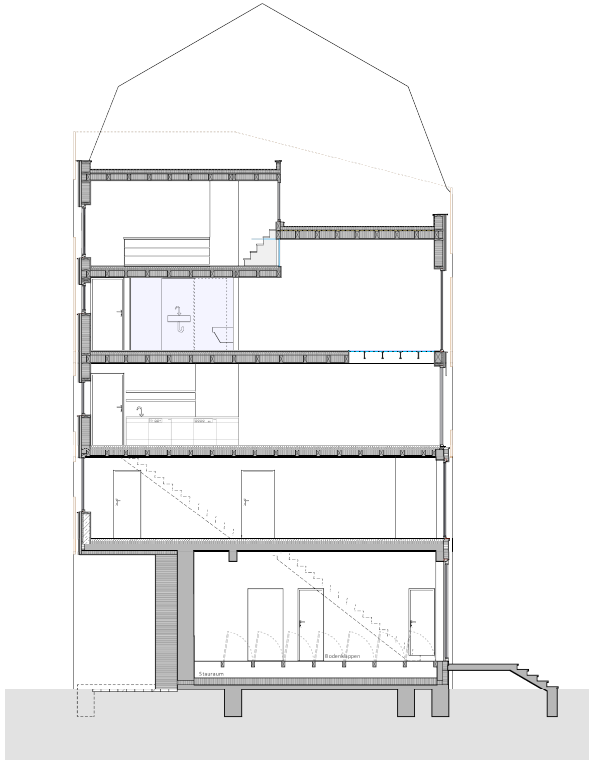
Minihaus: Grundriss 3.Obergeschoss



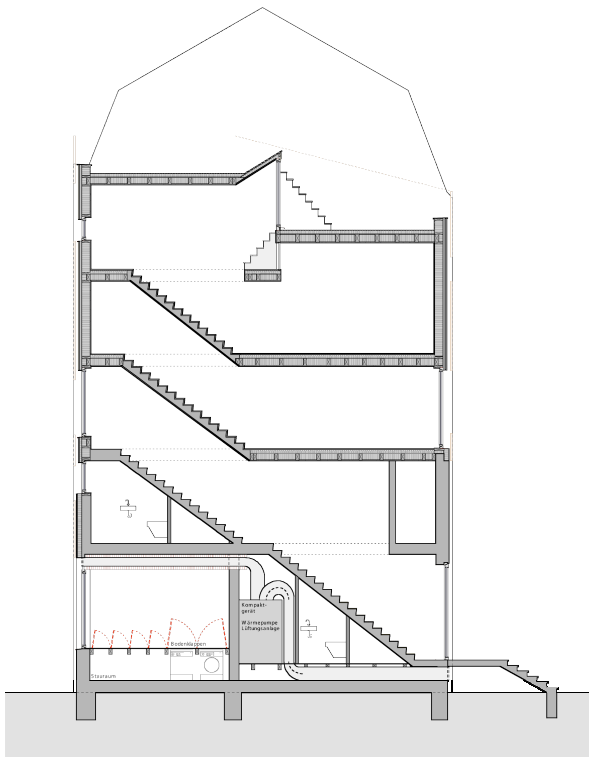
Minihaus: Grundriss 4.Obergeschoss



Minihaus Ansichten



Minihaus: Schnitt 1

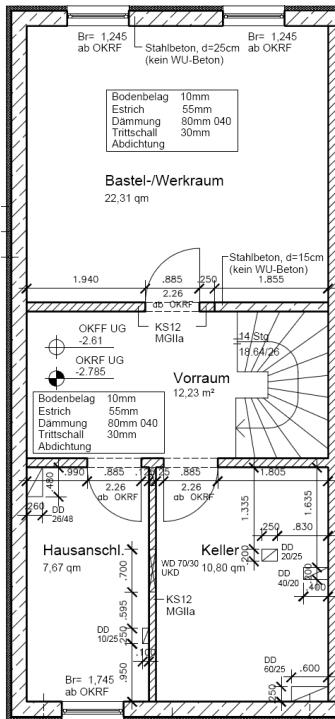


Minihaus Schnitt 2

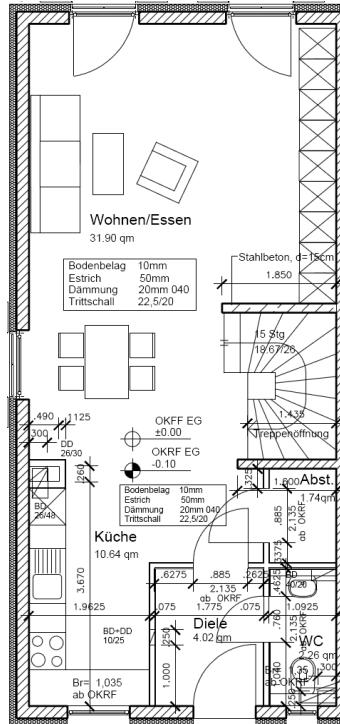


Pläne: Haus Riedberg o.M.

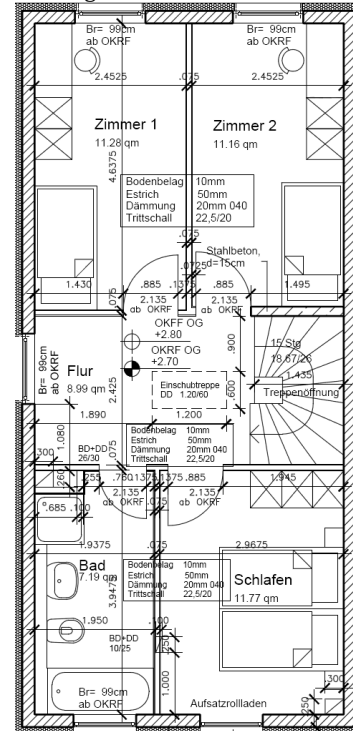
**Kellergeschoss**



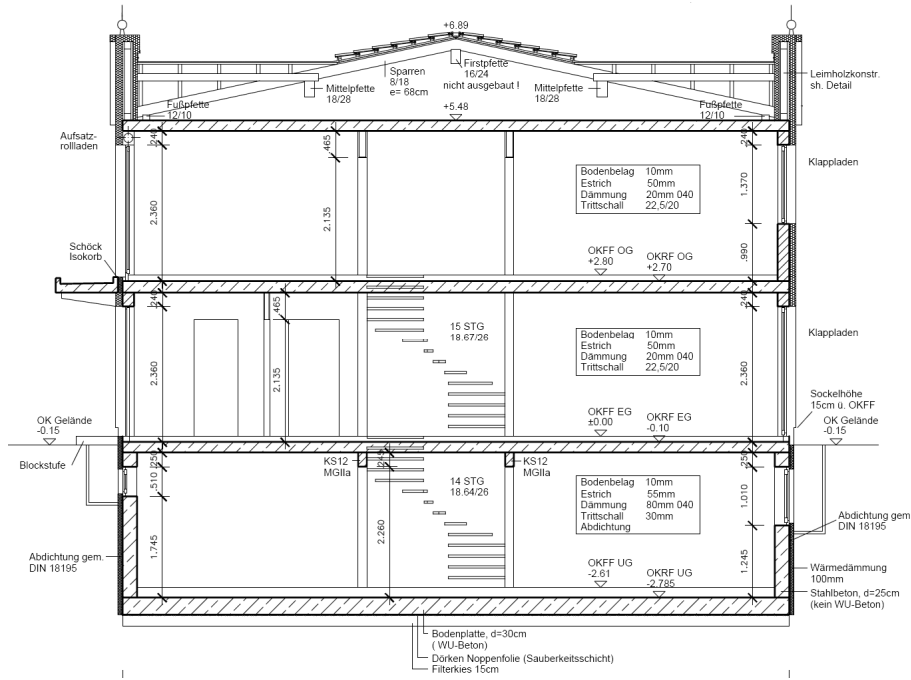
**Erdgeschoss**



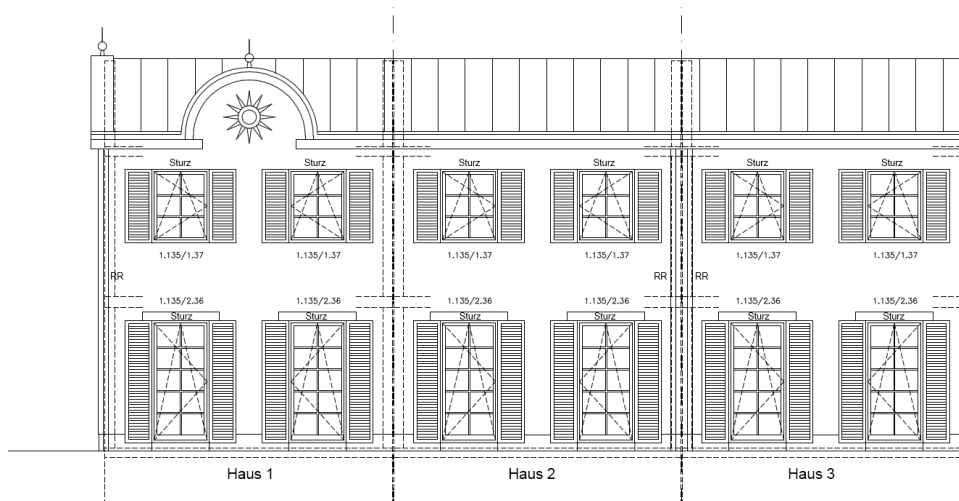
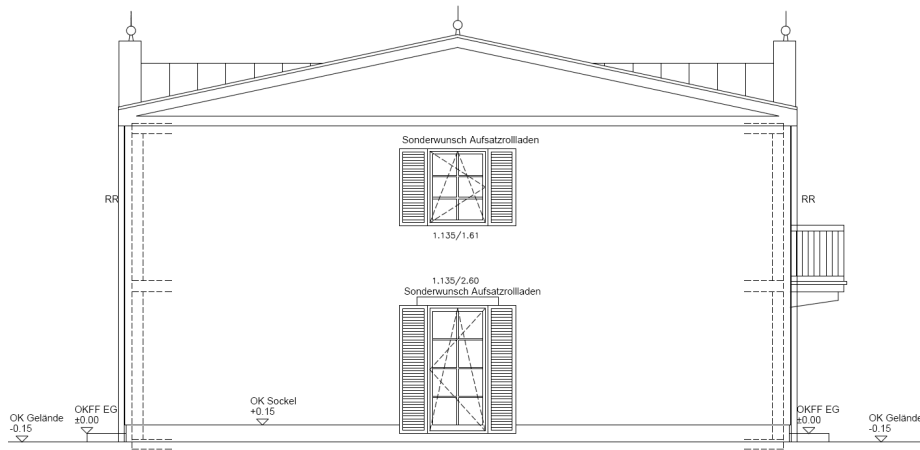
**1. Obergeschoss**



**dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps**  
 Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt



Haus Riedberg: Schnitt



Haus Riedberg: Ansichten

## Anhang D: Datenblätter PHPP

Auszug der Berechnungen mit PHPP - Minihaus:

### Passivhaus Nachweis



Objekt:	Minimum Impact House		
Standort und Klima:	Frankfurt Sachsenhausen		Frankfurt
Straße:	Walter Kolb Straße		
PLZ/Ort:	D-60594 Frankfurt		
Land:	Deutschland/Hessen		
Objekt-Typ:	Wohngebäude		
Bauherr(en):	Dipl. Arch. ETH Hans Drexler		
Straße:	Schaumainkai 3		
PLZ/Ort:	D-60594 Frankfurt		
Architekt:	Dipl. Arch. ETH Hans Drexler		
Straße:	Schaumainkai 3		
PLZ/Ort:	D-60594 Frankfurt		
Haustechnik:			
Straße:			
PLZ/Ort:			
Baujahr:	2007		
Zahl WE:	2		
Umbautes Volumen $V_0$ :	645,0	m <sup>3</sup>	
Personenzahl:	5,9		
Innentemperatur:	20,0	°C	
Interne Wärmequellen:	2,1	W/m <sup>2</sup>	

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche			
Energiebezugsfläche:	206,40	m <sup>2</sup>	
Verwendet:	Monatsverfahren		PH-Zertifikat: Erfüllt?
<b>Energiekennwert Heizwärme:</b>	<b>13,5</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>15 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Drucktest-Ergebnis:</b>	<b>0,22</b>	<b>h<sup>-1</sup></b>	0,6 h <sup>-1</sup> <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung, Hilfs- u. Haushalts-Strom):	<b>33</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	120 kWh/(m <sup>2</sup> a) <input checked="" type="checkbox"/>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung und Hilfsstrom):	<b>11</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	
<b>Primärenergie-Kennwert</b> Einsparung durch solar erzeugten Strom:		<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	
<b>Heizlast:</b>	<b>10,0</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	

Übertemperaturhäufigkeit: **10,8%** über **28** °C

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV			
Nutzfläche nach EnEV:	206,4	m <sup>2</sup>	
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung und Hilfsstrom):	<b>11,4</b>	<b>kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	<b>40 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b> <input checked="" type="checkbox"/>
			Anforderung: Erfüllt?

Wir versichern, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit PHPP liegen bei.

Ausgestellt am:

gezeichnet:



## Passivhaus-Projektierung

### ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <b>Frankfurt (Region 12)</b>		Innentemperatur: <b>20,0</b> °C	
Objekt: <b>Minimum Impact House</b>		Gebäudetyp/Nutzung: <b>Wohngebäude</b>	
Standort: <b>Frankfurt Sachsenhausen</b>		Energiebezugsfläche A <sub>EB</sub> : <b>206,4</b> m <sup>2</sup>	Standard-Personenbelegung: <b>5,9</b> Pers pro m <sup>2</sup> Energiebezugsfläche

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f <sub>i</sub>	G <sub>i</sub> kWh/a	Summe kWh/a	Energiebezugsfläche kWh/(m <sup>2</sup> a)
1. Außenwand Außenluft	A	191,2	0,126	1,00	76,4	1843	
2. Außenwand Erdreich	B			0,61			
3. Dach/Decken Außenluft	D	41,0	0,113	1,00	76,4	355	
4. Bodenplatte	B	31,4	0,111	0,61	76,4	162	
5.	A			1,00			
6.	A			1,00			
7.	X			0,90			
8. Fenster	A	95,2	0,631	1,00	76,4	4591	
9. Außentür	A			1,00			
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A	104,7	0,000	1,00	76,4	2	
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P			0,61			
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	6,1	0,230	0,61	76,4	65	
Summe aller Hüllflächen		358,8					

<b>Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub></b>	Summe	7018	34,0
---	-------	------	------

<b>Lüftungsanlage:</b>	wirksames Luftvolumen V <sub>L</sub>	206,4	lichte Raumhöhe	2,50	516,0		
effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung	η <sub>eff</sub>	89%					
Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmeübertr.	η <sub>EW</sub>	0%					
energetisch wirksamer Luftwechsel n <sub>L</sub>	n <sub>L,Anlage</sub> 1/h	0,300	Φ <sub>WRG</sub>	0,89	n <sub>L,Rest</sub> 1/h	0,014	0,046

<b>Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub></b>	V <sub>L</sub> m <sup>3</sup>	516	n <sub>L</sub> 1/h	0,046	c <sub>Luft</sub> Wh/(m <sup>3</sup> K)	0,33	G <sub>T</sub> kWh/a	602	2,9
--	-------------------------------	-----	--------------------	-------	---	------	----------------------	-----	-----

<b>Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub></b>	Q <sub>T</sub> kWh/a	7018	Q <sub>L</sub> kWh/a	602	Reduktionsfaktor Nacht-/Wochenendauslenkung	1,0	Summe kWh/a	7619	36,9
--	----------------------	------	----------------------	-----	---	-----	-------------	------	------

<b>Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub></b>	Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	Summe kWh/a	14,0
1. Ost		0,22	0,51	50,52	304	1733	
2. Süd		0,32	0,51	17,50	317	895	
3. West		0,40	0,00	0,00	213	0	
4. Nord		0,13	0,51	27,18	142	263	
5. Horizontal		0,40	0,00	0,00	318	0	

<b>Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub></b>	kh/d	0,024	Länge Heizzeit d/a	205	spezif. Leistung q <sub>I</sub> W/m <sup>2</sup>	2,13	A <sub>EB</sub> m <sup>2</sup>	206,4	2158	10,5
---	------	-------	--------------------	-----	--	------	--------------------------------	-------	------	------

<b>Freie Wärme Q<sub>F</sub></b>	Q <sub>S</sub> + Q <sub>I</sub>	5048	Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten	Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub>	0,66
----------------------------------	---------------------------------	------	-------------------------------------	---------------------------------	------

<b>Wärmegewinne Q<sub>G</sub></b>	Nutzungsgrad Wärmegewinne η <sub>G</sub>	(1 - (Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>5</sup> ) / (1 - (Q <sub>F</sub> / Q <sub>V</sub> ) <sup>6</sup> )	95%
	η <sub>G</sub> * Q <sub>F</sub>	4810	23,3

<b>Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub></b>	Q <sub>V</sub> - Q <sub>G</sub>	2809	14
--------------------------------------	---------------------------------	------	----

Grenzwert	kWh/(m <sup>2</sup> a)	15	Anforderung erfüllt?	ja
-----------	------------------------	----	----------------------	----

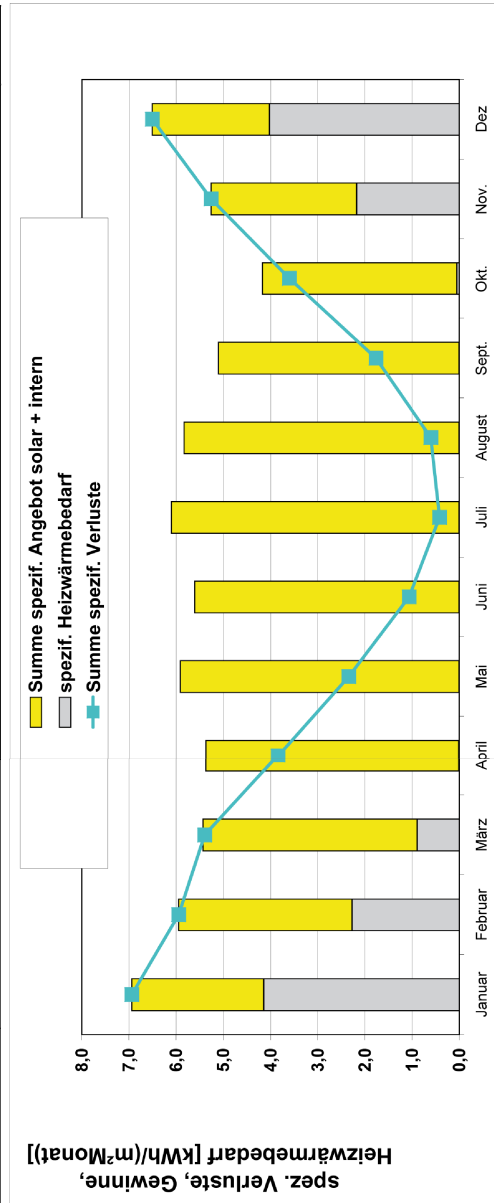
Monatsv

## PASSIVHAUS-PROJEKTIERUNG ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME MONATSVVERFAHREN

Innentemperatur: 20 °C  
 Gebäudev/Nutzung: Wohngebäude  
 Energiebezugsfläche A<sub>0</sub>: 206 m<sup>2</sup>

Klima: Frankfurt  
 Objekt: Minimum Impact House  
 Standort: Frankfurt Sachsenhausen

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez	Jahr
Heizgr. Std. Außen	14,4	12,2	11,0	7,8	4,7	2,1	0,8	1,3	3,7	7,6	11,0	13,5	90
Heizgr. Std. Grund	8,7	8,9	9,7	8,1	6,1	3,4	1,4	0,2	0,3	1,7	3,9	6,5	59
Verluste Außen	1390	1184	1066	753	454	202	79	122	362	735	1086	1311	8725
Verluste Grund	42	43	47	39	30	17	7	1	2	8	19	32	287
Summe spezif. Verluste	6,9	5,9	5,4	3,8	2,3	1,1	0,4	0,6	1,8	3,6	5,3	6,5	43,7
Solare Gewinne Ost	151	282	364	465	516	479	536	512	440	316	194	112	4367
Solare Gewinne Süd	79	147	185	231	253	233	261	253	224	164	103	60	2194
Solare Gewinne West	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solare Gewinne Nord	20	35	62	95	124	129	135	111	74	44	23	14	866
Solare Gewinne Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Innere Wärmequellen	327	295	327	317	327	317	327	327	317	327	317	327	3851
Summe spezif. Angebot st.	2,8	3,7	4,5	5,4	5,9	5,6	6,1	5,8	5,1	4,1	3,1	2,5	54,6
Solarer Ausnutzungsgrad	100%	100%	99%	71%	40%	19%	7%	10%	35%	86%	100%	100%	55%
Heizwärmebedarf	855	468	183	1	0	0	0	0	0	9	449	830	2795
Spezif. Heizwärmebedarf	4,1	2,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	4,0	13,5



Passivhaus-Projektierung  
**STROMBEDARF**

Objekt: Minimum Impact House

Spalte Nr.	Anwendung	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14	
		vorhanden? (1/0)	In der thermischen Hülle? (1/0)	Personen	Wohnfläche	Heizwärmebedarf	Nutzungsfaktor	Häufigkeit	Bezugsgröße	Nutzenergie (kWh/a)	Anteil elektrisch	Anteil nichtelektrisch	solare Anteil an WW	Grenzaufwandszahl Warmwasser	Grenzaufwandszahl Heizung	solare Anteil an WW	Grenzaufwandszahl Warmwasser	Grenzaufwandszahl Heizung	Strombedarf (kWh/a)	Mehr-/Minderbedarf	Grenzaufwandszahl	Wandzahl	solare Deckungsgrad	nichtelektrischer Bedarf (kWh/a)	Primärenergiebedarf (kWh/a)	Primärenergiebedarf (kWh/a)	Primärenergiebedarf (kWh/a)	Primärenergiebedarf (kWh/a)	Primärenergiebedarf (kWh/a)
1	Geschirrspülen	1	1	1,20	1,00	65	5,9 P	460	50%	50%	52%	5,9 P	460	50%	50%	230	0,30	0,23	276	0	0,23	0,52	33	276	1,2	1,2	1,2	1,2	
2	Wärmewasserverschluss	1	1	1,10	1,00	57	5,9 P	370	55%	45%	23%	5,9 P	370	55%	45%	203	0,05	0,23	244	0	0,23	0,52	19	244	1,2	1,2	1,2	1,2	
3	Waschen	1	1	1,10	1,00	57	5,9 P	370	55%	45%	23%	5,9 P	370	55%	45%	203	0,05	0,23	244	0	0,23	0,52	19	244	1,2	1,2	1,2	1,2	
4	Wärmewasserverschluss	1	1	1,10	1,00	57	5,9 P	370	55%	45%	23%	5,9 P	370	55%	45%	203	0,05	0,23	244	0	0,23	0,52	19	244	1,2	1,2	1,2	1,2	
5	Trocknen mit: Kondensationsstrodner	1	1	0,80	0,88	57	5,9 P	235	100%	0%	0%	5,9 P	235	100%	0%	235	0,00	1,00	282	0	1,00	0,66	0	282	1,2	1,2	1,2	1,2	
6	Kühlen oder Gefrieren	0	1	3,13	1,00	365	2 HH	0	100%	100%	0%	2 HH	0	100%	100%	0	0,00	0,26	0	0	0,26	0,66	0	0	0	0	0	0	0
7	Gefrieren	0	1	0,78	1,00	365	2 HH	0	100%	100%	0%	2 HH	0	100%	100%	0	0,00	0,26	0	0	0,26	0,66	0	0	0	0	0	0	0
8	oder Kombination	1	1	1,00	1,00	365	2 HH	730	100%	0%	0%	2 HH	730	100%	0%	730	0,00	0,26	876	0	0,26	0,66	0	876	1,2	1,2	1,2	1,2	
9	Kochen mit Gas	1	1	0,25	1,00	500	5,9 P	737	0%	100%	0%	5,9 P	737	0%	100%	0	0,00	0,26	811	0	0,26	0,66	737	811	1,2	1,2	1,2	1,2	
10	Beleuchtung	1	1	36	1,00	2,90	5,9 P	607	100%	100%	0%	5,9 P	607	100%	100%	607	0,00	0,26	729	0	0,26	0,66	0	729	1,2	1,2	1,2	1,2	
11	Elektronik	1	1	120	1,00	1,00	5,9 P	708	100%	100%	0%	5,9 P	708	100%	100%	708	0,00	0,26	849	0	0,26	0,66	0	849	1,2	1,2	1,2	1,2	
12	Kleingeräte etc	1	1	50	1,00	1,00	5,9 P	295	100%	100%	0%	5,9 P	295	100%	100%	295	0,00	0,26	354	0	0,26	0,66	0	354	1,2	1,2	1,2	1,2	
13	Summe Hilfsstrom							830					830						996					996	1,2	1,2	1,2	1,2	
14	Summe							4972					4972						5480					5480	1,2	1,2	1,2	1,2	
15	Kenwert							18,6					18,6						3,8					3,8	1,2	1,2	1,2	1,2	
16	Empfehlung Maximalwert							18					18						55					55	1,2	1,2	1,2	1,2	

Passivhaus-Projektierung  
 HILFSSTROM

Objekt: Minimum Impact House

		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11							
		Wohnfläche		Heizzeit		Luftvolumen		Wohnungen		Umbaut. Volumen		Laufzeit LA im Winter		Laufzeit LA im Sommer		Luftwechsellrate		Enteisung WT ab		Primärenergiefaktor-Strom		Heizwärmebedarf		Nenn-Wärmeleistung des Kessels		Wärmebedarf TW-Erwärmungsanlage		Ausleg. Vorlauftemperatur	
		206,4 m <sup>2</sup>		205 d		516 m <sup>3</sup>		2 HH		645 m <sup>3</sup>		4,91 kh/a		3,85 kh/a		0,30 h <sup>-1</sup>		°C		1,2 kWh/kWh		14 kWh/(m <sup>2</sup> a)		15 kW		4026 kWh/a		28 °C	
Spalte Nr.		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11							
Anwendung		vorhanden (1/0)		in Wärmetauschender Hülle (1/0)		Normbedarf		Nutzungsfaktor		Betriebsdauer		Bezugsgröße		Strombedarf (kWh/a)		Verfügbarkeit als interne Wärme		genutzt in Zeitraum (kWh/a)		interne Wärmequelle (W)		Primärenergiebedarf (kWh/a)							
<b>Lüftungsanlage</b>		1		1		0,40		0,30		4,9		516		304		im Wärmebereitstellungsgrad enthalten				365									
Lüftung im Winter		1		1		0,40		0,30		3,9		516		238		kein Sommerbeitrag zu inneren WQ				286									
Lüftung im Sommer		0		0		0		1,00		0,2		1		0		1,0 / 4,91 =				0									
Enteisung WT																													
<b>Heizungsanlage</b>								geregelungsregeln (1/0)																					
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe		50		W		1		1																					
Umwälzpumpe		1		0		50		0,8		4,9		1		188		1,0 / 4,91 =				0		226							
Hilfsenergie Kessel Heiz		0		0		55		1,00		0,00		1		0		1,0 / 4,91 =				0		0							
<b>Trinkwarmwasser-Anlage</b>																													
Eingabewert mittl. Leistungsaufnahme d. Pumpe		6		W		6		1,00		4,8		1		29		0,6 / 8,76 =				0		35							
Zirkulationspumpe		1		0		6		1,00		0,0		1		0		1,0 / 4,91 =				0		0							
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe		0		0		56		1,00		0,0		1		0		1,0 / 4,91 =				0		0							
Speicherladepumpe WW		0		0		165		1,00		0,0		1		0		1,0 / 4,91 =				0		0							
Hilfsenergie Kessel WW		0		0		40		1,00		1,8		1		71		0,6 / 8,76 =				0		85							
Eingabewert Nennleistungsaufnahme d. Solarpumpe		1		0		40		1,00		1,0		1		0		1,0 / 8,76 =				0		0							
Hilfsstrom solar		1		0		40		1,00		1,0		1		0		1,0 / 8,76 =				0		0							
Hilfsstrom sonst		0		0		0		1,00		1,0		2		0		1,0 / 8,76 =				0		0							
Hilfsstrom sonst		0		0		0		1,00		1,0		2		0		1,0 / 8,76 =				0		0							
<b>Summe</b>														830						0		996							
<b>Kennwert</b>														4,0								4,8							

durch Wohnfläche dividieren:

## Passivhaus-Projektierung PRIMÄRENERGIEKENNWERT

Objekt: <b>Minimum Impact House</b>		Gebäudetyp/Nutzung: <b>Wohngebäude</b>	
Standort: <b>Frankfurt Sachsenhausen</b>		Energiebezugsfläche $A_{EB}$ : <b>206</b> m <sup>2</sup>	$Q_{H+L}$ : <b>14</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)
		<b>Endenergie</b>	<b>Primärenergie</b>
		kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)
		PE-Kennwert	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent)
		kWh/kWh	g/kWh
<b>Strombedarf (ohne Wärmepumpe)</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	0%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	0%	1,2
			40
Heizung, direktelektrisch	$Q_{H,de}$	0,0	0,0
Warmwasserbereitung, direktelektrisch	$Q_{WW,de}$ (Blatt WW+Verteil, SolarWW)	0,0	0,0
Strombedarf Haushaltsgeräte	$Q_{EH}$ (Blatt Strom)	14,6	17,5
Strombedarf Hilfsstrom		4,0	4,8
<b>Summe Strombedarf (ohne Wärmepumpe)</b>		<b>18,6</b>	<b>22,3</b>
<b>Wärmepumpe</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	0%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	0%	1,2
			40
Energieträger Ergänzungsheizung		Strom	1,2
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	Eigene Berechnung	3,80	
Aufwandszahl Wärmeerzeuger Gesamtsystem	Eigene Berechnung	0,37	
Strombedarf Wärmepumpe (ohne WW Wasch&Spül)	$Q_{WP}$	0,0	0,0
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom)	0,0	0,0
<b>Summe Strombedarf Wärmepumpe</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>Kompaktgerät mit el. Wärmepumpe</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	100%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	100%	1,2
			40
Energieträger Ergänzungsheizung		Strom	1,2
Arbeitszahl Wärmepumpe Winter	(Blatt Kompakt)	3,8	
Arbeitszahl Wärmepumpe Sommer	(Blatt Kompakt)	4,4	
Aufwandszahl Wärmeerzeuger (Nachweis)	(Blatt Kompakt)	0,26	
Aufwandszahl Wärmeerzeuger (Projektierung)	(Blatt Kompakt)	0,26	
Strombedarf Wärmepumpe (ohne WW Wasch&Spül)	$Q_{WP}$ (Blatt Kompakt)	5,4	6,5
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül		0,2	0,3
<b>Summe Kompaktgerät</b>	(Blatt Kompakt)	<b>5,7</b>	<b>6,8</b>
<b>Kessel</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	0%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	0%	1,2
			40
Bauart Wärmeerzeuger	(Blatt Kessel)		
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Blatt Kessel)	0%	
Jahresenergiebedarf (ohne WW Wasch&Spül)	(Blatt Kessel)	0,0	0,0
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom)	0,0	0,0
<b>Summe Heizöl/Gas/Holz</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>Fern-/Nahwärme</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	0%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	0%	0,0
			0
Wärmequelle	(Blatt Fernwärme)		
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Blatt Fernwärme)	0%	
Wärmebedarf Fern-/Nahwärme (ohne WW Wasch&Spül)	(Blatt Fernwärme)	0,0	0,0
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom)	0,0	0,0
<b>Summe Fern-/Nahwärme</b>		<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>Sonstige</b>			
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt)	0%	kWh/kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt)	0%	0,2
			55
Wärmequelle	(Projekt)	Brennholz	
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Projekt)		
Jahresenergiebedarf Heizung		0,0	0,0
Jahresenergiebedarf Warmwasser (ohne WW Wasch&Spül)		0,0	0,0
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom)	0,0	0,0
Nichtelektrischer Bedarf Kochen (Kochgas)	(Blatt Strom)	3,6	3,9
<b>Summe Sonstige</b>		<b>3,6</b>	<b>3,9</b>
<b>Heizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom</b>		27,9	33,1
<b>Gesamt PE-Kennwert</b>		<b>33,1</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Gesamtemission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>		<b>1,9</b>	kg/(m <sup>2</sup> a) (ja/nein)
<b>Primärenergieanforderung</b>		<b>120</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a) <b>ja</b>
<b>Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom (keine Haushaltsanwendungen)</b>		9,5	11,4
<b>PE-Kennwert Haustechnik</b>		<b>11,4</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>Gesamtemission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>		<b>0,4</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)
<b>Solarstrom</b>		kWh/a	PE-Kennwert (eingespart)
<b>projektierte Jahresstromerzeugung</b>		Eigene Berechnung	kWh/kWh
<b>Kennwert</b>		0,7	g/kWh
<b>PE-Kennwert: Einsparung durch erzeugten Solarstrom</b>		kWh/(m <sup>2</sup> a)	250
<b>eingesparte CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Solarstrom</b>		kg/(m <sup>2</sup> a)	

## Passivhaus-Projektierung

### PASSIVHAUS-KOMPAKTGERÄT MIT FORTLUFTWÄRMEPUMPE

(Aufstellung nur innerhalb der thermischen Gebäudehülle)

Objekt: <b>Minimum Impact House</b>	Gebäudetyp/Nutzung: <b>Wohngebäude</b>		
Standort: <b>Frankfurt Sachsenhausen</b>	Energiebezugsfläche $A_{EB}$ :	<b>206</b>	m <sup>2</sup>
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Blatt PE-Kennwert)	<b>100%</b>	
Heizwärmebedarf+Leistungsverluste	$Q_H+Q_{HL}$ : (Blatt WW+Verteil)	<b>2799</b>	kWh
Solarer Deckungsbeitrag an Raumwärme	$\eta_{Solar, H}$ (gesonderte Berechnung)	<b>0%</b>	
<b>Wirksamer Heizwärmebedarf</b>	$Q_{H,Wi}=Q_H*(1-\eta_{Solar, H})$	<b>2799</b>	kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Blatt PE-Kennwert)	<b>100%</b>	
ges. Wärmenachfrage des WW-Systems	$Q_{gWW}$ (Blatt WW+Verteil)	<b>3552</b>	kWh
Solarer Deckungsbeitrag an Warmwasserbereitung	$\eta_{Solar, WW}$ (Blatt SolarWW)	<b>57%</b>	
<b>Wirksamer Warmwasserbedarf</b>	$Q_{WW,Wi}=Q_{gWW}*(1-\eta_{Solar, WW})$	<b>1527</b>	kWh
Primärenergie-Faktor Strom	(Blatt Daten)	<b>1,2</b>	kWh/kWh
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) Strom		<b>40</b>	g/kWh
Arbeitszahl der Wärmepumpe im Winter	$COP_{Winter}$ (Hersteller)	<b>3,8</b>	
Arbeitszahl der Wärmepumpe im Sommer (WW-Betrieb)	$COP_{Sommer}$ (Hersteller)	<b>4,4</b>	
Maximale Wärmeleistung der Wärmepumpe	$P_{WP,max}$ (Hersteller)	<b>10,6</b>	kW
Zahl der Heiztage	$H_t$	<b>113</b>	d
Leistung Warmwasser	$P_{WW}$ (Blatt WW+Verteil)	<b>0,41</b>	kW
Maximale Leistung (WW+Heizlast)	$P_{max} = P_{ww}+P_H$	<b>2,48</b>	kW
Wärmelieferung direktelektrisch	$Q_{E,dir}$	<b>0</b>	kWh/a
Wärmelieferung WP Heizung	$Q_{WP,Heiz}$	<b>2799</b>	kWh/a
Wärmelieferung WP Warmwasser Winter	$Q_{WP,WW,Winter}$	<b>1095</b>	kWh/a
Wärmelieferung WP Warmwasser Sommer	$Q_{WP,WW,Sommer}$	<b>432</b>	kWh/a
<b>Aufwandszahl Wärmeerzeuger WW &amp; Heizung</b>		<b>0,26</b>	
<b>Endenergiebedarf der Wärmebereitstellung</b>	$Q_{End}$	<b>1123</b>	kWh/a
<b>jährlicher Primärenergiebedarf</b>		<b>1348</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)
<b>jährliche Emission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>		<b>45</b>	kg/a
			<b>0,2</b>

Auszug der Berechnungen mit PHPP – Riedberg:

## Passivhaus Nachweis



Objekt:	Parkstadt 2000 RHS Sabina		
Standort und Klima:	Frankfurt		Frankfurt
Straße:			
PLZ/Ort:	D-60437 Frankfurt a. Main - Kalbach		
Land:	Deutschland/Hessen		
Objekt-Typ:	Reihenhaus/Wohnungen		
Bauherr(en):	CKV Grundbesitz Parkstadt 2000 Frankfurt GmbH		
Straße:			
PLZ/Ort:	D-64289 Darmstadt		
Architekt:	architekturbüro ads		
Straße:	Im Schlosspark		
PLZ/Ort:	D-63924 Kleinheubach		
Haustechnik:			
Straße:			
PLZ/Ort:			
Baujahr:	2007		
Zahl WE:	1	Innentemperatur:	20,0 °C
Umbautes Volumen $V_b$ :	614,0 m <sup>3</sup>	Interne Wärmequellen:	2,1 W/m <sup>2</sup>
Personenzahl:	4,0		

Kennwerte mit Bezug auf Energiebezugsfläche			
Energiebezugsfläche:	142,00 m <sup>2</sup>		
Verwendet:	Monatsverfahren	PH-Zertifikat:	Erfüllt?
<b>Energiekennwert Heizwärme:</b>	<b>46 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	15 kWh/(m <sup>2</sup> a)	<input type="checkbox"/>
<b>Drucktest-Ergebnis:</b>	<b>0,22 h<sup>-1</sup></b>	0,6 h <sup>-1</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung, Hilfs- u. Haushalts-Strom):	<b>101 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	120 kWh/(m <sup>2</sup> a)	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung und Hilfsstrom):	<b>81 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>		
<b>Primärenergie-Kennwert</b> Einsparung durch solar erzeugten Strom:	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Heizlast:</b>	<b>27,9 W/m<sup>2</sup></b>		
<b>Übertemperaturhäufigkeit:</b>	<b>0,0%</b>	über	26 °C

Kennwert mit Bezug auf Nutzfläche nach EnEV			
Nutzfläche nach EnEV:	196,5 m <sup>2</sup>		
<b>Primärenergie-Kennwert</b> (WW, Heizung und Hilfsstrom):	<b>58,7 kWh/(m<sup>2</sup>a)</b>	40 kWh/(m <sup>2</sup> a)	<input type="checkbox"/>
		Anforderung:	Erfüllt?

Wir versichern, dass die hier angegebenen Werte nach dem Verfahren PHPP auf Basis der Kennwerte des Gebäudes ermittelt wurden. Die Berechnungen mit PHPP liegen diesem Antrag bei.

Ausgestellt am: \_\_\_\_\_  
gezeichnet: \_\_\_\_\_

## Passivhaus-Projektierung

### ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME

Klima: <b>Frankfurt (Region 12)</b>	Innentemperatur: <b>20,0</b> °C
Objekt: <b>Parkstadt 2000 RHS Sabina</b>	Gebäudetyp/Nutzung: <b>Reihenhaus/Wohnungen</b>
Standort: <b>Frankfurt</b>	Energiebezugsfläche A <sub>EB</sub> : <b>142,0</b> m <sup>2</sup>
	Standard-Personenbelegung: <b>4,0</b> Pers pro m <sup>2</sup>

Bauteile	Temperaturzone	Fläche m <sup>2</sup>	U-Wert W/(m <sup>2</sup> K)	Temp.-faktor f <sub>t</sub>	G <sub>t</sub> kKh/a	kWh/a	Energie- bezugsfläche
1. Außenwand Außenluft	A	52,5	0,337	1,00	76,4	1353	
2. Außenwand Erdreich	B	43,8	0,358	0,44	76,4	525	
3. Dach/Decken Außenluft	D	62,7	0,207	1,00	76,4	990	
4. Bodenplatte	B	61,9	0,314	0,44	76,4	652	
5.	A			1,00			
6.	A			1,00			
7.	X			0,75			
8. Fenster	A	73,1	1,147	1,00	76,4	6403	
9. Außentür	A			1,00			
10. Wbrücken außen (Länge/m)	A	147,1	0,198	1,00	76,4	2230	
11. Wbrücken Perimeter (Länge/m)	P			0,44			
12. Wbrücken Boden (Länge/m)	B	11,7	0,230	0,44	76,4	90	
Summe aller Hüllflächen		294,0					kWh/(m <sup>2</sup> a)

**Transmissionswärmeverluste Q<sub>T</sub>** Summe **12244** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Lüftungsanlage:	wirksames Luftvolumen V <sub>L</sub>
effektiver Wärmebereitstellungsgrad der Wärmerückgewinnung	η <sub>eff</sub> <b>0%</b>
Wärmebereitstellungsgrad des Erdreichwärmeübertr.	η <sub>EWRT</sub> <b>0%</b>

energetisch wirksamer Luftwechsel n<sub>L</sub> =  $\frac{V_L}{V} \cdot \eta_{eff} \cdot \eta_{EWRT}$  =  $0,347 \cdot (1 + 0,00) = 0,347$  1/h

**Lüftungswärmeverluste Q<sub>L</sub>** Summe **3102** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Summe Wärmeverluste Q<sub>V</sub>** Summe **15345** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Ausrichtung der Fläche	Reduktionsfaktor vgl. Blatt Fenster	g-Wert (senkr. Einstr.)	Fläche m <sup>2</sup>	Globalstr. Heizzeit kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/a
1. Ost	0,52	0,60	4,78	210	312
2. Süd	0,57	0,60	57,81	352	6943
3. West	0,40	0,00	0,00	213	0
4. Nord	0,49	0,60	10,51	131	400
5. Horizontal	0,40	0,00	0,00	318	0
Summe					7655

**Wärmeangebot Solarstrahlung Q<sub>S</sub>** Summe **7655** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Interne Wärmequellen Q<sub>I</sub>** Summe **1464** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Freie Wärme Q<sub>F</sub> = Q<sub>S</sub> + Q<sub>I</sub> = **9119** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Verhältnis Freie Wärme zu Verlusten Q<sub>F</sub> / Q<sub>V</sub> = **0,59**

Nutzungsgrad Wärmegewinne η<sub>G</sub> =  $(1 - (Q_F / Q_V)^5) / (1 - (Q_F / Q_V)^6)$  = **97%**

**Wärmegewinne Q<sub>G</sub>** Summe **8832** kWh/(m<sup>2</sup>a)

**Heizwärmebedarf Q<sub>H</sub>** Summe **46** kWh/(m<sup>2</sup>a)

Grenzwert **15** kWh/(m<sup>2</sup>a) Anforderung erfüllt? **nein**



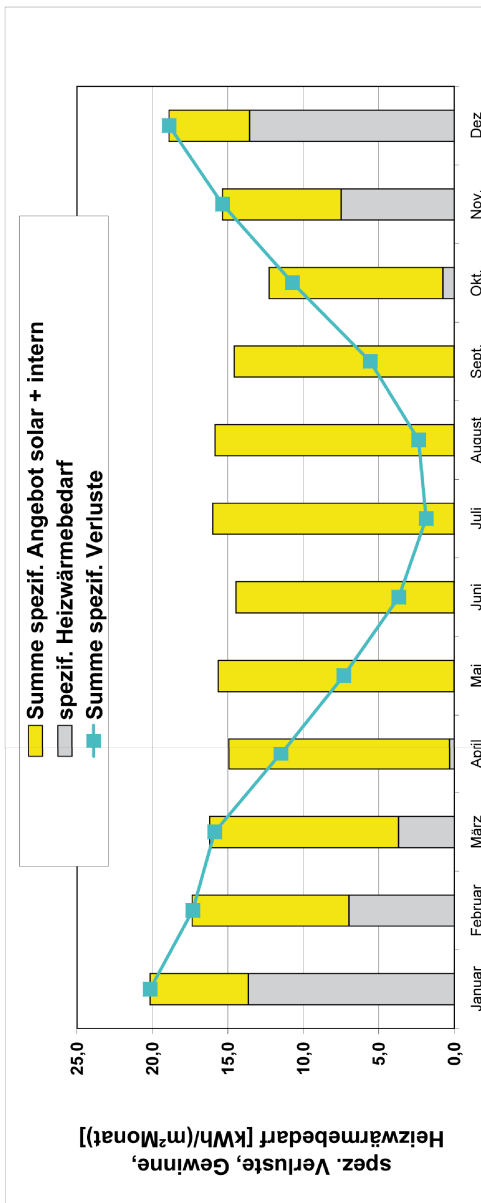
Monatsv

## PASSIVHAUS-PROJEKTIERUNG ENERGIEKENNWERT HEIZWÄRME MONATSVERFAHREN

Klima: Frankfurt  
 Objekt: Parkstadt 2000 R15 Sabina  
 Standort: Frankfurt

Innentemperatur: 20 °C  
 Gebäudefläche/Nutzung: Reihenhaus/Wohnungen  
 Energiebezugsfläche A<sub>EP</sub>: 142 m<sup>2</sup>

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Heizgr. Std. Außen	14,4	12,2	11,0	7,8	4,7	2,1	0,8	1,3	3,7	7,6	11,0	13,5	90
Heizgr. Std. Grund	5,7	5,5	6,0	5,3	4,6	3,6	3,0	2,6	2,6	3,2	3,9	4,9	51
Verluste Außen	2647	2255	2030	1434	864	385	151	233	690	1399	2031	2497	16617
Verluste Grund	214	206	225	199	175	136	113	99	99	122	148	187	1925
Summe spezif. Verluste	20,2	17,3	15,9	11,5	7,3	3,7	1,9	2,3	5,6	10,7	15,3	18,9	130,6
Solare Gewinne Ost	23	45	72	109	133	130	143	124	89	54	29	15	966
Solare Gewinne Süd	646	1180	1394	1619	1688	1520	1717	1747	1662	1292	838	499	15802
Solare Gewinne West	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solare Gewinne Nord	34	53	91	134	175	187	191	157	106	68	37	25	1260
Solare Gewinne Horiz.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Innere Wärmequellen	222	200	222	215	222	215	222	222	215	222	215	222	2612
Summe spezif. Angebot sol	6,5	10,4	12,5	14,5	15,6	14,5	16,0	15,8	14,6	11,5	7,9	5,4	145,4
Solarer Ausnutzungsgrad	100%	100%	97%	77%	47%	25%	12%	15%	38%	87%	100%	100%	58%
Heizwärmebedarf	1937	988	523	42	1	0	0	0	0	105	1062	1922	6580
spezif. Heizwärmebedarf	13,6	7,0	3,7	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	7,5	13,5	46,3



**Passivhaus-Projektierung**  
**STROMBEDARF**

Objekt: Parkstadt 2000 REIS Sabina

Spalte Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<b>Anwendung</b>	vorhanden? (1/0)	In der thermischen Hülle? (1/0)	Normbedarf	Nutzungsfaktor	Häufigkeit	Bezugsgröße	Nutzenergie (kWh/a)	Anteil elektrisch	Anteil nichtelektrisch	Strombedarf (kWh/a)	Mehr-/Minderbedarf	Grenzaufwand	Deckungsgrad	Primärenergiefaktor: Strom
	1	1	1,10 kWh/Anw	1,00	65 /l(P*a)	4,0 P	286	50%	50%	143	* (1+ 0,30)	1,08	solares	1,2 kWh/Wh
Geschirrspülen	1	1	1,10 kWh/Anw	1,00	65 /l(P*a)	4,0 P	286	50%	50%	143	* (1+ 0,30)	1,08		1,2 kWh/Wh
Wärmewasserverschluss	1	1	0,95 kWh/Anw	1,00	57 /l(P*a)	4,0 P	217	55%	45%	119	* (1+ 0,05)	1,08		1,1 kWh/Wh
Waschen	1	1	0,95 kWh/Anw	1,00	57 /l(P*a)	4,0 P	217	55%	45%	119	* (1+ 0,05)	1,08		1,1 kWh/Wh
Wärmewasserverschluss	1	1	0,00 kWh/Anw	0,88	57 /l(P*a)	4,0 P	0	0%	0%	0		1,00		1,1 kWh/Wh
Trocknen mit:	1	0	0,00 kWh/Anw	0,88	57 /l(P*a)	4,0 P	0	0%	0%	0		1,00		1,1 kWh/Wh
Wäschleine	1	0	0,00 kWh/Anw	0,60	57 /l(P*a)	4,0 P	0	100%	100%	0		1,08		1,1 kWh/Wh
Empfindlich: durch Verdunstung	1	0	0,00 kWh/Anw	0,60	57 /l(P*a)	4,0 P	0	100%	100%	0		1,08		1,1 kWh/Wh
Kühlen	1	1	0,28 kWh/Whd	1,00	365 d/a	1 HH	102	100%	100%	102				1,1 kWh/Wh
Gefrieren	1	0	0,55 kWh/Whd	0,90	365 d/a	1 HH	181	100%	100%	181				1,1 kWh/Wh
oder Kombination	0	1	1,00 kWh/Whd	1,00	365 d/a	1 HH	0	100%	100%	0				1,1 kWh/Wh
Kochen mit	1	1	0,25 kWh/Anw	1,00	500 /l(P*a)	4,0 P	500	100%	100%	500				1,1 kWh/Wh
Strom	1	1		1,00	2,90 kWh/(P*a)	4,0 P	696	100%	0%	696				1,1 kWh/Wh
Beleuchtung	1	1	60 W	1,00	0,55 kWh/(P*a)	4,0 P	176	100%	100%	176				1,1 kWh/Wh
Elektronik	1	1	80 W	1,00	1,00 kWh/(P*a)	4,0 P	200	100%	100%	200				1,1 kWh/Wh
Kleingeräte etc	1	1	50 kWh	1,00	1,00 kWh/(P*a)	4,0 P	200	100%	100%	200				1,1 kWh/Wh
Summe Hilfsstrom							223			223				
<b>Summe</b>							<b>2580 kWh</b>			<b>2340 kWh</b>			<b>288 kWh</b>	<b>3149 kWh/Wh</b>
<b>Kenwert</b>										<b>16,5 kWh/(m²a)</b>			<b>2,2 kWh/(m²a)</b>	<b>22,2 kWh/Wh</b>
<b>Empfehlung Maximalwert</b>										<b>18</b>				<b>55</b>

Passivhaus-Projektierung  
 HILFSSTROM

Objekt: Packstadt 2000 RBS Sabina

		142 m <sup>2</sup>		4,91 kh/a		2,7 kWh/kWh					
		205 d		3,65 kh/a		46 kWh/(m <sup>2</sup> a)					
		355 m <sup>3</sup>		0,35 h <sup>-1</sup>		1,5 kW					
		1 HH		-3,0 °C		308,1 kWh/a					
		614 m <sup>3</sup>				5,5 °C					
1	Wohnfläche	142 m <sup>2</sup>		4,91 kh/a							
2	Heizzeit	205 d		3,65 kh/a							
3	Luftvolumen	355 m <sup>3</sup>		0,35 h <sup>-1</sup>							
4	Wohnungen	1 HH		-3,0 °C							
5	Umbaut. Volumen	614 m <sup>3</sup>									
Spalte Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Anwendung	vorhanden (1/0)	in wärmetauschender Hülle (1/0)	Normbedarf	Nutzungsfaktor	Behaltdauer	Bezugsgröße	Strombedarf (kWh/a)	Verfügbarkeit als interne Wärme	genutzt in Zeitraum (kWh/a)	interne Wärmequelle (W)	Primärenergiebedarf (kWh/a)
Lüftungsanlage											
Lüftung im Winter	0	0	0,00 kWh/m <sup>3</sup>	* 0,35 h <sup>-1</sup>	* 4,9 kh/a	355 m <sup>3</sup>	0	im Wärmebereitstellungsgrad enthalten			0
Lüftung im Sommer	0	0	0,00 kWh/m <sup>3</sup>	* 0,35 h <sup>-1</sup>	* 3,9 kh/a	355 m <sup>3</sup>	0	kein Sommerbeitrag zu inneren WQ			0
Enteisung WT	0	0	320 W	* 1,00	* 0,1 kh/a	1	0	1,0 / 4,91 =			0
Heizungsanlage											
geregelungsregelt (1/0)											
Engabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe			21 W	1							
Umwälzpumpe	1	0	21 W	* 0,8	* 4,9 kh/a	1	79	1,0 / 4,91 =			214
el. Leistungsaufnahme des Kessels bei 30% Last											
Hilfsenergie Kessel Heiz.	1	0	55 W	* 1,00	* 1,47 kh/a	1	81	1,0 / 4,91 =			218
Trinkwarmwasser-Anlage											
Engabewert mittl. Leistungsaufnahme d. Pumpe											
Zirkulationspumpe	1	0	6 W	* 1,00	* 4,8 kh/a	1	29	0,6 / 8,76 =			77
Engabewert Nennleistungsaufnahme d. Pumpe											
Speicherladepumpe WW	0	0	56 W	* 1,00	* 0,2 kh/a	1	0	1,0 / 4,91 =			0
el. Leistungsaufnahme des Kessels bei 100% Last											
Hilfsenergie Kessel WW	1	0	165 W	* 1,00	* 0,2 kh/a	1	34	1,0 / 4,91 =			92
Engabewert Nennleistungsaufnahme d. Solarpumpe											
Hilfsstrom solar	0	1	40 W	* 1,00	* 1,8 kh/a	1	0	0,6 / 8,76 =			0
Hilfsstrom sonst											
Hilfsstrom sonst	0	0	30 kWh/a	* 1,00	* 1,0	1 HH	0	1,0 / 8,76 =			0
Summe							223				601
Kennwert							1,6				4,2
durch Wohnfläche dividieren:											

PHPP 2004, Hilfsstrom

dgj\_071\_MIH\_Forschungsbericht\_es\_2008-08-18-13.8.docx  
 20.08.2008 dx

PHPP 2004, Hilfsstrom

## Passivhaus-Projektierung PRIMÄRENERGIEKENNWERT

Objekt: <b>Parkstadt 2000 RHS Sabina</b>	Gebäudetyp/Nutzung: <b>Reihenhaus/Wohnungen</b>			
Standort: <b>Frankfurt</b>	Energiebezugsfläche $A_{EG}$ : <b>142</b> m <sup>2</sup>			
	$Q_{H+Q_{HL}}$ : <b>47</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)			
	<b>Endenergie</b>	<b>Primärenergie</b>	<b>Emissionen CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	
	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kWh/(m <sup>2</sup> a)	kg/(m <sup>2</sup> a)	
<b>Strombedarf (ohne Wärmepumpe)</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 0%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 0%	1,2	40	
<b>Lüftungsanlage im Hilfsstromblatt nicht berücksichtigt</b>				
Heizung, direktelektrisch	$Q_{1,de}$ 0,0	0,0	0,0	
Warmwasserbereitung, direktelektrisch	$Q_{WW,de}$ (Blatt WW-Verteil. Solar/WW) 0,0	0,0	0,0	
Strombedarf Haushaltsgeräte	$Q_{ZH}$ (Blatt Strom) 14,9	17,9	0,6	
Strombedarf Hilfsstrom	1,6	1,9	0,1	
<b>Summe Strombedarf (ohne Wärmepumpe)</b>	<b>16,5</b>	<b>19,8</b>	<b>0,7</b>	
<b>Wärmepumpe</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 0%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 0%	1,2	40	
Energieträger Ergänzungsheizung	Strom 1,2	1,2	40	
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	Eigene Berechnung 3,20			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger Gesamtsystem	Eigene Berechnung 0,45			
Strombedarf Wärmepumpe (ohne WW Wasch&Spül)	$Q_{WP}$ 0,0	0,0	0,0	
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	0,0	0,0	0,0	
<b>Summe Strombedarf Wärmepumpe</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
<b>Kompaktgerät mit el. Wärmepumpe</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 0%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 0%	1,2	40	
Energieträger Ergänzungsheizung	Strom 1,2	1,2	40	
Arbeitszahl Wärmepumpe Winter	(Blatt Kompakt) 3,3			
Arbeitszahl Wärmepumpe Sommer	(Blatt Kompakt) 2,5			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger (Nachweis)	(Blatt Kompakt) 0,00			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger (Projektierung)	(Blatt Kompakt) 0,00			
Strombedarf Wärmepumpe (ohne WW Wasch&Spül)	$Q_{WP}$ (Blatt Kompakt) 0,0	0,0	0,0	
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	0,0	0,0	0,0	
<b>Summe Kompaktgerät</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
<b>Kessel</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 100%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 100%	1,1	250	
Bauart Wärmeerzeuger	(Blatt Kessel) <b>Brennwertkessel Gas</b>			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Blatt Kessel) 109%			
Jahresenergiebedarf (ohne WW Wasch&Spül)	(Blatt Kessel) 72,1	79,3	18,0	
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom) 2,2	2,4	0,5	
<b>Summe Heizöl/Gas/Holz</b>	<b>74,3</b>	<b>81,7</b>	<b>18,6</b>	
<b>Fern-/Nahwärme</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 0%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 0%	0,7	-70	
Wärmequelle	(Blatt Fernwärme)			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Blatt Fernwärme) 105%			
Wärmebedarf Fern-/Nahwärme (ohne WW Wasch&Spül)	(Blatt Fernwärme) 0,0	0,0	0,0	
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom) 0,0	0,0	0,0	
<b>Summe Fern-/Nahwärme</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
<b>Sonstige</b>				
Anteil Deckung Heizwärmebedarf	(Projekt) 0%	PE-Kennwert kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent) g/kWh	
Anteil Deckung Warmwasserbedarf	(Projekt) 0%	0,2	55	
Wärmequelle	(Projekt) <b>Brennholz</b>			
Aufwandszahl Wärmeerzeuger	(Projekt) 135%			
Jahresenergiebedarf Heizung	0,0	0,0	0,0	
Jahresenergiebedarf Warmwasser (ohne WW Wasch&Spül)	0,0	0,0	0,0	
Nichtelektrischer Bedarf WW Wasch&Spül	(Blatt Strom) 0,0	0,0	0,0	
<b>Nichtelektrischer Bedarf Kochen (Kochgas)</b>	(Blatt Strom) 0,0	0,0	0,0	
<b>Summe Sonstige</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
<b>Heizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom</b>				
		90,8	101,5	19,2
<b>Gesamt PE-Kennwert</b>	<b>101,5</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Gesamtemission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>19,2</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)		(ja/nein)
<b>Primärenergieanforderung</b>	<b>120</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)	<b>ja</b>	
<b>Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom (keine Haushaltsanwendungen)</b>				
		73,7	81,2	18,1
<b>PE-Kennwert Haustechnik</b>	<b>81,2</b>	kWh/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Gesamtemission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>18,1</b>	kg/(m <sup>2</sup> a)		
<b>Solarstrom</b>				
projektierte Jahresstromerzeugung	Eigene Berechnung	kWh/a	PE-Kennwert (eingespart) kWh/kWh	CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor g/kWh
			0,7	250
<b>Kennwert</b>				
PE-Kennwert: Einsparung durch erzeugten Solarstrom		kWh/(m <sup>2</sup> a)		
eingesparte CO <sub>2</sub> -Emissionen durch Solarstrom		kg/(m <sup>2</sup> a)		

## Passivhaus-Projektierung

### AUFWANDSZAHL WÄRMEERZEUGUNG (GAS, ÖL & HOLZ)

Objekt: <b>Parkstadt 2000 RHS Sabina</b>	Gebäudetyp/Nutzung: <b>Reihenhaus/Wohnungen</b>
Standort: <b>Frankfurt</b>	Energiebezugsfläche $A_{EG}$ : <b>142</b> m <sup>2</sup>
Anteil Deckung Heizwärmebedarf (Blatt PE-Kennwert)	<b>100%</b>
Heizwärmebedarf+Leitungsverluste $Q_H+Q_{HL}$ (Blatt WW+Verteil)	<b>6507</b> kWh
Solarer Deckungsbeitrag an Raumwärme $\eta_{Solar, H}$ (gesonderte Berechnung)	
<b>Wirksamer Heizwärmebedarf</b> $Q_{H,WI}=Q_H*(1-\eta_{Solar, H})$	<b>6607</b> kWh
Heizwärmebedarf ohne Leitungsverluste $Q_H$ (Blatt Heizwärmebedarf)	<b>6513</b> kWh
Anteil Deckung Warmwasserbedarf (Blatt PE-Kennwert)	<b>100%</b>
ges. Wärmenachfrage des WW-Systems $Q_{g,WW}$ (Blatt WW+Verteil)	<b>3081</b> kWh
Solarer Deckungsbeitrag an Warmwasserbereitung $\eta_{Solar, WW}$ (Blatt SolarWW)	<b>0%</b>
<b>Wirksamer Warmwasserbedarf</b> $Q_{WW,WI}=Q_{g,WW}*(1-\eta_{Solar, WW})$	<b>3081</b> kWh
Bauart Wärmeerzeuger (Projekt)	<b>Brennwertkessel Gas</b>
Primärenergie-Faktor (Blatt Daten)	<b>1,1</b> kWh/kWh
CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor (CO <sub>2</sub> -Äquivalent)	<b>250</b> g/kWh
Zu Verfügung gestellte Nutzwärme $Q_{Nutz}$	<b>9688</b> kWh/a
max. Heizleistung zur Beheizung des Gebäudes $P_{GB}$ (Blatt Heizlast)	<b>3,96</b> kW
Länge der Heizzeit $t_{HZ}$	<b>3336</b> h
Länge der Trinkwasserperiode $t_{TW}$	<b>8760</b> h
Eingabe von Kennwerten (J) oder Standardwerte (N)	<b>J</b>
Auslegungsleistung $P_{Nenn}$ (Typenschild)	Projekt-Kennwerte: <b>15</b> kW Standardwerte: <b>15</b> kW
Aufstellung des Kessels (Innen / Außen)	Projekt-Kennwerte: <b>Innen</b> Standardwerte: <b>Außen</b>
<b>Eingabewerte (Öl- und Gaskessel)</b>	Projekt-Kennwerte: <b>95%</b> Standardwerte: <b>99%</b>
Kesselwirkungsgrad bei 30% Last $\eta_{30\%}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>93%</b> Standardwerte: <b>93%</b>
Kesselwirkungsgrad bei Nennleistung $\eta_{100\%}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>1,4%</b> Standardwerte: <b>1,4%</b>
Bereitschaftswärmeverlust des Kessels bei 70°C $q_{B,70}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>35</b> °C Standardwerte: <b>35</b> °C
mittlere Rücklauftemperatur bei Messung der 30% Last $\vartheta_{30\%}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>30</b> K Standardwerte: <b>30</b> K
<b>Eingabewerte (Biomasse-Wärmeerzeuger)</b>	Projekt-Kennwerte: <b>0</b> m <sup>2</sup> Standardwerte: <b>0</b> m <sup>2</sup>
Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers im Grundzyklus $\eta_{GZ}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>22,5</b> kWh/(m <sup>2</sup> a) Standardwerte: <b>22,5</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)
Wirkungsgrad des Wärmeerzeugers im stationären Betrieb $\eta_{SB}$ (Hersteller)	Projekt-Kennwerte: <b>15,0</b> kWh/(m <sup>2</sup> a) Standardwerte: <b>15,0</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)
mittlerer Anteil der Heizleistung, die an Heizkreis abgegeben wird $z_{HK,m}$ (Hersteller)	
Temperaturdifferenz zw. An- und Ausschalten $\Delta\vartheta$ (Hersteller)	
Bei Innenaufstellung: Fläches des Aufstellungsraums $A_{Auf}$ (Projekt)	
Vom Wärmeerzeuger in einem Grundzyklus abgegebene Nutzwärme $Q_{N,GZ}$ (Hersteller)	
mittlere Leistungsabgabe des Wärmeerzeugers $Q_{N,m}$ (Hersteller)	
<b>Aufwandszahl Wärmeerzeuger Heizungsstrang</b> $e_{F,g,K} = 1/(f_p * \eta_{K})$	<b>104%</b>
<b>Aufwandszahl Wärmeerzeuger Warmwasserbereitung</b> $e_{TW,g,K} = f_{p,TW} * \eta_{100\%}$	<b>119%</b>
<b>Aufwandszahl Wärmeerzeuger WW &amp; Heizung</b> $e_{g,K}$	<b>109%</b>
<b>Endenergiebedarf der Wärmebereitstellung Heizung</b> $Q_{End, HE} = Q_{H,WI} * e_{H,g,K}$	<b>6872</b> kWh/a
<b>Endenergiebedarf der Wärmebereitstellung WW</b> $Q_{End, TW} = Q_{WW,WI} * e_{TW,g,K}$	<b>3678</b> kWh/a
<b>Endenergiebedarf der Wärmebereitstellung gesamt</b> $Q_{End} = Q_{End, TW} + Q_{End, HE}$	<b>10550</b> kWh/a
<b>jährlicher Primärenergiebedarf</b>	<b>11605</b> kWh/a
<b>jährliche Emission CO<sub>2</sub>-Äquivalent</b>	<b>2638</b> kg/a
	<b>74,3</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)
	<b>81,7</b> kWh/(m <sup>2</sup> a)
	<b>18,6</b> kg/(m <sup>2</sup> a)

## **Anhang E: Datenblätter Ökobilanzierung**

**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

	Masse [kg]		Prim.En.n.ern [MJ]		PEI Prim.En.ern. [MJ]		GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]		ODP Ozonabbau [kgR11eq]		AP Versauerung [kgSO2eq]		EP Überdüngung [kgPO4eq]		POCP Sommermog [kgC2H4eq]	
<b>GESAMTES GEBÄUDE Minihaus</b>	<b>217045</b>	<b>100%</b>	<b>479.234</b>	<b>100%</b>	<b>285.750</b>	<b>100%</b>	<b>22.726,88</b>	<b>100%</b>	<b>0,0032</b>	<b>100%</b>	<b>209,38</b>	<b>100%</b>	<b>17,59</b>	<b>100%</b>	<b>31,36</b>	<b>100%</b>
<b>1 Außenwände</b>	<b>28753</b>	<b>13,2%</b>	<b>183.230</b>	<b>38,2%</b>	<b>85.721</b>	<b>30,0%</b>	<b>13.350,88</b>	<b>58,7%</b>	<b>1,23E-03</b>	<b>38,7%</b>	<b>69,77</b>	<b>33,3%</b>	<b>8,42</b>	<b>47,9%</b>	<b>9,68</b>	<b>30,9%</b>
1.1 Außenwand geschlossen	22582		93.302		66.362		9.097,40		6,30E-04		33,60		3,61		5,78	
1.2 Außenwand Fenster	6171		89.927		19.359		4.253,48		6,03E-04		36,18		4,81		3,91	
<b>2 Innenwände</b>	<b>20819</b>	<b>9,6%</b>	<b>29.401</b>	<b>6,1%</b>	<b>30.274</b>	<b>10,6%</b>	<b>739,82</b>	<b>3,3%</b>	<b>2,32E-04</b>	<b>7,3%</b>	<b>6,05</b>	<b>2,9%</b>	<b>0,78</b>	<b>4,4%</b>	<b>1,84</b>	<b>5,9%</b>
2.1 Innenwand geschlossen	20560		26.299		25.326		853,29		1,55E-04		5,13		0,68		1,44	
2.2 Türen	259		3.102		4.948		-113,47		7,70E-05		0,92		0,09		0,40	
<b>3 Gründung und Bodenplatte</b>	<b>102947</b>	<b>47,4%</b>	<b>62.985</b>	<b>13,1%</b>	<b>1.217</b>	<b>0,4%</b>	<b>6.198,68</b>	<b>27,3%</b>	<b>2,99E-04</b>	<b>9,4%</b>	<b>39,68</b>	<b>19,0%</b>	<b>2,23</b>	<b>12,7%</b>	<b>2,62</b>	<b>8,4%</b>
<b>4 Zwischendecken und Treppen</b>	<b>60611</b>	<b>27,9%</b>	<b>122.089</b>	<b>25,5%</b>	<b>137.304</b>	<b>48,1%</b>	<b>1.328,15</b>	<b>5,8%</b>	<b>1,10E-03</b>	<b>34,4%</b>	<b>59,13</b>	<b>28,2%</b>	<b>4,80</b>	<b>27,3%</b>	<b>11,67</b>	<b>37,2%</b>
4.1 Zwischendecken	47779		108.232		129.677		-291,26		9,94E-04		54,49		4,13		10,85	
4.2 Treppen	12833		13.857		7.627		1.619,40		1,04E-04		4,64		0,67		0,82	
<b>5 Dach</b>	<b>2506</b>	<b>1,2%</b>	<b>38.221</b>	<b>8,0%</b>	<b>30.861</b>	<b>10,8%</b>	<b>-150,64</b>	<b>-0,7%</b>	<b>1,27E-04</b>	<b>4,0%</b>	<b>30,59</b>	<b>14,6%</b>	<b>0,99</b>	<b>5,6%</b>	<b>3,25</b>	<b>10,4%</b>
<b>6 Technik</b>	<b>1408</b>	<b>0,6%</b>	<b>43.309</b>	<b>9,0%</b>	<b>373</b>	<b>0,1%</b>	<b>1.259,99</b>	<b>5,5%</b>	<b>2,01E-04</b>	<b>6,3%</b>	<b>4,16</b>	<b>2,0%</b>	<b>0,37</b>	<b>2,1%</b>	<b>2,30</b>	<b>7,3%</b>

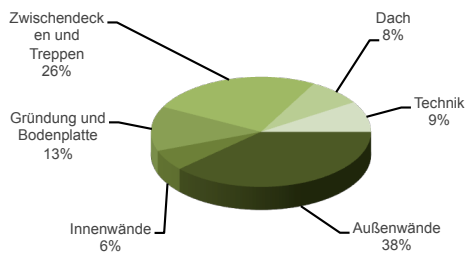
**ÖKOBILANZWERTE HERSTELLUNG NACH BAUTEILGRUPPEN**

PEI Prim.En.n.ern. [MJ]

**GESAMTES GEBÄUDE** 479.234,32 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	183.229,50	38,2%
2	Innenwände	29.401,44	6,1%
3	Gründung und Bodenplatte	62.984,81	13,1%
4	Zwischendecken und Treppen	122.088,50	25,5%
5	Dach	38.220,87	8,0%
6	Technik	43.309,20	9,0%





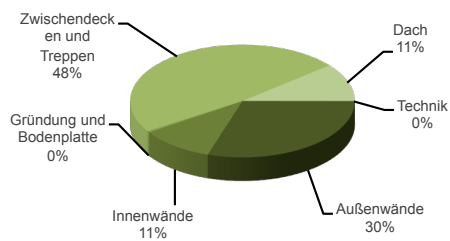
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

PEI Prim.En.ern. [MJ]

**GESAMTES GEBÄUDE** 285.750,02 100%

**Bauteil**

1	Außenwände	85.721,22	30,0%
2	Innenwände	30.274,21	10,6%
3	Gründung und Bodenplatte	1.216,95	0,4%
4	Zwischendecken und Treppen	137.303,69	48,1%
5	Dach	30.861,41	10,8%
6	Technik	372,53	0,1%



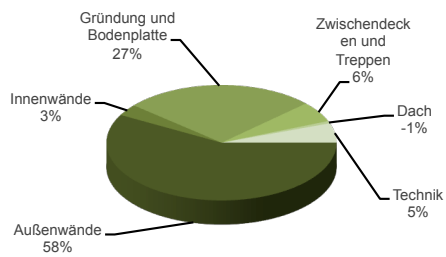
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 22.726,88 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	13.350,88	58,7%
2	Innenwände	739,82	3,3%
3	Gründung und Bodenplatte	6.198,68	27,3%
4	Zwischendecken und Treppen	1.328,15	5,8%
5	Dach	-150,64	-0,7%
6	Technik	1.259,99	5,5%



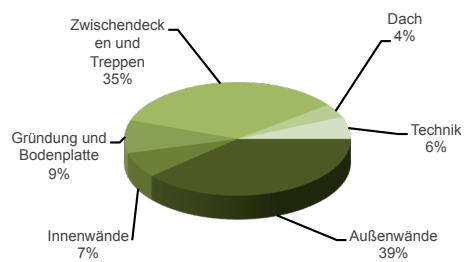
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

ODP Ozonabbau [kgR11eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 3,19E-03 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	1,23E-03	38,7%
2	Innenwände	2,32E-04	7,3%
3	Gründung und Bodenplatte	2,99E-04	9,4%
4	Zwischendecken und Treppen	1,10E-03	34,4%
5	Dach	1,27E-04	4,0%
6	Technik	2,01E-04	6,3%



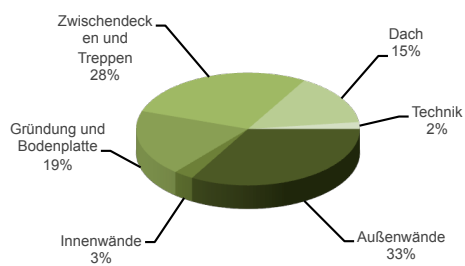
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

AP Versauerung [kgSO<sub>2</sub>eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 209,38 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	69,77	33,3%
2	Innenwände	6,05	2,9%
3	Gründung und Bodenplatte	39,68	19,0%
4	Zwischendecken und Treppen	59,13	28,2%
5	Dach	30,59	14,6%
6	Technik	4,16	2,0%



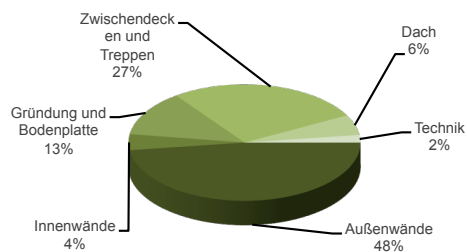
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

EP Überdüngung [kgPO<sub>4</sub>eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 17,59 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	8,42	47,9%
2	Innenwände	0,78	4,4%
3	Gründung und Bodenplatte	2,23	12,7%
4	Zwischendecken und Treppen	4,80	27,3%
5	Dach	0,99	5,6%
6	Technik	0,37	2,1%



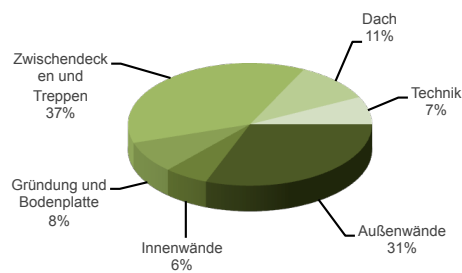
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

POCP Sommersmog [kgC2H4eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 31,36 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	9,68	30,9%
2	Innenwände	1,84	5,9%
3	Gründung und Bodenplatte	2,62	8,4%
4	Zwischendecken und Treppen	11,67	37,2%
5	Dach	3,25	10,4%
6	Technik	2,30	7,3%



**ÖKOBLANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

	Masse [kg]		Prim.En.n.ern. [MJ]		PEI Prim.En.ern. [MJ]		GWP Treibhauseffekt [kgCO <sub>2</sub> eq]		ODP Ozonabbau [kgR11eq]		AP Versauerung [kgSO <sub>2</sub> eq]		EP Überdüngung [kgPO <sub>4</sub> eq]		POCP Sommersmog [kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]	
<b>GESAMTES GEBÄUDE</b>	<b>417.724,67</b>	<b>100%</b>	<b>632.301,54</b>	<b>100%</b>	<b>112.360,18</b>	<b>100%</b>	<b>53.976,74</b>	<b>100%</b>	<b>0,0035</b>	<b>100%</b>	<b>230,37</b>	<b>100%</b>	<b>18,64</b>	<b>100%</b>	<b>29,18</b>	<b>100%</b>
<b>1 Außenwände</b>	<b>75.488,98</b>	<b>18,1%</b>	<b>155.311,02</b>	<b>24,6%</b>	<b>12.510,80</b>	<b>11,1%</b>	<b>13.704,62</b>	<b>25,4%</b>	<b>7,98E-04</b>	<b>22,8%</b>	<b>81,69</b>	<b>35,5%</b>	<b>4,11</b>	<b>22,1%</b>	<b>5,68</b>	<b>19,5%</b>
1.1 Außenwand geschlossen	73.849,57		132.302,76		4.511,73		12.854,00		4,99E-04		73,44		3,08		4,58	
1.2 Außenwand Fenster	1.639,41		23.008,26		7.999,06		850,62		2,99E-04		8,25		1,04		1,10	
<b>2 Innenwände</b>	<b>54.205,10</b>	<b>13,0%</b>	<b>71.452,64</b>	<b>11,3%</b>	<b>14.055,71</b>	<b>12,5%</b>	<b>8.185,48</b>	<b>15,2%</b>	<b>5,37E-04</b>	<b>15,3%</b>	<b>12,17</b>	<b>5,3%</b>	<b>1,56</b>	<b>8,4%</b>	<b>2,53</b>	<b>8,7%</b>
2.1 Innenwand geschlossen	53.510,85		61.471,30		3.026,09		8.222,00		2,79E-04		9,49		1,30		1,55	
2.2 Türen	694,25		9.981,34		11.029,62		-36,52		2,58E-04		2,68		0,26		0,99	
<b>3 Gründung und Bodenplatte</b>	<b>75.411,10</b>	<b>18,1%</b>	<b>146.436,17</b>	<b>23,2%</b>	<b>4.307,06</b>	<b>3,8%</b>	<b>13.689,65</b>	<b>25,4%</b>	<b>8,53E-04</b>	<b>24,3%</b>	<b>51,87</b>	<b>22,5%</b>	<b>4,06</b>	<b>21,8%</b>	<b>5,52</b>	<b>18,9%</b>
<b>4 Zwischendecken und Treppen</b>	<b>207.403,28</b>	<b>49,7%</b>	<b>211.199,35</b>	<b>33,4%</b>	<b>8.956,23</b>	<b>8,0%</b>	<b>21.662,77</b>	<b>40,1%</b>	<b>9,52E-04</b>	<b>27,2%</b>	<b>70,64</b>	<b>30,7%</b>	<b>7,75</b>	<b>41,6%</b>	<b>9,06</b>	<b>31,1%</b>
4.1 Zwischendecken	206.268,54		187.978,24		4.887,79		20.330,37		9,42E-04		65,60		7,33		8,16	
4.2 Treppen	1.134,73		23.221,11		4.068,44		1.332,40		9,69E-06		5,03		0,42		0,91	
<b>5 Dach</b>	<b>4.537,85</b>	<b>1,1%</b>	<b>23.266,29</b>	<b>3,7%</b>	<b>72.288,15</b>	<b>64,3%</b>	<b>-4.103,60</b>	<b>-7,6%</b>	<b>1,63E-04</b>	<b>4,7%</b>	<b>11,11</b>	<b>4,8%</b>	<b>0,89</b>	<b>4,8%</b>	<b>4,29</b>	<b>14,7%</b>
<b>6 Technik</b>	<b>678,38</b>	<b>0,2%</b>	<b>24.636,07</b>	<b>3,9%</b>	<b>242,24</b>	<b>0,2%</b>	<b>837,83</b>	<b>1,6%</b>	<b>0,0002</b>	<b>5,7%</b>	<b>2,90</b>	<b>1,3%</b>	<b>0,27</b>	<b>1,4%</b>	<b>2,09</b>	<b>7,2%</b>

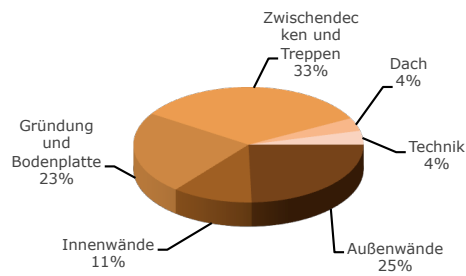
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

PEI Prim.En.n.ern. [MJ]

**GESAMTES GEBÄUDE** **632.301,54** **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	155.311,02	24,6%
2	Innenwände	71.452,64	11,3%
3	Gründung und Bodenplatte	146.436,17	23,2%
4	Zwischendecken und Treppen	211.199,35	33,4%
5	Dach	23.266,29	3,7%
6	Technik	24.636,07	3,9%





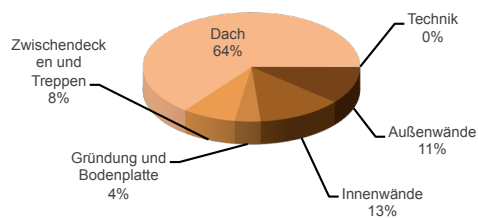
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

PEI Prim.En.ern. [MJ]

**GESAMTES GEBÄUDE** **112.360,18** **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	<b>12.510,80</b>	<b>11,1%</b>
2	Innenwände	<b>14.055,71</b>	<b>12,5%</b>
3	Gründung und Bodenplatte	<b>4.307,06</b>	<b>3,8%</b>
4	Zwischendecken und Treppen	<b>8.956,23</b>	<b>8,0%</b>
5	Dach	<b>72.288,15</b>	<b>64,3%</b>
6	Technik	<b>242,24</b>	<b>0,2%</b>



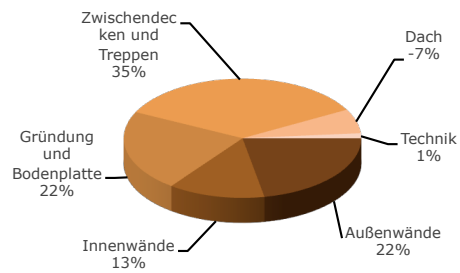
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 53.976,74 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	13.704,62	25,4%
2	Innenwände	8.185,48	15,2%
3	Gründung und Bodenplatte	13.689,65	25,4%
4	Zwischendecken und Treppen	21.662,77	40,1%
5	Dach	-4.103,60	-7,6%
6	Technik	837,83	1,6%



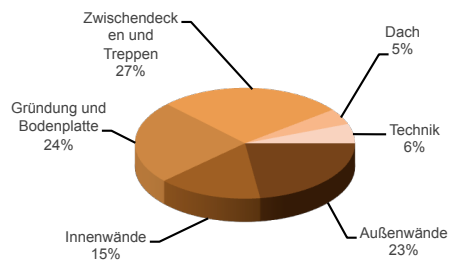
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

ODP Ozonabbau [kgR11eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 3,50E-03 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	7,98E-04	22,8%
2	Innenwände	5,37E-04	15,3%
3	Gründung und Bodenplatte	8,53E-04	24,3%
4	Zwischendecken und Treppen	9,52E-04	27,2%
5	Dach	1,63E-04	4,7%
6	Technik	1,99E-04	5,7%

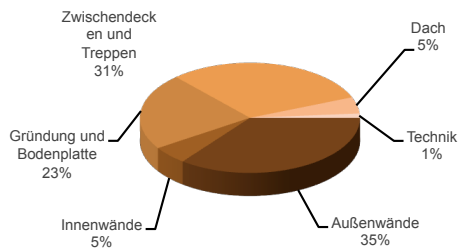


**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

AP Versauerung [kgSO<sub>2</sub>eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 230,37 100%

Bauteil			
1	Außenwände	81,69	35,5%
2	Innenwände	12,17	5,3%
3	Gründung und Bodenplatte	51,87	22,5%
4	Zwischendecken und Treppen	70,64	30,7%
5	Dach	11,11	4,8%
6	Technik	2,90	1,3%



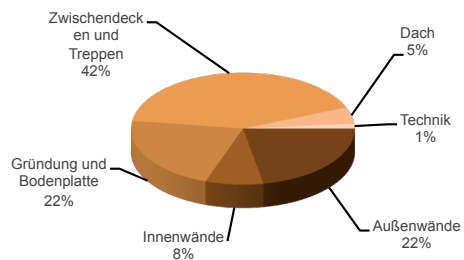
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

EP Überdüngung [kgPO4eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 18,64 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	4,11	22,1%
2	Innenwände	1,56	8,4%
3	Gründung und Bodenplatte	4,06	21,8%
4	Zwischendecken und Treppen	7,75	41,6%
5	Dach	0,89	4,8%
6	Technik	0,27	1,4%



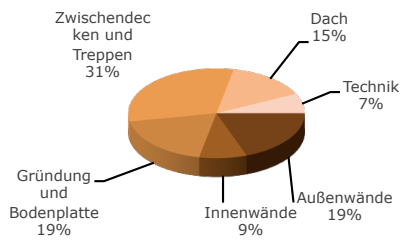
1  
**ÖKOBILANZWERTE NACHBAUTEILGRUPPEN**

POCP Sommersmog [kgC2H4eq]

**GESAMTES GEBÄUDE** 29,18 **100%**

**Bauteil**

1	Außenwände	5,68	19,5%
2	Innenwände	2,53	8,7%
3	Gründung und Bodenplatte	5,52	18,9%
4	Zwischendecken und Treppen	9,06	31,1%
5	Dach	4,29	14,7%
6	Technik	2,09	7,2%



300 BAUWERK INSTANDHALTUNG													PEI n. em.	PEI em.	GWP	ODP	AP	EP	POCP	Lebenszyklus	PEI n. em.	PEI em.	GWP	ODP	AP	EP	POCP				
BKI	Bau- Beschreibung / teil Spezifizierung	Schichten	Bestandteil	Men- ge	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m2]	Abzug [m2]	Netto- fläche [m2]	Anteil [%]	Volumen [m3]	Summe [m3]	Roh- dichte [kg/m3]	Masse [kg]	Primärenergie n. em. [MJ]	Primärenergie em. [MJ]	Treibhauseffekt [kgCO2eq]	Ozonabbau [kgR11eq]	Versauerung [kgSO2eq]	Überdüngung [kgPO4eq]	Sommersmog [kgC2H4eq]	INDEX	Primärenergie n. em. [MJ]	Primärenergie em. [MJ]	Treibhauseffekt [kgCO2eq]	Ozonabbau [kgR11eq]	Versauerung [kgSO2eq]	Überdüngung [kgPO4eq]	Sommersmog [kgC2H4eq]	
310	Baugrube											38,16			75.411,10	146.436,17	4.307,061	13.689,65	8,53E-04	51,869	4,062	5,515									
320	Gründung											38,16			75.411,10	146.436,17	4.307,061	13.689,65	8,53E-04	51,869	4,062	5,515									
324	Unterböden und Bodenplatten											38,16			75.411,10	146.436,17	4.307,061	13.689,65	8,53E-04	51,869	4,062	5,515									
	Unterböden und Bodenplatte Keller			1	11,56	5,44	0,6474					38,16	38,16		75.411,10	146.436,17	4.307,061	13.689,65	8,53E-04	51,869	4,062	5,515									
		Bodenfliesen	Steinzeug glasiert	1	11,56	5,44	0,01	62,83		62,83	97%	0,61	2.000	1.218,87	6,322	3.852,86	0,06	0,037	393	239,51	8,50E-07	5,18E-07	0,960	0,585	0,067	0,041	0,084	0,051	0	50	
		Fugenanteil	Zement	1	11,56	5,44	0,01	62,83		62,83	3%	0,02	2.250	42,41	2,161	40,73	27,00	0,509	389	7,33	2,00E-05	3,77E-07	0,850	0,016	0,130	0,002	0,099	0,002	0	50	
352	2242	Fertigfußboden / Bodenbeläge auf Bodenplatte	Fliessenkleber	1	11,56	5,44	0,01	62,83		62,83	100%	0,63	2.250	1.413,64	2,161	1.357,73	27,00	16,964	389	244,40	2,00E-05	1,26E-05	0,850	0,534	0,130	0,082	0,099	0,062	0	50	
352	0111		Estrich	1	11,56	5,44	0,055	62,83		62,83	100%	3,46	2.250	7.775,04	2,161	7.467,49	27,00	93,300	389	1.344,22	2,00E-05	6,91E-05	0,850	2,937	0,130	0,449	0,099	0,342	0	50	
352	0111		Trennlage	1	11,56	5,44	0,0002	62,83		62,83	100%	0,01	930	11,69	69,750	876,46	83,70	1,052	1.693	21,27	9,30E-04	1,17E-05	4,650	0,058	0,586	0,007	5,487	0,069	0	50	
352	1211		Dämmung	1	11,56	5,44	0,08	62,83		62,83	100%	5,03	20	100,53	3,375	16.963,72	100,00	502,629	175	879,60	0,00E+00	0,00E+00	4,167	20,943	0,041	0,205	0,133	0,670	0	50	
352	1204		Trittschall	1	11,56	5,44	0,03	62,83		62,83	100%	1,88	160	301,58	3,633	6.848,32	658,33	1.240,865	158	298,44	0,00E+00	0,00E+00	1,083	2,042	0,069	0,130	0,167	0,314	0	50	
352	0213		Abdichtung	1	11,56	5,44	0,002	62,83		62,83	100%	0,13	1.350	169,64	70,200	8.821,14	548,70	68,948	1.907	239,57	6,70E-04	8,41E-05	6,696	0,841	0,614	0,077	6,603	0,830	0	50	
324	0202	Bodenplatte	WU-Beton	1	11,56	5,44	0,3	62,83		62,83	99%	18,66	2.360	44.037,82	1,764	32.916,41	23,00	429,182	320	5.971,23	1,60E-05	2,99E-04	0,680	12,689	0,100	1,866	0,078	1,455	0	50	
		Baustahl	PE-Folie	1	11,56	5,44	0,0002	62,83		62,83	100%	0,01	930	11,69	69,750	876,46	83,70	1,052	1.693	21,27	9,30E-04	1,17E-05	4,650	0,058	0,586	0,007	5,487	0,069	0	50	
		Filterkiesschicht	Kies	1	11,56	5,44	0,15	62,83		62,83	80%	7,54	2.500	18.848,58	4,099	30.904,13	153,00	1.153,533	253	1.907,48	4,70E-05	3,54E-04	0,480	3,619	0,076	0,573	0,058	0,437	0	50	
330	Außenwände											50,90			73.849,57	132.302,76	4.511,73	12.854,00	4,99E-04	73,439	3,078	4,581		11.566,53	1.202,99	1.150,30	0,00	3,73	0,42	0,99	
331	Tragende Außenwände											50,90			73.849,57	132.302,76	4.511,73	12.854,00	4,99E-04	73,439	3,078	4,581		11.566,53	1.202,99	1.150,30	0,00	3,73	0,42	0,99	
	Stahlbetonwände Keller											49,77		18,24	30.714,74	51.772,62	1.020,36	4.960,26	2,60E-04	31,44	1,75	2,23		1.453,15	278,69	51,76	0,00	0,60	0,06	0,20	
331	0112	Stahlbetonwand N	Stahlbetonwand O	1	5,435	0,25	2,505	13,61	4,04	9,57	100%	2,39	1.400	69,67	7,300	363,29	1.400,00	69,672	260	12,94	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,149	0,280	0,014	1,000	0,050	0,08	50	
		Stahlbetonwand O	Stahlbetonwand S	1	11,22	0,25	2,505	28,11		28,11	100%	7,03	1.300	970,43	1,477	1.102,55	9,60	7,166	177	132,13	8,00E-06	5,97E-06	0,150	0,112	0,016	0,012	0,029	0,022	0,017	50	
		Stahlbetonwand S		1	5,435	0,25	2,505	13,61	1,53	12,08	100%	3,02	1.400	69,67	7,300	363,29	1.400,00	69,672	260	12,94	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,149	0,280	0,014	1,000	0,050	0,08	50	
336	0113	Anstrich	Silikatdispersion K1	1						49,77	100%	0,05	1.400	69,67	7,300	363,29	1.400,00	69,672	260	12,94	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,149	0,280	0,014	1,000	0,050	0,08	50	
		Innenputz	Gipsmörtel	1						49,77	100%	0,75	1.300	970,43	1,477	1.102,55	9,60	7,166	177	132,13	8,00E-06	5,97E-06	0,150	0,112	0,016	0,012	0,029	0,022	0,017	50	
331	0112	Stahlbeton C20 / 25	Ortbeton (C20/25)	1						49,77	99%	12,32	2.320	28.575,32	1,549	19.078,95	17,00	209,389	251	3.091,55	1,80E-05	2,22E-04	0,680	8,376	0,110	1,355	0,086	1,059	0	50	
331	0112		Betonstahlmatten	1						49,77	1%	0,12	7,850	976,65	102,050	12,696,41	1,884,00	234,395	6,516	810,62	7,38E-05	9,18E-06	15,700	1,953	1,256	0,186	2,434	0,303	0	50	
335	0104	Dichtungsbahn	PE-Folie	1						49,77	100%	0,02	930	23,14	69,750	1,735,57	83,70	2,083	1,693	42,12	9,30E-04	2,31E-05	4,650	0,116	0,586	0,015	5,487	0,137	0	50	
335	2401	Wärmedämmung 100mm	Polystyrolplatte (XPS)	1						49,77	100%	4,98	20	99,53	3,375	16.795,84	100,00	497,655	175	879,60	0,00E+00	0,00E+00	4,167	20,736	0,041	0,203	0,133	0,664	0	50	
	Mauerwerkswände EG									40,57		15,72	15,72		20.686,13	38.615,05	1.697,22	3.785,40	1,15E-04	20,27	0,83	1,13		5.046,54	475,94	537,47	0,00	1,58	0,18	0,40	
331	1703	Mauerwerkswand N		1	5,355	0,2	2,6	13,92	5,01	8,91	100%	1,78													5.046,54	475,94	537,47	0,00	1,58	0,18	0,40
		Mauerwerkswand O		1	11,16	0,2	2,6	29,02	4,806	24,21	100%	4,84																			
		Mauerwerkswand S		1	5,355	0,2	2,6	13,92	6,4786	7,44	100%	1,49																			
336	2101	Wandfliesen	Steinzeug glasiert	1				0,01		40,57	3%	0,01	2.000	11,81	6,322	37,32	0,06	0,000	393	2,32	8,50E-07	5,02E-09	0,980	0,006	0,067	0,000	0,084	0,000	0	50	
		Fugenanteil	Zement	1				0,01		40,57	0%	0,00	2.250	0,41	2,161	0,39	27,00	0,005	389	0,07	2,00E-05	3,65E-09	0,850	0,000	0,130	0,000	0,099	0,000	0	50	
		Fliessenkleber	Zement	1				0,01		40,57	3%	0,01	2.250	27,38	2,161	26,30	27,00	0,329	389	4,73	2,00E-05	2,43E-07	0,850	0,010	0,130	0,002	0,099	0,001	0	50	
336	0113	Anstrich	Silikatdispersion K1	1				0,001		40,57	97%	0,04	1.400	55,09	7,300	287,26	1.400,00	55,091	260	10,23	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,118	0,280	0,011	1,000	0,039	0,08	50	
		Innenputz	Gipsmörtel	1				0,015		40,57	100%	0,61	1.300	791,06	1,477	898,77	9,60	5,842	177	107,71	8,00E-06	4,87E-06	0,150	0,091	0,016	0,010	0,029	0,018	0,017	50	
331	1703	KS Mauerwerk	Kalksandstein	1				0,25		40,57	96%	9,74	1.800	17.525,12	2,030	19.764,44	117,00	1.139,133	247	2.404,84	8,00E-06	7,79E-05	0,220	2,142	0,031	0,302	0,035	0,341	0	50	
331	1703	MGIlla Trocken- mauerwerk	Trockenmörtel	1				0,25		40,57	4%	0,41	2.250	912,77	2,161	876,66	27,00	10,953	389	157,81	2,00E-05	8,11E-06	0,850	0,345	0,130	0,053	0,099	0,040	0	50	
335	1501	Dampfbrmsse	PE-Folie	1				0,0002		40,57	100%	0,01	930	7,55	69,750	565,92															









Table with multiple columns containing material descriptions, quantities, and various numerical data points. Includes sub-sections for 'Dächer', 'Dachkonstruktion', 'Dach', 'Dachanschlüsse/-entwässerung', 'Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen', 'Wasseranlagen', 'Sanitärausstattung', 'Vertikale Verteilung, Steigleitungen Kaltwasser', 'Wärmeversorgungsanlagen', and 'Wärmeerzeuger'.

422 Heizleitungen																										
	Verteiler und Verschraubung	Messing																								
	Rohrleitungen für konventionelle Heizung mit Isolation	Stahl	60	0,00																						
0103																										
423 Heizflächen																										
0102	Heizkörper	Stahl	1,00	25	kg	7850	m <sup>3</sup> /kg																			
440 Starkstromanlagen																										
Summe m3																										
441 Elektroinstallationen																										
Elektroinstallationen																										
	Leitungen																									
	PVC-Leitungen	PVC	450,0	0,00025																						
	PVC-Mantelleitung	PVC	450,0	0,0004																						
441 01	Elektro-Ausstattung																									
	Schalter, Abzweigboxen, Abzweigkästen u. P. Lampenauslass mit Dose und Klemme	Kunststoff	35	kg	1270	13 (Dichte)																				
		PEI																								
	Biegsames Kunststoffrohr	Kunststoff	570																							
		PEI																								



BKI	Bau-Beschreibung / Schichten	Bestandteile	Men- Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]										
	Außenputz	mineral, kunstst.verg.			0,02			10,18	100%	0,20			1.500	305,55	2.675	544,90	28	5,704	448	91,26	2,00E-05	4,07E-06	0,610	0,124	0,090	0,018	0,083	0,017	x	0,025	50	681,12	7,13	114,07	0,00	0,16	0,02	0,02
	Dämmung	Mineralfaser			0,20			10,18	100%	2,04			20	40,74	617	1.256,15	12	23,785	45	91,66	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,628	0,042	0,085	0,042	0,085	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Mauerwerk	Kalksandstein			0,87			10,18	90%	1,40			1.800	2.512,08	2.030	2.833,07	117	163,285	247	344,71	8,00E-06	1,12E-05	0,220	0,307	0,031	0,043	0,035	0,049	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Fugenanleile	Zementmörtel			0,13			10,18	90%	0,21			2.250	469,21	2.161	450,85	27	5,631	399	81,12	2,00E-05	4,17E-06	0,850	0,177	0,130	0,027	0,099	0,021	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	STB Stütze	C25			0,99	0,24		10,18	10%	0,24			1.549	374,85	1.549	374,85	17	4,114	251	60,74	1,80E-05	4,36E-06	0,680	0,165	0,110	0,027	0,086	0,021	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stahlantell	Stahl			0,01	0,24		10,18	10%	0,24			7.850	19,19	102,050	249,45	1,884	4,605	6,516	15,93	7,38E-05	1,80E-07	0,038	0,266	0,033	2,434	0,006	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Innenputz	Gipsputz			0,02			10,18	100%	0,15			1.300	198,61	1.477	225,65	10	1,467	177	27,04	8,00E-06	1,22E-06	0,150	0,023	0,016	0,002	0,029	0,004	x	0,017	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Anstrich	Silikatdispersion K1			0,00			10,18	100%	0,01			1.400	14,26	7,300	74,35	1,400	14,259	260	2,65	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,031	0,280	0,003	1,000	0,010	x	0,08	50	297,40	57,04	10,59	0,00	0,12	0,01	0,04
<b>Tragende Holzständerwände 1.OG</b>						31,75	-17,99	13,76		4,21	<b>4,21</b>		<b>985,34</b>		<b>10.147,13</b>	<b>9.035,180</b>		<b>337,62</b>		<b>1,06E-04</b>		<b>3,844</b>		<b>0,380</b>		<b>0,690</b>			<b>5.277,59</b>	<b>9.700,22</b>	<b>-524,49</b>	<b>0,00</b>	<b>1,64</b>	<b>0,14</b>	<b>0,52</b>			
	Holzständerwand S (Abzug S11, S12, S13)		1	2,51	9,15	0,37	22,93	-11,64	11,29	100%	4,19																											
	Holzständerwand W (Abzug W6)		1	2,51	3,52	0,37	8,82	-6,34	2,48	100%	<b>0,92</b>																											
	Sticks	Acrylharz-beschichtung			0,04			13,76	40%	0,22			450	99,10	609	134,12	9,512	2.094,781	-792	-174,42	9,00E-06	1,98E-06	0,370	0,081	0,041	0,009	0,310	0,068	0,04	50	268,23	4,189,56	-348,84	0,00	0,16	0,02	0,14	
	Unterkonstruktion Sticks	verzinkter Stahl	40	0,12	0,12	0,00				0,00			7.920	4,56	205,920	118,61	4,435	2,555	15,840	9,12	6,57E-03	3,79E-06	45,144	0,026	3,643	0,002	6,970	0,004	0,04	50	237,22	5,11	18,25	0,00	0,05	0,00	0,01	
	Fassadenplatten	55%Phenolharz, 45% Zellulose			0,01			13,76	100%	0,12			1.400	173,43	24.234	3.002,07	19,828	2.456,241	3,495	432,95	2,82E-04	3,50E-05	12,750	1,579	1,243	0,154	1,445	0,179	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	vertikale Lattung	Pavalex			0,02			13,76	15%	0,05			450	22,30	609	30,18	9,512	471,328	-792	-39,24	9,00E-06	4,46E-07	0,370	0,018	0,041	0,002	0,310	0,115	x	0,022	50	33,19	518,46	-43,17	0,00	0,02	0,00	0,02
	Dämmung	Weichfaserplatte Mineralwolle			0,05			13,76	100%	0,69			160	110,11	3.633	2.500,47	658	453,067	158	108,97	0,00E+00	1,083	0,746	0,069	0,048	0,167	0,115	x	0,025	50	3,125,59	568,33	136,21	0,00	0,93	0,06	0,14	
	Stahlstütze	verzinkter Stahl	4	2,50	0,20	0,00		13,76	87%	2,39			20	47,90	617	1,476,88	12	27,941	45	107,77	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,738	0,042	0,100	0,042	0,100	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Holzständer	Kiefer			0,20			13,76	13%	<b>0,36</b>			450	161,04	609	217,94	9,512	3.404,020	-792	-283,43	9,00E-06	3,22E-06	0,370	0,132	0,041	0,015	0,310	0,111	x	0,025	50	272,43	4,255,02	-354,29	0,00	0,17	0,02	0,14
	Dampfbremse	Fermacell			0,00			13,76	100%	<b>0,00</b>			930	<b>2,56</b>	69,750	<b>192,01</b>	84	<b>0,230</b>	1,693	<b>4,66</b>	9,30E-04	<b>2,56E-06</b>	4,650	<b>0,013</b>	<b>0,586</b>	<b>0,002</b>	<b>5,487</b>	<b>0,018</b>	x	0	50	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
	Doppelte Beplankung	Fermacell			0,03			13,76	100%	<b>0,34</b>			800	275,28	2,183	751,21	206	70,919	123	42,43	2,10E-05	7,23E-06	0,330	0,114	0,049	0,017	0,041	0,014	x	0,025	50	939,01	88,65	53,03	0,00	0,14	0,02	0,02
	Anstrich	Silikatdispersion K1			0,00			13,76	100%	0,01			1.400	19,27	7,300	100,48	1,400	19,270	260	3,58	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,041	0,280	0,004	1,000	0,014	x	0,08	50	401,91	77,08	14,31	0,00	0,17	0,02	0,06
<b>Leibung 1. OG</b>																																						
	Fensterleibungen Walter-Koib-Straße S11, S12, S13		1	2,10	1,85	0,15	7,90			1,18																												
	Innenputz	Gipsputz			0,01			1,18	100%	<b>0,01</b>			1.300	7,70	1,477	8,75	10	0,057	177	1,05	8,00E-06	4,74E-08	0,150	0,001	0,016	0,000	0,029	0,000	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Tragende Holzständerwände 2.OG</b>						46,77	-20,64	26,13		7,97	<b>7,97</b>		<b>1.837,91</b>		<b>17.737,92</b>	<b>17.119,830</b>		<b>1.656,17</b>		<b>1,51E-04</b>		<b>6,960</b>		<b>0,695</b>		<b>1,258</b>			<b>9.806,29</b>	<b>18.411,14</b>	<b>-1.012,13</b>	<b>0,00</b>	<b>3,07</b>	<b>0,26</b>	<b>0,97</b>			
	Holzständerwand O (Abzug O4)		1	2,51	11,02	0,37	27,60	-10,83	16,77	100%	6,22																											
	Holzständerwand W (Abzug W4 und W5)		1	2,51	3,16	0,37	7,92	-4,04	3,88	100%	<b>4,44</b>																											
	Sticks	Phenolharz			0,04			26,13	40%	<b>0,42</b>			450	188,14	609	254,62	9,512	3.976,914	-792	-331,13	9,00E-06	3,76E-06	0,370	0,155	0,041	0,017	0,310	0,130	0,04	50	509,24	7,953,83	-662,26	0,00	0,31	0,03	0,26	
	Unterkonstruktion Sticks	verzinkter Stahl	40	0,12	0,12	0,00				0,00			7.920	4,56	205,920	118,61	4,435	2,555	15,840	9,12	6,57E-03	3,79E-06	45,144	0,026	3,643	0,002	6,970	0,004	0,04	50	237,22	5,11	18,25	0,00	0,05	0,00	0,01	
	Fassadenplatten	55%Phenolharz, 45% Zellulose			0,01			26,13	100%	<b>0,24</b>			1.400	329,25	24.234	5.699,39	19,828	4.863,141	3,495	821,95	2,82E-04	6,64E-05	12,750	2,999	1,243	0,292	1,445	0,340	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	vertikale Lattung	Pavalex			0,02			26,13	15%	0,09			450	42,33	609	57,29	9,512	894,806	-792	-74,50	9,00E-06	8,47E-07	0,370	0,035	0,041	0,004	0,310	0,029	x	0,022	50	63,02	984,29	-81,95	0,00	0,04	0,00	0,03
	Dämmung	Weichfaserplatte Mineralwolle			0,05			26,13	100%	1,31			160	209,05	3.633	4.747,11	658	860,142	158	206,87	0,00E+00	0,00E+00	1,083	1,415	0,069	0,090	0,167	0,218	x F	0,025	50	5,933,89	1,075,18	258,59	0,00	1,77	0,11	0,27
	Stahlstütze	verzinkter Stahl	4	2,50	0,20	0,00		26,13	87%	<b>0,81</b>			7.920	62,09	205,920	1.614,41	4,435	34,772	15,840	124,19	6,57E-03	5,15E-05	45,144	0,354	3,643	0,029	6,970	0,055	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Holzständer	Kiefer			0,20			26,13	13%	0,68																												

BKI	Bau-Beschreibung / Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil	Volumen	Summe	Roh-	Mass	[MJ]	[MJ]	[kgCO <sub>2</sub> eq]	[kgR11eq]	[kgSO <sub>2</sub> eq]	[kgPO <sub>4</sub> eq]	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO <sub>2</sub> eq]	[kgR11eq]	[kgSO <sub>2</sub> eq]	[kgPO <sub>4</sub> eq]	[kgC <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq]												
	Anstrich	Silikatdispersion K1				0,00			42,69	100%	0,04		1,400	59,77	7,300	311,67	1,400	59,772	260	11,10	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,128	0,280	0,012	1,000	0,043	0,08	50	1.246,67	239,09	44,40	0,00	0,51	0,05	0,17				
<b>Leibung 3. OG</b>																																									
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße S3	1	1,82	0,15	0,94	0,83																																		
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße S4	1	1,82	0,15	1,31	0,94																																		
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße S5	1	4,74	0,15	2,44	2,15																																		
	Fensterleibungen	Aussenwand Ost O3	1	1,45	0,15	2,44	1,17																																		
	Innenputz	Gipsputz				0,01			5,08	100%	0,03		1,300	33,04	1,477	37,54	10	0,244	177	899,83	8,00E-06	2,03E-07	0,150	0,004	0,016	0,000	0,029	0,001	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>Tragende Holzständerwände 4.OG</b>																																									
						0,37	33,90	-11,25	22,65		6,54	6,54		1.407,72		13.689,92		11.357,626		2.581,19		8,01E-05		5,572		0,561		0,928		7.851,29		9.057,93		-319,01		0,00	2,34	0,19	0,61		
	Holzständerwand S		1	2,51	6,05	0,37	15,16	-3,18	11,98	100%	4,44																														
	Holzständerwand O		1	2,51	4,32	0,37	10,82	-4,32	6,50	100%	2,41																														
	Holzständerwand		1	2,51	3,16	0,37	7,92	-3,75	4,17	100%	1,55																														
	Fassadenplatten	55%Phenolharz, 45% Zellulose				0,01			22,65	100%	0,20		1,400	285,33	24,234	4,939,12	19,828	4.041,099	3,495	712,30	2,82E-04	5,75E-05	12,750	2,599	1,243	0,253	1,445	0,295	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	vertikale Lattung					0,02			22,65	15%	0,08		450	36,69	609	49,65	9,512	775,443	-792	-64,57	9,00E-06	7,34E-07	0,370	0,030	0,041	0,003	0,310	0,025	x	50	54,61	852,99	-71,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Pavalex	Weichfaserplatte				0,05			22,65	100%	1,13		160	181,16	3,633	4.113,87	658	745,403	158	179,27	0,00E+00	0,00E+00	1,083	1,227	0,069	0,078	0,167	0,189	x F	50	5.142,34	931,75	224,09	0,00	1,53	0,10	0,24				
	Dämmung	Mineralfolle				0,20			22,65	87%	3,94		20	78,81	617	2.429,83	12	45,970	45	177,31	0,00E+00	0,00E+00	0,308	1,215	0,042	0,164	0,042	0,164	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Holzständer	Kiefer				0,20			22,65	13%	0,59		450	264,95	609	358,56	9,512	5.600,419	-792	-468,31	9,00E-06	5,30E-06	0,370	0,218	0,041	0,024	0,310	0,183	x	50	448,20	7.000,52	-582,99	0,00	0,27	0,03	0,23				
	Dampfbremse					0,00			22,65	100%	0,00		930	4,21	69,750	315,90	84	0,379	1,693	7,67	9,30E-04	4,21E-06	4,650	0,021	0,586	0,003	5,487	0,025	x e	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Doppette Beplankung	Fermacell				0,03			22,65	100%	0,57		800	482,90	2,183	1.235,92	206	116,679	123	69,80	2,10E-05	1,19E-05	0,330	0,187	0,049	0,028	0,041	0,023	x F	50	1.544,90	145,85	87,25	0,00	0,23	0,03	0,03				
	Anstrich	Silikatdispersion				0,00			22,65	100%	0,02		1,400	31,70	7,300	165,31	1,400	31,703	260	5,89	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,068	0,280	0,006	1,000	0,023	0,08	50	661,24	126,81	23,55	0,00	0,27	0,03	0,00				
<b>Leibung 4. OG</b>																																									
	Fensterleibungen		1	4,06	0,15	0,81	1,40																																		
	Fensterleibungen		1	6,73	0,15	1,01	2,32																																		
	Fensterleibungen		1	2,44	0,15	0,37	0,84																																		
	Fensterleibungen		1	6,73	0,15	1,01	2,32																																		
	Fensterleibungen		1	6,60	0,15	0,99	2,28																																		
	Fensterleibungen	Aussenwand West	1	5,54	0,15	0,83	1,91																																		
	Innenputz	Gipsputz				0,01			11,07	100%	0,06		1,300	71,97	1,477	81,77	10	0,531	177	1.959,82	8,00E-06	4,43E-07	0,150	0,008	0,016	0,001	0,029	0,002	x	0,017	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>334 Außenfenster und Türen</b>																																									
									7,66					6.170,81		89,927,11		19.359,449		4.253,48		6,03E-04		36,176		4,814		3,906		0,45		0,13		0,01		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
<b>Außenfenster EG</b>																																									
									18,16		1,49	1,49		1.201,43		17.508,44		3.769,206		828,13		1,17E-04		7,043		0,937		0,760		0,09		0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
	Holzfenster W8		1		0,87	2,94			2,56	100%																															
	Holzfenster S14		1		2,98	2,53			7,55	100%																															
	Holzfenster O8		1		1,04	2,53			2,84	100%																															
	Holzfenster O6 und O7		1		2,14	2,53			5,42	100%																															
	Holzrahmen	Kiefer				0,10			18,16	20%	0,36		450	163,44	609	221,19	9,512	3.454,787	-792	-287,66	9,00E-06	3,27E-06	0,370	0,134	0,041	0,015	0,310	0,113	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beschichtung	Lack				0,00			18,16	40%	0,00		1.500	5,45	5	0,02	1	0,005	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,002	0,000	0,000	0,000	0,310	0,001	x z	0,1	50	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01		
	Scheibe	Glas	3		0,01 (12, 6, 8)				18,16	80%	0,38		2.500	947,95	35,000	13.271,36	200	75,836	2,200	834,20	7,08E-05	2,68E-05	16,020	6,074	2,250	0,853	1,325	0,502	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Edelgasfüllung	Argon	2						18,16	80%	0,73		0	0,00	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Gummidichtungen	Kautschuk				0,01			18,16	5%	0,01		1,050	7,63	107,100	777,98	893	6,483	3,675	26,70	1,02E-03	7,38E-06	10,500	0,076	1,008	0,007	4,200	0,031	x ll	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Abstandshalter	Aluminium				0,02			18,16	1%	0,00		2,780	5,05	753,380	1,368,14	105,640	191,843	61,160	111,07	1,11E-02	2,02E-05	191,820	0,348	15,846	0,029	27,800	0,050	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beschläge	Wetterfester Stahl				0,01			18,16	5%	0,01		7,920	71,91	205,920	1,869,76	4,435	40,272	15,840	143,83	6,57E-03	5,97E-05	45,144	0,410	3,643	0,033	6,970	0,063	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>Außenfenster 1.OG</b>																																									
									24,03		1,97	1,97		1.590,00		23.170,98		4.988,233		1.095,97		1,55E-04		9,321		1,240		1,006		0,12		0,03		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	
	Holzfenster W6		1		0,56	0,94			0,53	100%																															
	Holzfenster W7 (rechts)		1		2,20	2,65			5,82	100%																															
	Holzfenster S11, S12, S13		3		2,10	1,85			11,64	100%																															
	Holzfenster O5 (links)		1		2,30	2,63			6,05	100%																															
	Holzrahmen	Kiefer				0,10			24,03	20%	0,48		450	216,30	609	292,73	9,512	4.572,099																							





BKI	Bau- Beschreibung /	Schichten	Bestandteile	Men- Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto- Anteil	Volumen	Summe	Roh- Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]										
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			9,13	100%	0,01	1.400	12,78	7.300	66,62	1.400	12,777	260	2,37	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,027	0,280	0,003	1,000	0,009	0,08	50	266,50	51,11	9,49	0,00	0,11	0,01	0,04		
	Beplankung einfach		Fermacell			0,02			9,13	100%	0,14	800	109,52	2.183	298,86	206	28.215	123	16,88	2,10E-05	2,87E-06	0,330	0,045	0,049	0,007	0,041	0,006	x F	0,025	50	373,58	35,27	21,10	0,00	0,06	0,01	0,01	
			Kiefer			0,06			9,13	87%	0,48	450	214,38	609	290,13	9.512	4.531,598	-792	-377,32	9,00E-06	4,29E-06	0,370	0,176	0,041	0,020	0,310	0,148	x	0,025	50	362,67	5,864,50	-471,64	0,00	0,22	0,02	0,18	
	Dämmung		Mineralwolle			0,06			9,13	13%	0,07	20	2,81	617	43,90	12	0,831	45	9,30	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,022	0,042	0,003	0,003	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beplankung einfach		Fermacell			0,02			9,13	100%	0,14	800	109,52	2.183	298,86	206	28.215	123	16,88	2,10E-05	2,87E-06	0,330	0,045	0,049	0,007	0,041	0,006	x F	0,025	50	373,58	35,27	21,10	0,00	0,06	0,01	0,01	
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			9,13	100%	0,01	1.400	12,78	7.300	66,62	1.400	12,777	260	2,37	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,027	0,280	0,003	1,000	0,009	0,08	50	266,50	51,11	9,49	0,00	0,11	0,01	0,04		
	<b>Tragende Innenwände Holzständer 3.OG</b>											10,79	1,53	1,53	950,05	1.866,40	9.021,109	-649,44		1,68E-05		0,641	0,077		0,335	2.014,18	11.326,59	-864,79	0,00	0,74	0,08		0,44					
	Holzständerwand 10 cm																																					
	Holzständerwand parallel Brandwand			1	3,25	0,13	2,14		6,95	100%	0,90																											
	Holzständerwand Wohnen - Bad			1	0,90	0,13	2,14		1,92	100%	0,25																											
	Holzständerwand bei Duschwanne			1	0,90	0,13	2,14		1,92	100%	0,25																											
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			10,79	100%	0,01	1.400	15,11	7.300	78,78	1.400	15,109	260	2,81	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,032	0,280	0,003	1,000	0,011	0,08	50	315,12	60,43	11,22	0,00	0,13	0,01	0,04		
	Beplankung einfach		Fermacell			0,02			10,79	100%	0,16	800	129,50	2.183	353,40	206	33.363	123	19,96	2,10E-05	3,40E-06	0,330	0,053	0,049	0,008	0,041	0,007	x F	0,025	50	441,74	41,70	24,95	0,00	0,07	0,01	0,01	
	Ständer KVH		Kiefer			0,10			10,79	87%	0,94	450	422,50	609	571,78	9.512	8.930,731	-792	-743,60	9,00E-06	4,45E-06	0,370	0,176	0,041	0,020	0,310	0,291	x	0,025	50	714,73	11.163,41	-929,50	0,00	0,43	0,05	0,36	
	Dämmung		Mineralwolle			0,10			10,79	13%	0,14	20	2,81	617	43,90	12	0,831	45	9,31	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,043	0,042	0,008	0,042	0,008	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Beplankung einfach		Fermacell			0,02			10,79	100%	0,16	800	129,50	2.183	353,40	206	33.363	123	19,96	2,10E-05	3,40E-06	0,330	0,053	0,049	0,008	0,041	0,007	x F	0,025	50	441,74	41,70	24,95	0,00	0,07	0,01	0,01	
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			10,79	32%	0,00	1.400	4,83	7.300	25,21	1.400	4,835	260	0,90	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	0,08	50	100,84	19,34	3,59	0,00	0,04	0,00	0,01		
	Fliesenkleber		Zementbasis			0,01			10,79	70%	0,08	2.250	169,97	2.161	163,25	27	2,040	389	29,39	2,00E-05	1,51E-06	0,850	0,064	0,130	0,010	0,099	0,007	x z	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Fliesen					0,01			10,79	68%	0,04	2.000	73,28	6.322	231,63	0	0,002	393	14,40	8,50E-07	3,11E-08	0,960	0,035	0,067	0,002	0,084	0,003	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Fuganteil					0,01			10,79	2%	0,00	2.250	2,55	2.161	2,45	27	0,031	389	0,44	2,00E-05	2,27E-08	0,850	0,001	0,130	0,000	0,099	0,000	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<b>Tragende Innenwände Holzständer 4.OG</b>											3,32	1,51	1,51	959,51	2.244,82	6.496,562	-422,98		2,31E-05		0,542	0,070		0,247	2.919,37	8.145,89	-525,43	0,00	0,72	0,09		0,33					
	Holzständerwand Schacht (lange Seite)			1	0,98	0,25	2,17		2,13	100%	0,53																											
	Holzständerwand Schacht (kurze Seite)			1	0,25		2,17		0,54	100%																												
	KVH Stütze			2	0,15	0,15	2,17		0,65	100%	0,10																											
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			3,32	100%	0,00	1.400	4,65	7.300	24,24	1.400	4,648	260	0,86	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	0,08	50	96,95	18,59	3,45	0,00	0,04	0,00	0,01		
	Beplankung einfach		Fermacell			0,02			3,32	100%	0,05	800	39,84	2.183	108,72	206	10,264	123	6,14	2,10E-05	1,06E-06	0,330	0,016	0,049	0,002	0,041	0,002	x F	0,025	50	136,90	12,83	7,68	0,00	0,02	0,00	0,00	
	Ständer KVH		Kiefer			0,23			3,32	87%	0,66	450	298,96	609	404,59	9.512	6.319,316	-792	-526,17	9,00E-06	4,98E-06	0,370	0,176	0,041	0,020	0,310	0,206	x	0,025	50	505,74	7.899,15	-657,71	0,00	0,31	0,03	0,26	
	Dämmung		Mineralwolle			0,06			3,32	13%	0,03	20	0,52	617	43,90	12	0,302	45	6,17	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,043	0,042	0,001	0,042	0,001	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Beplankung einfach		Fermacell			0,23			3,32	100%	0,76	800	610,90	2.183	1.667,07	206	157,383	123	94,15	2,10E-05	1,60E-05	0,330	0,252	0,049	0,038	0,041	0,031	x F	0,025	50	2.063,83	196,73	117,69	0,00	0,31	0,05	0,04	
	Anstrich		Silikatdispersion K1			0,00			3,32	100%	0,00	1.400	4,65	7.300	24,24	1.400	4,648	260	0,86	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	0,08	50	96,95	18,59	3,45	0,00	0,04	0,00	0,01		
344	<b>Innentüren</b>											0,40	259,27	3.102,46	4.948,49	-113,47		7,70E-05		0,92	0,09		0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<b>Innentür EG</b>											0,11	0,11	73,01	873,68	1.393,540	-31,95		2,17E-05		0,260	0,027		0,111	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	T 1 (Bad)			1	0,98	0,20	2,17		2,13	100%	0,43																											
	Beschichtung Holzrahmen		Alkydharz Kiefer			0,00			2,13	205%	0,00	1.500	3,27	5	0,01	1	0,003	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,002	0,000	0,000	0,000	0,310	0,001	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
						0,20			2,13	5%	0,02	450	9,57	609	12,95	9.512	202,282	-792	-16,84	9,00E-06	1,91E-07	0,370	0,008	0,000	0,001	0,310	0,007	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Konstruktionsholz Tür BSH					0,04			2,13	100%	0,09	465	39,55	3.578	304,36	13.870	1.179,838	-662	-56,31	5,30E-05	4,51E-06	1,570	0,134	0,190	0,016	1,000	0,085	x z	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Metalbeschläge umlaufende		Stahl verzinkt			0,04			2,13	3%																												



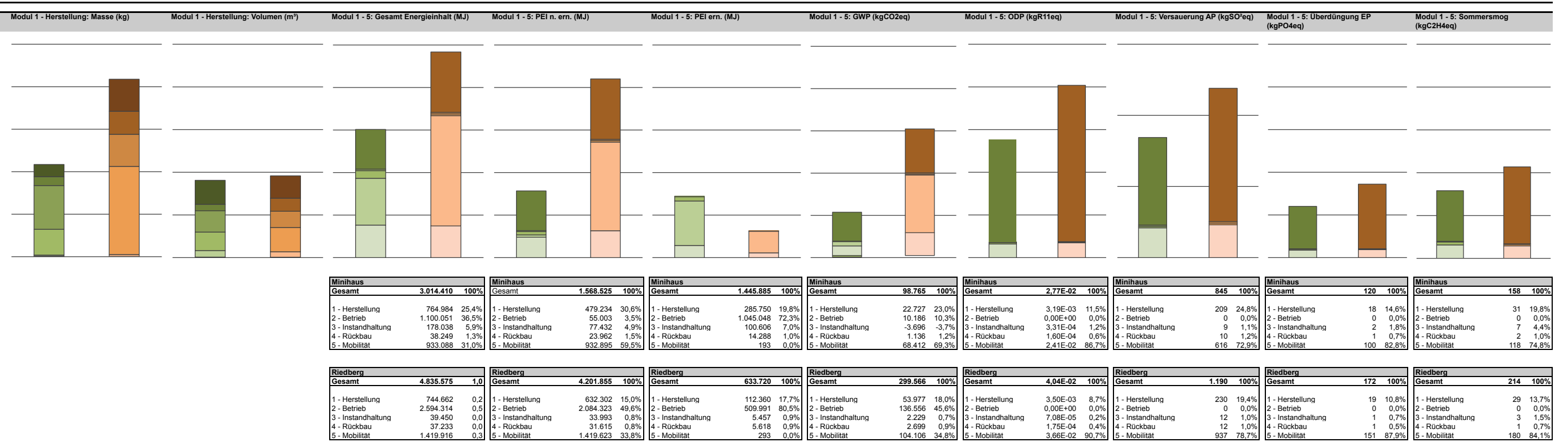
BKI	Bau-	Beschreibung /	Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgP04eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgP04eq]	[kgC2H4eq]		
351	81	Geschosstreppenstufen aus Beton																															
01		Treppe EG zu 1. OG																															
		Treppe Stahlbeton mit aufgesetzter Holzstufe	15	0,85	0,26	0,17	3,31		3,31	100%	1,11		1,14	2.337,55	2.617,25	1.763,248	747,22	1,91E-05	0,850	0,122	0,160			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		Beschichtung	Ol			0,00	3,31	110%	0,00	1,500	2,73		1,500	2,73																			
		Holzbeplankung	Kiefer			0,05	3,31	110%	0,18	450	81,83	609	110,74	9,512	1,729,638	-792	-144,02	9,00E-06	1,64E-06	0,370	0,067	0,041	0,007	0,310	0,056	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Moosgummischicht				0,01	3,31	90%	0,01	1,000	14,88	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Stahlbeton, Beton				0,29	3,31	99%	0,93	2,320	2,164,16	1,549	1,444,95	17	15,858	251	829,84	1,80E-05	1,68E-05	0,680	0,634	0,110	0,103	0,086	0,080	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Stahlanteil				0,29	3,31	1%	0,01	7,850	73,97	102,050	961,56	1,884	17,752	6,516	61,39	7,38E-05	6,95E-07	15,700	0,148	1,256	0,012	2,434	0,023	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01		Treppe 1. OG zu 2. OG																															
		Treppe Stahlbeton mit aufgesetzter Holzstufe	14	0,85	0,26	0,17	3,09		3,09	100%	1,00		1,06	2.181,72	2.349,43	1.645,698	141,42	1,78E-05	0,793	0,114	0,149			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
351	84	Geschosstreppenstufen aus Holz																															
01		Treppe 2. OG zu 3. OG																															
		Holzwangetreppe mit Setzstufen	14	0,85	0,26	0,17	3,09		3,09	100%	0,04	0,52	0,16	70,47	94,15	1.470,507	-122,44	1,39E-06	0,057	0,006	0,048			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
360		Dach																															
		Dachflächen 3. und 4. OG																															
		Dachflächen 3. OG																															
		Dachflächen 4. OG																															
410		Abwasser-, Wasser-, Gasanlagen																															
411		Abwasseranlagen																															
		Abwasser Sammelleitung Horizontal																															
		PVC DN 125																															
		PVC DN 100																															
		PVC DN 50																															
412		Wasseranlagen																															
412	13	Sanitärausstattung																															
1303		Kleines Waschbecken																															
1303		Grosses Waschbecken																															
1333		Dusche																															
		WC																															
		Vertikale Verteilung, Steigleitungen Kaltwasser																															
		Durchmesser 3/4 Zoll - PVC																															
		Durchmesser 1/2 Zoll - PVC																															

BKI	Bau- Beschreibung / Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]								
<b>420</b>	<b>Wärmeversorgungsanlagen</b>																																				
<b>421</b>	<b>Wärmeerzeuger</b>																																				
	<b>Wärmeversorgungsanlagen</b>																																				
											0,85	0,65		589,05	9.383,53	209,760	665,48	2,48E-06	2,104	0,183	0,333			9.979,53	221,12	708,93	0,00	2,40	0,22	0,37							
0102	Wärmepumpe	Stahl, Warmwalzprofil	1	150,00	kg	7850,00	13 (Dichte)				0,02		7,850	150,00	188,400	3,600,00	4,239	81,000	13,345	255,00	5,20E-05	9,93E-07	40,035	0,765	3,297	0,063	6,437	0,123	0,02005	50	3,609,00	81,20	255,64	0,00	0,77	0,06	0,12
	Wärmespeicher	Stahl, Warmwalzprofil Mineralfüllwolle	1	70,00	kg	7850,00	13 (Dichte)	0,05	4,00		0,01		7,850	70,00	188,400	1,680,00	4,239	37,800	13,345	119,00	5,20E-05	4,63E-07	40,035	0,357	3,297	0,029	6,437	0,057	0,02005	50	1,684,20	37,89	119,30	0,00	0,36	0,03	0,06
											0,20		20	4,00	617	123,33	12	2,333	45	9,00	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,062	0,042	0,008	0,042	0,008	0,05	50	308,33	5,83	22,50	0,00	0,15	0,02	0,02
	Ab- und Zufuhrkanal Stahlwickel-falzrohr d=150mm t=2mm	PUR Hartschaum Aluminium		1,00		0,02	0,00				0,00		7,850	3,67	188,400	88,17	4,239	1,984	13,345	6,25	5,20E-05	2,43E-08	40,035	0,019	3,297	0,002	6,437	0,003	0,02005	50	88,39	1,99	6,26	0,00	0,02	0,00	0,00
						0,07		6,00			0,42		500	210,00	617	259,00	12	4,900	45	18,90	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,130	0,042	0,018	0,042	0,018	0,05	50	647,50	12,25	47,25	0,00	0,32	0,04	0,04
<b>422</b>	<b>Heizleitungen</b>																																				
0103	Verteiler und Verschraubung Rohrleitungen für konventionelle Heizung mit Isolation	Messing Stahl, Warmwalzprofil		60,00			0,00				0,00		0	0,00	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,05	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
											0,00		7,850	26,38	188,400	633,02	4,239	14,243	13,345	44,84	5,20E-05	1,75E-07	40,035	0,135	3,297	0,011	6,437	0,022	0,02005	50	634,61	14,28	44,95	0,00	0,13	0,01	0,02
<b>423</b>	<b>Heizflächen</b>																																				
0102	Heizkörper im Untergeschoss	Stahl, Warmwalzprofil	5	25,00	kg	7850,00	m3/kg				0,02		7,850	125,00	188,400	3,000,00	4,239	67,500	13,345	212,50	5,20E-05	8,28E-07	40,035	0,638	3,297	0,053	6,437	0,103	0,02005	50	3,007,50	67,67	213,03	0,00	0,64	0,05	0,10
<b>440</b>	<b>Starkstromanlagen</b>																																				
<b>441</b>	<b>Elektroinstallationen</b>																																				
	<b>Elektroinstallationen</b>																																				
											0,50	0,50		665,43	33.169,50	160,495	557,65	1,96E-04	1,959	0,180	1,931			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Leitungen				Querschnitt		Fläche	Querschnittsfläche																													
	PVC-Leitungen 0,25mm	PVC		450,00	0,00		0%	0,11			1,350	151,88	70,200	7,897,50	549	61,729	1,907	214,48	6,70E-04	7,53E-05	6,696	0,753	0,614	0,069	6,603	0,743		50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	PVC-Mantelleitung	PVC		450,00	0,00		0%	0,18			1,350	243,00	70,200	12.636,00	549	98,766	1,907	343,17	6,70E-04	1,21E-04	6,696	1,205	0,614	0,110	6,603	1,189	####	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>441 01</b>	<b>Elektro-Ausstattung</b>																																				
	Schalter, Abzweigdosen, Abzweiggkisten u. P. Lampenauslass mit Dose und Klemme	Kunststoff	PEI	35,00	kg	1270,00	13 (Dichte)				0,03		1,000	27,56	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	Biegsames Kunststoffrohr	Kunststoff	PEI	450,00	0,00						0%	0,18	1,350	243,00	70,200	12.636,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Tabellenanhang:  
Vergleich der bezogenen Primärenergieverbräuche

Bezugsflächen		Minihaus	Riedberg
<b>Nutzfläche</b>		154,00	154,10
<b>Herstellung</b>			
[MJ]	n. ern.	567.279	732.843
pro [MJ/m²NF]	n. ern.	3.684	4.756
[MJ]	ern.	307.656	171.163
pro [MJ/m²NF]	ern.	1.998	1.111
<b>Instandhaltung</b>			
[MJ]	n. ern.	4.163.948	2.093.656
pro [MJ/m²NF]	n. ern.	27.039	13.586
[MJ]	ern.	2.480.331	590.116
pro [MJ/m²NF]	ern.	16.106	3.829
<b>Betrieb</b>			
[MJ]	n. ern.	68.092	2.084.323
pro [MJ/m²NF]	n. ern.	442	13.526
[MJ]	ern.	1.293.754	509.991
pro [MJ/m²NF]	ern.	8.401	3.309
<b>Rückbau</b>			
[MJ]	n. ern.		
pro [MJ/m²NF]	n. ern.		
[MJ]	ern.		
pro [MJ/m²NF]	ern.		
<b>Mobilität</b>			





Tabellenanhang:  
 Prototyp Minihaus  
 Ökobilanzierung, Energietabelle, Heizwärmebedarf.

Vergleich unterschiedlicher Heizsysteme													
Annahme Beitrag solare Deckung WW 52%													
Energieträger	Umwandlung / Technologie	Verteilung im Gebäude	Voraus-setzungen	Minihaus - Deckung des Energiebedarfs Heiz+WW [kWh/m²a]									
				Endenergie- bedarf Heiz+WW	Endenergie- bedarf Heiz+WW	Primär- energie- faktor	Jahres- arbeits- zahl	Primär- energie Summe	Primär- energie ern.	Primär- energie n. ern.	GWP	Kosten	Kosten
				[kWh/m²a]	[kWh/a]			[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kg CO²]	(Euro/m²a)	(Euro/a)
				<b>Energiebezugsfläche</b>	<b>206,40</b>								
				Heizwärmebedarf q <sub>H</sub>	13,5								
				Trinkwassererwärmung q <sub>tw</sub> (EnEV)	12,5								
				Lüftung hier nicht erfaßt									
				<b>Summe:</b>	<b>26,0</b>								
				<b>Energiebezugsfläche</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Heizwärmebedarf q<sub>H</sub></b>	<b>13,5</b>								
				<b>Trinkwassererwärmung q<sub>tw</sub> (EnEV)</b>	<b>12,5</b>								
				<b>Lüftung hier nicht erfaßt</b>									
				<b>Summe:</b>	<b>26,0</b>								
				<b>Energiebezugsfläche</b>	<b>206,40</b>								
<b>Umweltwärme + Ökostrom</b>	<b>Wärmepumpe (Geothermie)</b>	<b>Wasser</b>	Heizleitungen										
	Erdwärme/Wasser		Bohrungen	8,51	1.756,52	1,20	2,80	2.107,82	2.002,43	105,39	70,26	1,70	351,13
<b>Umweltwärme + Strommix</b>	<b>Kompaktgerät mit elektr. Wärmepumpe</b>			6,08	1.254,33	2,70	2,70	3.386,68	230,29	3.156,39	852,94	1,23	253,37
<b>Umweltwärme + Ökostrom</b>	<b>Kompaktgerät mit elektr. Wärmepumpe</b>			6,08	1.254,33	1,20	2,70	1.505,19	1.429,93	75,26	50,17	1,21	250,74
<b>Gas (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Gasanschluß										
	Gasbrennwert		Abgassystem	26,04	5.374,53	1,10		5.911,98	84,54	5.827,44	1.343,63	1,74	360,09
<b>Feste Biomasse (Holz / Holzpellets)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Lagereinrichtung										
	indirekte und direkte Wärmeabgabe		Abgassystem	27,81	5.740,22	0,20		1.148,04	1.040,13	107,92	1.435,06	1,06	218,13
<b>Feste Biomasse (Holz / Holzpellets)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Lagereinrichtung										
	nur indirekte Wärmeabgabe		Abgassystem	27,81	5.740,22	0,20		1.148,04	1.040,13	107,92	1.435,06	1,06	218,13
<b>Strom - Strommix</b>	<b>Direktheizung</b>	<b>Kabel + Radiatoren</b>		41,60	8.585,84	2,70		23.181,77	1.576,36	21.605,41	5.838,37	8,40	1.734,34
	Strom												
<b>Strom - Ökostrom</b>				41,60	8.585,84	1,20		10.303,01	9.787,86	515,15	343,43	8,32	1.716,31
<b>Öl (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Tanks / Lager										
	Ölbrennwert		Abgassystem	26,73	5.517,46	1,10		6.069,21	147,48	5.921,73	1.379,37	2,19	452,43
<b>Strom - Ökostrom</b>	<b>für Licht und Geräte</b>			18,60	3.838,50	1,20	1,20	4.606,20	4.375,89	230,31	153,54	3,72	767,32
<b>Strom - Strommix</b>	<b>für Licht und Geräte</b>			18,60	3.838,50	2,70		10.363,95	704,75	9.659,20	2.610,18	3,76	775,38





**Berechnung Ökobilanzwerte Verkehr -> Über CO2 Wert des Transports auf die anderen Werte schließen - Quelle: Baustoffatlas**

**MIH:** 50 Jahre, 23 km/Tag durchschnittl 8395 km/a  
**RB:** 50 Jahre, 35 km/Tag durchschnittl 12775 km/a

→ über CO<sup>2</sup>-Wert des Transports auf die weiteren Werte schließen:

Transport- mittel	km/Jahr	Einheit	PEI gesamt	PEI n. ern.	PEI ern.	GWP	ODP	AP	EP	POCP	
			Primär- energie gesamt [MJ]	Primär- energie n.ern. [MJ]	Primär- energie ern. [MJ]	Treib- hauseffekt [kgCO2eq]	Ozon- abbau [kgR11eq]	Ver- sauerung [kgSO2eq]	Über- düngung [kgPO4eq]	Sommer- smog [kgC2H4eq]	
<b>Vorgabe</b>	LKW	1	1 / t km	1,50031	1,5	0,00031	0,11	3,87E-08	0,00099	0,00016	0,00019
	PKW	9,0909091	1 / t km	13,63918182	13,63636364	0,00281818	1	3,518E-07	0,009	0,00145455	0,001727273
<b>MIH</b>	PKW	<b>8.395,0</b>	1 / t km	<b>933087,70</b>	<b>932894,90</b>	<b>192,80</b>	<b>68412,29</b>	<b>0,02</b>	<b>615,71</b>	<b>99,51</b>	<b>118,17</b>
<b>RB</b>	PKW	<b>12.775,00</b>	1 / t km	<b>1419916,07</b>	<b>1419622,68</b>	<b>293,39</b>	<b>104105,66</b>	<b>0,04</b>	<b>936,95</b>	<b>151,43</b>	<b>179,82</b>

	Nutzfläche nach EnEV: [m²]	Verbrauch pro m2 und Jahr kWh/m²a	Primärenergiebedarf kWh/a	Primärenergiefaktor PEI n. ern.	Primärenergiefaktor PEI ern.	GWP kg CO2/a	Mini Haus PEI gesamt[MJ]	Riedberg PEI gesamt.[MJ]	Mini Haus PEI [MJ]	Riedberg PEI [MJ]	Mini Haus GWP [CO2]	Riedberg GWP [CO2]	50 Jahre
<b>Heizenergie und TWW</b>	213,312	13,54					1438719,02	4463763,61			50324,11	292545,68	
<b>Endenergie Anlage</b>	213,312	0,00	3386,68	3156,39	230,29	852,94	609602,85	2890366,01			42647,11	182472,60	
<b>Geräte und Verbraucher</b>	213,312	18,87	4606,20	230,31	4375,89	153,54	829116,17	1573397,61			7677,00	110073,08	
<b>Bau-konstruktion</b>							1832275,06	7150964,42	Mini Haus	Riedberg	71270,04	881868,30	
Prim.En.n.ern							1489984,15	6898399,61	342290,91	252564,81			
<b>Lebenszyklus</b>							176262,17	45683,86			-1335,98	2666,14	
Prim.En.n.ern							87165,98	39942,57	89096,19	5741,29			
<b>urbane Infrastruktur / Mobilität</b>									927624,31	1411602,21	68412,29	104105,66	
											68412,29	104105,66	
<b>Landschaft</b>													62,57
							100426,86	359832,41			3496,70	44226,72	
							3447256,25	11660411,89			77611,06	994607,51	

300 BAUWERK INSTANDHALTUNG																																										
BKI	Bau- Beschreibung / teil Spezifizierung	Schichten	Bestandteile	Men- ge	Länge [m]	Breite [m]	Höhe [m]	Fläche [m2]	Abzug [m2]	Netto- fläche [m2]	Anteil [%]	Volumen [m3]	Summe	Roh- dichte [kg/m3]	Mass e [kg]	Primärenergie n.em. [MJ]	Primärenergie em. [MJ]	GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]	ODP Ozonabbau [kgR11eq]	AP Versauerung [kgSO2eq]	EP Überdüngung [kgPO4eq]	POCP Sommersmog [kgC2H4eq]	Lebenszyklus INDEX	PEI n. em. [MJ]	PEI em. [MJ]	GWP Treibhauseffekt [kgCO2eq]	ODP Ozonabbau [kgR11eq]	AP Versauerung [kgSO2eq]	EP Überdüngung [kgPO4eq]	POCP Sommersmog [kgC2H4eq]												
																								91484,30189	123362,5776	-4,754	0	27	3	8												
310	<b>Baugrube</b>																																									
320	Gründung		PI Durchmesser									24,16			42.783,63	62.984,81	1.216,953	6.198,68	2,99E-04	39,681		2,225	2,623	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
322	<b>Pfahlgründung</b>																																									
	<b>Pfahlgründung Keller, ungedämmt</b>																																									
				7	3,14	0,25	5,00					1,72	1,76		4.370,57	7.907,80	126,166	764,90		1,972		0,253	0,272																			
	Stahlbeton, Beton	C20/25					5,00			0,34	100%	1,71			2.320	3.965,97	1.549	2.647,97	17	29,061	251	429,08	1,80E-05	3,08E-05	0,680	1,162	0,110	0,188	0,086	0,147	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Stahlanteil						5,00			0,34	3%	0,05			7.850	404,60	102,050	5.259,84	1,884	97,105	6.516	335,82	7,38E-05	3,80E-06	15,700	1,256	0,065	2,434	0,125	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	<b>Summe Stahl: 1.811,68</b>																																									
322	<b>Flachgründungen</b>																																									
	<b>Flachgründungen Keller</b>																																									
	Fundamenterde (Stahlband)	Stahl		1				0,00		0,00		6,70	6,70		15.912,13	17.731,03	252,942	2.145,15		5,694		0,825	0,755	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
				22,00	0,00	0,05						0,00			7.850	25,91	188,400	621,72	4,239	13,989	13,345	44,04	5,20E-05	1,71E-07	40,035	0,132	3,297	0,011	6,437	0,021	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
322 13	<b>Streifenfundamente C20/25, ungedämmt</b>																																									
	<b>Summe Stahl kg</b>																																									
				1	5,46	0,80	0,50					2,18																														
				1	2,30	0,80	0,50					0,92																														
				1	1,80	0,80	0,50					0,72																														
				1	1,00	0,80	0,50					0,40																														
				1	3,30	0,80	0,50					1,32																														
				1	3,85	0,30	0,50					0,58																														
				1	3,85	0,30	0,50					0,58																														
	Stahlbeton, Beton	C20/25								99%	6,63	2,320	15.386,26	1.549	10.272,98	17	112,744	251	1.664,63	1,80E-05	1,19E-04	0,680	4,510	0,110	0,730	0,086	0,570	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Stahlanteil									1%	0,07	7,850	78,50	525,87	102,050	6.836,33	1,884	177,473	6,516	436,47	7,38E-05	4,94E-06	15,700	1,052	1,256	0,084	2,434	0,163	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
322 13	<b>Bodenplatte C20/25, gedämmt</b>																																									
	<b>Summe Stahl kg</b>																																									
				1	0,30	31,40						9,42																														
	Stahlbeton, Beton	C20/25					0,30			99%	9,33	2,320	21.635,86	1.549	14.445,66	17	158,539	251	2.340,78	1,80E-05	1,68E-04	0,680	6,342	0,110	1,026	0,086	0,802	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Stahlanteil						0,30			1%	0,09	7,850	739,47	102,050	9.613,11	1,884	177,473	6,516	613,76	7,38E-05	6,95E-06	15,700	1,479	1,256	0,118	2,434	0,229	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	10cm Perimeter Wärmedämmung	Styrodur					0,20			100%	6,28	20	125,60	3,375	21.195,00	100	628,000	175	1.099,00	0,00E+00	0,00	4,167	26,167	0,041	0,256	0,133	0,837	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
330	<b>Außenwände</b>																																									
												65,91			29.431,86	105.622,03	109.670,108	4.179,57	6,46E-04	33,006		3,756	9,775	57.686,35	90.462,27	-4.067,62	0,00	17,93	1,57	5,41												
336	<b>Tragende Außenwände</b>																																									
	<b>Tragende Außenwände EG</b>																																									
							46,50	-9,08	37,42			16,37	16,37		15.194,88	24.031,82	893,330	2.843,01		1,04E-04		6,106	0,850	0,887	4.688,28	445,34	496,99	0,00	1,47	0,17	0,38											
	Mauerwerkswand S mit Fenster (Abzug S14)			1	2,93	5,40	0,39	15,84	-3,77	12,07	100%	4,65																														
	Mauerwerkswand S ohne Fenster			1	2,93	5,20	0,39	15,26		15,26	100%	5,87																														
	Mauerwerkswand O			1	2,93	4,05	0,39	11,88	-4,03	7,86	100%	3,03																														
	Mauerwerkswand West (Abzug W8)			1	2,93	1,20	0,39	3,52	-1,28	2,24	100%	0,86																														
	Anstrich	Silikatdispersion K2 mineral.. kunstst.verg.					0,00			37,42	100%	0,04			1.400	52,39	7.300	273,19	1,400	52,393	260	9,73	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,112	0,280	0,010	1,000	0,037	x	0,08	50	1.092,78	209,57	38,92	0,00	0,45	0,04	0,15	0,15	
	Außenputz	Mineralwolle					0,02			37,42	100%	0,75			1.500	1.122,72	2.675	2.002,18	28	20,957	448	335,32	2,00E-05	1,50E-05	0,610	0,457	0,090	0,067	0,083	0,062	x	0,025	50	2.502,72	26,20	419,15	0,00	0,57	0,08	0,08	0,08	
	Dämmung	Kalksandstein					0,20			37,42	100%	7,48			20	149,70	617	4.615,61	12	87,322	45	336,81	0,00E+00	0,00E+00	0,308	2,308	0,042	0,312	0,042	0,312	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Mauerwerk	Zementmörtel					0,87	0,18		37,42	90%	5,13			1.800	9.230,41	2.030	10.409,85	117	599,977	247	1.266,62	8,00E-06	4,10E-05	0,220	1,128	0,031	0,159	0,035	0,179	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Fugenteil	C25					0,13	0,18		37,42	90%	0,77			2.250	1.724,07	2.161	1.655,87	27	20,689	389	298,07	2,00E-05	1,53E-05	0,850	0,651	0,130	0,100	0,099	0,076	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	STB Stütze	Stahl					0,99	0,24		37,42	10%	0,89			2.320	2.062,92	1.549	1.377,36	17	15,116	251	223,19	1,80E-05	1,60E-05	0,680	0,605	0,110	0,098	0,086	0,076	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stahlanteil						0,01	0,24		37,42	10%	0,01			7.850	70,51	102,050	916,59	1,884	16,922	6,516	58,52	7,38E-05	6,63E-07	15,700	0,141	1,256	0,011	2,434	0,022	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Innenputz	Gipsputz					0,02			37,42	100%	0,56			1.300	729,77	1.477	829,13	10	5,389	177	99,36	8,00E-06	4,49E-06	0,150	0,084	0,016	0,009	0,029	0,016	x	0,017	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Anstrich	Silikatdispersion K1					0,00			37,42	100%	0,04			1.400	52,39	7.300	273,19	1,400	52,393	260	9,73	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,112	0,280	0,010	1,000	0,037	x	0,08	50	1.092,78	209,57	38,92	0,00	0,45	0,04	0,15	0,15	
	<b>Leibung EG</b>																																									
												7,72																														
	Fensterleibung Südseite S14			1	2,98	0,18	2,53					1,93																														
	Fensterleibungen Ostseite O6 und O7			1	2,14	0,24	2,53					2,24																														
	Fensterleibungen Ostseite O8			1	1,04	0,24	2,53					1,72																														
	Fensterleibungen Westseite W8			1	0,87	0,24	2,94					1,83																														
	Innenputz	Gipsputz					0,02				100%	0,12			1.300	150,47	1.477	170,96	10	1,111																						

BKI	Bau- Beschreibung /	Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil [%]	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]												
		Außenputz	mineral-, kunstst.verq.				0,02			13,21	100%	0,26		1.500	396,25	2.675	706,64	28	7,397	448	118,35	2,00E-05	5,28E-06	0,610	0,161	0,090	0,024	0,083	0,022	x	0,025	50	883,30	9,25	147,93	0,00	0,20	0,03	0,03			
		Dämmung	Mineralwolle				0,20			13,21	100%	2,64		20	52,83	617	1.629,01	12	30,819	45	118,87	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,815	0,042	0,110	0,042	0,110	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
		Mauerwerk	Kalksandstein		0,87	0,18				13,21	90%	1,81		1.800	3.257,73	2.030	3.674,00	117	211,753	247	447,03	8,00E-06	1,45E-05	0,220	0,398	0,031	0,056	0,035	0,089	0,027	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
		Fugenantrieb	Zementmörtel		0,13	0,18				13,21	10%	0,27		2.250	608,48	2.161	584,42	27	7,302	399	105,20	2,00E-05	5,41E-06	0,850	0,230	0,130	0,035	0,099	0,027	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		STB Stütze	C25		0,99	0,24				13,21	10%	0,31		1.549	486,12	1.549	486,12	17	5,335	251	78,77	1,80E-05	5,65E-06	0,680	0,213	0,110	0,035	0,086	0,027	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Stahlteil	Stahl		0,01	0,24				13,21	10%	0,00		7.850	24,88	102,050	323,49	1.884	5,972	6.516	20,65	7,38E-05	2,34E-07	15,700	0,050	1,256	0,004	2,434	0,008	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Innenputz	Gipsputz				0,02			13,21	100%	0,20		1.300	257,56	1.477	292,63	10	1,902	177	35,07	8,00E-06	1,58E-06	0,150	0,030	0,016	0,003	0,029	0,006	x	0,017	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Anstrich	Silikatdispersion K1				0,00			13,21	100%	0,01		1.400	18,49	7,300	96,42	1.400	18,491	260	3,43	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,040	0,280	0,004	1,000	0,013	x	0,08	50	385,68	73,97	13,74	0,00	0,16	0,01	0,01	0,01	0,01	
<b>Tragende Holzständerwände 1.OG</b>																																										
							31,75	-8,99	22,76			7,25	7,25		1.539,17		13.043,23		18.383,723		-563,83		1,16E-04		4,307		0,449		1,457			8.570,97	16.035,02	-879,11	0,00	2,68	0,23	0,85				
		Holzständerwand S (Abzug S11, S12, S13)		1	2,51	9,15	0,37	22,93	-5,82	17,11	100%	6,35																														
		Holzständerwand W (Abzug W6)		1	2,51	3,52	0,37	8,82	-3,17	5,65	100%	2,10																														
		Sticks	Acrylharz- beschichtung				0,04			22,76	40%	0,36		450	163,85	609	221,75	9.512	3.463,516	-792	-288,38	9,00E-06	3,28E-06	0,370	0,135	0,041	0,015	0,310	0,113		0,04	50	443,50	6.927,03	-576,77	0,00	0,27	0,03	0,23			
		Unterkonstruktion Sticks	verzinkter Stahl	40	0,12	0,12	0,00			7,920	100%	0,00		7.920	4,56	205,920	118,61	4,435	2,555	15,840	9,12	6,57E-03	3,79E-06	45,144	0,026	3,643	0,002	6,970	0,004		0,04	50	237,22	5,11	18,25	0,00	0,05	0,00	0,01			
		Baufurniersperrholz					0,02			22,76	100%	0,50		490	245,33	4,729	2.367,65	15,041	7.530,517	-636	-318,42	7,00E-05	3,50E-05	1,620	0,811	0,190	0,095	1,300	0,651	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		vertikale Lattung					0,02			22,76	15%	0,08		450	36,87	609	49,89	9,512	779,291	-792	-64,89	9,00E-06	7,37E-07	0,370	0,030	0,041	0,003	0,310	0,025	x	0,022	50	54,88	857,22	-71,37	0,00	0,03	0,00	0,03			
		Pavatex	Weichfaserplatte		0,05					22,76	100%	1,14		160	182,06	3,633	4.134,29	658	748,103	158	180,16	0,00E+00	0,00E+00	1,083	1,233	0,069	0,079	0,167	0,190	x	0,025	50	5.167,86	936,38	225,20	0,00	1,54	0,10	0,24			
		Dämmung	Mineralwolle		0,20					22,76	87%	3,96		20	79,20	617	2.441,88	12	46,198	45	178,19	0,00E+00	0,00E+00	0,308	1,221	0,042	0,165	0,042	0,165	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Stahlstütze	verzinkter Stahl	4		2,50	0,00			7,920	100%	0,01		7.920	62,09	205,920	1.614,41	4,435	34,772	15,840	124,19	6,57E-03	5,15E-05	45,144	0,354	3,643	0,029	6,970	0,055	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Holzständer	Kiefer				0,20			22,76	13%	0,59		450	266,26	609	360,34	9,512	5.628,214	-792	-468,62	9,00E-06	5,33E-06	0,370	0,219	0,041	0,024	0,310	0,183	x	0,025	50	450,43	7.035,27	-585,78	0,00	0,27	0,03	0,23			
		Dampfbremse					0,00			22,76	100%	0,00		930	4,23	69,750	317,47	84	0,381	1,693	7,70	9,30E-04	4,23E-06	4,650	0,021	0,586	0,003	5,487	0,025	x e	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		Doppelte Beplankung	Fermacell		0,03					22,76	100%	0,57		800	455,15	2,183	1.242,05	206	117,258	123	70,15	2,10E-05	1,19E-05	0,330	0,188	0,049	0,028	0,041	0,023	x	0,025	50	1.552,56	146,57	87,69	0,00	0,23	0,04	0,04			
		Anstrich	Silikatdispersion K1				0,00			22,76	100%	0,02		1.400	31,86	7,300	166,13	1.400	31,861	260	5,92	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,068	0,280	0,006	1,000	0,023	x	0,08	50	664,52	127,44	23,67	0,00	0,27	0,03	0,09			
<b>Leibung</b>																																										
		Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße S11, S12, S13	1	2,10	1,85	0,15	7,90		1,18																																
		Innenputz	Gipsputz				0,01			1,18	100%	0,01		1.300	7,70	1,477	8,75	10	0,057	177	1,05	8,00E-06	4,74E-08	0,150	0,001	0,016	0,000	0,029	0,000	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>Tragende Holzständerwände 2.OG</b>																																										
							46,77	-10,32	36,45			11,59	11,59		2.454,72		19.882,96		29.424,527		151,94		1,53E-04		6,673		0,701		2,299			13.586,10	25.681,59	-1.419,13	0,00	4,26	0,36	1,35				
		Holzständerwand O (Abzug O4)		1	2,51	11,02	0,37	27,60	-5,41	22,19	100%	8,23																														
		Holzständerwand W (Abzug W4 und W5)		1	2,51	3,16	0,37	7,92	-2,02	5,90	100%	3,69																														
		Sticks	Phenolharz				0,04			36,45	40%	0,58		450	262,46	609	355,20	9.512	5.547,809	-792	-461,93	9,00E-06	5,25E-06	0,370	0,216	0,041	0,024	0,310	0,181		0,04	50	710,39	11.095,62	-923,86	0,00	0,43	0,05	0,36			
		Unterkonstruktion Sticks	verzinkter Stahl	40	0,12	0,12	0,00			7,920	100%	0,00		7.920	4,56	205,920	118,61	4,435	2,555	15,840	9,12	6,57E-03	3,79E-06	45,144	0,026	3,643	0,002	6,970	0,004		0,04	50	237,22	5,11	18,25	0,00	0,05	0,00	0,01			
		Baufurniersperrholz					0,02			36,45	100%	0,80		490	392,96	4,729	3.792,47	15,041	12.062,270	-636	-510,05	7,00E-05	5,61E-05	1,620	1,299	0,190	0,152	1,300	1,043	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
		vertikale Lattung					0,02			36,45	15%	0,13		450	59,05	609	79,92	9,512	1.248,257	-792	-103,93	9,00E-06	1,18E-06	0,370	0,049	0,041	0,005	0,310	0,041	x	0,022	50	87,91	1.373,08	-114,33	0,00	0,05	0,01	0,04			
		Pavatex	Weichfaserplatte		0,05					36,45	100%	1,82		160	291,62	3,633	6.622,24	658	1.199,901	158	288,58	0,00E+00	0,00E+00	1,083	1,975	0,069	0,126	0,167	0,304													

BKI	Bau- Beschreibung /	Schichten	Bestandteile	Men- Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil [%]	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]									
<b>Leibung</b>																																						
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße	S3	1	1,82	0,15	0,94	0,83																														
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße	S4	1	1,82	0,15	1,31	0,94																														
	Fensterleibungen	Walter-Kolb Straße	S5	1	4,74	0,15	2,44	2,15																														
	Fensterleibungen	Aussenwand Ost	O3	1	1,45	0,15	2,44	1,17																														
	Innenputz	Gipsputz					5,08		5,08	100%	0,03		1,300	33,04	1,477	37,54	10	0,244	177	899,83	8,00E-06	2,03E-07	0,150	0,004	0,016	0,000	0,029	0,001	x	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>Tragende Holzständerwände 4.OG</b>																																						
	Holzständerwand S			1	2,51	6,05	0,37	15,16	-1,59	13,57	100%	5,03																										
	Holzständerwand			1	2,51	4,32	0,37	10,82	-2,16	8,66	100%	3,21																										
	Holzständerwand			1	2,51	3,16	0,37	7,92	-1,88	6,04	100%	2,24																										
	Baufurniersperrholz	vertikale Lattung					0,02		28,27	100%	0,82		490	304,76	4,729	2,941,22	15,041	9,354,817	-636	-395,56	7,00E-05	4,35E-05	1,620	1,008	0,190	0,118	1,300	0,809	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Pavalex	Weichfaserplatte					0,05		28,27	100%	1,41		160	226,17	3,633	5,135,84	658	930,576	158	-223,81	0,00E+00	0,00E+00	1,083	1,531	0,069	0,098	0,167	0,236	x F	0,025	50	6,419,79	1,163,22	279,76	0,00	1,91	0,12	0,29
	Dämmung	Mineralfolle					0,20		28,27	87%	4,92		20	98,38	617	3,033,44	12	57,389	45	221,36	0,00E+00	0,00E+00	0,308	1,517	0,042	0,205	0,042	0,205	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Holzständer	Kiefer					0,20		28,27	13%	0,74		450	330,77	609	447,64	9,512	6,991,672	-792	-582,15	9,00E-06	6,62E-06	0,370	0,272	0,041	0,030	0,310	0,228	x	0,025	50	559,55	8,739,59	-727,69	0,00	0,34	0,04	0,28
	Dampfbremse						0,00		28,27	100%	0,01		930	5,26	69,750	394,38	84	0,473	1,693	9,57	9,30E-04	5,26E-06	4,650	0,026	0,586	0,003	5,487	0,031	x e	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Doppelte Beplankung	Fermacell					0,03		28,27	100%	0,71		800	565,41	2,183	1,542,94	206	145,665	123	87,14	2,10E-05	1,48E-05	0,330	0,233	0,049	0,035	0,041	0,029	x F	0,025	50	1,928,68	182,08	108,93	0,00	0,29	0,04	0,04
	Anstrich	Silikatdispersion K1					0,00		28,27	100%	0,03		1,400	39,58	7,300	206,38	1,400	39,579	260	7,35	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,085	0,280	0,008	1,000	0,028	x	0,08	50	825,50	158,32	29,40	0,00	0,34	0,03	0,11
<b>Leibung</b>																																						
	Fensterleibungen			1	4,06	0,15	0,61	1,40																														
	Fensterleibungen			1	6,73	0,15	1,01	2,32																														
	Fensterleibungen			1	2,44	0,15	0,37	0,84																														
	Fensterleibungen			1	6,73	0,15	1,01	2,32																														
	Fensterleibungen			1	6,60	0,15	0,99	2,28																														
	Fensterleibungen	Aussenwand West		1	5,54	0,15	0,83	1,91																														
	Innenputz	Gipsputz					11,07		11,07	100%	0,06		1,300	71,97	1,477	81,77	10	0,531	177	1,959,82	8,00E-06	4,43E-07	0,150	0,008	0,016	0,001	0,029	0,002	x	0,017	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>334 Außenfenster und Türen</b>																																						
									3,83			3,085,41		44,963,56		9,679,724		2,126,74		3,01E-04		18,088		2,407		1,953		0,22	0,07	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00				
<b>Außenfenster EG</b>									9,08			0,75	0,75	600,72		8,754,22		1,884,603		414,07		5,87E-05		3,522		0,469		0,380		0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00			
	Holzfenster	W8		1	0,87	2,94		1,28	100%																													
	Holzfenster	S14		1	2,98	2,53		3,77	100%																													
	Holzfenster	O8		1	1,04	2,53		1,32	100%																													
	Holzfenster	O6 und O7		1	2,14	2,53		2,71	100%																													
	Holzrahmen	Kiefer					0,10		9,08	20%	0,18		450	81,72	609	110,59	9,512	1,227,383	-792	-143,83	9,00E-06	1,63E-06	0,370	0,067	0,041	0,007	0,310	0,056	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beschichtung	Lack					0,00		9,08	40%	0,00		1,500	2,72	5	0,01	1	0,003	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,002	0,000	0,000	0,000	0,310	0,001	x z	0,1	50	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00		
	Scheibe	Glas					3	0,01	2,6	80%	0,25		2,500	473,98	35,000	6,635,68	200	37,918	2,200	417,10	7,08E-05	1,34E-05	16,020	3,037	2,250	0,427	1,325	0,251	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Edelgasfüllung	Argon					2	0,02	0,00	80%	0,48		0	0,00	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00			
	Gummidichtungen	Kautschuk					0,01		9,08	5%	0,00		1,050	3,81	107,100	388,99	893	3,242	3,675	13,35	1,02E-03	3,69E-06	10,500	0,038	1,008	0,004	4,200	0,015	x ii	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Abstandshalter	Aluminium					0,02		9,08	1%	0,00		2,780	2,52	753,380	684,07	105,640	95,921	61,160	55,53	1,11E-02	1,01E-05	191,820	0,174	15,846	0,014	27,800	0,025	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beschläge	Wetterfester Stahl					0,01		9,08	5%	0,00		7,920	35,96	205,920	934,88	4,435	20,136	15,840	71,91	6,57E-03	2,98E-05	45,144	0,205	3,643	0,017	6,970	0,032	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>Außenfenster 1.OG</b>									12,02			0,99	0,99	795,00		11,585,49		2,494,116		547,98		7,77E-05		4,661		0,620		0,503		0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00			
	Holzfenster	W6		1	0,56	0,94		0,26	100%																													
	Holzfenster	W7		1	2,20	2,65		2,91	100%																													
	Holzfenster	S11, S12, S13		3	2,10	1,85		5,82	100%																													
	Holzfenster	O5		1	2,30	2,63		3,02	100%																													
	Holzrahmen	Kiefer					0,10		12,02	20%	0,24		450	108,15	609	146,36	9,512	2,286,049	-792	-190,34	9,00E-06	2,16E-06	0,370	0,089	0,041	0,010	0,310	0,075	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
	Beschichtung	Lack					0,00		12,02	40%	0,00		1,500	3,60	5	0,01	1	0,003	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,002	0,000	0,000	0,000	0,310	0,001	x z	0,1	50	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00		
	Scheibe	Glas					3	0,0																														



BKI	Bau- Beschreibung /	Schichten	Bestandteile	Men- Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto- Volumen	Anteil [%]	Summe	Roh- Masse [kg]	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]										
			Ständer KVH Kiefer				0,06		9,13	87%	0,48	450	214,38	609	290,13	9,512	4.531,598	-792	-377,32	9,00E-06	4,29E-06	0,370	0,176	0,041	0,020	0,310	0,148	x	0,025	50	362,67	5,664,50	-471,64	0,00	0,22	0,02	0,00	0,18
			Dämmung Mineralwolle				0,06		9,13	13%	0,07	20	1,42	617	43,90	12	0,831	45	3,20	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,022	0,042	0,003	0,042	0,003	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Beplankung einfach Fermacell				0,02		9,13	100%	0,14	800	109,52	2.183	298,86	206	28,215	123	16,88	2,10E-05	2,87E-06	0,330	0,045	0,049	0,007	0,041	0,006	x F	0,025	50	373,58	35,27	21,10	0,00	0,06	0,01	0,01	0,01
			Anstrich Silikaldispersion K1				0,00		9,13	100%	0,01	1.400	12,78	7.300	66,62	1.400	12,777	260	2,37	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,027	0,280	0,003	1,000	0,009	x	0,08	50	266,50	51,11	9,49	0,00	0,11	0,01	0,01	0,04
	<b>Tragende Innenwände Holzständer 3.OG</b>								10,79		1,53	1,53	950,05	1,866,40	9,021,109	-649,44	1,68E-05	0,641	0,077	0,335		2,014,18	11,326,59	-864,79	0,00	0,74	0,08	0,44										
			Holzständerwand 10 cm																																			
			Holzständerwand parallell Brandwand	1	3,25	0,13	2,14		6,95	100%	0,90																											
			Holzständerwand Wohnen - Bad Holzständerwand bei Duschwanne	1	0,90	0,13	2,14		1,92	100%	0,25																											
			Anstrich Silikaldispersion K1	0,00					10,79	100%	0,01	1.400	15,11	7.300	78,78	1.400	15,109	260	2,81	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,032	0,280	0,003	1,000	0,011	x	0,08	50	315,12	60,43	11,22	0,00	0,13	0,01	0,01	0,04
			Beplankung einfach Fermacell	0,02					10,79	100%	0,16	800	129,50	2.183	353,40	206	33,363	123	19,96	2,10E-05	3,40E-06	0,330	0,053	0,049	0,008	0,041	0,007	x F	0,025	50	441,74	41,70	24,95	0,00	0,07	0,01	0,01	0,01
			Ständer KVH Kiefer	0,10					10,79	87%	0,94	450	422,50	609	571,78	9,512	8.930,731	-792	-743,60	9,00E-06	8,45E-06	0,370	0,347	0,041	0,038	0,310	0,291	x	0,025	50	714,73	11.163,41	-929,50	0,00	0,43	0,05	0,05	0,36
			Dämmung Mineralwolle	0,10					10,79	13%	0,14	20	2,81	617	86,51	12	0,731	45	6,31	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,043	0,042	0,006	0,042	0,006	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Beplankung einfach Fermacell	0,02					10,79	100%	0,16	800	129,50	2.183	353,40	206	33,363	123	19,96	2,10E-05	3,40E-06	0,330	0,053	0,049	0,008	0,041	0,007	x F	0,025	50	441,74	41,70	24,95	0,00	0,07	0,01	0,01	0,01
			Anstrich Silikaldispersion K1	0,00					10,79	32%	0,00	1.400	4,83	7.300	25,21	1.400	4,835	260	0,90	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	x	0,08	50	100,84	19,34	3,59	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
			Fliesenkleber Zementbasis	0,01					10,79	70%	0,08	2.250	169,97	2.161	163,25	27	2,040	389	29,39	2,00E-05	1,51E-06	0,850	0,064	0,130	0,010	0,099	0,007	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Fliesen	0,01					10,79	68%	0,04	2.000	73,28	6.322	231,63	0	0,002	393	14,40	8,50E-07	3,11E-08	0,960	0,035	0,067	0,002	0,084	0,003	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Fugenteil	0,01					10,79	2%	0,00	2.250	2,55	2.161	2,45	27	0,031	389	0,44	2,00E-05	2,27E-06	0,850	0,001	0,130	0,000	0,099	0,000	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Tragende Innenwände Holzständer 4.OG</b>								3,32		1,51	1,51	959,51	2.244,82	6,496,562	-422,98	2,31E-05	0,542	0,070	0,247		2,919,37	8,145,89	-525,43	0,00	0,72	0,09	0,33										
			Holzständerwand Schacht (lange Seite)	1	0,98	0,25	2,17		2,13	100%	0,53																											
			Holzständerwand Schacht (kurze Seite)	1	0,25		2,17		0,54	100%																												
			KVH Stütze	2	0,15	0,15	2,17		0,65	100%	0,10																											
			Anstrich Silikaldispersion K1	0,00					3,32	100%	0,00	1.400	4,65	7.300	24,24	1.400	4,648	260	0,86	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	x	0,08	50	96,95	18,59	3,45	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
			Beplankung einfach Fermacell	0,02					3,32	100%	0,05	800	39,84	2.183	108,72	206	10,284	123	6,14	2,10E-05	1,05E-06	0,330	0,016	0,049	0,002	0,041	0,002	x F	0,025	50	135,90	12,83	7,68	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
			Ständer KVH Kiefer	0,23					3,32	87%	0,66	450	298,96	609	404,59	9,512	6.319,316	-792	-526,17	9,00E-06	5,98E-06	0,370	0,246	0,041	0,027	0,310	0,206	x	0,025	50	505,74	7.899,15	-657,71	0,00	0,31	0,03	0,03	0,26
			Dämmung Mineralwolle	0,06					3,32	13%	0,03	20	0,52	617	15,97	12	0,302	45	1,17	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,008	0,042	0,001	0,042	0,001	x	0	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Beplankung einfach Fermacell	0,23					3,32	100%	0,76	800	610,90	2.183	1.667,07	206	157,383	123	94,15	2,10E-05	1,60E-05	0,330	0,252	0,049	0,038	0,041	0,031	x F	0,025	50	2.083,83	196,73	117,69	0,00	0,31	0,05	0,04	0,04
			Anstrich Silikaldispersion K1	0,00					3,32	100%	0,00	1.400	4,65	7.300	24,24	1.400	4,648	260	0,86	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,010	0,280	0,001	1,000	0,003	x	0,08	50	96,95	18,59	3,45	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01
<b>344</b>	<b>Innentürem</b>								0,40		0,40	259,27	3.102,46	4.948,49	-113,47	7,70E-05	0,92	0,09	0,40		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	<b>Innentür EG</b>								0,11		0,11	73,01	873,68	1.393,540	-31,95	2,17E-05	0,260	0,027	0,111		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
			T 1 (Bad)	1	0,98	0,20	2,17		2,13	100%	0,43																											
			Beschichtung Alkydharz	0,00					2,13	205%	0,00	1.500	3,27	5	0,01	1	0,003	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,002	0,000	0,000	0,000	0,310	0,001	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Holzrahmen Kiefer	0,20					2,13	5%	0,02	450	9,57	609	12,95	9,512	202,282	-792	-16,84	9,00E-06	1,91E-07	0,370	0,008	0,041	0,001	0,310	0,007	x	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Konstruktionsholz Tür	0,04					2,13	100%	0,09	465	39,55	3.578	304,36	13,870	1.179,838	-662	-56,31	5,30E-05	4,51E-06	1,570	0,134	0,190	0,016	1,000	0,085	x z	0,02	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			Metalbeschläge umlaufende Gummiabdichtung	0,04 0,04					2,13 2,13	3% 1%	0,00 0,00	7,920 955	20,21 0,41	205,920 72,580	525,49 30,87	4,435 233	11,318 0,099	15,840 1,832	40,42 0,78	6,57E-03 5,21E-04	1,68E-05 2,22E-07	45,144 7,626	0,115 0,003	3,643 0,502	0,009 0,000	6,970 2,697	0,018 0,001	x x	0,02 0,02	50 50	0,00 0,00	0,00 0,00	0,0					



BKI	Bau- Beschreibung / Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil [%]	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]																		
<b>Unterzug Eingang</b>																																															
	Unterzug Eingang		1	2,80	0,24	0,30	0,62				0,19																																				
<b>Unterzug Mitte</b>																																															
	Unterzug Mitte		1	2,80	0,24	0,30	0,67				0,20																																				
<b>Unterzug Spitze</b>																																															
	Unterzug Spitze		1	0,70	0,24	0,30	0,17				0,05																																				
	Beschichtung	Farbe						0,00	27,07	100%	0,00	1,500	0,90																																		
	Parkett	Fußboden						0,02	27,07	100%	0,54	490	265,27	4,729	2,560,14	15,041	8.142,746	-636	-344,31	7,00E-05	0,00	1,620	0,877	0,190	0,103	1,300	0,704	x	0,013	50																	
	Heizestrich	Zementestrich						0,07	27,07	100%	1,76	2,250	3,958,77	2,161	3,802,18	27	47,505	389	684,43	2,00E-05	0,00	0,850	1,496	0,130	0,229	0,099	0,174	x	0	50																	
	Trennschicht	Polyethylen						0,00	27,07	100%	0,01	930	5,03	69,750	377,61	84	0,453	1,693	9,16	9,30E-04	0,00	4,650	0,025	0,586	0,003	5,487	0,030	x	0	50																	
	Trittschalldämmung	Styropor						0,04	27,07	100%	0,95	25	23,68	4,258	4,034,33	142	134,215	233	221,06	0,00E+00	0,00E+00	5,833	5,528	0,052	0,049	0,183	0,174	x	0	50																	
	Stahlbetondecke	C30						0,20	27,07	98%	5,29	2,340	12,389,36	1,549	8,201,33	17	90,008	251	1,328,94	1,80E-05	9,53E-05	0,680	3,600	0,110	0,582	0,086	0,455	x	0	50																	
	Stahlteil							0,20	27,07	1%	0,05	7,850	424,98	102,050	5,524,68	1,884	101,994	6,516	352,73	7,38E-05	3,98E-06	15,700	0,850	1,256	0,068	2,434	0,132	x	0	50																	
	Vertspachtelung	Gipsputz						0,02	27,07	3%	0,01	1,300	15,84	1,477	17,99	10	0,117	177	4,791,12	8,00E-06	9,74E-08	0,150	0,002	0,016	0,000	0,029	0,000	x	0,017	50																	
	Anstrich	Silikatdispersion K1						0,00	27,07	100%	0,03	1,400	37,90	7,300	197,60	1,400	37,896	260	7,04	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,081	0,280	0,008	1,000	0,027	x	0,08	50																	
	Zusatz Überhang	Dämmung Überhang Styropor	1	1,49	0,90	0,10	1,35		1,35	100%	0,14	25	3,38	4,258	575,12	142	19,133	233	31,51	0,00E+00	0,00E+00	5,833	0,788	0,052	0,007	0,183	0,025	x	0	50																	
	Verputz Überhang	Mineralischer Außenputz	1	1,49	0,90	0,02	1,35		1,35	100%	0,03	1,500	40,52	2,675	72,26	28	0,756	448	12,10	2,00E-05	5,40E-07	0,610	0,016	0,090	0,002	0,083	0,002	x	0,025	50																	
351	71	13	<b>Stahlbeton Unterzüge als Zulage zu Decke über EG</b>																					1,46	1,46	0,42	0,42	1,314,10												0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Stahlbeton	C20/25						0,29	1,46	85%	0,35	2,320	822,80	1,549	549,36	17	6,029	251	367,46	1,80E-05	6,38E-06	0,680	0,241	0,110	0,039	0,086	0,031	x	0	50																	
	Stahlteil							0,29	1,46	15%	0,06	7,850	491,30	188,400	11,791,20	4,239	265,302	13,345	835,21	5,20E-05	3,25E-06	40,035	2,506	3,297	0,208	6,437	0,403	x	0	50																	
<b>Decke über 1.OG</b>																																															
	Bodenfläche		1	5,65	3,88	0,35			21,92	100%	7,65																																				
	Bodenfläche		1	4,60	2,15	0,35			9,89	100%	3,45																																				
	Bodenfläche		1	1,55	0,85	0,35			1,32	100%	0,46																																				
	Beschichtung	Lack						0,00	33,13	100%	0,00	1,500	0,90																																		
	Parkett	Bambusparkett						0,02	33,13	100%	0,50	490	243,50	4,729	2,350,04	15,041	7,474,512	-636	-316,06	7,00E-05	3,48E-05	1,620	0,805	0,190	0,094	1,300	0,646	x	0,013	50																	
	Heizestrich	Anhydritestrich						0,07	33,13	100%	2,15	2,250	4,845,19	2,161	4,653,54	27	58,142	389	837,68	2,00E-05	4,31E-05	0,850	1,830	0,130	0,280	0,099	0,213	x	0	50,00																	
	Trennschicht	Polyethylen						0,00	33,13	100%	0,01	930	6,16	69,750	462,16	84	0,555	1,693	11,21	9,30E-04	6,16E-06	4,650	0,031	0,586	0,004	5,487	0,036	x	0	50																	
	Trittschalldämmung	Styropor						0,04	33,13	100%	1,16	25	28,99	4,258	4,937,68	142	164,267	233	270,56	0,00E+00	0,00E+00	5,833	6,764	0,052	0,060	0,183	0,213	x	0	50																	
	Lastverteilung	OSB						0,02	33,13	100%	0,73	620	451,89	4,593	3,347,60	16,479	12,010,703	-839	-611,50	5,20E-05	3,79E-05	1,520	1,108	0,190	0,138	1,300	0,948	x	0	50																	
	Balkenlage	KVH						0,20	33,13	83%	5,50	2,340	12,868,82	1,549	8,518,72	17	93,491	-792	-4,355,60	1,80E-05	9,90E-05	0,680	3,740	0,110	0,605	0,086	0,473	x	0	50																	
	Dämmung	Mineralwolle						0,20	33,13	17%	1,13	20	22,53	617	694,62	12	13,141	45	50,69	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,347	0,042	0,047	0,042	0,047	x	0	50																	
	doppelte Beplankung	Fernacell						0,03	33,13	100%	0,83	800	662,59	2,183	1,808,13	206	170,700	123	102,12	2,10E-05	1,74E-05	0,330	0,273	0,049	0,041	0,041	0,034	x	0,025	50																	
	Anstrich	Silikatdispersion K1						0,00	33,13	100%	0,03	1,400	46,38	7,300	241,85	1,400	46,381	260	8,61	0,00E+00	0,00E+00	3,000	0,099	0,280	0,009	1,000	0,033	x	0,08	50																	
	Zusatz Überhang	Dämmung Überhang Styropor	1		0,10	5,40			5,40	100%	0,54	25	13,50	4,258	2,299,50	142	76,500	233	126,00	0,00E+00	0,00E+00	5,833	3,150	0,052	0,028	0,183	0,099	x	0	50																	
	Verputz Überhang	Mineralischer Außenputz	1		0,02	5,40			5,40	100%	0,11	1,500	162,00	2,675	288,90	28	3,024	448	48,38	2,00E-05	2,16E-06	0,610	0,066	0,090	0,010	0,083	0,009	x	0,025	50																	
<b>Decke über 2.OG</b>																																															
	Bodenfläche		1	5,75	4,05	0,35		6,00	17,29	100%	6,03																																				
	Bodenfläche		1	3,00	2,20	0,35			6,60	100%	2,30																																				
	Bodenfläche		1	0,85	2,90	0,35			2,47	100%	0,86																																				
	Beschichtung	Lack						0,00	26,35	100%	0,00	1,500	0,90																																		
	Parkett	Bambusparkett						0,02	26,35	100%	0,40	490	193,69	4,729	1,869,31	15,041	5,945,519	-636	-251,40	7,00E-05	2,77E-05	1,620	0,840	0,190	0,075	1,300	0,514	x	0,013	50																	
	Heizestrich	Anhydritestrich						0,07	26,35	100%	1,71	2,250	3,854,05	2,161	3,701,60	27	46,249	389	666,32	2,00E-05	3,43E-05	0,850	1,456	0,130	0,223	0,099	0,170	x	0	50																	
	Trennschicht	Polyethylen						0,00	26,35	100%	0,01	930	4,90	69,750	367,62	84	0,441	1,693	9,92	9,30E-04	4,90E-06	4,650	0,025	0,586	0,003	5,487	0,029	x	0	50																	
	Trittschalldämmung	Styropor						0,04	26,35	100%	0,92	25	23,06	4,258	3,927,62	142	130,664	233	215,21	0,00E+00	0,00E+00	5,833	5,380	0,052	0,048	0,183	0,169	x	0	50																	
	Lastverteilung	OSB						0,02	26,35	100%	0,58	620	359,45	4,593	2,662,81	16,479	9,553,783	-839	-486,41	5,20E-05	3,01E-05	1,520	0,881	0,190	0,110	1,300	0,754	x	0	50																	
	Balkenlage	KVH						0,20	26,35	83%	4,37	450	1,968,53	609	2,664,08	9,512	41,610,387	-792	-3,464,62	9,00E-06	3,94E-05	0,370	1,619	0,041	0,179	1,300	1,356	x	0	50																	
	Dämmung	Mineralwolle						0,20	26,35	17%	0,90	20	17,92	617	552,52	12	10,453	45	40,32	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,276	0,042	0,037	0,042	0,037	x	0	50																	
	doppelte Beplankung	Fernacell						0,03	26,35	100%	0,66	800	527,05	2,183	1,43																																

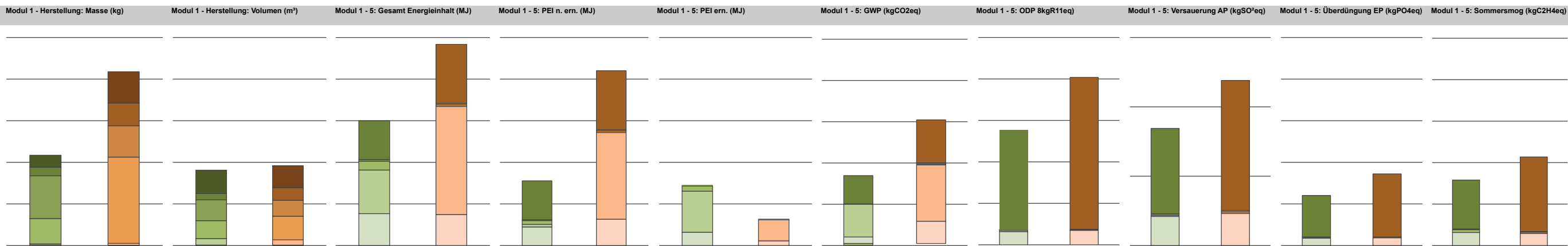


BKI	Bau- Beschreibung / Schichten	Bestandteile	Men-	Länge	Breite	Höhe	Fläche	Abzug	Netto-	Anteil [%]	Volumen	Summe	Roh-	Masse [kg]	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]	INDEX	[MJ]	[MJ]	[kgCO2eq]	[kgR11eq]	[kgSO2eq]	[kgPO4eq]	[kgC2H4eq]						
<b>420</b>	<b>Wärmeversorgungsanlagen</b>																																		
<b>421</b>	<b>Wärmeerzeuger</b>																																		
	<b>Wärmeversorgungsanlagen</b>																																		
									0,65	0,65		589,05		9.383,53		209,760	665,48	2,48E-06	2,104	0,183	0,333			9.979,53	221,12	708,93	0,00	2,40	0,22	0,37					
0102	Wärmepumpe	Stahl, Warmwalzprofil	1	150,00	kg	##### } (Dichte)			0,02		7,850	150,00	188,400	3.600,00	4,239	81,000	13,345	255,00	5,20E-05	9,93E-07	40,035	0,765	3,297	0,063	6,437	0,123	0,02	50	3.609,00	81,20	255,64	0,00	0,77	0,06	0,12
	Wärmespeicher	Stahl, Warmwalzprofil Minerallwolle	1	70,00	kg	##### } (Dichte)		0,05	4,00	0,01	7,850	70,00	188,400	1.680,00	4,239	37,800	13,345	119,00	5,20E-05	4,63E-07	40,035	0,357	3,297	0,029	6,437	0,057	0,02	50	1.684,20	37,89	119,30	0,00	0,36	0,03	0,06
									0,20		20	4,00	617	123,33	12	2,333	45	9,00	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,062	0,042	0,008	0,042	0,008	0,05	50	308,33	5,83	22,50	0,00	0,15	0,02	0,02
	Ab- und Zuluftkanal Stahlwickel-falzrohr	PUR Hartschaum		1,00		0,02	0,00		0,00		7,850	3,67	188,400	88,17	4,239	1,984	13,345	6,25	5,20E-05	2,43E-08	40,035	0,019	3,297	0,002	6,437	0,003	0,02	50	88,39	1,99	6,26	0,00	0,02	0,00	0,00
	d=150mm t=2mm	Aluminium				0,07	6,00		0,42		500	210,00	617	259,00	12	4,900	45	18,90	0,00E+00	0,00E+00	0,308	0,130	0,042	0,018	0,042	0,018	0,05	50	647,50	12,25	47,25	0,00	0,32	0,04	0,04
<b>422</b>	<b>Heizleitungen</b>																																		
	Verteiler und Verschraubung Rohrleitungen für konventionelle Heizung mit Isolation	Messing							0,00		0	0,00	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0103		Stahl, Warmwalzprofil		60,00		0,00			0,00		7,850	26,38	188,400	633,02	4,239	14,243	13,345	44,84	5,20E-05	1,75E-07	40,035	0,135	3,297	0,011	6,437	0,022	0,02	50	634,61	14,28	44,95	0,00	0,13	0,01	0,02
<b>423</b>	<b>Heizflächen</b>																																		
0102	Heizkörper im Untergeschoss	Stahl, Warmwalzprofil	5	25,00	kg	##### } m3/kg			0,02		7,850	125,00	188,400	3.000,00	4,239	67,500	13,345	212,50	5,20E-05	8,28E-07	40,035	0,638	3,297	0,053	6,437	0,103	0,02	50	3.007,50	67,67	213,03	0,00	0,64	0,05	0,10
<b>440</b>	<b>Starkstromanlagen</b>																																		
<b>441</b>	<b>Elektroinstallationen</b>																																		
	<b>Elektroinstallationen</b>																																		
									0,50	0,50		665,43		33.169,50		160,495	557,65	1,96E-04	1,959	0,180	1,931			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Leitungen				Querschnitt		Fläche	Querschnittsfläche																											
	PVC-Leitung 0,25mm	PVC		450,00	0,00		0%	0,11			1,350	151,88	70,200	7.897,50	549	61,729	1,907	214,48	6,70E-04	7,53E-05	6,696	0,753	0,614	0,069	6,603	0,743	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
	PVC-Mantelleitung	PVC		450,00	0,00		0%	0,18			1,350	243,00	70,200	12.636,00	549	98,766	1,907	343,17	6,70E-04	1,21E-04	6,696	1,205	0,614	0,110	6,603	1,189	50,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
<b>441 01</b>	<b>Elektro-Ausstattung</b>																																		
	Schalter-, Abzweigdosen, Abzweigdosen u. P. Lampenauslass mit Dose und Klemme	Kunststoff	PEI	35,00	kg	##### } (Dichte)			0,03		1,000	27,56	0	0,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
	Biegsames Kunststoffrohr	Kunststoff	PEI	450,00	0,00				0%	0,18	1,350	243,00	70,200	12.636,00	0	0,000	0	0,00	0,00E+00	0,00E+00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Tabellenanhang:  
 Prototyp Minihaus  
 Ökobilanzierung, Energietabelle, Heizwärmebedarf.

Vergleich unterschiedlicher Heizsysteme													
Annahme Beitrag solare Deckung WW 52%													
Energieträger	Umwandlung / Technologie	Verteilung im Gebäude	Voraus- setzungen	Minihaus - Deckung des Energiebedarfs Heiz+WW [kWh/m²a]									
				Endenergie- bedarf Heiz+WW	Endenergie- bedarf Heiz+WW	Primär- energie- faktor	Jahres- arbeits- zahl	Primär- energie Summe	Primär- energie ern.	Primär- energie n. ern.	GWP	Kosten	Kosten
				[kWh/m²a]	[kWh/a]			[kWh/a]	[kWh/a]	[kWh/a]	[kg CO²]	(Euro/m²a)	(Euro/a)
				<b>Energiebezugsfläche</b>	<b>206,40</b>								
				Heizwärmebedarf q <sub>H</sub>	13,5								
				Trinkwassererwärmung q <sub>tw</sub> (EnEV)	12,5								
				Lüftung hier nicht erfaßt									
				<b>Summe:</b>	<b>26,0</b>								
				<b>Energiebezugsfläche</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Endenergiebedarf Heiz+WW</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Endenergiebedarf Heiz+WW</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Primärenergiefaktor</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Jahresarbeitszahl</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Primärenergie Summe</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Primärenergie ern.</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Primärenergie n. ern.</b>	<b>206,40</b>								
				<b>GWP</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Kosten</b>	<b>206,40</b>								
				<b>Kosten</b>	<b>206,40</b>								
<b>Umweltwärme + Ökostrom</b>	<b>Wärmepumpe (Geothermie)</b>	<b>Wasser</b>	Heizleitungen										
	Erdwärme/Wasser		Bohrungen	8,51	1.756,52	1,20	2,80	2.107,82	2.002,43	105,39	70,26	1,70	351,13
<b>Umweltwärme + Strommix</b>	<b>Kompaktgerät mit elektr. Wärmepumpe</b>			6,08	1.254,33	2,70	2,70	3.386,68	230,29	3.156,39	852,94	1,23	253,37
<b>Umweltwärme + Ökostrom</b>	<b>Kompaktgerät mit elektr. Wärmepumpe</b>			6,08	1.254,33	1,20	2,70	1.505,19	1.429,93	75,26	50,17	1,21	250,74
<b>Gas (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Gasanschluß										
	Gasbrennwert		Abgassystem	26,04	5.374,53	1,10		5.911,98	84,54	5.827,44	1.343,63	1,74	360,09
<b>Feste Biomasse (Holz / Holzpellets)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Lagereinrichtung										
	indirekte und direkte Wärmeabgabe		Abgassystem	27,81	5.740,22	0,20		1.148,04	1.040,13	107,92	1.435,06	1,06	218,13
<b>Feste Biomasse (Holz / Holzpellets)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Lagereinrichtung										
	nur indirekte Wärmeabgabe		Abgassystem	27,81	5.740,22	0,20		1.148,04	1.040,13	107,92	1.435,06	1,06	218,13
<b>Strom - Strommix</b>	<b>Direktheizung</b>	<b>Kabel + Radiatoren</b>		41,60	8.585,84	2,70		23.181,77	1.576,36	21.605,41	5.838,37	8,40	1.734,34
	Strom												
<b>Strom - Ökostrom</b>				41,60	8.585,84	1,20		10.303,01	9.787,86	515,15	343,43	8,32	1.716,31
<b>Öl (fossil)</b>	<b>Verbrennung</b>	<b>Wasser</b>	Tanks / Lager										
	Ölbrennwert		Abgassystem	26,73	5.517,46	1,10		6.069,21	147,48	5.921,73	1.379,37	2,19	452,43
<b>Strom - Ökostrom</b>	<b>für Licht und Geräte</b>			18,60	3.838,50	1,20	1,20	4.606,20	4.375,89	230,31	153,54	3,72	767,32
<b>Strom - Strommix</b>	<b>für Licht und Geräte</b>			18,60	3.838,50	2,70		10.363,95	704,75	9.659,20	2.610,18	3,76	775,38





Minihaus			Minihaus			Minihaus			Minihaus			Minihaus			Minihaus			Minihaus			Minihaus		
Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt		
2.999.992	100%		446.590	348%		1.445.211	100%		159.666	100%		2.77E-02	100%		845	100%		120	100%		158	100%	
1 - Herstellung	765.969	25.5%	1 - Herstellung	446.590	100.0%	1 - Herstellung	319.379	22.1%	1 - Herstellung	15.682	9.8%	1 - Herstellung	3.19E-03	11.5%	1 - Herstellung	209	24.8%	1 - Herstellung	18	14.6%	1 - Herstellung	31	19.8%
2 - Betrieb	1.047.790	34.9%	2 - Betrieb	61.482	13.8%	2 - Betrieb	986.308	68.2%	2 - Betrieb	79.541	49.8%	2 - Betrieb	0.00E+00	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%
3 - Instandhaltung	214.847	7.2%	3 - Instandhaltung	91.484	20.5%	3 - Instandhaltung	123.363	8.5%	3 - Instandhaltung	-4.754	-3.0%	3 - Instandhaltung	3.31E-04	1.2%	3 - Instandhaltung	9	1.1%	3 - Instandhaltung	2	1.8%	3 - Instandhaltung	7	4.4%
4 - Rückbau	38.298	1.3%	4 - Rückbau	22.330	5.0%	4 - Rückbau	15.969	1.1%	4 - Rückbau	784	0.5%	4 - Rückbau	1.60E-04	0.6%	4 - Rückbau	10	1.2%	4 - Rückbau	1	0.7%	4 - Rückbau	2	1.0%
5 - Mobilität	933.088	31.1%	5 - Mobilität	932.895	208.9%	5 - Mobilität	193	0.0%	5 - Mobilität	68.412	42.8%	5 - Mobilität	2.41E-02	86.7%	5 - Mobilität	616	72.9%	5 - Mobilität	100	82.8%	5 - Mobilität	118	74.8%

Riedberg			Riedberg			Riedberg			Riedberg			Riedberg			Riedberg			Riedberg			Riedberg		
Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt			Gesamt		
4.835.575	100%		4.201.855	100%		633.720	100%		299.566	100%		4.04E-02	100%		1.190	100%		172	100%		214	100%	
1 - Herstellung	744.662	15.4%	1 - Herstellung	632.302	15.0%	1 - Herstellung	112.360	17.7%	1 - Herstellung	53.977	18.0%	1 - Herstellung	3.50E-03	8.7%	1 - Herstellung	230	19.4%	1 - Herstellung	19	10.8%	1 - Herstellung	29	13.7%
2 - Betrieb	2.594.314	53.7%	2 - Betrieb	2.084.323	49.6%	2 - Betrieb	509.991	80.5%	2 - Betrieb	136.556	45.6%	2 - Betrieb	0.00E+00	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%	2 - Betrieb	0	0.0%
3 - Instandhaltung	39.450	0.8%	3 - Instandhaltung	33.993	0.8%	3 - Instandhaltung	5.457	0.9%	3 - Instandhaltung	2.229	0.7%	3 - Instandhaltung	7.08E-05	0.2%	3 - Instandhaltung	12	1.0%	3 - Instandhaltung	1	0.7%	3 - Instandhaltung	3	1.5%
4 - Rückbau	37.233	0.8%	4 - Rückbau	31.615	0.8%	4 - Rückbau	5.618	0.9%	4 - Rückbau	2.699	0.9%	4 - Rückbau	1.75E-04	0.4%	4 - Rückbau	12	1.0%	4 - Rückbau	1	0.5%	4 - Rückbau	1	0.7%
5 - Mobilität	1.419.916	29.4%	5 - Mobilität	1.419.623	33.8%	5 - Mobilität	293	0.0%	5 - Mobilität	104.106	34.8%	5 - Mobilität	3.66E-02	90.7%	5 - Mobilität	937	78.7%	5 - Mobilität	151	87.9%	5 - Mobilität	180	84.1%

## **Anhang F: Ökobilanzdaten der Baustoffe**

Material	Beschreibung	BEZUGS- BEZUGS- FAKTOR		BEZUG S- EINHEIT	PEI n. ern. Prim.En. n.ern.	PEI ern. Prim.En. ern.	GWP Treibhaus-effekt	ODP Ozonabbau	AP Versauerung	EP Überdüngung	POCP Sommer-smog	
		Rohdichte	SUMME									[kg/m3]
<b>Naturstein</b>												
Granit	Herkunftsland Indien, poliert	2750	1,00	m3	m3	9837	332	626	1,20E-04	4,5	0,45	0,35
Sandstein / Kies	ortsnahe Herkunft	2500	1,00	m3	m3	4099	153	253	4,70E-05	0,5	0,08	0,06
Schieferplatten	ortsnahe Herkunft, gesägt	2700	1,00	m3	m3	4608	165	286	5,50E-05	0,6	0,10	0,08
Marmor	Herkunftsland Italien, poliert	2700	1,00	m3	m3	6749	249	422	8,00E-05	1,8	0,20	0,16
<b>Lehmbaustoffe</b>												
Stampflehm		2200	1,00	m3	m3	158	1	10	3,00E-06	0,1	0,01	0,01
Lehmsteine	Grünlinge	1200	1,00	m3	m3	1257	4	74	3,00E-06	0,1	0,01	0,02
<b>Baustoffe mit mineralischen Bindemitteln</b>												
<b>Mörtel und Estriche</b>												
Anhydritmörtel/ -estrich	Druckfestigkeitsklasse 20	2350	1,00	m3	m3	655	11	43	1,00E-05	0,2	0,04	0,04
Magnesiummörtel/ -estrich	Druckfestigkeitsklasse 20	2000	1,00	m3	m3	2439	10	348	1,60E-05	0,4	0,06	0,07
Zementmörtel/ -estrich	Druckfestigkeitsklasse 20	2250	1,00	m3	m3	2161	27	389	2,00E-05	0,9	0,13	0,10
Gipsmörtel	Putzmörtelklasse PlVa, Gipsputz	1300	1,00	m3	m3	1477	10	177	8,00E-06	0,2	0,02	0,03
Kalk-Zementmörtel	Putzmörtelklasse PlIa, Aussenputz	1500	1,00	m3	m3	2675	28	448	2,00E-05	0,6	0,09	0,08
Kalk-Gipsmörtel	Kalk-Gipsputz	1400	1,00	m3	m3							
<b>Werksteine</b>												
Kalksandstein		1800	1,00	m3	m3	2030	117	247	8,00E-06	0,2	0,03	0,04
Betonstein	Pflaster	2500	1,00	m3	m3	1990	46	310	1,30E-05	0,6	0,08	0,06
Porenbetonstein		400	1,00	m3	m3	1484	81	186	1,00E-05	0,3	0,05	0,04
Leichtbetonstein		600	1,00	m3	m3	787	35	97	1,10E-05	0,3	0,05	3,00
<b>Beton</b>												
Magerbetonplatte	Magerbeton C5; Sauberkeitsschicht unter Bodenplatte	2000	1,00	m2	10							
Ortbeton	C20/25	2320	1,00	m3	m3	1549	17	251	1,80E-05	0,7	0,11	0,09
Ortbeton	C25/30	2340	1,00	m3	m3	1549	17	251	1,80E-05	0,7	0,11	0,09
Ortbeton	C35/45	2360	1,00	m3	m3	1764	23	320	1,60E-05	0,7	0,10	0,08
Betonfertigteile	2% Stahl (FE360B, C35/45)	2500	1,00	m3	m3	4098	86	455	3,10E-05	1,0	0,12	0,12
<b>Platten</b>												
Faserzementplatte		1750	1,00	m2	m3	26839	116	2200	2,00E-04	4,3	0,60	1,04
Gipsplatte	Typ A aus BSA, 82%	850	1,00	m3	m3	2655	251	150	2,70E-05	0,4	0,06	0,05
Gipsfaserplatten	Gipsfaserplatte, 18%, z.B. inkl. Klebemörtel, 120mm; zB PAVATEX	800	1,00	m3	m3	2183	206	123	2,10E-05	0,3	0,05	0,04
Holzfaserdämmplatte		160	1,00	m2	8,33	3633	658	158	0,00E+00	1,1	0,07	0,17
<b>Beschichtungen</b>												
Siilikatbeschichtung	K1, K2	1400	1,00	m2	1000	7300	1400	260	0,00E+00	3,0	0,28	1,00
<b>Keramische Baustoffe</b>												
Hochlochziegel	Aussenwand, Dichte:	670	1,00	m3	m3	1485	638	95	1,00E-05	0,3	0,03	0,05
Mauerziegel/Dachziegel	Innenwand	750	1,00	m3	m3	1663	715	107	1,10E-05	0,3	0,04	0,06
Vollklinker		1600	1,00	m3	m3	4776	39	301	2,90E-05	0,8	0,08	0,14
Steingut glasiert	Sanitärinstallationen	2000	1,00	m3	m3	4540		0,41				
Steinzeug glasiert	Fliese	2000	1,00	m3	m3	6322	0,06	393	8,50E-07	1,0	0,07	0,08
Steinzeug unglasiert	Fliese	2000	1,00	m3	m3	7160	0,07	445	8,50E-07	1,0	0,07	0,09
<b>Bitumenhaltige Baustoffe</b>												
reines Destillationsbitumen	B 100-B 70	1045	1,00	kg	m3	47652	10	387	1,05E-03	2,1	0,29	2,72
polymermodifiziertes Bitumen	PmB 65 A	1045	1,00	kg	m3	36889	21	523	8,61E-04	1,9	0,24	1,99
<b>Holz und Holzwerkstoffe</b>												
<b>Vollholz</b>												
Vollholz Nadelholz	KVH	420	1,00	m3		470		0,3				
Vollholz Laubholz	KVH	420				750						
<b>Schnittholz</b>												
Kiefer	12% Holzfeuchte, ortsnahe Herkunft	450	1,00	m3	m3	609	9512	-792	9,00E-06	0,4	0,04	0,31
Western Red Cedar	12% Holzfeuchte, Herkunftsland Nordamerika	630	1,00	m3	m3	4485	14359	-907	4,90E-05	6,0	0,61	0,56
Teak	12% Hozfeuchte, Herkunftsland Brasilien	660	1,00	m3	m3	3217	13435	-1013	1,50E-05	4,0	0,41	0,37
<b>Holzwerkstoffe</b>												
Brettschichtholz (BSH)	12% Holzfeuchte	465	1,00	m3	m3	3578	13870	-662	5,30E-05	1,6	0,19	1,00
Bau-Furniersperrholz (BFU)	5% Holzfeuchte	490	1,00	m3	m3	4729	15041	-636	7,00E-05	1,6	0,19	1,30
Holzspanplatten (P5, V100)	8,5% Holzfeuchte	690	1,00	m3	m3	5818	12614	-821	8,60E-05	1,2	0,16	0,40



Material	Beschreibung	BEZUGS-	BEZUGS-	FAKTOR	BEZUG	PEI n.	ern	PEI ern.	GWP	ODP	AP	EP	POCP
mitteldichte Faserplatten	7,5% Holzfeuchte	725	1,00	m3	m3	9767	12495	-515	6,60E-05	1,5	0,28	1,40	
Oriented Strand Board (OSB)	4% Holzfeuchte, ortsnahe	620	1,00	m3	m3	4593	16479	-839	5,20E-05	1,5	0,19	1,30	
Fassadenplatten Parklex wie Trespa	55% Phenolharz, 45% Zellulose	1400	1	m3	0,008 m3	24234	19828	3495	2,82E-04	12,8	1,24	1,45	
Zellulose Pavatex	Tapete (Papier)	1000	1,00	m3	166 m3	5478	282	299	0,00E+00	3	0,22	0,00	

#### Metall

##### Eisenmetalle

Gusseisen	Guss (GG20; sekundär), GJL	7200	1,00	kg	m3	72000	3528	6984	3,07E-04	9,4	0,79	1,30	
Baustahl	Warmwalzprofil (FE360B)	7850	1,00	kg	m3	188400	4239	13345	5,20E-05	40,0	3,30	6,44	
Betonstahlmatten	sekundär	7850	1,00	kg	m3	102050	1884	6516	7,38E-05	15,7	1,26	2,43	
Edelstahl	V2A, X 5 CrNi 18-10	7850	1,00	kg	m3	423900	49455	37680	3,46E-04	290,5	94,20	20,41	
Cortenstahl	Dachdeckung, Cortenstahl 10mm, wasserdicht	7850	1,00	m2	3956	1942	15	5,66E-05		1,3	0,08	0,09	
Stahl verzinkt = wetterfester Stahl	Beschläge	7920	1,00	kg	m3	205920	4435	15840	6,57E-03	45,1	3,64	6,97	

##### Nichteisenmetalle

Aluminiumlegierung	EN AW-7022, Blech 2mm	2780	1,00	kg	m3	753380	105640	61160	1,11E-02	191,8	15,85	27,80	
Blei	Blech, 2mm	11340	1,00	kg	m3	385560	21546	26082	3,27E-03	464,9	6,92	28,35	
Titanzink	Reinzink Z1, 0,003% Titan, Blech	7200	1,00	kg	m3	324000	27360	18720	4,02E-04	129,6	7,20	9,36	
Kupfer	Blech, 2mm	8940	1,00	kg	m3	330780	41124	22350	1,64E-03	160,9	20,56	18,77	
Messing													

##### Recyclingpotenziale

Stahl	FE 360B, 85% primär	7850	1,00	kg	m3	-94200	-2198	-5574	1,30E-04	-24,3	-1,88	-3,93	
Stahl	WT St 37-2, 85% primär	7850	1,00	kg	m3	-102050	-1963	-6045	-1,26E-04	-26,7	-1,96	-4,16	
Edelstahl	CrNi 18-10, 25% primär	7920	1,00	kg	m3	-102960	-9504	-7841	-3,41E-04	-166,3	-56,23	-9,50	
Aluminium	EN AW-7022, 100% primär	2780	1,00	kg	m3	-492060	-94520	-44480	-8,34E-03	-147,3	-11,40	-22,52	
Blei		11340	1,00	kg	m3	-238140	-14742	-17010	-1,91E-03	-408,2	-4,88	-23,81	
Titanzink	65% primär	7200	1,00	kg	m3	-208800	-20880	-12240	-2,78E-03	-100,8	-5,40	-6,98	
Kupfer	50% primär	8940	1,00	kg	m3	-160920	-40230	-12516	-8,91E-04	-134,1	-18,77	-16,09	

#### Glas

Floatglas		2500	1,00	kg	m3	35000	200	2200	7,08E-05	16,0	2,25	1,33	
-----------	--	------	------	----	----	-------	-----	------	----------	------	------	------	--

#### Kunststoff

##### Thermoplaste

Polyethylen (PE-HD)	Folie	930	1,00	kg	m3	69750	84	1693	9,30E-04	4,7	0,59	5,49	
Polyvinylchlorid (PVC-P)	Compound für Dachbahn	1350	1,00	kg	m3	82350	1953	2120	8,34E-04	12,1	1,12	1,95	
Polyvinylchlorid (PVC-H)	Compound für Rohre	1350	1,00	kg	m3	70200	549	1907	6,70E-04	6,7	0,61	6,60	
PVC - Bahn	PVC-Folie und Polyethylenvlies (zB	1350	1,00	m2	400 m3	124800	14000	8000	0,00E+00	92,0	4,00	6,00	
PE-RT Kunststoff		950											
PEI		1000											
Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM)	Dichtungsgummi	955	1,00	kg	m3	72580	233	1832	5,21E-04	7,6	0,50	2,70	

##### Duroplaste

Polyesterharz (UP)		1200	1,00	kg	m3	149500	585	6084	2,60E-03	15,6	2,21	7,67	
Epoxidharz (EP)	Bodenbeschichtung	1300	1,00	kg	m3	164400	936	7764	2,40E-03	16,8	2,52	6,00	
Acrylbeschichtung	Dickschichtlasur Acrylbasis + Grundierung; Hauptanwendungsbereich Kunststoff	1500	1,00	m2	m2	4,60	0,14	0,15	0,00E+00	0,001	0,00006	0,00010	
Alkydharzbeschichtung	Alkydharzlack + Grundierung; Hauptanwendungsbereich Holz	1500	1,00	m2	m2	4,80	1,40	0,13	0,00E+00	0,002	0,00023	0,00100	

##### Elastomere

Styrol-Butadien-Kautschuk	Dichtungsgummi	1050	1,00	kg	m3	107100	893	3675	1,02E-03	10,5	1,01	4,20	
Chlor-Butadien-Kautschuk	Lager (Neopren)	1420	1,00	kg	m3	136320	1363	5183	1,25E-03	17,0	1,42	4,40	
Silikon	Dichtungsmasse	950	1,00	kg	m3	86450	28500	3867	7,06E-04	26,6	1,62	2,19	

##### Dämmung

Polystyrolplatte (EPS - Styropor)	Dämmung inkl. Kleber PVAC, 120mm	25	1,00	m2	8,33 m3	4258	142	233	0,00E+00	5,8	0,05	0,18	
Polystyrolplatte (XPS - Styrodur)	Dämmung inkl. Kleber PVAC, 120mm	20	1,00	m2	8,33 m3	3375	100	175	0,00E+00	4,2	0,04	0,13	
Holzfaserdämmplatte	Dämmung inkl. Klebemörtel, 120mm	160	1,00	m2	8,33 m3	3633	658	158	0,00E+00	1,1	0,07	0,17	
Polystyrolplatte (EPS - Styropor)	Trittschall	30	1,00	m2	100 m3	85	3	5	5,90E-05	0,1	0,00	0,00	
Mineralfolienvlies	inkl. Tellerdübel Polyamid, 120 mm	20	1,00	m2	8,33 m3	617	12	45	0,00E+00	0,3	0,04	0,04	

#### Gas

##### Argon

##### Wärmeerzeugung

1TJ = 278 278000 1TJ= 100000 MJ

Erdgas in Heizung	atm. Brenner		TJ	kWh	4,75E-01	6,87E-03	2,48E-01	2,51E-08	3,18E-04	4,17E-05	9,71E-05	
-------------------	--------------	--	----	-----	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	--

Material	Beschreibung	BEZUGS-	BEZUGS-	FAKTOR	BEZUG	PEI n.	ern	PEI ern.	GWP	ODP	AP	EP	POCP
	atm. LowNOx Brennwert		TJ		kWh	4,75E-01	6,87E-03	2,48E-01	2,51E-08	2,43E-04	2,77E-05	9,46E-05	
	Gebälsebrenner LoxNOx		TJ		kWh	4,78E-01	1,01E-02	2,48E-01	2,54E-08	2,33E-04	2,54E-05	9,50E-05	
Heizöl	EL in Heizung		TJ		kWh	4,86E-01	1,21E-02	3,17E-01	5,76E-07	6,69E-04	6,58E-05	3,24E-04	
Strom	Niederspannung		TJ		kWh	1,27E+00	9,28E-02	5,86E-01	2,10E-07	4,32E-03	1,53E-04	1,40E-04	
<b>Trespa</b>		<b>1400</b>	<b>1,00</b>	<b>m3</b>	<b>0,008</b>	<b>m3</b>	<b>26438</b>	<b>17625</b>	<b>3495</b>	<b>2,82E-04</b>	<b>12,8</b>	<b>1,2425</b>	<b>1,45</b>

Lebensdauer Gebäude			50 Jahre		
BAUTEIL	MATERIAL	LEBENSDAUER		(es werden techn. bedingte Erneuerungszyklen berücksichtigt)	
		Zyklus	Jahre		
2					
3					
4					
5					
6					
7	Anstrich	Silikatdispersion K1	0,08	12,5	Innenwände
8					
9	Stahlbeton, Beton	C20/25	0	0,0	Konstruktion
10	Stahlanteil		0	0,0	Konstruktion
11					
12	10cm Perimeter Wärmedämmu	Styrodur	0	0,0	Dämmung gegen Erdreich
13					
14	Außenputz	mineral., kunstst.verg.	0,025	40,0	(Wert gemittelt aus Mieralischem (0,017) und Kunskarzputz (0,033))
15					
16	Dämmung	Mineralwolle	0	0,0	Dämmung Außenwände
17					
18	Mauerwerk	Hochlochziegel	0	0,0	Konstruktion Außenwand
19					
20	Innenputz	Gipsputz	0,017	58,8	
21					
22	Sticks	Lärche (Werte von Kiefer)	0,04	25,0	wie Lärchenvollholzschildeln
23	Unterkonstruktion Sticks	Verzinkter Stahl	0,022	45,5	
24					
25	Lärchenfurnier	Lärche	0,022	45,5	wie Stülpchalung
26	vertikale Lattung		0,022	45,5	MH Unterkonstruktion Holz Fassade
27					
28	Paravex / Fermacell	Weichfaserplatte	0,025	40,0	Gipsfaserplatte aus Holzständerleichtbaukonstr. - evtl. längere Lebensdauer
29	Holzständer	Kiefer	0,025	40,0	Als Paket mit Paravex
30					
31	Dampfbremse		0	0,0	Außenwand
32					
33	Holzrahmen	Kiefer	0,02	50,0	Fenster als Gesamtpaket
34	Beschichtung	Lack	0,1	10,0	(Fenster)
35	Scheibe	Glas	0,02	50,0	(Fenster)
36	Edelgasfüllung	Argon	0,02	50,0	(Fenster)
37	Gummidichtungen	Kautschuk	0,02	50,0	(Fenster)
38	Abstandshalter	Edelstahl	0,02	50,0	(Fenster)
39	Beschläge	Wetterfester Stahl	0,02	50,0	(Fenster)
40					
41	Fliesenkleber	Zementbasis	0	0,0	ist sehr stark Nutzerabhängig - Sanitäreinrichtung / Küche
42	Wandfliesen	Steinzeug glasiert	0	0,0	
43	Fugenanteil	Zementbasis	0	0,0	
44	Sanitäreinrichtung	Steinzeug glasiert	0	0,0	
45					
46	Beschichtung	Alkydharz	0,02	50,0	Wie Fenster - Alkydharz im Innenbereich vermieden
47	Holzrahmen	Kiefer	0,02	50,0	
48	Konstruktionsholz Tür	BSH	0,02	50,0	
49	Metallbeschläge	Stahl verzinkt	0,02	50,0	
50	umlaufende Gummiabdichtung	EPDM	0,02	50,0	
51					
52	Steinzeug Glasiert, Bodenfliesen		0	0,0	ist sehr stark Nutzerabhängig - Wohnräume
53	Fugenanteil		0	0,0	
54	Fliesenkleber	Zementbasis	0	0,0	
55					
56	Zementestrich	Zement	0	0,0	
57	Trennlage	PE-Folie	0	0,0	
58	Dämmung	Polystyrolplatte (XPS)	0	0,0	
59	Trittschall	Holzfaserverplatte	0	0,0	
60					
61	Abdichtung	PVC-Folie	0	0,0	zum Erdreich
62	Noppenfolie Dörken	PE-Folie	0	0,0	
63	Filterkiesschicht	Kies	0	0,0	
64					
65	KS Mauerwerk	Kalksandstein	0	0,0	Tragende Wände
66	Xella Trockenmauermörtel	Trockenmörtel	0	0,0	
67					
68	Dachkonstruktion KVH	Kiefer	0,02	50,0	
69	Bepankung Dachkonstruktion	OSB	0,02	50,0	
70					
71	Dachdichtungsfolie	PVC	0,025	40,0	
72	Dach-Metalleindeckung	Zinkeindeckung	0,025	40,0	
73	Flachdachziegel	einfache Tonpfannendecku	0,025	40,0	
74					
75	Tapete unter Anstrich	Rauhfaser	0,04	25,0	
76					
77	Stahl	Gehäuse, Brenner	0,02	49,9	Heizungsanlage
78	Minerallwolle	Dämmung	0,05	20,0	
79	Verteilerleitung	Messing	0,05	20,0	
80					
81	Parkett	Vollholz	0,013	76,9	
82	Beschichtung Parkett	Alkydharz	0,125	8,0	zu vermeiden
83	Deckenkonstruktion Vollholz	KVH	0	0,0	
84	Lastverteilung	OSB	0	0,0	
85					
86	Kunststoffrohr	PVC	0,05	20,0	Abwasser
87					

88	TWK, TWW Verteilungsrohre	Kupfer	0,04	25,0
89				
90	Fassadenbeplankung	Spanplatte P7	0,02	50,0

## Anhang G: Abwasserbilanz Minihaus

000 Bauwerkskenndaten					
001	Baugrundstück Fläche	119	qm		
002	Ueberbaute Grundfläche	26	qm		
	Hauptgebäude	26	qm		
	Nebenanlagen (Garagen)	0	qm		
003	Wohnfläche	<b>Netto</b> 148,41	qm	<b>Brutto</b> 251,53	qm
	Keller	0	qm	0	qm
	Erdgeschoss	24,68	qm	36,5	qm
	1. OG	28,9	qm	46,1	qm
	2. OG	34,85	qm	47,1	qm
	3. OG	35,37	qm	46,93	qm
	Galerie	15,46	qm	46,9	qm
	Dachterrasse	18,3	0,5 qm	28	qm
1.	Ermittlung der Abwassermengen	1			
	Anzahl der Personen	3			
Subtit	Summe	3			
ionsfä					
hig					
	WC Spülung	0			
	Garten	3			
Nicht	Summe	95			
Subtit					
ionsfä					
hig					
	Körperreinigung	57			
	Geschirrspülung	10			
	Trinken / Kochen	3			
	Wäsche Waschen	18			
	Sonstiges	7			
	Summe	98			
Tages	Summe	294	l/d		
meng					
en					
Jahre	Insgesamt	365	536	l/a	
smen			55		
ge					
	Grauwassernutzung				
	Ersetzbar durch Grauwassernutzung		9	l/d	
		365	164	l/a	
			2,5		

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

<b>1.</b>	<b>Überschuß an zu klärendem Abwasser</b>		<b>52.013</b>	<b>l/a</b>
<b>2.</b>	<b>Verdunstungsanlage</b>			
<b>Verdunstungsflächen</b>				
1.	Schilfbeet im Garten	<b>6</b>	<b>qm</b>	
	Dachfläche über 3. OG (Intensive Dachbegrünung)	18,3	qm	
	Dachfläche über 4. OG (extensive Dachbegrünung)	15	qm	
Niederschlag	Durchschnittswerte Frankfurt am Main (Deutscher Wetterdienst)		<b>655</b>	l/qm*a
1.	Schilfbeet im Garten	6	qm	655 l/qm*a
	Dachfläche über 3. OG (Intensive Dachbegrünung)	18,3	qm	655 l/qm*a
	Dachfläche über 4. OG (extensive Dachbegrünung)	15	qm	655 l/qm*a
<b>Summe Niederschlag</b>				<b>25.742 l/a</b>
Verdunstung	Bambusbeet		<b>-1200</b>	l/qm*a
1.	, Bambusbeet. Es kann der nachgewiesene Wert für das Weidenbeet laut DBU Studie angesetzt werden. Wahrscheinlich ist die Verdunstungsleistung des Bambus noch höher, weil er im als immergrüne Pflanze einen längeren Jahresstoffwechsel hat.	6	qm	-1200 l/m3*a
	Dachfläche über 3. OG (Intensive Dachbegrünung)	18,3	qm	-500 l/qm*a
	Dachfläche über 4. OG (extensive Dachbegrünung)	15	qm	-300 l/qm*a
<b>Summe Verdunstung</b>				<b>-20.850 l/a</b>
Versickerung				
1.	Versickerung durch Sickerpackung	4	qm	
	Filtergeschwindigkeit (ungesättigter Boden) $v(f) = k(f) * I(hy)$	-4,97E-07	m/s	
	Versickerungsbeiwert $k(f)$	-1,00E-06	m/s	
	Versickerungsbeiwert für ungesättigten Boden	-5,00E-07	m/s	

## dgj071 Minimum Impact House – Entwicklung eines nachhaltigen Prototyps

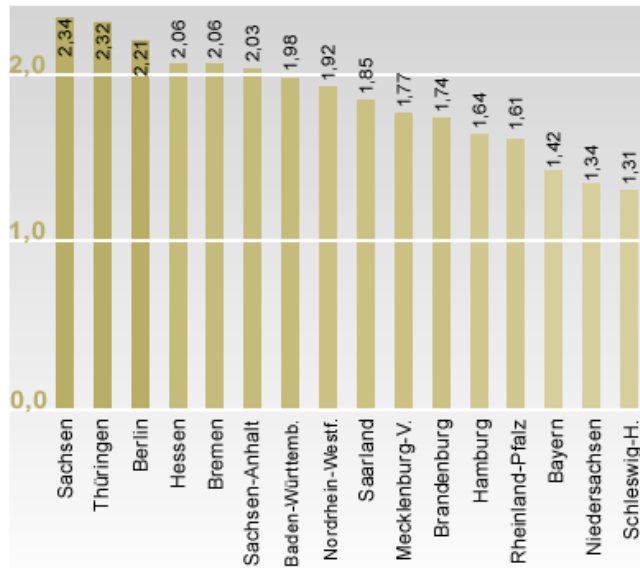
Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH und Fachgebiet ee, TU Darmstadt

k(fu)							
k(fu) = k(f) / 2							
Hydraulisches l(hy)	Gefälle	0,993288	m				
l (hy) = (h(s) + z) / (h(s) + (z/2))		591					
Höhe Grundwasserspiegel h	Normal	-3,8	m				
Der Bemessungswasserspiegel liegt laut Bodengutachten bei -3,8m unter geländeoberkante. Ich gehe in der Berechnung von einem höheren Wert aus, um den steigenden Wasserspiegel bei Regen Rechnung zu tragen.							
Abstand der Anlagensole zu Grundwasserspiegel h(s)		-3,75	m				
Einstauhöhe der Anlage z		0,05	m				
Versickerungsrate Quadratmeter	pro	min		-2,98E-05	m/min		
		h		-0,001787919	m/h		
		d		-0,042910067	m/d		
		a		-15,6621745	m/.a		
		in Litern		-15662,1745	mm/a		
Versickerungsrate Gesamtfläche	pro	4	qm	-15662,1745	l/(a*qm)	-62.649	l/a
<b>Summe Versickerung</b>						<b>-62.649</b>	<b>l/a</b>
<b>Summe Verdunstung und Versickerung</b>						<b>-57.757</b>	<b>l/a</b>
<b>Wasserbilanz</b>						<b>-5.745</b>	<b>l/a</b>

## Anhang H: Preisvergleich Wasser und Abwasser

### Trinkwasserpreis

in Euro pro Kubikmeter Durchschnittswerte 2005

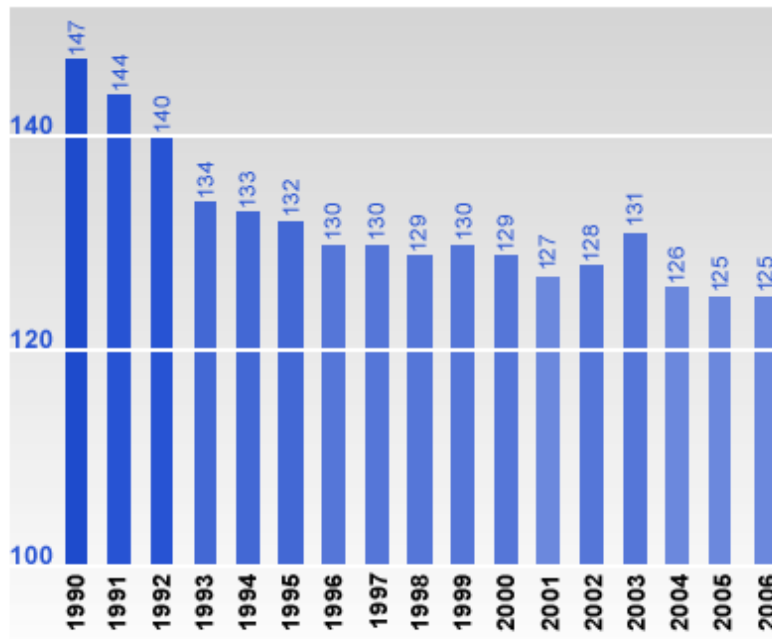


Quelle: BGW

Preisvergleich Wasserversorgung: Quelle Spiegel Online: [http://www.spiegel.de/fotostrecke/0,5538,PB64-SUQ9MjE4NDYmbnI9Mw\\_3\\_3,00.html](http://www.spiegel.de/fotostrecke/0,5538,PB64-SUQ9MjE4NDYmbnI9Mw_3_3,00.html)

### Wasserverbrauch in Deutschland

in Litern pro Einwohner und Tag



Quelle: BGW

Entwicklung Wasserverbrauch: Quelle Spiegel Online: [http://www.spiegel.de/fotostrecke/0,5538,PB64-SUQ9MjE4NDYmbnI9Mg\\_3\\_3,00.html](http://www.spiegel.de/fotostrecke/0,5538,PB64-SUQ9MjE4NDYmbnI9Mg_3_3,00.html)



## **Anhang I: Dokumentation Versickerungsversuch**

### **Versuchsanordnung:**

- Es wurde ein Loch ausgeschachtet  
Breite  $b = 1\text{m}$   
Länge  $l = 1\text{m}$   
Tiefe  $t = 0,5\text{ m}$

Anschließend wurde das Loch zügig mit einem Schlauch bis zur Oberkante mit Wasser gefüllt. Mit einem Maßstab wurde der Wasserpegel gemessen und zu verschiedenen Zeiten notiert:

<b>Messintervall:</b>	<b>Wasserstand/Füllhöhe</b>	<b>Ablesezeit</b>
Füllhöhe (siehe Foto 2):	45cm	13:44
Füllhöhe (ohne Foto):	17cm	14:54
Füllhöhe (ohne Foto):	11cm	15:23
Füllhöhe (ohne Foto):	6cm	15:49
Füllhöhe (siehe Foto 3):	0cm	16:09

Daraus ergibt sich:

**Messdauer:**  $t = 85\text{ min} = 5100\text{ sec}$

**Versickerungshöhe**  $h = 0,45\text{m}$

**$K_f$ -Wert**  $= (h / t) = 0,45\text{m} / 5100\text{ sec} = 8,823 * 10^{-5}\text{ m/s}$

**Fotos zum Versickerungsversuch am Grundstück Walter Kolb Strasse 22, 60594 Frankfurt. Datum: 20.08.2007**

Eine Versickerung von Abwässern ist ökologisch sinnvoll. Um die Versickerungsfähigkeit des Bodens zu ermitteln kann mit einer einfachen Methode ein Versickerungsversuch durchgeführt werden: In einem Loch, das bis auf die Tiefe heruntergeführt wird, in der versickert werden soll, wird Wasser eingefüllt und die Abnahme des Füllstandes beobachtet. Der Versickerungsbeiwert  $K_f$  ergibt sich in der Umrechnung der gemessenen Versickerung auf die Einheit [m/sec].

Foto 1: Füllen der Grube



Foto 2: Füllhöhe 45cm um 13:44



Foto 3: Füllhöhe 0cm um 16:09



## **Anhang J: Korrespondenz mit Lichtblick – Anteile regenerativer Energien in Stromversorgung**

**From:** info@lichtblick.de

**Date:** February 25, 2008 14:17:46 Uhr GMT+01:00

**To:** drexler@dgj.eu

**Cc:** j.thoene@dgj.eu

**Subject:** Re: Re: (Ticket: KM-10039590) Fragen zu Ökostrom. z. HD> Frau Dietrich

geehrter Herr Drexler,

vielen Dank für Ihre E-Mail.

Eine Zertifizierung des Primärenergiefaktors liegt nicht vor und befindet sich nicht in Planung. Da wir den Anteil der einzelnen Erzeugungsarten (Wasserkraft, Biomasse, EEG) nicht über einen längeren Zeitraum garantieren können, könnte eine Zertifizierung auch jeweils nur für ein Jahr und nicht über einen größeren Zeitraum erfolgen.

Auf Grundlage der jetzigen Daten würde der Primärenergiefaktor bei ca. 1,2 liegen. Hierbei handelt es sich um eine unverbindliche Schätzung.

Prinzipiell vermuten Sie richtig. Bei der Erzeugung einer Kilowattstunde LichtBlick-Strom entstehen keine klimaschädlichen oder sonstige Emissionen. Es handelt sich ja um einen zu 100 Prozent regenerativ erzeugten Strom, zu dem keine fossilen Brennstoffe eingesetzt werden.

Da wir aber (sinnvoller Weise) in unserer Bilanzierung auch die vor- und nachgelagerten Prozessketten mit betrachten, rechnen wir so genannte indirekte Emissionen jeder erzeugten und damit bei unseren Kunden verbrauchten Kilowattstunde zu. Indirekte Emissionen entstehen dadurch, dass für den Bau (und den Rückbau (=Abriss)) von Windrädern, Biomasse- und Wasserkraftwerken unvermeidlich auch fossile Brennstoffe eingesetzt werden. Beispiele für vor- und nachgelagerte Prozessketten sind:

zum Schmelzen von Stahl, aus denen der Mast eines Windrades gebaut wird, wird Energie eingesetzt, bei der CO<sub>2</sub>-Emissionen entstehen,

der Bau einer Staumauer erfordert Beton, der über LKW, die mit Diesel betrieben werden, angefahren werden muss,

der Abriss eines Kraftwerks nach einer durchschnittlichen Lebensdauer von x Jahren, erfordert auch wiederum fossilen Energieeinsatz,

der von Ihnen genannte Eigenbedarf eines Kraftwerks geht ebenfalls ein.

In dem Bilanzierungsprogramm, das wir einsetzen, sind diese vor- und nachgelagerten Prozessketten mit abgebildet, so dass wir insgesamt auf derzeit 41 Gramm CO<sub>2</sub>-Emission pro erzeugter Kilowattstunde kommen. Gegenüber dem bundesdurchschnittlichen Vergleichswert in Höhe von 682 gr/kWh entspricht dies einer Reduktion von rund 95 %.

Für weitere Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung und verbleiben

mit freundlichen Grüßen

i. A. Natalie Kassab

Kundenservice

Privat-und Gewerbekunden

LichtBlick - Die Zukunft der Energie GmbH & Co. KG

Max Brauer Allee 44

22765 Hamburg

Fon 01802 660 660

Fax 01802 660 661

Email: info@lichtblick.de

Home: www.lichtblick.de

---

## Anhang K: Förderungsprogramm



Basis- und Bonusförderung im Marktanreizprogramm 2008, Stand: Januar 2008

Maßnahme	Förderung	Förderung					
		Basisförderung	Kesseltausch- bonus	Regenerativer Kombinations- bonus	Effizienzbonus	Solepumpen- bonus	Umwälzpumpen- bonus
SOLAR Errichtung einer thermischen Solaranlage zur ... Erweiterung einer bestehenden Solaranlage	... Warmwasserbereitung bis max. 40 qm Kollektorfläche ... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bis max. 40 qm Kollektorfläche, zur solaren Kälteerzeugung oder zur Bereitstellung von Prozesswärme ... kombinierten Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung auf Ein- und Zwei- familienhäusern mit mehr als 40 qm Kollektor- fläche und einem Pufferspeichervolumen von mind. 100 l/qm Kollektorfläche	60 € pro qm Kollektorfläche, mindestens 410 € 105 € pro qm Kollektorfläche Bei Flachkollektoren: Mind. 9 qm Kollektorfläche, mind. 40 l/qm Pufferspeichervolumen. Bei Röhrenkollektoren: Mind. 7 qm Kollektorfläche, mind. 50 l/qm Pufferspeichervolumen	- 750 € 750 €	750 € 750 €	- Bei Gebäuden der Stufe 1: bis zu 1,5 x Basisförderung. Bei Gebäuden der Stufe 2: bis zu 2 x Basis- förderung	- 50 € je Pumpe	- 200 € je Heizungs- anlage
	... luftgeführten Pelletofens von 8 kW bis 100 kW oder eines Pelletofens mit Wassertasche von 5 kW bis 100 kW	45 € pro qm zusätzlicher Kollektorfläche	-	-	-	-	-
	... Pelletkessels von 5 kW bis 100 kW ... Pelletkessels von 5 kW bis 100 kW mit neu errichtetem Pufferspeicher mit mind. 30l/kW ... Anlage zur Verfeuerung von Holzhack- schnitteln von 5 kW bis 100 kW mit einem Pufferspeicher von mind. 30 l/kW ... Scheitholzvergaserkessels von 15 kW bis 50 kW	36 € pro kW, mindestens 1000 € 36 € pro kW, mindestens 2000 € 36 € pro kW, mindestens 2500 € 1.000 € 1.125 €	- - - - -	- - siehe Solar	- Bei Gebäuden der Stufe 1: Bis zu 1,5 x Basisförderung. Bei Gebäuden der Stufe 2: Bis zu 2 x Basis- förderung	- - - -	- 200 € je Heizungs- anlage
	Errichtung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe	Neubau: 5 € pro qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 850 €; Bestand: 10 € pro qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 1500 €	-	-	-	-	-
WÄRMEN- PUMPE	Errichtung einer Wasser/Wasser oder einer Sole/Wasser-Wärmepumpe	Neubau: 10 € pro qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 2000 €; Bestand: 20 € pro qm Wohn- oder Nutzfläche, max. 3000 €	-	-	-	-	-

**Hinweise:**

Die Bonusförderung kann zusätzlich zur Basisförderung gewährt werden, wenn die Voraussetzungen für die Gewährung des Bonus erfüllt sind.  
 Regenerativer Kombinationsbonus und Effizienzbonus sowie Kesseltauschbonus und Effizienzbonus sind nicht miteinander kombinierbar.

Der regenerative Kombinationsbonus wird nur einmal gewährt.

Wärmepumpe: Der Zuschuss und die Maximalförderung werden pro Wohneinheit gewährt. Bei der Errichtung einer Wärmepumpe in Wohngebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten oder in Nichtwohngebäuden ist die Förderung auf 8% (bzw. 10% oder 15%) der nachgewiesenen Nettoinvestitionskosten für die Wärmepumpenanlage begrenzt.

8.1.1.1.1.1.1  
 8.1.1.1.1.1.1.2

Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien vom 12. Januar 2007 (Förderrichtlinie), Stand 20.03.2008

Förderung im Marktreizprogramm 2008 des Bundesumweltministeriums  
 (Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt)  
 Teil B - KfW-Programm Erneuerbare Energien (Programmöffnung voraussichtlich im 2. Quartal 2008)



Maßnahme		Tilgungszuschüsse
Solar	Thermische Solarkollektoranlagen ab 40 m <sup>2</sup>	bis zu 30% förderfähiger Nettoinvestitionskosten
Biomasse	Anlagen zur Verfeuerung / Vergasung fester Biomasse über 100 kW für die thermische Nutzung	20 € je kW, max. 50.000 € je Einzelanlage Erhöhung um 10 € je kW, wenn Pufferspeichervolumen des Kessels mindestens 30 l/kW Erhöhung um 20 € je kW, wenn staubförmige Emissionen max. 5 mg/m <sup>3</sup> Gesamthöchstförderung 100.000 € je Anlage
	Anlagen zur Verfeuerung / Vergasung fester Biomasse über 100 kW bis 2000 kW zur KWK-Nutzung	40 € je kW
Biogas	Anlagen zur Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität bis 500 m <sup>3</sup> /h Rohgas	bis zu 30 % förderfähiger Nettoinvestitionskosten
	Biogasleitungen für unaufbereitetes Biogas über 300 m	bis zu 30 % förderfähiger Nettoinvestitionskosten
Geothermie	Anlagen zur Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie ab 400 m Bohrtiefe für die thermische Nutzung	1. Anlagen: 200 € je kW, max. 2.000.000 € je Einzelanlage 2. Tiefbohrungen zur Dublettenerrichtung: 375 € je m (ab 400 m bis 1000 m) 500 € je m (ab 1000 m bis 2500 m) 750 € je m (ab 2500 m bis Endtiefe) max. 2.500.000 € je Bohrung, max. 5.000.000 € je Projekt 3. Mehraufwendungen bei Tiefenbohrungen: 50 % des Mehrkostenaufwands je Bohrung max. 50 % der Plankosten max. 1.250.000 € je Bohrung 4. Risikoabsicherung: je Vorhaben einzelvertraglich geregelte Darlehens-Haftungsfreistellung
	Anlagen zur Erschließung und Nutzung der Tiefengeothermie ab 400 m Bohrtiefe zur Stromerzeugung oder KWK-Nutzung	1. Mehraufwendungen bei Tiefenbohrungen: 50 % des Mehrkostenaufwands je Bohrung max. 50 % der Plankosten, max. 1.250.000 € je Bohrung 2. Risikoabsicherung: je Vorhaben einzelvertraglich geregelte Darlehens-Haftungsfreistellung
Nahwärmenetze	Wärmenetze ab 500 kWh Wärmeabsatz pro Jahr & m Trasse	60 € je m <sup>2</sup> Trasse bei erstmaliger Erschließung, sonst 80 € je m Trasse, max. 1.000.000 € (Förderhöchstbetrag) max. 1.500.000 € (erhöhter Förderhöchstbetrag) bei Wärmeinspeisung aus rein thermischer Tiefengeothermie
	inklusive Hausübergabestationen	50% des Förderhöchstbetrages bei Wärmeabsatz >3 MWh pro Jahr und m Trasse ergänzend 20 € je m Trasse bei Vergütungsmöglichkeit nach KWKG, max. bis zu den o.g. Förderhöchstbeträgen je 1.800 €
Wärmespeicher	Wärmespeicher mit Speichervolumen ab 20 m <sup>3</sup>	250 € je m <sup>3</sup> Speichervolumen max. 30 % der Nettoinvestitionskosten, max. 300.000 € je Wärmespeicher