

Ökologische Optimierung von Solar- gebäuden über deren Lebenszyklus

Schlussbericht

IEA SHC Task 28 / EC BCS Annex 38

Sustainable Solar Housing

Ausgearbeitet durch

A. Lalive d'Épinay, A. Primas, B. Wille, Basler & Hofmann AG

.....

Im Auftrag des

Bundesamtes für Energie

Juni 2004

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamt für Energie BFE

Auftragnehmer:

Basler und Hofmann Ingenieure und Planer, Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00 · info@bhz.ch · www.bhz.ch

Autoren:

Annick Lalive d'Epinay, Basler & Hofmann AG
Alex Primas, Basler & Hofmann AG
Barbara Wille, Basler & Hofmann AG

Begleitgruppe:

Andreas Eckmanns, Bereichsleiter Gebäude BFE
Mark Zimmermann, Programmleiter BFE, EMPA Dübendorf

Juni 2004

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL/EDMZ, 3003 Bern, www.admin.ch/edmoz

BBL/EDMZ Bestellnummer: 805.xxx d

Verdankung

Wir bedanken uns bei allen Projektbeteiligten für die gute Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank geht an das Bundesamt für Energie, vertreten durch Herr Mark Zimmermann, das dieses Projekt finanziert hat. Wir bedanken uns auch bei Herrn Hans Bertschinger, der uns die Kontakte zu den Beispielgebäuden vermitteln konnte.

Eine Ökobilanzierung der Beispielgebäude wäre ohne die umfangreichen Informationen und Plangrundlagen der beteiligten Architekten nicht möglich gewesen, wofür wir uns ganz besonders bedanken möchten bei:

- Beat Kämpfen, büro für architektur, Zürich & René Naef, naef energietechnik, Zürich
- Beat Barmettler und Beda Bosshard, BARBOS Bauteam GmbH, Stans
- Heinz Baumeler, Renggli AG, Schötz
- Giovanni Cerfeda, Ecobauhaus, Winterthur.

Annick Lalive d'Epinau
Alex Primas
Barbara Wille

Zusammenfassung

Gebäude belasten die Umwelt über ihren gesamten Lebenszyklus: Bei der Herstellung und Entsorgung durch den hohen Materialbedarf, in der Nutzungsphase durch den Betriebsenergiebedarf. Bei gewöhnlichen Bauten trägt insbesondere der Betriebsenergiebedarf viel zur Umweltbelastung von Gebäuden bei.

Solares Bauen versucht, in erster Linie den Betriebsenergiebedarf von Gebäuden massiv zu senken und ihn zweitens mit erneuerbaren Energien zu decken. Dabei stellt sich die Frage, ob das energiesparende Bauen, welches häufig mit einer erhöhten Materialintensität und einem stärkeren Technisierungsgrad der Gebäude einher geht, auch tatsächlich umweltschonend ist.

Ziel der Studie

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Hauptumweltbelastungen der solaren Architektur anhand von vier Beispielgebäuden mit der Ökobilanzmethodik zu eruieren. Daneben werden verschiedene haustechnische Lösungsansätze (Standardlösungen, *typical solution sets TSS*) zur Erreichung eines niedrigen Betriebsenergiebedarfs untersucht und miteinander verglichen.

Resultate Beispielhäuser

Die Untersuchungen der Beispielhäuser zeigen deutlich, dass mit der Reduktion des Betriebsenergiebedarfs die Umweltverträglichkeit der Gebäude generell stark verbessert wird. Vor allem mit den Bewertungsmethoden, die den nicht erneuerbaren Ressourcen eine hohe Umweltbelastung zuschreiben, fallen die Resultate sehr deutlich aus. Wird eine eher Abfall orientierte Methode verwendet (starke Gewichtung der Abbruchmaterialien und der radioaktiven Abfälle), so weisen für die solaren Häuser dieselben Umweltbelastungen auf wie das Referenzhaus.

Belastungen durch die Materialien

Alle vier Beispielgebäude weisen trotz unterschiedlicher Bauweise eine vergleichbare Belastung in der Erstellung des Gebäudes auf. Bei der Erneuerung zeigen sich Unterschiede, die in den unterschiedlichen Fensterqualitäten und in den Aufwendungen für Solarkollektoren und Photovoltaik gründen. Bei der Entsorgung des Gebäudes spielt der Abbruch der massiven Bauteile eine wichtige Rolle. Eine starke Belastungsreduktion wird durch den geringen Energiebedarf der Beispielgebäude im Betrieb erreicht. Die zusätzlichen Aufwendungen für das Gebäude werden weit mehr als kompensiert.

Gebäudegrundstruktur

Ein grosser Teil der Belastungen resultiert aus den für die Grundstruktur des Hauses verwendeten Materialien (Böden, Wände, Dach). Es zeigte sich hier ein Vorteil des Leichtbaus (und in geringerem Mass des Hybridbaus) gegenüber dem Massivbau. Für massive Gebäude ist ein geringer Anteil an armiertem Beton und Zement in Unterlagsböden wünschenswert. Im Holzbau sollten Zementunterlagsböden bevorzugt mit einheimischen Steinplatten ersetzt werden.

Messwerte - Planungswerte

Der gemessene Betriebsenergiebedarf liegt fast überall deutlich höher als der geplante Wert. Dies liegt an einer an den Kinderkrankheiten der Gebäude, die durch eine gute Betriebsoptimierung noch überwunden werden können, zum

anderen liegt es aber auch an höheren Ansprüchen der Bewohner an die Zimmer-temperatur.

Resultate Standardlösungen TSS

Die Resultate der Simulationen zeigen, dass mit den verschiedenen Konstruktions-varianten die Umweltbelastung höchstens um ca. $\pm 10\%$ verändert werden kann. Bei den zwei verschiedenen Strategien stossen die solar aktiven Systeme schneller an ihre Grenzen als die solar passiven, es erreichen jedoch beide eine starke Verbesserung gegenüber dem Referenzgebäude.

Solarkomponenten

Thermische Solarkollektoren reduzieren die ökologische Belastung markant. Durch die bei zunehmender Kollektorfläche reduzierten Erträge pro Quadratmeter Kollektorfläche und die steigende Belastung aus dem Materialbedarf ergibt sich ein Optimum für die Kollektorfläche mit minimaler Gesamtbelastung. Bei heizungs-unterstützenden Systemen ist aus ökologischer Sicht eine Kollektorfläche von etwa 10% der Nettowohnfläche anzustreben.

Photovoltaiksysteme können als unabhängige, zusätzliche Bauteile betrachtet werden. Daher besteht keine obere Einschränkung bezüglich der optimalen Fläche. Vor allem bei Systemen mit amorphen Dünnschichtzellen werden geringe Materialaufwendungen für die Dachmontage in der Gesamtbewertung wichtig.

Haustechnikinstallationen

Die Haustechnikinstallationen machen weniger als 10% an der Gesamtbelastung des Gebäudes aus. Der Einfluss der Materialwahl für die Rohrleitungen ist hier bezogen auf die Gesamtbelastung des Gebäudes gering. Bei den Haustechnik-installationen steht daher die Optimierung des Energiebedarfs klar im Vordergrund.

Strombedarf

Der verwendete Strom (z.B.: bei Wärmepumpen oder Haushaltstrom) beeinflusst die Gesamtbelastung stark. Die Verwendung von zertifiziertem Ökostrom kann daher die Ökoeffizienz bedeutend steigern.

Dämmstärke

Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung des Gebäudes (inkl. Betrieb) ist in keinem Fall über 10%. Damit liegt das ökologische Optimum über den derzeit üblichen Dämmstärken und wird auch bei Passivhäusern nicht erreicht.

Innenausbau

Beim Innenausbau schneiden natürliche Materialien wie unbehandelte Hölzer oder Natursteine vorteilhaft ab. Zu vermeiden sind Verbundmaterialien aufgrund der schlechten Rezyklierbarkeit. Es ist vor allem auf die Langlebigkeit der verwendeten Materialien zu achten. Relevant ist vor allem der Bodenbelag (grosse Fläche).

Abstract

Buildings cause environmental impacts over their entire life cycle: During construction and disposal due to the high material consumption and during the operation phase due to their energy demand. For conventional buildings the total environmental impact is dominated by the operation energy demand. The goal of solar buildings is to lower the operating energy demand substantially and to cover the remaining energy demand by renewable energies. Such buildings have often an increased material intensity and a higher degree of mechanization. Therefore the question arises, whether energy efficient buildings are more environment-friendly than conventional buildings.

| | |
|---------------------------------|--|
| Goal | The goal of this study was to investigate the major environmental impacts of solar architecture based on four example buildings with life cycle assessment. Also different technical solutions to reach a low operating energy demand (standard solutions, <i>typical solution set TSS</i>) were examined and compared with one another. |
| Results example houses | The investigation of the example houses clearly show that with the reduction of the operating energy demand generally a strongly improved environmental efficiency is achieved. Especially for assessment methods which attach high importance to the protection of non renewable resources, this result is pointed out very clearly. If a strongly disposal orientated assessment method is used (strong weighting of land filled inert materials and radioactive wastes) a similar environmental impact is calculated for the solar buildings as for the reference house. |
| Impact of materials used | All four example buildings show a comparable environmental impact from the initial construction in spite of the differences in construction and materialisation. The difference between the buildings is apparent for the renewal due to differences in window qualities or expenditures for solar collectors and photovoltaic cells. Within the disposal of the building the dismantling of the massive building materials plays an important role. A large impact reduction is achieved by the low operating energy demand of the buildings. The additional expenditures for building materials is by far compensated therewith. |
| Building structure | A large part of the total environmental impact is determined by the materials used for the structure of the building (floor, wall, roof). Buildings in lightweight construction (and to a smaller account hybrid building constructions) show an environmental advantage compared to a massive construction. For massive building construction a reduced use of reinforced concrete and cement floor covers is desirable. For floor constructions in timber a replacement of the cement floor covering with slabs made of native rocks is recommended (dry floor construction). |
| Measured values - design values | The measured operating energy demand is often clearly higher than the design values. This is often caused by initial technical problems, which can be overcome |

by a good optimisation of operating parameters. On the other hand higher room temperatures demanded by the inhabitants also cause a higher energy demand.

Results
typical solutions sets TSS

The results of the simulations show that the different construction types change the environmental impact at most by approx. $\pm 10\%$. From the two strategies investigated the active solar systems reach sooner the limits of ecological benefits than the passive solar strategy which focuses on energy conservation. Both, strategies reach however a strong improvement in environmental efficiency compared to the reference building.

Active solar systems

Active solar components clearly reduce the total ecological impact. By increasing collector area the yields per square meter collector area will be reduced and the impacts from the materials used increase. Therefore an optimum for the collector area with a minimal total impact result. For solar combi systems a collector area of approximately 10% of the net floor area is recommended from ecological point of view.

Photovoltaic systems can be regarded independently as additional components. Therefore no upper limits exists regarding the optimal collector area. Especially for systems with amorphous thin films low material use for the roof installation are important for a low environmental impact of the system.

Heating and ventilation systems:

The heating and ventilation systems make up less than 10% of the total environmental impact of the building. The influence of the material choice e.g. for ducts is therefore small. Optimisation has to include primarily the energy demand of the systems used.

Electricity demand:

The electricity used for heat pumps, ventilation systems or household appliances has a large influence on the total environmental impact of the building. The use of certified green electricity can increase the ecological efficiency clearly.

Insulation level:

In all buildings investigated the insulation contributes to less than 10% of the total environmental impact. The ecological optimum lies clearly above the presently usual insulation levels and is also not reached in passive houses.

Interior materials

Natural materials as untreated wood or natural rock slabs are ecologically advantageous for use in the interior of the building. Composite materials should be avoided due to their low recyclability. Above all attention should be paid to the durability of the materials used. The floor covering is of high relevance due to the large amount of material used.

| | |
|---|------------|
| Inhaltsverzeichnis | |
| Zusammenfassung | III |
| Abstract | V |
| Inhaltsverzeichnis | VII |
| 1. Ist solar auch ökologisch? | 1 |
| 2. Ziel der Arbeit | 1 |
| 3. Verwendete Methodik | 2 |
| 3.1. Zieldefinition (goal and scope definition) | 2 |
| 3.1.1 Vorgehen | 2 |
| 3.1.2 Funktionelle Einheit | 3 |
| 3.2. Systemgrenzen und Festlegungen | 3 |
| 3.2.1 Allgemeine Systemgrenzen | 3 |
| 3.2.2 Zusätzliche Festlegungen für Standardlösungen | 6 |
| 3.3. Allokationen und Cut-off Kriterien | 7 |
| 3.4. Angewendete Bewertungsmethoden | 7 |
| 4. Beispielhäuser | 8 |
| 4.1. Haus „Sunny Woods“, Zürich Höngg | 8 |
| 4.1.1 Gebäudeparameter „Sunny Woods“ | 11 |
| 4.2. Haus „im Wechsel“, Stans | 12 |
| 4.2.1 Gebäudeparameter Haus „im Wechsel“ | 16 |
| 4.3. Siedlung „Wegere“, Nebikon | 17 |
| 4.3.1 Gebäudeparameter Haus „Wegere“ | 20 |
| 4.4. Siedlung „Chräbsbach“, Oberseen, Winterthur | 21 |
| 4.4.1 Gebäudeparameter Haus „Chräbsbach“ | 24 |
| 5. Resultate und Diskussion der Beispielhäuser | 25 |
| 5.1. Referenzgebäude | 26 |
| 5.2. Resultate „Sunny Woods“ | 27 |
| 5.2.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „Sunny Woods“ | 28 |
| 5.2.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „Sunny Woods“ | 32 |
| 5.2.3 Diskussion und Folgerungen „Sunny Woods“ | 33 |
| 5.3. Resultate Haus „im Wechsel“ | 34 |
| 5.3.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „im Wechsel“ | 35 |
| 5.3.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „im Wechsel“ | 37 |
| 5.3.3 Diskussion und Folgerungen „im Wechsel“ | 39 |
| 5.4. Resultate Haus „Wegere“ | 40 |
| 5.4.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „Wegere“ | 40 |
| 5.4.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „Wegere“ | 42 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.4.3 | Diskussion und Folgerungen „Wegere“ | 43 |
| 5.5. | Resultate Haus „Chräbsbach“ | 44 |
| 5.5.1 | Analyse der Gebäudelebensphasen „Chräbsbach“ | 44 |
| 5.5.2 | Einfluss der Gebäudekomponenten „Chräbsbach“ | 46 |
| 5.5.3 | Diskussion und Folgerungen „Chräbsbach“ | 47 |
| 5.6. | Vergleich der Gebäude untereinander | 48 |
| 5.6.1 | Auswertung mit Eco-indicator 99 | 48 |
| 5.6.2 | Auswertung des kumulierten Energieaufwandes, nicht erneuerbar | 51 |
| 5.6.3 | Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit | 52 |
| 6. | Standardlösungen für Solarhäuser | 53 |
| 6.1. | Definitionen und Festlegungen zu den Standardlösungen | 53 |
| 6.2. | Inventarisierung Reihenhaus | 55 |
| 7. | Resultate und Diskussion Standardlösungen | 60 |
| 7.1. | Einfluss der Lebenszyklusphasen des Gebäudes | 60 |
| 7.1.1 | Auswertung mit Eco-indicator 99 | 60 |
| 7.1.2 | Auswertung des kumulierten Energieaufwandes (nicht erneuerbar) | 62 |
| 7.1.3 | Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit | 63 |
| 7.2. | Einfluss der Gebäudekomponenten | 64 |
| 7.2.1 | Auswertung mit Eco-indicator 99 | 64 |
| 7.2.2 | Auswertung des kumulierten Energieaufwandes (nicht erneuerbar) | 66 |
| 7.2.3 | Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit | 66 |
| 7.3. | Einfluss der Materialwahl einzelner Komponenten | 67 |
| 7.4. | Einfluss eines Kellergeschosses | 68 |
| 7.5. | Einfluss des verwendeten Energieträgers | 69 |
| 7.5.1 | Auswertung mit Eco-indicator 99 | 70 |
| 7.5.2 | Auswertung des kumulierten Energieaufwandes (nicht erneuerbar) | 71 |
| 7.5.3 | Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit | 71 |
| 8. | Diskussion und Ausblick | 72 |
| 8.1. | Folgerungen aus den Resultaten und Handlungsanweisungen | 72 |
| 8.2. | Ausblick | 76 |
| 9. | Literatur | 77 |

| | |
|---|-----------|
| 10. Anhang | 80 |
| 10.1. Grundlagen | 80 |
| 10.1.1 Bauteillebensdauer | 80 |
| 10.1.2 Transportdistanzen, für Standardlösungen | 80 |
| 10.1.3 Gebäudekennwerte, für Standardlösungen | 81 |
| 10.2. Beispielhäuser, Herstellung Elemente | 83 |
| 10.3. Beispielhäuser, verwendeter Betriebsenergiebedarf | 86 |
| 10.4. Resultattabellen | 89 |
| 10.4.1 Beispielgebäude, „Sunny Woods“ | 89 |
| 10.4.2 Beispielgebäude, „im Wechsel“ | 92 |
| 10.4.3 Beispielgebäude, Reihenhaus „Wegere“ | 95 |
| 10.4.4 Beispielgebäude, Haus „im Chräbsbach“ | 98 |
| 10.5. Standardlösungen, Reihenhaus, Basisvarianten | 101 |
| 10.5.1 Standardlösungen, Reihenhaus, Einfluss der Materialwahl | 104 |
| 10.5.2 Standardlösungen, Reihenhaus, Einfluss des Kellergeschosses | 105 |
| 10.5.3 Standardlösungen, Reihenhaus, Wärmeerzeugungsarten | 106 |
| 10.6. Sachinventare | 109 |
| 10.6.1 Wärmeerzeugung | 109 |
| 10.6.2 Weitere Systemkomponenten Wärmeerzeugung | 109 |
| 10.6.3 Lüftungsanlage | 109 |
| 10.6.4 Photovoltaikanlagen | 110 |
| 10.6.5 Solaranlagen | 110 |
| 10.6.6 Fenster, Türen | 111 |

Juni 2004, B-3030.00, AL / AP / CF

Basler & Hofmann
Ingenieure und Planer AG, Mitglied SIA/USIC

Zürich: Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00

Esslingen: Bachweg 1, CH-8133 Esslingen
Tel. 01 387 15 22, Fax 01 387 15 00

1. Ist solar auch ökologisch?

Die Solararchitektur verfolgt ein Ziel: Sie will energiesparend bauen und den Nutzenergiebedarf so weit wie möglich mit Energie aus erneuerbaren Quellen decken.

Umweltbelastender
Nutzenergiebedarf

Bisherige Studien zeigen deutlich, dass bei konventionellen Gebäuden (gebaut nach SIA Standard) wegen ihrer langen Lebensdauer der Nutzenergiebedarf das gesamte Umweltverhalten des Gebäudes bestimmt. Aus diesem Grunde wurden insbesondere im Anschluss an die Erdölkrise von 1973 Energiesparmassnahmen besonders gefördert und Normen bezüglich Wärme- und später auch Strombedarf erlassen.

Labels wie Minergie® und Passivhaus sind fortschrittliche Niveaus von energiesparendem Bauen.

Solararchitektur

Ganz unterschiedliche Haus(technik)konzepte führen zum Erreichen dieser Standards oder lassen sich als Solararchitektur bezeichnen. Sie reichen von der passiven Sonnenenergienutzung bis hin zur aktiven Nutzung erneuerbarer Energien. Im Gebäude äussern sich diese Konzepte auf unterschiedliche Art und Weise: während die passiven Häuser vor allem wegen ihrer dichten und sehr stark gedämmten Gebäudehülle, den effizienten Fenstern, den grossen Fensterflächen nach Süden und den kleinen Öffnungen nach Norden auffallen, so stechen aktive Systeme aufgrund ihrer solaren Warmwassererwärmung (z.B. in Balkonbrüstungen) und PV-Panels (z.B. auf dem Dach) ins Auge.

Es stellt sich dabei jedoch die Frage, ob mit energiesparendem Bauen in diesem Ausmass, welches automatisch mit einem erhöhten Materialeinsatz und häufig auch mit einem hohen Technisierungsgrad des Gebäudes einher geht, auch tatsächlich umweltschonendes Bauen erreicht wird. Wo liegt beim energiesparenden Bauen das Optimum der ökologischen Gesamtleistung?

2. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit

Um der oben erwähnten Frage nachzugehen und wenn möglich Antworten zu finden, untersucht die vorliegende Arbeit, inwieweit die verschiedenen Gebäudekonzepte und Strategien zur Erreichung eines tiefen Betriebsenergiebedarfs einen Einfluss auf die ökologische Belastung durch das Gebäude über seinen gesamten Lebenszyklus haben. Sie verfolgt das Ziel, die ökologischen Auswirkungen verschiedener Passivhauskonzepte mit Hilfe der Ökobilanzmethodik zu erfassen und zu analysieren. Es sollen daraus konkrete Planungsgrundlagen resultieren.

Aufbau der Arbeit

Vier bestehende solare Gebäude werden mit der Ökobilanzmethodik analysiert und mit einem Referenzgebäude verglichen. Zudem werden für verschiedene Gebäudekonstruktionen typische haustechnische Lösungsansätze (Standardlösungen, „typical solution sets“: TSS) ausgewählt und bezüglich ihrer ökologischen Auswirkungen ebenfalls mit der Ökobilanzmethodik bewertet.

Dazu werden im folgenden Kapitel die methodischen Grundlagen der Ökobilanz erläutert. In Kapitel 4 werden die Beispielgebäude vorgestellt und in Kapitel 5 werden die Resultate der Untersuchungen diskutiert.

Im darauf folgenden Kapitel werden die Standardlösungen präsentiert und in Kapitel 7 folgt die Diskussion der Resultate.

In Kapitel 8 folgt ein generelles Fazit mit den Planungshinweisen für Architekten und Planer und ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

3. Verwendete Methodik

3.1. Zieldefinition (goal and scope definition)

Ökologische Beurteilung über die Gebäudelebensdauer

Die vorliegende Ökobilanz soll den Einfluss verschiedener Gebäudekonzepte und Strategien zur Erreichung eines tiefen Betriebsenergiebedarfs über den gesamten Gebäudelebenszyklus aufzeigen und analysieren.

Resultate aus der Ökobilanz

Anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus den analysierten Standardlösungen und der Unterschiede in der Materialisierung der betrachteten Varianten können Hinweise für die Planung von ökologisch vorteilhaften Niedrigenergiehäusern abgeleitet werden.

Auch werden Aussagen zum Anteil der verschiedenen Bauelemente an der gesamten Umweltbelastung des Gebäudes über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung, Betrieb, Entsorgung) ermöglicht.

Abgrenzung

Es handelt sich um eine Analyse verschiedener Gebäudebeispiele, aus welcher Handlungsanweisungen für Planer und Architekten hervorgehen. Eine Verallgemeinerung der Resultate ist mit Vorsicht zu handhaben und kann nicht ohne Kenntnis der verwendeten Methodik vorgenommen werden.

Diese Arbeit geht nicht weiter auf Aspekte wie Kosten, Akustik, Fertigungstechnik und Montagetechnik ein. Die gewählten Gebäudebeispiele und Gebäudevarianten orientieren sich jedoch an der in der Schweiz üblichen Bauausführung.

3.1.1 Vorgehen

Systemgrenzen und Wahl der inventarisierten Gebäude

Im ersten Schritt werden die anzuwendenden Systemgrenzen festgelegt und weitere Festlegungen zur Definition des Systems getroffen (siehe Kapitel 3.2). Im weiteren werden die zu vergleichenden Gebäude ausgewählt und die Unterschiede zwischen den Gebäuden analysiert.

Datenbeschaffung (Inventarisierung)

Die Gebäude werden in einem zweiten Schritt inventarisiert. Sowohl die Aufwendungen für die Materialbereitstellung und -Entsorgung (Gebäudematerialien und Installationen), als auch der Betriebsenergiebedarf werden erfasst.

Für die Inventarisierung der Beispielhäuser wurden die benötigten Daten in Zusammenarbeit mit den Architekten und Planern, welche das Gebäude projiziert haben, erarbeitet.

Für die Inventarisierung der Standardlösungen wurden die benötigten Daten in enger Zusammenarbeit mit den innerhalb des Projekts IEA SHC Task 28¹ Sustainable Solar Housing tätigen Simulationsgruppen erarbeitet.

Die verwendeten Basisdaten für die Materialien und Energien stammen mehrheitlich aus den Ökoinventare von Energiesystemen (Frischknecht et al., 1996) sowie Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien (Weibel & Stritz, 1995). Für die Entsorgungsprozesse wurden Daten aus Doka (2000) verwendet.

Bewertung und Interpretation

Die erhobenen Sachbilanzen werden anschliessend mit drei verschiedenen voll aggregierenden Bewertungsmethoden bewertet (Eco-indicator 99, kumulierter Energieaufwand und Methode der ökologischen Knappheit) und interpretiert.

Externes Review

Es wurde kein externes Review der Ökobilanz wie in der ISO Norm 14000 gefordert durchgeführt. Mit einem internen Review (Koreferat) wurde die Datenkonsistenz, die Datenqualität, sowie die Einhaltung der methodischen Vorgaben, die Richtigkeit der Berechnungen und die korrekte Interpretation der Ergebnisse überprüft.

3.1.2 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die Erstellung, die Erneuerung, den Betrieb und die Entsorgung des gesamten Gebäudes auf den Betrieb pro m² Nettowohnfläche und Jahr bezogen.

Für den Bezug wird hier nicht die mit Gebäudeaussenmassen berechnete Energiebezugsfläche verwendet, da es damit für die Häuser bei unterschiedlicher Dämmstärke zu einer Verzerrung der Vergleichbarkeit kommen würde. Als für die Nutzung massgebender Parameter wird deshalb die Nettowohnfläche verwendet.

Für die Inventare der einzelnen Systemkomponenten wird je nach Bauteil die funktionelle Einheit mit Stück, m² oder kg festgelegt.

3.2. Systemgrenzen und Festlegungen

3.2.1 Allgemeine Systemgrenzen

Die Systemgrenzen, die für die Ökobilanzierung der Standardlösungen (TSS) verwendet wurden, sind in Abbildung 3.1 schematisch dargestellt. Für die Beispielhäuser wurde grundsätzlich dasselbe Vorgehen gewählt mit der Ausnahme, dass keine Transporte zur Baustelle berücksichtigt wurden, da keine Angaben über die effektiven Transportdistanzen verfügbar waren und von der Verwendung von Standarddistanzen abgesehen wurde.

¹ Das Projekt „IEA SHC Task 28/ECBCS 38: Sustainable Solar Housing“ der Internationalen Energie Agentur IEA verfolgt das Ziel, anhand von Gebäudebeispielen und verschiedenen Simulationen zu Passivhäusern ein Handbuch (Guide to Cost Effective Design) zu erarbeiten, in welchem Datenmaterial, abgeleitet aus Monitoring-Programmen, Computersimulationen und Labor-Testergebnissen, aufgeführt wird. Zudem sollen Demonstrationsprojekte erstellt werden. Das vorliegende Projekt Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus nimmt Bezug auf das internationale Projekt und es wurde vor allem in der LCA-Gruppe eng mit den internationalen Partnern zusammengearbeitet. Es ist ein eigenständiger Beitrag, der jedoch von der internationalen Zusammenarbeit profitiert.

Es werden die für die Erstellung, Erneuerung, Betrieb und die Entsorgung des Gebäudes verwendeten Materialien und Energien von der Rohstoffgewinnung bis zu ihre Entsorgung (bzw. Wiederverwertung) berücksichtigt. Innerhalb des Gebäudes werden alle Materialien betrachtet, welche einen Einfluss auf die Gesamtenergienachfrage des Hauses haben. Andererseits wurden Vereinfachungen vorgenommen, um die Komplexität des Systems niedrig zu halten und um die Beurteilung der Resultate einfacher zu gestalten. Die Vereinfachungen betreffen primär Bauteile und Prozesse, welche kaum Unterschiede zwischen den betrachteten Varianten aufweisen bzw. deren Einfluss auf das Gesamtergebnis als gering eingeschätzt wird.

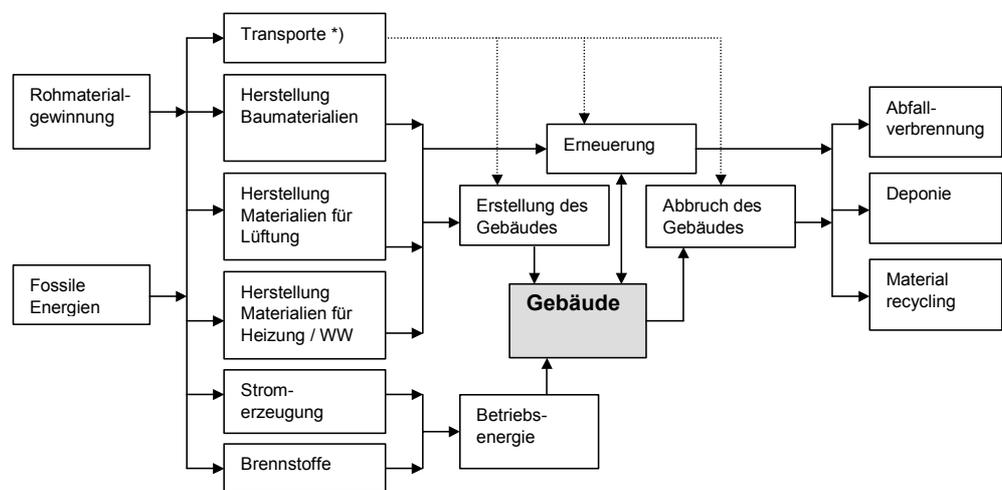


Abbildung 3.1 Struktur der berücksichtigten Elemente

*) Transporte vom Produktionsort zur Baustelle nur bei den Standardlösungen (TSS) berücksichtigt.

Berücksichtigung der Gebäudehülle

Folgende Bauteile der Gebäudehülle werden in der Herstellung, Erneuerung und der Entsorgung berücksichtigt:

- Aussenwände (Fassade, Dämmung, Holzlattung, Massivbaustoffe inkl. Mörtel bzw. Holzständerkonstruktion, Innenverkleidung)
- Innenwände² (Massivbaustoffe inkl. Mörtel bzw. Holzständerkonstruktion, ev. Zwischenraumdämmung).
- Dach (Eindeckung, Holzlattung, Dachfolie, Dämmung, Innenverkleidung)
- Boden (Bodenplatte armiert, Dämmung, Schutzfolie, Trittschalldämmung, Unterlagsboden, Bodenbelag oder Parkett)
- Geschosdecke (Bodenplatte bzw. Holzdecke, Schutzfolie, Trittschalldämmung, Unterlagsboden, Bodenbelag oder Parkett)
- Fenster (Rahmen und Glas)
- Eingangstüre (Türblatt und Holzzarge)
- Fundament bzw. Keller (wenn vorhanden)

Berücksichtigte Elemente der Haustechnik

Folgende Bauteile der Heizungs- und Warmwasserbereitung werden in der Herstellung, Erneuerung und der Entsorgung berücksichtigt:

² Bei den Standardlösungen wurden nur Wohnungstrennwände berücksichtigt

- Heizkessel, Expansionsgefäß sowie Heizungspumpen
- Wärmepumpe inkl. Erdsonde (wenn vorhanden)
- Warmwasserspeicher inkl. Elektroeinheit (falls benötigt)
- Kamin (für Gas-, Holz- und Öl-Feuerungen).
- Tankeinbauten (für Öl-Feuerungen).
- Heizungsverteilung (Heizungsrohre, Dämmung, Radiatoren bzw. Fussbodenheizung).
- Warmwasserbereitung (Wärmeerzeuger, Speicher).
- Solarkollektor inkl. Verrohrung, Dämmung, Pumpen, Wärmetauscher und ev. zusätzlich benötigte Speicher.
- Photovoltaikanlage inkl. Montageelemente, Wechselrichter und dazu benötigten Elektroinstallationen.

Folgende Bauteile des Lüftungssystems werden in der Herstellung, Erneuerung und der Entsorgung berücksichtigt:

- Lüftungsgerät (Ventilatoren, Wärmetauscher, Gehäuse, Steuerung)
- Luftleitungen, Luftverteiler, Schalldämpfer sowie Ein- und Auslässe
- Erdregister (inkl. Erdaushub, durch die Verlegung)

Betriebsenergie und Emissionen

Folgende Energieprozesse werden in der Betriebsphase berücksichtigt:

- Gas, Öl oder Holzbedarf für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung. Emissionen aus der Verbrennung dieser Energieträger.
- Gas, Öl oder Holzbedarf für Warmwasserbereitung. Emissionen aus der Verbrennung dieser Energieträger.
- Strombedarf für Wärmepumpe bzw. Elektroeinheit.
- Pumpenstrombedarf für Heizung und Warmwasserbereitung.
- Ventilatorstrombedarf für Lüftung.

Nicht berücksichtigte Elemente

Die Tiefgaragen und überirdischen Autoabstellplätze sowie die Erschließung der Gebäude wurden nicht in die Bilanz integriert, um die Vergleichbarkeit der Häuser nicht zu beeinträchtigen. Grundsätzlich weisen jedoch Tiefgaragen eine sehr hohe Umweltbelastung aus, da sie meist aus Stahlbeton erstellt sind.

Ebenfalls wurden die folgenden Prozesse, Elemente bzw. Gebäudeteile nicht berücksichtigt:

- Haushaltsstrombedarf (nur für einzelne Auswertungen³ einbezogen).
- Kaltwasserversorgung und sanitäre Einrichtungen
- Beleuchtung und elektrische Systeme
- Küchengeräte, Möbel und andere Wohnungseinrichtung
- Wartungsaufwände wie z.B. Reinigung der Lüftungskanäle. Berücksichtigt wird dagegen der Ersatz von Gebäudekomponenten.
- Energie und Emissionen aus Baustellenprozessen (z.B. Kran, Bagger etc.).

³ Für einige Auswertungen der Standardlösungen wurde der Betrieb von Haushaltsgeräten mit einem konstanten Stromverbrauch von 20.74 kWh pro m² Wohnfläche berücksichtigt.

Bauteillebensdauer

Ein wichtiger Punkt ist die Festlegung der Lebensdauer des gesamten Gebäudes und die Zyklen innerhalb der einzelne Gebäudekomponenten ersetzt werden. Für dieses Projekt wurden diese Werte für alle Gebäudevarianten, Klimaregionen und für beide Strategien konstant gehalten. Für das gesamte Gebäude wurde eine Lebensdauer von 80 Jahren angenommen (Struktur einschliesslich der Wände, Fussböden, und des Dachs). Weitere Daten zu den angenommenen Lebensdauer einzelner Gebäudekomponenten sind aus Tabelle 10.1 in Kapitel 10.1 des Anhangs zu entnehmen.

Verwendete Transportdistanzen

Die Transporte zur Baustelle wurden für die Beispielgebäude vernachlässigt, da für die meisten Bauteile keine Angabe über die Transportdistanz vorhanden war. Für die Bewertung der Standardlösungen wurden Standarddistanzen zur Baustelle berücksichtigt, um deren Einfluss abzuschätzen (siehe Tabelle 3.1). Abweichungen von diesen Standardwerten und Angaben zu den verwendeten Transportdistanzen für Halbfabrikate und Rohstoffe sind aus Kapitel 10.1.2 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 3.1 Verwendete Transportdistanzen

| Materialtransporte zur Baustelle | Einh. | Bahn | LKW 28 t | Lieferwagen |
|---|--------------|-------------|-----------------|--------------------|
| Beton (nicht armiert), Kies, Sand | km | 0 | 20 | 0 |
| Zement | km | 80 | 20 | 0 |
| Stahl, Holz, Plastik, andere Materialien | km | 0 | 100 | 0 |
| Haustechnik Installationen | km | 0 | 0 | 100 |
| Entsorgung; Distanzen enthalten in Doka, 2000 | Einh. | Bahn | LKW 28 t | Lieferwagen |
| Beton, Zement, Mauerwerk, Kies | km | 12.5 | 12.5 | 0 |
| Stahl | km | 2.5 | 22.5 | 0 |
| Holz, andere Materialien | km | 0 | 25 | 0 |
| Alle Materialien (wenn keine Transporte im Inventar verbucht) | km | 0 | 50 | 0 |

Entsorgungsszenario

Für die Entsorgung wird von einer sachgerechten Entsorgung ausgegangen. Die Entsorgungsprozesse basieren auf (Doka, 2000). Die Berechnungen basieren auf dem Entsorgungsszenario „Beseitigung“ (Doka, 2000), welches dem heute üblichen Entsorgungsweg⁴ entspricht.

Referenzgebäude

Zum Vergleich sowohl der Beispielhäuser wie auch der TSS wurde immer dasselbe Referenzgebäude beigezogen. Das Referenzgebäude wird in Kapitel 5.1 genauer beschrieben.

3.2.2 Zusätzliche Festlegungen für Standardlösungen

Zusätzlich berücksichtigte Elemente im Gebäude

Für die Standardlösungen wurden folgende Bauteile zusätzlich berücksichtigt (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung):

- Warmwasserverteilung (Rohre, Dämmung).
- Veränderung der Zementmasse bei einer Verlegung der Fussbodenheizung im Unterlagsboden.
- Veränderung der Betonmasse bei einer Verlegung der Lüftungsrohre in der Geschossdecke.

⁴ Sortierung der Abfälle in Sortieranlage. Beseitigung von Kunststoff und Holz in der KVA, teilweise Wiederverwertung von massiven Baustoffen sowie Wiederverwertung von Metallen (ausgenommen Verbundmaterialien).

Nicht berücksichtigte
Gebäudeteile

- Die folgenden Prozesse, Elemente bzw. Gebäudeteile wurden nicht berücksichtigt:
- Innenwände und Innentüren mit Ausnahme der Wohnungstrennwände. Für die Gebäudesimulation wurden keine Innenwände definiert und deshalb auch nicht für die Ökobilanzierung berücksichtigt.
 - Unterkellerung. Das betrachtete Haus besitzt keinen Keller. Als Variante wurde in einer Berechnung zusätzlich der Einfluss einer Unterkellerung untersucht.

3.3. Allokationen und Cut-off Kriterien

Entstehen bei Prozessen neben dem interessierenden Erzeugnis noch andere Produkte (Koppelprodukte, Nebenprodukte, Abfälle), so muss eine Allokation der Umweltbelastungen vorgenommen werden, sofern diese nicht durch eine Erweiterung der Systemgrenzen vermieden werden kann. Allfällige Allokationen von Produkten und Koppelprodukten sind in den jeweils verwendeten Sachbilanzen dokumentiert.

Bei Prozessabfällen, welche recycelt oder thermisch verwertet werden können (Metallspäne, Spritzgussabfälle, Kunststoffteile, etc.), sowie für recycelte Teile bei der Entsorgung des Systems, wird eine Strategie ohne Gutschriften oder Allokation von Aufwendungen gewählt (cut-off Ansatz). Dieser Ansatz führt zu folgenden Festlegungen:

- Keine Energie- und Umweltbelastungs-Gutschrift für Energierückgewinnung (z.B. von Kunststoff in KVA).
- Gutschrift für das Recycling erfolgt nicht, aber auch keine Belastung durch den üblichen Recyclingprozess.
- Belastung des Recyclates nur mit den durch den Recyclingprozess verursachten Umweltbelastungen.

3.4. Angewendete Bewertungsmethoden

Bewertung der Sachbilanzen

Zur Darstellung der Resultate werden die Sachbilanzdaten mit folgenden voll aggregierenden Methoden bewertet:

- Eco-indicator 99, Typus Hierarchist (H/A); (Pré, 2001a, Pré, 2001b).
- Kumulierter Energieaufwand an nicht erneuerbaren Energie (berechnet mit den in Frischknecht et al. (1996) publizierten Heizwerten).
- Methode der ökologischen Knappheit, UBP'97; (BUWAL, 1998).

Die Auswahl dieser Methoden erfolgte mit folgenden Überlegungen:

- Eco-indicator 99 stellt eine Bewertungsmethode dar, welche den aktuellen Stand der Auswirkungen von Umwelteinflüssen angemessen berücksichtigt. Innerhalb der Methode sind drei verschiedene Perspektiven verfügbar (Egalitarrist, Hierarchist und Individualist). Die verwendete Perspektive (Hierarchist) ist die am häufigsten verwendete.
- Der Kumulierte Energieaufwand wird im Bereich der Gebäudebewertung häufig verwendet und wurde daher einbezogen, obwohl damit verschiedenen Aspekte ungenügend berücksichtigt werden (v.a. Emissionen). Der Einbezug soll auch den Vergleich zu anderen Arbeiten vereinfachen.

- Die Methode der ökologischen Knappheit wird in der Schweiz noch häufig angewendet und daher einbezogen. Bei der Interpretation der Resultate muss berücksichtigt werden, dass die Methode sich bei der Gewichtung an der Abweichung zu (für die Schweiz) festgelegten Zielwerten orientiert (Distance to Target). Auch muss erwähnt werden, dass diese Methode die Verknappung von nichterneuerbaren Ressourcen kaum bewertet, dafür aber der Knappheit von Deponievolumen (v.a. auch für radioaktive Abfälle) grosses Gewicht beimisst. Daher zeigt diese Methode häufig deutlich andere Resultate.

Die drei Bewertungsmethoden werden in Kapitel 5.1 am Beispiel des Referenzgebäudes kurz erläutert, um die Schwerpunkte der Methoden deutlich zu machen.

4. Beispielhäuser

Im Sinne einer Beispielsammlung wurden vier Passivhäuser aus der Schweiz ausgewählt. Die Auswahl wurde zusammen mit dem Programmleiter des Pilot- und Demonstrationsprojekt-Programms des Bundesamtes für Energie (BFE) vorgenommen.

4.1. Haus „Sunny Woods“, Zürich Höngg

In Zürich Höngg, an bevorzugter, sonniger Hanglage, entstand in den Jahren 2000/2001 das Passivhaus „Sunny Woods“ des Architekten Beat Kämpfen. Es ist ein Haus gehobeneren Standards und gehobeneren Preises.



Abbildung 4.1 Haus „Sunny Woods“ (Bildquelle: SSES⁵)

Architektonisches Konzept

Der Baukörper von „Sunny Woods“ besteht aus drei gleichen Hausteilen mit je zwei übereinander liegenden Maisonette-Eigentumswohnungen (Abbildung 4.2). Die Wohnungen werden an der wohnungstrennenden Decke in der Schnitt-

⁵ Schweizerische Vereinigung für Sonnenenergie SSES

darstellung gespiegelt. Dies hat insbesondere schallschutztechnische Vorteile. Jede Wohnung hat den Charakter eines Einfamilienhauses, ist direkt bergseits von aussen erschlossen und weist einen privaten Aussenraum auf (Dachterrasse oder Gartenlaube, siehe Abbildung 4.3). Die Haupträume sind alle nach Süden orientiert und mit grosszügigen Verglasungen versehen.

Die Holzbauweise, auf modernste Art eingesetzt, garantiert dafür, dass sich die Nachhaltigkeit in einer ansprechenden Architektur und in der Fassade ablesen lässt (siehe Abbildung 4.1).



Abbildung 4.2 Grundriss Obergeschoss „Sunny Woods“

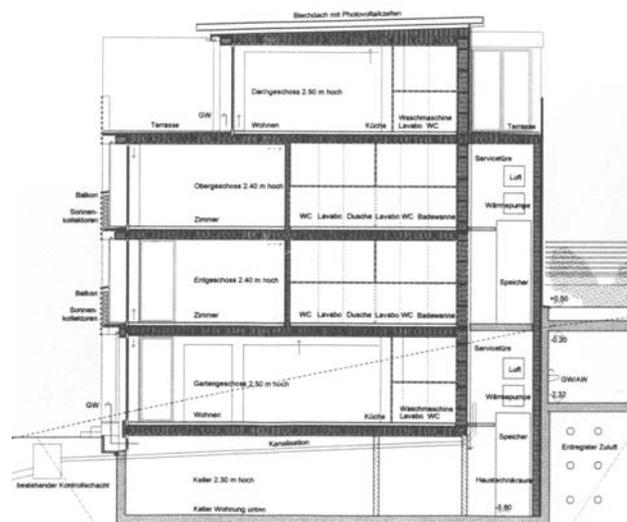


Abbildung 4.3 Gebäudequerschnitt „Sunny Woods“

Im Norden des Grundstücks (Erschliessungsseite) befindet sich eine Tiefgarage in Betonbauweise. Die Tiefgarage wurde wie in Kap. 3.2.1 erwähnt, nicht in die Bilanzgrenze einbezogen, da auch bei den anderen Häusern keine Parkieranlagen einbezogen wurden.

Elemente sind grossflächige Blockholzplatten, die je nach funktioneller Zuordnung zu Vollholz- oder Rippenplatten oder Hohlkasten verarbeitet wurden.

Brandschutz

Ein maximaler Brandschutz wird erreicht durch die von jeder Wohnung direkt zugänglichen aussenliegenden Treppenanlagen in Massivbauweise, durch einen Feuerwiderstand von 30 Minuten der tragenden Bauteile und durch eine raumseitige Verkleidung der Umfassungsflächen mit nicht brennbaren Materialien.

Energiekonzept

Im Haus „Sunny Woods“ wird neben der Minimierung von Wärmeverlusten vor allem der Nutzung von solarer Energie grosse Bedeutung geschenkt. In Abbildung 4.4 ist die eingesetzte Haustechnik schematisch dargestellt. Folgende Elemente zeichnen das Energiekonzept des Gebäudes aus:

Minimierung der Wärmeverluste

- Optimiertes Verhältnis von Oberfläche zu Volumen
- Klare Trennung des beheizten Volumens von den Nebenräumen
- Sehr gute Wärmedämmung mit möglichst wenig Schwachstellen

Passiv-solare Architektur

- Ausrichtung der Haupträume mit grossen Verglasungen nach Süden
- Natursteinböden als Wärmespeicher

Aktiv-solare Energienutzung

- Röhren-Sonnenkollektoren in der Südfassade für Warmwasser und Heizung
- Fotovoltaikanlage auf dem Dach für elektrischen Strom

Autonomes, einfaches Energiesystem pro Wohnung

- Kombination kontrollierte Wohnungslüftung (mit Erdregister)/Luftheizung
- Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe
- Solarspeicher für Heizung und Warmwasser
- Wärmerückgewinnung

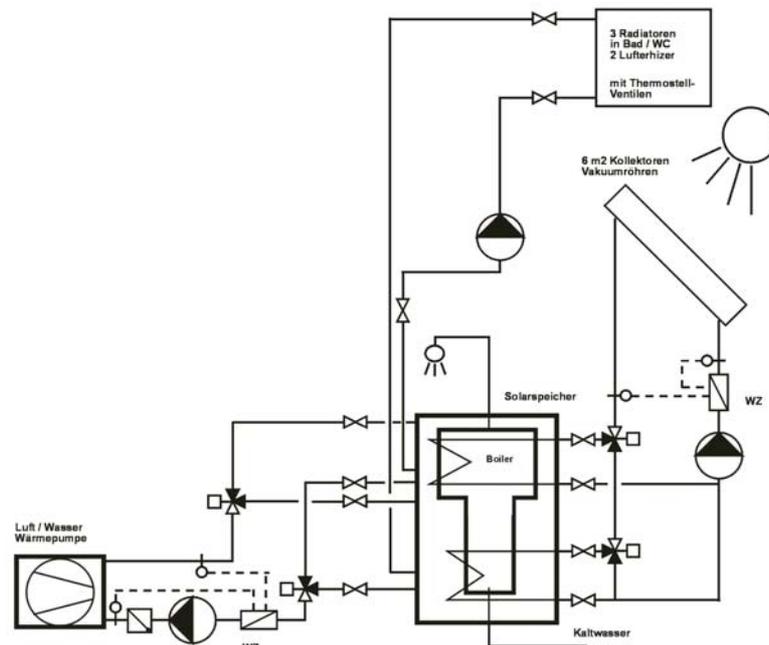


Abbildung 4.4 Prinzipschema der Haustechnik einer Geschoswohnung im Haus „Sunny Woods“
Speicher mit Ladung durch Luft-Wasser-Wärmepumpe und Sonnenkollektoren

4.1.1 Gebäudeparameter „Sunny Woods“

Gebäudeparameter

Tabelle 4.1 zeigt die wichtigsten Parameter des untersuchten Hauses. Die Daten bezüglich der Art und Menge der im Gebäude eingesetzten Materialien, wurden aus den Plangrundlagen (Flächen, Aufbau, Materialien) sowie den Unternehmerofferten (Heizung, Lüftung) sowie weiteren Publikationen (Schmid, 2002; Kämpfen, 2002) entnommen. Die für die Bilanzierung verwendeten Materialmengen sind detailliert im Anhang in Tabelle 10.4 dargestellt. Der Energiebedarf des Gebäudes wurde einerseits entsprechend den Planungswerten (Solaragentur, 2002a; Schmid, 2002) und andererseits aufgrund effektiver Messdaten (Periode Sommer 2002 bis Sommer 2003; Naef & Widmer, 2003) modelliert. In den Daten in Tabelle 4.1 sind die Planungswerte für die Energieproduktion dargestellt. In der Planung wurde von einer ausgeglichenen Energiebilanz für Heizung und Warmwasser ausgegangen (kein externer Bezug). Detaillierte Angaben zu den in der Berechnung der Betriebsphase eingesetzten Energieverbräuche sind aus Tabelle 10.8 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 4.1 Datengrundlagen für Haus „Sunny Woods“

| Parameter | Beschreibung | Einheit | Wert |
|-----------------|--|--------------------|-----------|
| Gebäudevolumen | Total (davon 4900 m ³ beheizt und 2800 m ³ unbeheizt) | m ³ | 7700 |
| EBF | Energiebezugsfläche nach SIA 380/1; mit Aussenmassen | m ² | 1387 |
| Beheizte Fläche | Beheizte Nettowohnfläche (Innendimensionen verwendet) | m ² | 1233 |
| Dach | Metalldach, Holzrahmenkonstruktion, 240-500 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.10 |
| Aussenwände | Holzrahmenkonstruktion, 330 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.12 |
| Kellerdecke | Holzrahmenkonstruktion, 215 mm Dämmung (v.a. Isofloc) | W/m ² K | 0.16 |
| Fensterflächen | Alle Orientierungen (N, S, E, W) | m ² | 449 |
| Fenster | 3-fach Verglasung, Krypton Füllgas | W/m ² K | 0.6 |
| Wärmeerzeugung | Luft- Wasser Wärmepumpe für Heizung und WW | kW | 6 x 4.7 |
| Wärmeverteilung | PEX-Rohre für Bodenheizung + Stahlrohre für Anschluss der Badezimmerradiatoren | m | 2 x 540 |
| Lüftung | Kanäle Stahl, verzinkt + Erdregister aus PE | m | 816 + 300 |
| Solarkollektor | Vacuumröhrenkollektor für WW und Heizung (39 m ²) | KWh/a | 17'350 |
| PV Anlage | Amorphen Dreischicht Zellen (290 m ² , 16.2 kWp) | KWh/a | 15'000 |
| Wärmebedarf | Gedeckt zu 60% aus Umgebungswärme + Solare Wärme | kWh/a | 10'790 |
| Bedarf für WW | Gedeckt zu 82% aus Umgebungswärme + Solare Wärme | kWh/a | 28'900 |
| Strombedarf | Strom für Lüftung und Pumpen (ohne Wärmepumpe) | kWh/a | 5'580 |
| Fremdenergie | Strombezug vom Netz (ohne Haushaltsstrom) | kWh/a | 0 |

Alle Werte beziehen sich auf das gesamte Haus (total 6 Wohnungen)

Daten Photovoltaikanlage

Für die im Gebäude verwendete Photovoltaikanlage war kein Ökobilanzinventar verfügbar. Das eingesetzte System besteht aus amorphen Zellen (Unisolar Dreischicht, Dünnschichtzellen), welche auf ein rostfreies Trägerblech beschichtet sind und statt einer Glasabdeckung eine Kunststoffschutzfolie besitzen (Kämpfen 2001, Unisolar, 2003). Für die Berechnung musste daher ein Inventar für dieses System approximiert werden. Für die Zellen wurde von monokristallinen Zellen ausgegangen aber ein um 90% geringerer Silikonbedarf angenommen. Zusätzlich wurden für das Modul der unterschiedliche Konstruktionsaufbau (kein Glas, rostfreies Trägerblech) berücksichtigt. Die verwendeten Daten sind im Anhang in Tabelle 10.32 ersichtlich. Um die Sensitivität der Datenunsicherheit für dieses Inventar darzustellen, wurden die Daten auch mit einem polykristallinen System gerechnet (Daten aus Frischknecht et al., 1996). Dafür wurde eine identische Peakleistung des Systems vorausgesetzt.

4.2. Haus „im Wechsel“, Stans

Das Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ in Stans wurde vom Büro Barbos geplant. Es ist Teil eines Gestaltungsplans und unterscheidet sich von aussen kaum von den anderen, konventionell gebauten Gebäuden. Die Überbauung mit fünf Mehrfamilien- und acht Reiheneinfamilienhäuser nördlich des Dorfzentrums von Stans liegt in einer ruhigen und sonnigen Wohnlage. Der Baubezug dieses zertifizierten Passiv-Mehrfamilienhaus war im August 2001. Im Gebäude wohnen acht Familien.



Abbildung 4.5 Südfassade Haus „im Wechsel“ (Bildquelle: SSES)

Architektonisches Konzept

Das Haus Wechsel setzt die Prämissen des energiesparenden Bauens konsequent um: Das Gebäude ist ein kompaktes Volumen ohne Vor- und Rücksprünge in der Fassade. Gegen Süden sind grosse Fenster mit Balkonen angeordnet, die Öffnungen gegen Osten, Westen und Norden sind klein gehalten (siehe Abbildung 4.5). Von aussen erscheint das Gebäude wie ein „normaler“ Massivbau. Im Innern zeigt sich eine grosse Varianz in den Grundrissen (siehe Abbildung 4.6). Die Wohnungen unterscheiden sich einerseits in ihrer Grösse (Drei- bis Sechszimmerwohnungen) und andererseits in ihrer Organisation: sechs Wohnungen sind als Maisonettewohnungen und zwei als Geschosswohnungen ausgebildet. Das architektonische Konzept zeigt sich deutlich in einer klaren, einfachen Architektursprache.

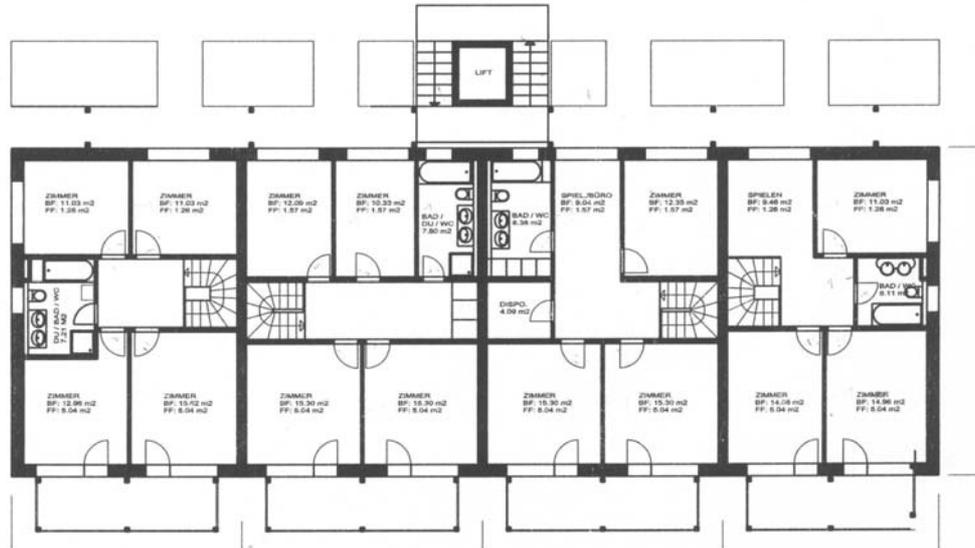


Abbildung 4.6 Grundriss 1. Obergeschoss Haus „im Wechsel“

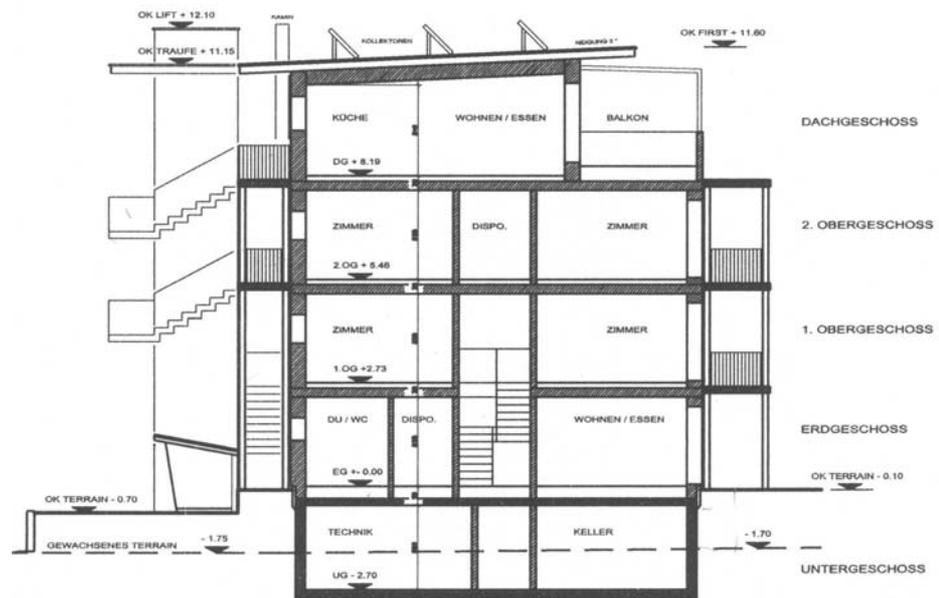


Abbildung 4.7 Gebäudequerschnitt Haus „im Wechsel“

Die notwendigen Parkplätze werden in zwei unterirdischen Tiefgaragen angeboten, welche nicht in die Betrachtung mit einbezogen wurden. Auf der Nordseite bestehen gut zugängliche, freistehende, offene Velounterstände.

Gebäudehülle und
Konstruktion

Das viergeschossige Gebäude besteht aus vorgefertigten Holzrahmen-Elementen. Die Gebäudehülle zeichnet sich durch einen geschlossenen Dämmperimeter, weitgehend konstante Dämmstärken und eine nahezu wärmebrückenfreie Konstruktion aus. Der Erschliessungsbereich mit Treppe und Lift liegt ausserhalb des Dämmperimeters um die Wärmeverluste gering zu halten (siehe Abbildung 4.7)

Bei der Materialwahl wurden ökologische Kriterien berücksichtigt. So wurden vorwiegend Naturbaustoffe wie Holz, Linoleum oder Gips eingesetzt und auf die Rezyklierbarkeit dieser Materialien geachtet. Zudem wurde Wert auf die Verwendung giffreier Naturfarben und Naturölen für die Oberflächenbehandlung gelegt.

Brandschutz

Es wurden 60 Minuten Brandwiderstand für den viergeschossigen Holzbau gefordert. Aufgrund dieser Brandschutzvorschriften musste die Verkleidung der Nordfassade aus nicht brennbaren Duripanelplatten ausgeführt werden. Die Tragkonstruktion besteht aus sichtbaren Holz-Beton-Verbunddecken, welche auf vorgefertigten Holzelementwänden aufliegen. Hier wurden zudem Stahlstützen und Stahlträger eingesetzt.

Energiekonzept

Das Energiekonzept beinhaltet neben einer Minimierung von Verlusten auch einen konsequenten Einsatz von erneuerbaren Energien. In Abbildung 4.8 ist die eingesetzte Haustechnik schematisch dargestellt. Folgende Elemente zeichnen das Energiekonzept des Gebäudes aus:

Minimierung der Wärmeverluste

- Kompakter Baukörper, dadurch optimierte Gebäudehüllenziffer
- Thermische Trennung des beheizten Volumens von den Nebenräumen
- Sehr gut gedämmte Gebäudehülle mit möglichst wenig Schwachstellen

Passiv-solare Architektur

- Orientierung der Haupträume Richtung Süden

Aktiv-solare Energienutzung

- Flachkollektoren für Heizwärme und Brauchwarmwasser
- Fotovoltaikanlage auf dem Dach für elektrischen Strom

Effiziente und CO₂-neutrale Energiebereitstellung

- Kontrollierte Wohnungslüftung mit Erdwärmetauscher und Luftheizung
- Bereitstellung des Restwärmebedarfs mit Holzpelletkessel
- Grosser Warmwasserspeicher für Heizung und Warmwasser
- Einbau energieeffizienter Haushaltgeräte und Leuchten

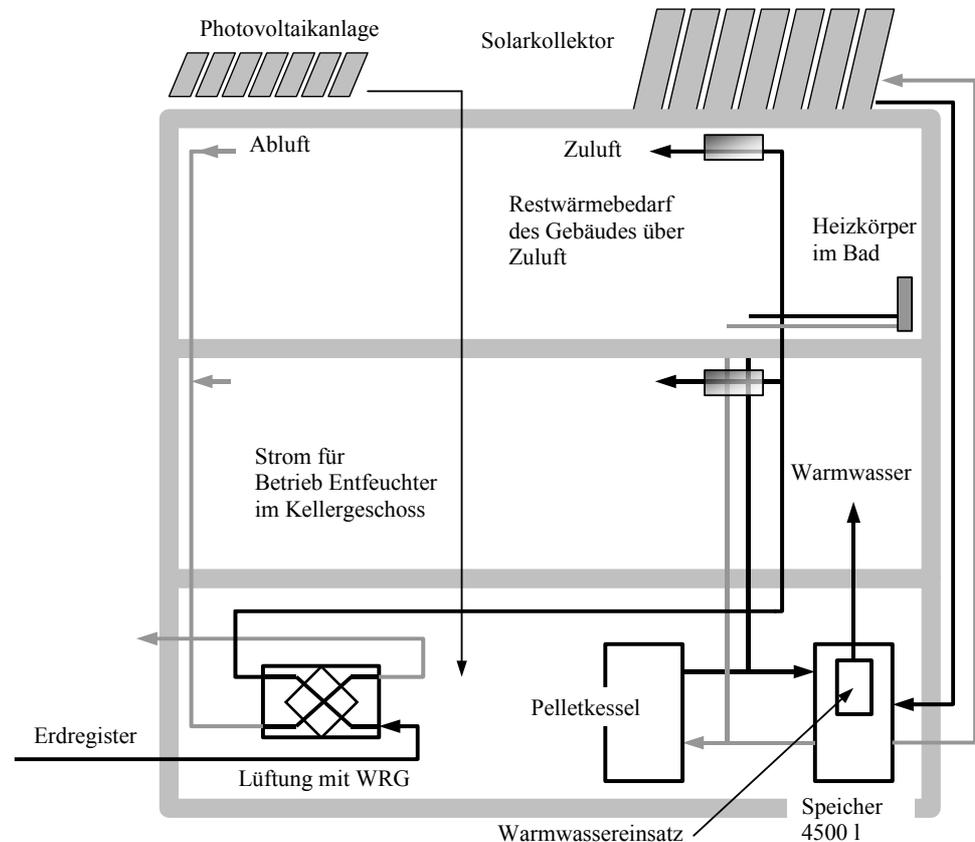


Abbildung 4.8 Prinzipschema der Haustechnik im Mehrfamilienhaus „im Wechsel“

Wohnungslüftung mit Luftheizung. Speicher mit Ladung durch Sonnenkollektoren und Pelletkessel

4.2.1 Gebäudeparameter Haus „im Wechsel“

Gebäudeparameter

Tabelle 4.2 zeigt die wichtigsten Parameter des untersuchten Hauses. Die Daten bezüglich der Art und Menge der im Gebäude eingesetzten Materialien, wurden aus den Plangrundlagen (Flächen, Aufbau, Materialien) sowie Angaben aus verschiedenen Berichten (Huber et al., 2003, Bossard et al., 2003) und Schemas (Heizung, Lüftung) und weiteren Publikationen (Bossard & Zurfluh, 2002; Humm, 2002) entnommen. Die für die Bilanzierung verwendeten Materialmengen sind detailliert im Anhang in Tabelle 10.6 dargestellt. Der Energiebedarf des Gebäudes wurde einerseits entsprechend den Planungswerten (Solaragentur, 2002a) und andererseits aufgrund effektiver Messdaten (Periode Sommer 2002 bis Sommer 2003; Huber et al., 2003) modelliert. In den Daten in Tabelle 4.2 sind die Planungswerte für die Energieproduktion dargestellt. Detaillierte Angaben zu den in der Berechnung der Betriebsphase eingesetzten Energieverbräuche sind aus Tabelle 10.9 im Anhang zu entnehmen.

Tabelle 4.2 Datengrundlagen für Haus „im Wechsel“

| Parameter | Beschreibung | Einheit | Wert |
|-----------------|--|--------------------|-----------|
| Gebäudevolumen | Total gemäss SIA 116 | m ³ | 5209 |
| EBF | Energiebezugsfläche nach SIA 380/1; mit Aussenmassen | m ² | 1250 |
| Beheizte Fläche | Beheizte Nettowohnfläche (Innendimensionen verwendet) | m ² | 998 |
| Dach | Flachdach begrünt, Holzrahmenkonstruktion, 360 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.11 |
| Aussenwände | Holzrahmenkonstruktion, 300 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.13 |
| Kellerdecke | Beton, 260 mm Korkdämmung (+ 20 mm Trittschall) | W/m ² K | 0.14 |
| Fensterflächen | Alle Orientierungen (N, S, E, W) | m ² | 355 |
| Fenster | 2-fach Verglasung, Krypton Füllgas | W/m ² K | 0.7 |
| Wärmeerzeugung | Pelletfeuerung | kW | 25 |
| Wärmeverteilung | Stahlrohre für Anschluss der Badezimmerradiatoren und Luftheizregister | m | 2 x 130 |
| Lüftung | Kanäle PE bzw. Stahl, verzinkt + Erdregister aus PE | m | 920 + 100 |
| Solarkollektor | Flachkollektor für WW und Heizung (40.5 m ²) | KWh/a | 11'000 |
| PV Anlage | Monokristalline Zellen (12 m ² , 1.44 kWp) | KWh/a | 1'200 |
| Wärmebedarf | Gesamtwärmebedarf (Heizung + WW) ist zu 30% aus solarer Wärme und 70% aus der Holzheizung gedeckt. | kWh/a | 14'500 |
| Bedarf für WW | | kWh/a | 22'000 |
| Strombedarf | Strom für Lüftung und Pumpen | kWh/a | 3'100 |
| Fremdenergie | Strombezug vom Netz (ohne Haushaltsstrom) | kWh/a | 1'900 |

Alle Werte beziehen sich auf das gesamte Haus (total 8 Wohnungen)

4.3. Siedlung „Wegere“, Nebikon

Es handelt sich um eine Reiheneinfamilienhaussiedlung mit siebzehn Häusern im luzernischen Nebikon, welche in drei Etappen gebaut wird. Geplant und gebaut wird die Siedlung von der Holzbaufirma Renggli AG als Totalunternehmer. Fünf Häuser wurden in der ersten Etappe realisiert. Die Wohneinheiten sind im günstigen Preissegment anzusiedeln und sollen ein soziales Zusammenleben ermöglichen. Dem Aspekt des Miteinanders wurde in der Siedlung viel Gewicht beigemessen und das klar erkennbare „eigene Heim“ bleibt immer Teil eines Ganzen.



Abbildung 4.9 Südfassade Haus „Wegere“ (Bildquelle: SSSES)

Architektonisches Konzept

Die fünf Reihenhäuser sind leicht abgesetzt zueinander angeordnet, so dass sich ein gestaffeltes Bild ergibt. Ein durchgehendes Dach vereinigt die Hauszeile zu einem Baukörper. (siehe Abbildung 4.9). Die Holzfassaden sind in rot gehalten. Innerhalb eines Hauses ist die Wohnfläche auf zwei Etagen verteilt (4½-Zimmer-Wohnungen auf einer Nettowohnfläche von 128 m²). Im Erdgeschoss befinden sich die Wohnräume, im Obergeschoss die Schlafräume (siehe Abbildung 4.10). Die Häuser sind unterkellert. Das Kellergeschoss liegt ausserhalb des Dämmperimeters, welcher durch die gedämmte Holzdecke zum Erdgeschoss definiert wird (siehe Abbildung 4.11).

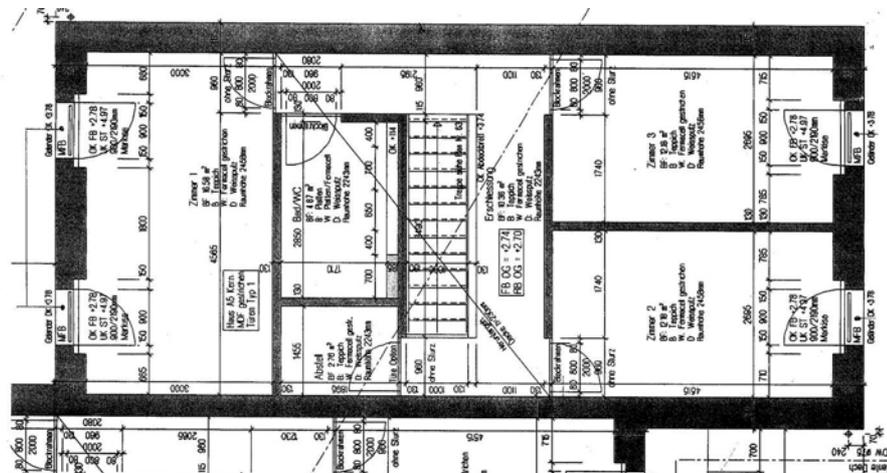


Abbildung 4.10 Grundriss Obergeschoss Haus „Wegere“

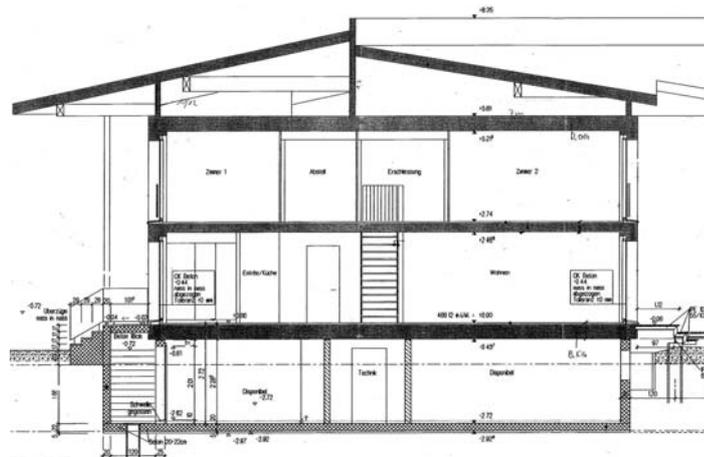


Abbildung 4.11 Gebäudequerschnitt Haus „Wegere“

Gebäudehülle und Konstruktion

Die Häuser sind in Holzbauweise mit vorgefertigten Elementen und mit Dämmung aus Steinwolle erstellt worden. Der zweigeschossige Holzbau erfordert keine besonderen Massnahmen bezüglich Brandschutz, da aus jeder Wohneinheit direkt nach aussen geflüchtet werden kann.

Bauökologie

Ökologische Überlegungen wurden für den Bau des Gebäudes berücksichtigt. Von der Materialwahl (Holz) zur Fertigung, einem auf industriellen Grundlagen beruhenden Elementbau, bis zur Nutzung des Bodens und der Bepflanzung wurden ökologische Prinzipien umgesetzt.

Energiekonzept

Neben der konsequenten passiven Nutzung der Sonnenenergie durch die nach Süden ausgerichteten Fenster der Haupträume und der sehr dichten Gebäudehülle sind ein Erdregister, eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung und eine Wärmepumpe wichtige Elemente des Haustechnikkonzeptes. Jedes Haus hat seine eigene Lüftung und Wärmebereitstellung. In Abbildung 4.12 ist die eingesetzte Haustechnik schematisch dargestellt. Folgende Elemente zeichnen das Energiekonzept des Gebäudes aus:

Minimierung der Wärmeverluste

- Klare Trennung des beheizten Volumens von den Nebenräumen
- Sehr gute Wärmedämmung mit möglichst wenig Schwachstellen

Passiv-solare Architektur

- Ausrichtung der Haupträume mit grossen Verglasungen nach Süden

Autonomes, einfaches Energiesystem pro Wohnung

- Kombination kontrollierte Wohnungslüftung (mit Erdregister)/Luftheizung
- Wohnungslüftung mit kombinierter Luft-Wasser-Kleinwärmepumpe

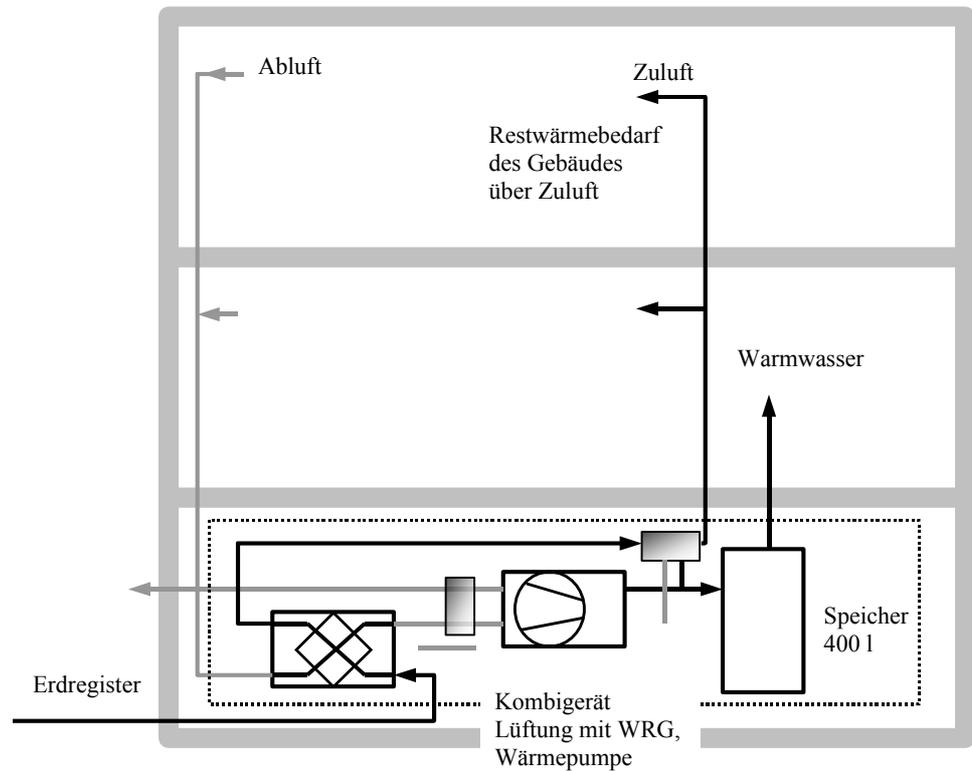


Abbildung 4.12 Prinzipschema der Haustechnik der Häuser „Wegere“
Kombigerät mit Lüftungsgerät, Wärmepumpe und Speicher.

4.3.1 Gebäudeparameter Haus „Wegere“

Gebäudeparameter

Tabelle 4.3 zeigt die wichtigsten Parameter des untersuchten Hauses. Die Daten bezüglich der Art und Menge der im Gebäude eingesetzten Materialien, wurden aus den Planrundlagen und Devis (Flächen, Aufbau, Materialien, Haustechnik) sowie Gebäudedokumentationen (Trawnika & Betschart, 2000; Krapmeier et al., 2002) entnommen. Die für die Bilanzierung verwendeten Materialmengen sind detailliert im Anhang in Tabelle 10.5 dargestellt. Der Energiebedarf des Gebäudes wurde aufgrund Angaben aus dem Messbericht modelliert (Huber et al., 2001). In den Daten in Tabelle 4.3 sind diese Werte für die Energieproduktion dargestellt.

Tabelle 4.3 Datengrundlagen für Haus „Wegere“

| Parameter | Beschreibung | Einheit | Wert |
|----------------------------------|---|--------------------|-----------|
| Gebäudevolumen | Total (davon 2160 m ³ beheizt und 1080 m ³ unbeheizt) | m ³ | 3240 |
| EBF | Energiebezugsfläche nach SIA 380/1; mit Aussenmassen | m ² | 794 |
| Beheizte Fläche | Beheizte Nettowohnfläche (Innendimensionen verwendet) | m ² | 613 |
| Dach | Holzrahmenkonstruktion, 360 mm Dämmung (Steinwolle), Dach aus Welleternit | W/m ² K | 0.11 |
| Aussenwände | Holzrahmenkonstruktion, 380 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.11 |
| Kellerdecke | Holzrahmenkonstruktion, 360 mm Dämmung (Steinwolle) | W/m ² K | 0.11 |
| Fensterflächen | Alle Orientierungen (N, S, E, W) | m ² | 116 |
| Fenster | 3-fach Verglasung, Krypton Füllgas | W/m ² K | 0.6 |
| Wärmeerzeugung | Wärmepumpe für Heizung und WW | kW | 5 x 1.4 |
| Wärmeverteilung | Luftheizung | m | - |
| Lüftung | Kanäle Stahl, verzinkt + Erdregister aus PE | m | 816 + 125 |
| PV Anlage, Solarkollektor: keine | | kWh/a | - |
| Wärmebedarf | Gedeckt zu 60% aus Umgebungswärme | kWh/a | 15'200 |
| Bedarf für WW | | kWh/a | 9'100 |
| Strombedarf | Strom für Lüftung und Pumpen (ohne Wärmepumpe) | kWh/a | 2'500 |
| Fremdenergie | Strombezug vom Netz (ohne Haushaltsstrom) | kWh/a | 12'300 |

Alle Werte beziehen sich auf eine Hausreihe mit insgesamt 5 Wohneinheiten.

4.4. Siedlung „Chräbsbach“, Oberseen, Winterthur

Die Siedlung „Chräbsbach“ besteht aus 35 Einfamilienhäusern aus dem günstigeren Preissegment. Die Hanglage wird ausgenutzt, um die Häuser würfelartig zueinander gestaffelt anzuordnen und interessante Aussenräume mit privaten und öffentlichen Plätzen zu gestalten.

Die Wohnungsgrössen variieren (4½ Zimmer und 5½ Zimmer). In unserem Falle betrachten wir ein Viereinhalbzimmerhaus.



Abbildung 4.13 Südfassade Haus „Chräbsbach“ (Bild: Christel Vogel)

Architektonisches Konzept

Das Gebäude wurde als ökonomischer kompakter Baukörper in massiver Bauweise ausgebildet. Dadurch ergeben sich maximale Speichermasse mit integrierter Wärmeverteilung (Bodenheizung). Durch den Einsatz von Baustoffen mit hoher Rohdichte wird auch ein guter Schallschutz gewährleistet. Die Dachbegrünung auf dem Flachdach trägt zum ästhetischen Gesamtbild des Gebäudes bei.

Das Wohnkonzept basiert auf praktischen Grundrissen, welche in der Raumaufteilung den individuellen Bedürfnissen der Käufer angepasst werden können. Die Räume werden durch die grossen Südfenster mit Tageslicht versorgt und tragen dadurch zur Gewinnung von Heizwärme bei.

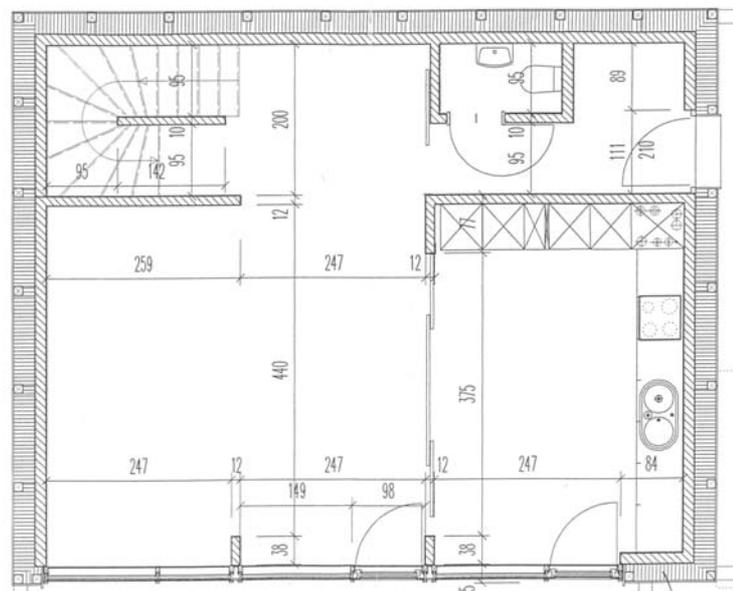


Abbildung 4.14 Grundriss Erdgeschoss Haus „Chräbsbach“

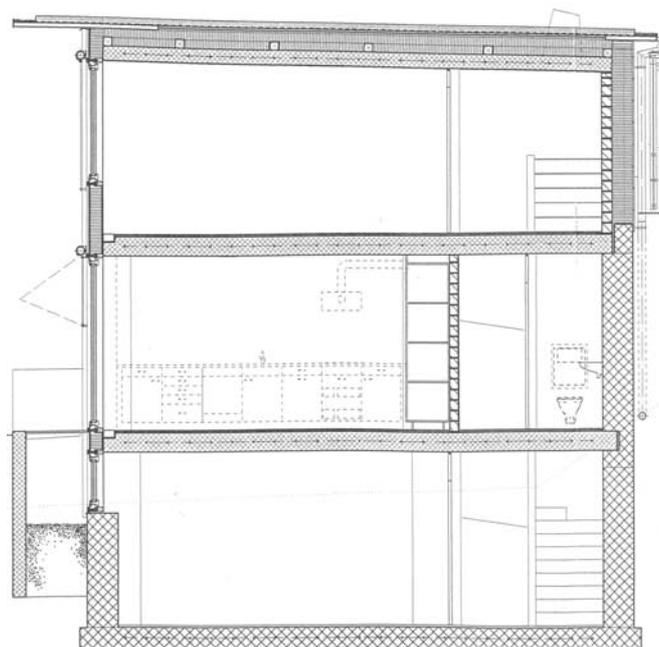


Abbildung 4.15 Gebäudequerschnitt Haus „Chräbsbach“

| | |
|-------------------------------|--|
| Gebäudehülle und Konstruktion | Die Wände bestehen aus Kalksandstein und die Decken aus Beton. Die Aussenwand- und Dachdämmung besteht aus einer 28 cm dicken Schicht aus Zellulosedämmstoff. Für die Dämmung der Wände gegen Erde wird 30-43 cm starker Felcobeton mit einem Lamda-Wert von 0.21 W/mK verwendet. |
| Baubiologie | Beim Ausbau wurde auf eine Verwendung von Naturmaterialien geachtet. Für die Böden wurde Massivholz-Parkett und für Wände und Decken Verputze aus naturbelassenem Kalk sowie Naturfarben verwendet. |
| Energiekonzept | <p>Folgende Aspekte wurden bei der energetischen Optimierung berücksichtigt:</p> <p>Minimierung der Wärmeverluste</p> <ul style="list-style-type: none">- Kompakte Bauweise- Gute Wärmedämmung an den Aussenwänden und dem Dach <p>Passiv-solare Architektur</p> <ul style="list-style-type: none">- Grosse Fensterflächen nach Süden- Massive Wände und Böden als Wärmespeicher <p>Aktiv-solare Energienutzung</p> <ul style="list-style-type: none">- Vakuumröhren-Sonnenkollektoren auf dem Dach <p>Deckung des Bedarfs für Raumwärme und Warmwasser</p> <ul style="list-style-type: none">- Kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung- Sole-Wasser-Wärmepumpe- Solarspeicher für Heizung und Warmwasser |

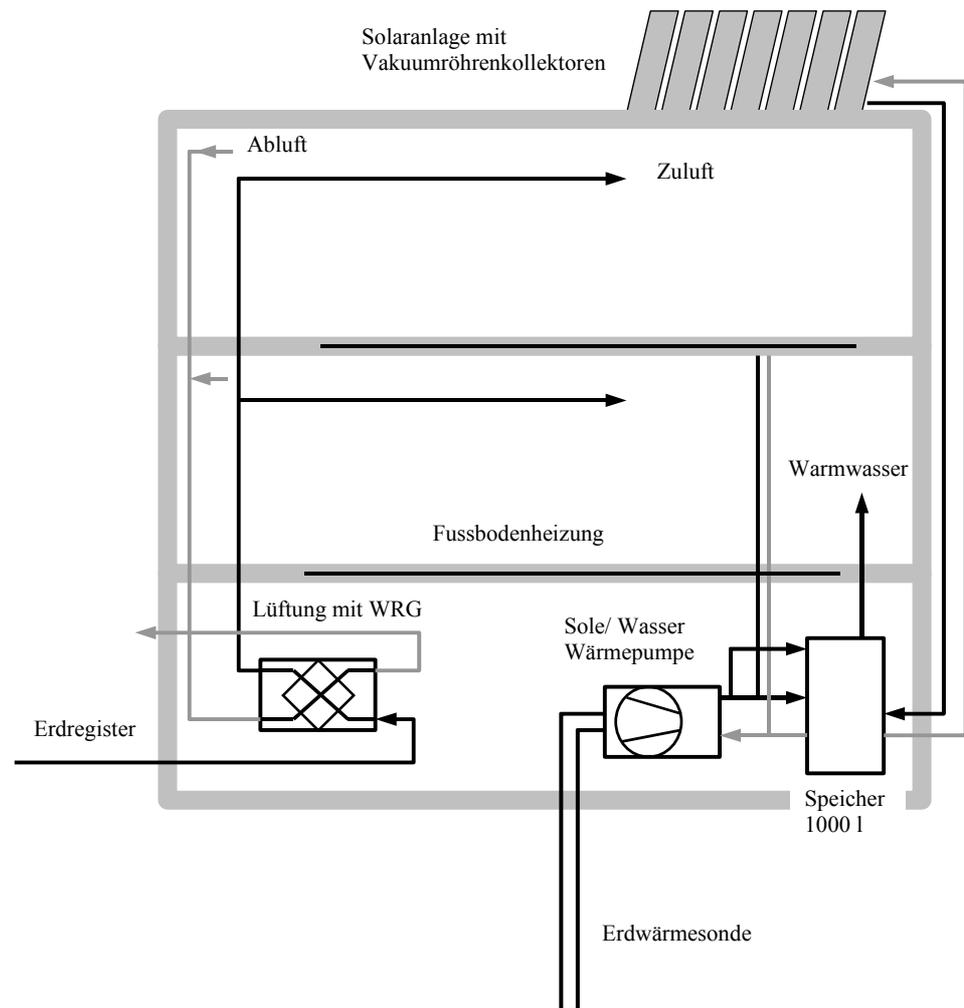


Abbildung 4.16 Prinzipschema der Haustechnik des Haus „Chräbsbach“

4.4.1 Gebäudeparameter Haus „Chräbsbach“

Gebäudeparameter

Tabelle 4.4 zeigt die wichtigsten Parameter des untersuchten Hauses. Die Daten bezüglich der Art und Menge der im Gebäude eingesetzten Materialien, wurden aus den Plangrundlagen (Flächen, Aufbau, Materialien, Haustechnik) und Gebäudedokumentationen (BFE, 2000; FWS, 2000) entnommen. Die für die Bilanzierung verwendeten Materialmengen sind detailliert im Anhang in Tabelle 10.7 dargestellt. Der Energiebedarf des Gebäudes wurde aufgrund Angaben aus Messberichtsdaten (FWS, 2000) modelliert.

Tabelle 4.4 Datengrundlagen für Haus „Chräbsbach“

| Parameter | Beschreibung | Einheit | Wert |
|-----------------|---|--------------------|----------|
| Gebäudevolumen | Total | m ³ | 580 |
| EBF | Energiebezugsfläche nach SIA 380/1; mit Aussenmassen | m ² | 188, *) |
| Beheizte Fläche | Beheizte Nettowohnfläche (Innendimensionen verwendet) | m ² | 152, *) |
| Dach | Flachdach begrünt, Betondecke mit Zelluloseflocken gedämmt, 270 mm Dämmstärke | W/m ² K | 0.22 |
| Aussenwände | Kalksandstein, 280 mm Dämmung (Zelluloseflocken) | W/m ² K | 0.18 |
| Kellerdecke | Decke aus Felcobeton (300 mm stark) sowie 20 mm Kork | W/m ² K | 0.46 |
| Fensterflächen | Alle Orientierungen (N, S, E, W) | m ² | 37 |
| Fenster | 2-fach Verglasung, Krypton Füllgas | W/m ² K | 0.7 |
| Wärmeerzeugung | Sole- Wasser Wärmepumpe für Heizung und WW | kW | 6 |
| Wärmeverteilung | Rohre für Betonkernbodenheizung (PE ummantelt) | m | 870 |
| Lüftung | Kanäle Stahl, verzinkt (z. T auch PE) + Erdregister aus PE | m | 120 + 10 |
| Solarkollektor | Vacuumröhrenkollektor für WW und Heizung (4 m ²) | KWh/a | 2'530 |
| Wärmebedarf | Gedeckt zu 53% aus Umgebungswärme | kWh/a | 5'192 |
| Bedarf für WW | + 32% aus Solarer Wärme | kWh/a | 2'645 |
| Strombedarf | Strom für Lüftung (ohne Wärmepumpe) | kWh/a | 683 |
| Fremdenergie | Strombezug vom Netz (ohne Haushaltsstrom) | kWh/a | 1'812 |

Alle Werte beziehen sich auf das gesamte Haus (1 Wohnung à 4½ Zimmer)

*) Berechnung nach neuer Norm SIA 380/1 bzw. II BV; EBF Nach alter Norm SIA 380/1: 208 m²

5. Resultate und Diskussion der Beispielhäuser

In den folgenden Kapiteln werden die Resultate der Analyse der Beispielhäuser diskutiert. Für die Resultate aller Gebäude gelten die nachfolgenden Festlegungen und Anmerkungen.

Bezugsgrössen

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

Strombezug

Für die Diskussion der Resultate wurde primär der für den Standort relevante Schweizer Strommix⁶ verwendet. Für gewisse Vergleiche wurde auch ein Bezug aus dem Europäischen Erzeugungsmix von UCTE⁷ zugrundegelegt.

Analyse der Gebäudelebensphasen

Für die Analyse der Gebäudelebensphasen werden folgende Teilbereiche unterschieden:

- Herstellung: Herstellung der Bauteile für die Erstellung des Gebäudes.
- Erneuerung: Herstellung der Bauteile welche innerhalb der Lebensdauer erneuert werden.

⁶ Schweizer Strommix plus Importe (Basis Niederspannung)

⁷ Europäischer Strommix (Basis Niederspannung). UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

- Entsorgung Herstellung: Entsorgung der Bauteile aus dem Gebäudeabbruch am Ende der Lebensdauer.
 - Entsorgung Erneuerung: Entsorgung der Bauteile welche erneuert werden.
 - Betrieb: Energiebedarf für Wärmeerzeugung und Haustechnik
- Wenn nicht speziell erwähnt ist der Haushaltstrombedarf nicht in den Resultaten einbezogen.

Analyse der
Gebäudekomponenten

In dieser Analyse wird der Anteil an der Gesamtbelastung einzelner Gebäudekomponenten über den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes untersucht. Folgende Bauteilgruppen wurden unterschieden:

- Massive Baustoffe: Beinhalten neben Beton und Mauerwerk auch die Unterlagsböden, nicht jedoch Verputze oder Bauplatten und Konstruktionsholz.
- Dämmung: Beinhalten alle Dämmstoffe an der Aussenhülle sowie Dämmstoffe zur Schalldämmung in den Zwischenböden und den Wohnungstrennwänden.
- Installationen: Beinhalten alle Anlagen für Lüftung, Wärmeerzeugung und Verteilung der Raumwärme sowie die Solaranlage und die Photovoltaikanlage.
- Übrige Baustoffe: Beinhalten Konstruktionsholz, Fenster und Türen, Verputze und Innenverkleidungen, etc.

5.1. Referenzgebäude

Alle Beispielgebäude werden mit einem Referenzgebäude verglichen. Das Referenzgebäude wurde im Rahmen der TSS entwickelt und wird in Kapitel 6.1 beschrieben. Es entspricht dem „Konstruktionstyp A“ in Abbildung 6.1 und weist einen Energiebedarf einer aktuell üblichen Bauweise (Neubau mit 65.3 kWh/m²a Heizenergiebedarf) auf. Die Wärmeerzeugung erfolgt mit Gasheizung. Für den Vergleich mit den Beispielhäusern wird der Schweizer Strommix mit Importen verwendet.

Fehlendes Kellergeschoss

Im Gegensatz zu den Beispielgebäuden weist das Referenzgebäude keinen Keller auf. Diese Tatsache wirkt sich in den nachfolgenden Resultatsdiskussionen vorteilhaft für das Referenzgebäude resp. nachteilig für die Beispielgebäude aus, da ein massives Kellergeschoss einen starken Einfluss auf die Ökobilanz eines Gebäude ausübt.

Um die Relevanz eines Kellergeschosses nachzuweisen, zeigt Abbildung 5.1 die folgende die Bilanz des Referenzgebäudes mit und ohne Kellergeschoss, bewertet nach den drei verschiedenen Bewertungsmethoden.

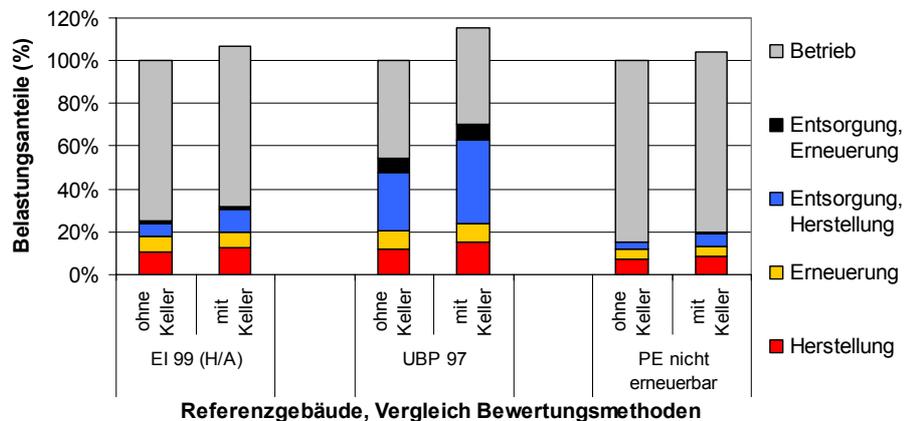


Abbildung 5.1 Referenzgebäude ohne und mit Kellergeschoss
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Bei allen drei Methoden wird deutlich die Mehrbelastung durch das Kellergeschoss ersichtlich. Diese liegt bei ca. 8 bis 18% der Gesamtbelastung des Gebäudes und ist im Grunde nicht vernachlässigbar.

Sehr deutlich kommt auch zum Ausdruck, wie die verschiedenen Bewertungsmethoden ein und dasselbe Gebäude unterschiedlich bewerten.

- Mit dem Eco-indicator 99 (H/A) wird die Betriebsphase stark gewichtet, da vor allem den Bedarf an nicht erneuerbaren Ressourcen negativ bewertet. Alle Anstrengungen, den Energiebedarf mit erneuerbaren Ressourcen zu decken, werden mit dieser Methode „belohnt“. Die Nutzungsphase ist die umweltbelastendste Phase des Referenzgebäudes.
- Die Umweltbelastungspunkte 97 bewerten die Entsorgung besonders stark, da in der schweizerischen Umweltpolitik das zur Verfügung stehende Deponievolumen als sehr knapp betrachtet wird. So wird auch Strom, welcher zu bestimmten Teilen aus Kernkraftwerken stammt, aufgrund der radioaktiven Abfälle stark mit Umweltbelastungspunkten bewertet. Herstellung und Entsorgung des Referenzgebäudes sind genauso umweltbelastend wie die Nutzungsphase.
- Die Methode der Primärenergie nicht erneuerbar bewertet das Referenzgebäude ähnlich wie der Eco-indicator 99 (H/A). Der Bedarf an nicht erneuerbaren Ressourcen wird stark gewichtet, daher ist die Nutzungsphase deutlich umweltbelastender als Herstellung und Entsorgung des Referenzgebäudes.

5.2. Resultate „Sunny Woods“

Berechnungsvarianten für
Resultatdiskussion

Für die Resultatdiskussion wurden sowohl Planungswerte wie auch Messwerte einbezogen. Folgende Berechnungsvarianten wurden einbezogen:

- Basisvariante mit PV Anlage aus amorphen Siliziumzellen⁸. Planungswerte.
- Variante mit PV Anlage aus polykristallinem Siliziumzellen⁹. Planungswerte.

⁸ Entsprechend dem in „Sunny Woods“ eingesetzten Systems

⁹ Inventardaten aus Frischknecht et al. (1996) als Vergleichswert (Maximalwert für Belastungen)

- Variante ohne PV Anlage. Strom aus Schweizer Stromnetz. Planungswerte.
- Variante mit PV Anlage aus amorphen Siliziumzellen. Messwerte
- Referenzgebäude

Strombedarf

Der Strombedarf von Haushaltsgeräten wurde in der Resultatdiskussion nicht berücksichtigt. Bei den mit den Planungswerten gerechneten Varianten wurde für den Elektrizitätsbedarf (Heizung, Lüftung, Warmwasser) von einer vollständigen Deckung durch die PV Anlage ausgegangen (ausgeglichene Bilanz).

Auswertung mit
Eco-indicator 99**5.2.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „Sunny Woods“**

Abbildung 5.2 zeigt die Resultate der Analyse der Gebäudelebensphasen mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

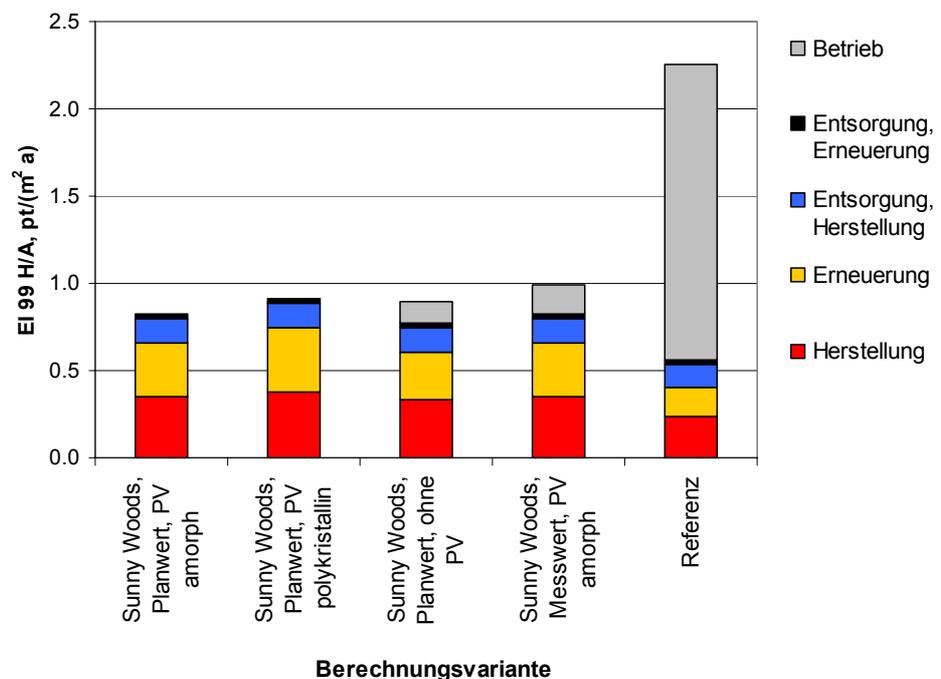


Abbildung 5.2 Gebäudelebensphasen, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A. Schweizer Strommix
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Die wichtigsten Aussagen aus Abbildung 5.2 sind die folgenden:

- Die Gesamtbelastung des Gebäudes „Sunny Woods“ beträgt über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betriebsenergie) nur 37% (Planwert) bis 44% (Messwert) der Belastungen des Referenzgebäudes.
- Die Unsicherheiten aus den Daten der Photovoltaikanlage haben einen Einfluss von etwa 10% auf die Gesamtbelastung von „Sunny Woods“.
- Die Belastungen aus der Entsorgung der Primärstruktur (v.a. infolge des verwendeten Betons und Zements) sind bei diesem Gebäude wichtiger als die Belastungen aus der Entsorgung bei der Erneuerung (v.a. Unterlagsböden, Fenster, Haustechnik).

- Ohne den Einsatz der PV Anlage, wäre die Gesamtbelastung bei Bezug des Stroms aus dem Schweizer Stromnetz (hoher Anteil an Wasserkraft) um 7% höher. Bei einer Zugrundelegung des europäischen Strommixes (mit hohem fossilen Anteil), zeigen sich die Vorteile der Stromerzeugung durch die Photovoltaikanlage mit einer Reduktion der Gesamtbelastung um 25% noch deutlicher.

Einfluss der
Photovoltaikanlage

Die Approximationen beim Sachinventar für die amorphe Photovoltaikanlage ergeben eine Unsicherheit für das Gesamtergebnis. Mit den verwendeten Zahlen gerechnet ergibt sich für diese Anlage eine Rückzahlzeit der Belastungen (Eco-indicator 99 H/A) von 4 Jahren für den europäischen Strommix und 12 Jahren für den schweizerischen Strommix (inkl. Importe). Entsprechend den Daten von Frankl (2002) weist das für die polykristallinen Zellen verwendete Inventar (aus Frischknecht et al., 1996) zu hohe Belastungswerte aus. Diese Variante ist daher nur als „worst case“ Szenario für eine Photovoltaikanlage zu betrachten, da die Produktionsenergien überschätzt werden.

Auswertung des kumulierten
Energieaufwandes

Grössere Differenzen zwischen den Varianten zeigt die Berechnung des kumulierten Energieaufwandes (siehe Abbildung 5.3; in MJ pro m² und Jahr). Für den kumulierten Energieaufwand ergeben sich vorteilhaftere Resultate für die Varianten mit Photovoltaikanlage, weil dadurch der Bedarf an nicht erneuerbarer Energie stark reduziert wird. Der kumulierte Energieaufwand des Gebäudes „Sunny Woods“ beträgt über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betriebsenergie) nur 27% (Planungswert) bzw. 53% (Messwert) des Referenzgebäudes.

Im weiteren ist die Sensitivität der verwendeten Art der Solarzellen grösser als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 und beläuft sich auf über 20% der Gesamtbelastung. Allerdings ist zu erwähnen, dass das für die polykristallinen Zellen verwendete Inventar¹⁰ ein um 68% höheren kumulierten Energieaufwand ausweist als die Berechnungen von Frankl (2002).

¹⁰ Daten aus Frischknecht et al., 1996: PE_{nichterneuerbar} = 100 GJ/kWp (nur PV Modul)

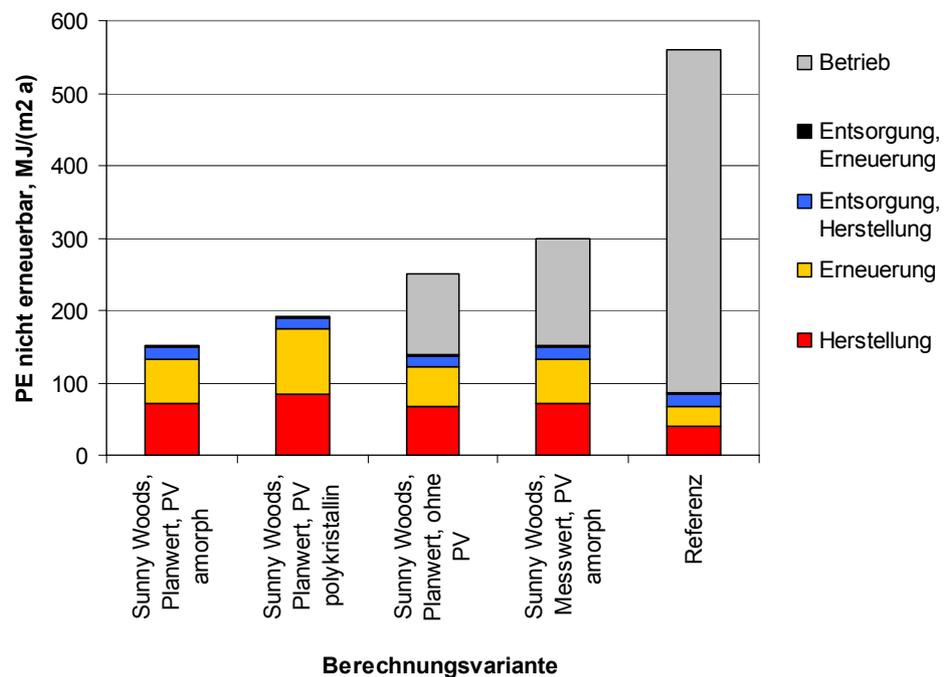


Abbildung 5.3 Gebäudelebensphasen, kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Hier zeigt sich der Unterschied zwischen Planungswert und Messwert aufgrund des massiv höheren Energiebedarf in der Messperiode. Die Begründung für den um Faktor 2.3 höheren Heizwärmebedarf des Gebäudes liegt vor allem an reduzierten Solargewinnen aufgrund der Steuerung der Sonnenstoren und höheren Lüftungsverlusten durch undichte Fenster. Auch liegt die Raumtemperatur mit über 22°C deutlich über dem Planungswert von 20°C und trägt damit ebenfalls zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs um etwa 30% bei (Naef & Widmer, 2003). Im weiteren trugen geringere Erträge bei der Photovoltaik zu dem ungünstigen Resultat bei.

Neben der nicht erneuerbaren Energie wird für das Gebäude auch ein grösserer Anteil an erneuerbarer Energie verwendet. Für das Gebäude „Sunny Woods“ (Variante mit amorphen PV-Zellen, Planungswert) wurden folgende Bedarfe an den erneuerbaren Energien Holz und Wasserkraft ermittelt:

- Wasserkraft (Stromproduktion): 7.4 MJ/(m² a).
- Biomasse (vor allem Holz): 75 MJ/(m² a).

Der Hauptteil der Energie aus Biomasse wird als Konstruktionsholz für das Gebäude selbst verwendet.

Die Unterschiede zur ressourcenorientierten Bewertung von Eco-indicator 99 wird aus den in Abbildung 5.4 dargestellten Resultaten deutlich (in 10³ Umweltbelastungspunkte pro m² und Jahr). Mit der Methode der ökologischen Knappheit (BUWAL UBP 97) verringern die Belastungen aus den zusätzlichen eingesetzten Materialien die Einsparungen durch den verringerten Endenergiebedarf massiv. Die Entsorgung dominiert mit 47% der Gesamtbelastungen das Resultat stark

(Planungswert). Hier ist der Einfluss der Belastung durch die deponierten Massivbaustoffe¹¹ ersichtlich, welche knapp 70% der gesamten Belastung aus der Entsorgung ausmachen. Da das Referenzgebäude nicht über einen Keller verfügt sind damit die Resultate nicht direkt vergleichbar. Das zusätzliche Kellergeschoss würde die Gesamtbelastung für das Referenzgebäude um über 15% steigern.

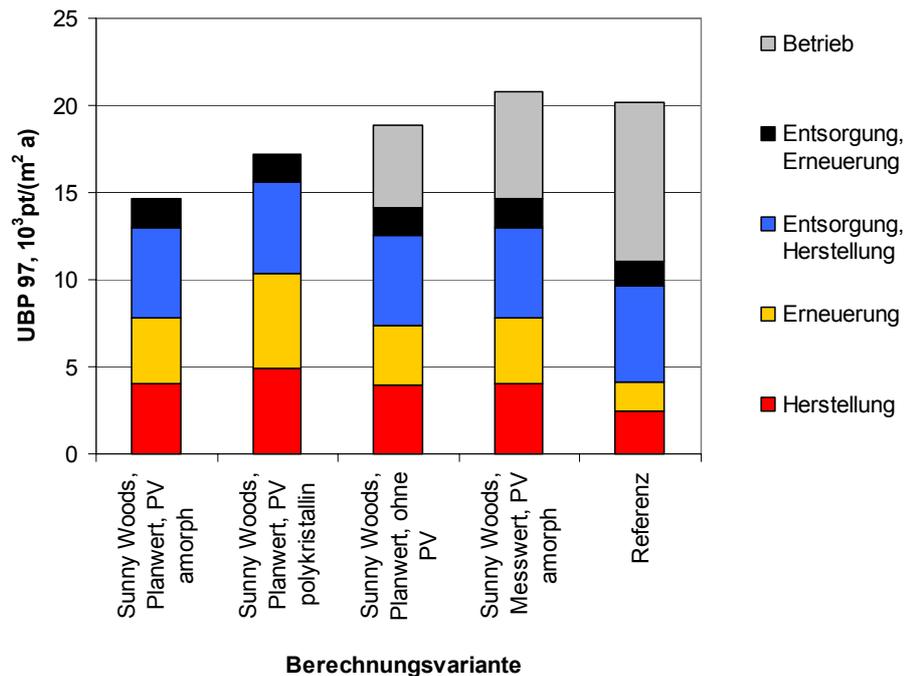


Abbildung 5.4 Gebäudelebensphasen, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Wie der Vergleich mit dem Referenzgebäude zeigt, führt die hohe Gewichtung von Aspekten der Versauerung, der Knappheit von Deponievolumen (für inerte Materialien) und der Toxizität (v.a. Schwermetalle) zu Folgerungen, welche dem Ziel einer effizienten Nutzung energetischer Ressource zuwider laufen. Die Methode der ökologischen Knappheit stützt primär die Schutzgüter Menschliche Gesundheit und Schutz der Ökosysteme und misst dem Schutz der Ressourcen kaum Gewicht bei.

Folgerung

Für eine Beurteilung von verschiedenen Gebäudevarianten, welche primär auf Unterschiede im Energieverbrauch basiert, ist eine stärkere Berücksichtigung des Ressourcenbedarfs angebracht. Aus diesem Grund scheint die Methode der ökologischen Knappheit nur bedingt geeignet für eine Aussage zur ökologischen Optimierung des Gebäudes (Siehe dazu auch Bemerkungen in Kapitel 8.1).

¹¹ In der Methode der Ökologischen Knappheit (BUWAL, 1998) wird pro kg deponiertes Material eine Belastung von 0.5 kUBP ausgewiesen.

Auswertung mit
Eco-indicator 99

5.2.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „Sunny Woods“

Die Analyse der Gebäudekomponenten in Abbildung 5.5 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

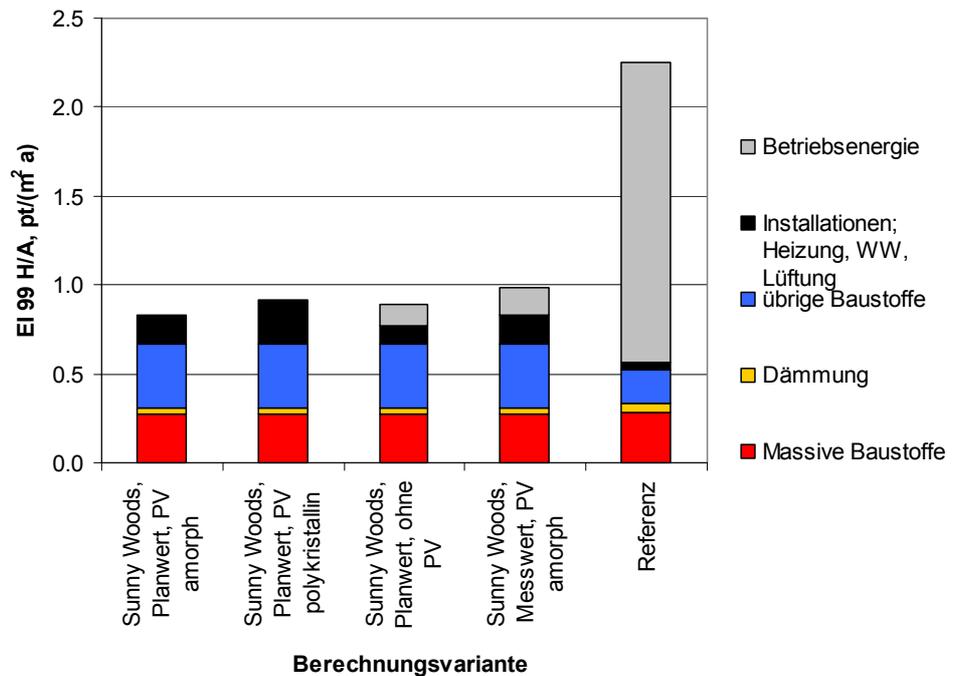


Abbildung 5.5 Anteile der Gebäudekomponenten, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Aus Abbildung 5.5 können für das Gebäude „Sunny Woods“ (Variante mit amorphen PV-Zellen) folgende Hauptaussagen betreffend dem Einfluss der Gebäudekomponenten (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung) gemacht werden:

- Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung beträgt nur 5%.
- Die massiven Baumaterialien machen 33% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus (Planungswert). Dies ist hauptsächlich auf den verwendeten Beton im Keller und die Unterlagsböden der Fussböden zurückzuführen.
- Die Materialien des Heizungs- und Lüftungssystems haben nur einen kleinen Anteil von etwa 5% an der Gesamtbelastung (ohne Solar- und PV-Anlage).
- Der thermische Solarkollektor macht 6% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus (einschliesslich Rohre, Wärmeaustauscher und Speicher).
- Das Photovoltaiksystem macht etwa 6% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus (einschliesslich Dachbefestigung und Wechselrichter). Bei Verwendung des Inventars für polykristalline Zellen erhöht sich dieser Anteil auf 16%.

Innerhalb der übrigen Baumaterialien (insgesamt 47% der Gesamtbelastung) wird ein grosserer Teil (19% der Gesamtbelastung) durch die Fenster verursacht. Dies kann mit dem höheren Herstellungsaufwand für die kryptongefüllte Dreifachverglasung erklärt werden. Bei einem Vergleich auf Basis der Gesamtbelastung

des Gebäudes aus den Messwerten ergeben sich leicht tiefere Anteile, da die Gesamtbelastung (inkl. Betrieb) in diesem Fall um 19% höher ist.

Auswertung des kumulierten Energieaufwandes

Ähnliche Resultate werden bei der Berechnung der Anteile für den kumulierten Energiebedarf erreicht (nur nicht erneuerbare Energie). Dabei hat die Dämmung einen Anteil von 7% und die massiven Baumaterialien 23% am Gesamtergebnis. Innerhalb der Haustechnikkomponenten hat die Photovoltaikanlage einen Anteil von 8%, die Solarkollektoren 5% und die anderen Bestandteile 6% am gesamten kumulierten Energieaufwand des Gebäudes. Auch hier ist bei den übrigen Baumaterialien (insgesamt 52% der Gesamtbelastung) ein grösserer Teil (26% der Gesamtbelastung) durch die Fenster verursacht.

Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

Die Bewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit zeigt für die Anteile der verschiedenen Gebäudekomponenten ein etwas anderes Bild. Die Dämmung hat mit einem Anteil von 7% auch hier einen geringen Anteil an der Gesamtbelastung. Die massiven Baumaterialien machen dagegen mit 41% den grössten Anteil am Gesamtergebnis aus (Bezug Planungswerte). Dies ist auf die starke Bewertung der Deponievolumen innerhalb dieser Methode zurückzuführen. Innerhalb der Haustechnikkomponenten hat die Photovoltaikanlage (amorphe Zellen) einen Anteil von nur 3%, die Solarkollektoren 5% und die anderen Bestandteile 4% am Gesamtergebnis des Gebäudes.

5.2.3 Diskussion und Folgerungen „Sunny Woods“

Die Untersuchung der Umweltbelastungen aus Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des Passivhauses „Sunny Woods“ zeigen, dass dieses Haus eine sehr günstige Bilanz aufweist im Vergleich zu einem Referenzhaus in üblichem Baustandard. Zu einem grossen Teil ist dieses gute Abschneiden von „Sunny Woods“ auf das innovative Energiekonzept des Hauses zurückzuführen. Wichtig für die gute ökologische Bewertung ist auch die grosse Dämmstärke, welche zu einem geringen Heizenergiebedarf führt. Mit 5-7% der Gesamtbelastung ist der Belastungsanteil der Dämmung gering, die Auswirkung auf den Energiebedarf aber gross.

Betriebsenergie

Es zeigte sich auch das bei diesem Gebäude die Planungswerte stark von den gemessenen Werten abweichen. Neben Einflüssen welche durch die Bewohner bestimmt werden (Raumtemperatur 23°C statt nur 20°C) zeigten sich einige Mängel in der baulichen Ausführung des Konzepts (Fensterdichtheit und Storensteuerung). Wenn diese Mängel behoben werden wird sich die Differenz zu den Planungswerten vor allem in den höheren Komfortansprüchen (Raumtemperaturen) der Bewohner zeigen. Dieser Einfluss zeigt sich in vielen Projekten und auch die Unterschiede zwischen den Bewohnern ist teilweise massiv. Bei dem Gebäude „Sunny Woods“ zeigen sich Abweichungen von $\pm 30\%$ vom Mittelwert im Wärmepumpenstrombedarf der einzelnen Wohnungen.

| | |
|---|---|
| Photovoltaik | <p>Durch die grosse Photovoltaikanlage auf dem Dach produziert das Haus die Energie, welche für die Wärmepumpe und die Lüftung benötigt wird gleich selber. Infolge von Unsicherheiten in den Inventaren der Photovoltaikmodule (amorphe Dünnschichtzellen) ist eine klare Schlussfolgerung hier schwierig. Klar ist, dass eine Verringerung der Gesamtbelastung von 18-49% stattfindet, wenn mit einem Strombezug aus dem Europäischen Stromnetz gerechnet wird (UCTE-Mix¹²). Wenn der Schweizer Strommix als Basis genommen wird, so ist eine klare Aussage schwieriger, da dieser Strom je nach Bewertungsmethode eine sehr geringe Belastung aufweist. In diesem Fall wird die Art der eingesetzten Photovoltaikzellen wichtig. Für die in „Sunny Woods“ eingesetzten amorphen Zellen wurde für den kumulierten Energiebedarf (nicht erneuerbar) eine Belastungsreduktion von 24-40% gegenüber einem Gebäude ohne Photovoltaik errechnet. Dieses Resultat beinhaltet jedoch grössere Unsicherheiten infolge der Abschätzungen in der Sachbilanz.</p> |
| Bewertung des Gebäudes | <p>Das Gebäude „Sunny Woods“ zeigt klar wie tiefe Belastungen über die gesamte Gebäudelebensdauer erreicht werden mit einem Gebäudekonzept, das neben der Minimierung der Wärmeverluste eine Maximierung der Solargewinne (Grosse Südfensterflächen, Photovoltaik und thermische Solarkollektoren). Eine weitere Optimierung der ökologischen Leistung ist in diesem Fall schwierig und könnte negative Auswirkungen auf andere Faktoren wie z.B. Feuersicherheit (geringerer Einsatz von Beton), Schallschutz (keine Verwendung von Unterlagsböden) oder das Raumkonzept (kein Keller) zur Folge haben.</p> |
| Energetisches Optimierungspotential | <p>Auf der energetischen Seite besteht im aktuellen Gebäudezustand noch Optimierungsbedarf bei der Dichtheit des Gebäudes und der Storensteuerung. Werden hier die in der Planung vorgesehenen Werte erreicht liegt das grösste Potential in der Reduktion des Energiebedarfs für den Haushaltsstrom und das Warmwasser. In einem Haus wie „Sunny Woods“ sollte es selbstverständlich sein für die Haushaltsgeräte und die Beleuchtung nur Geräte aus der besten Effizienzklasse einzusetzen. Auch der Wärmebedarf für das Warmwasser ist bereits drei mal grösser als der Heizwärmebedarf. Neben Überlegungen zur Wärmerückgewinnung liegt das Einsparpotential hier vor allem im Benutzerverhalten (Raumtemperatur). Wenn das Gebäude in einem grösseren Kontext betrachtet wird ist das Mobilitätsverhalten der Bewohner bzw. die Einbindung der Mobilität in die Planung des Gebäudes wohl ein weiterer logischer Schritt im Optimierungsprozess. Dazu ist zu erwähnen, das die Gesamtbelastung einer Wohnung im Gebäude pro Jahr nur noch 5800 km zurückgelegt im Auto entsprechen¹³.</p> |
| Berechnungsvarianten für Resultatdiskussion | <p>5.3. Resultate Haus „im Wechsel“</p> <p>Für die Resultatdiskussion wurden sowohl Planungswerte wie auch Messwerte einbezogen. Folgende Berechnungsvarianten wurden einbezogen:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Variante mit Planungswerten. Ohne Haushaltsstrom |

¹² Europäischer Produktionsmix. Inventar auf Stufe Niederspannung (Frischknecht et al., 1996)

¹³ Berechnet mit Ökoindikator 99 H/A; 5800 km pro Wohnung oder 34'800 km für das ganze Haus

- Variante mit Messwerten. Ohne Haushaltsstrom
- Variante mit Planungswerten. Mit Haushaltsstrom
- Variante mit Messwerten. Mit Haushaltsstrom
- Referenzgebäude

Strombezug

Für die Diskussion der Resultate wurde primär der für den Standort relevante Schweizer Strommix¹⁴ verwendet.

Auswertung mit
Eco-indicator 99

5.3.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „im Wechsel“

Die Analyse der Gebäudelebensphasen in Abbildung 5.6 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

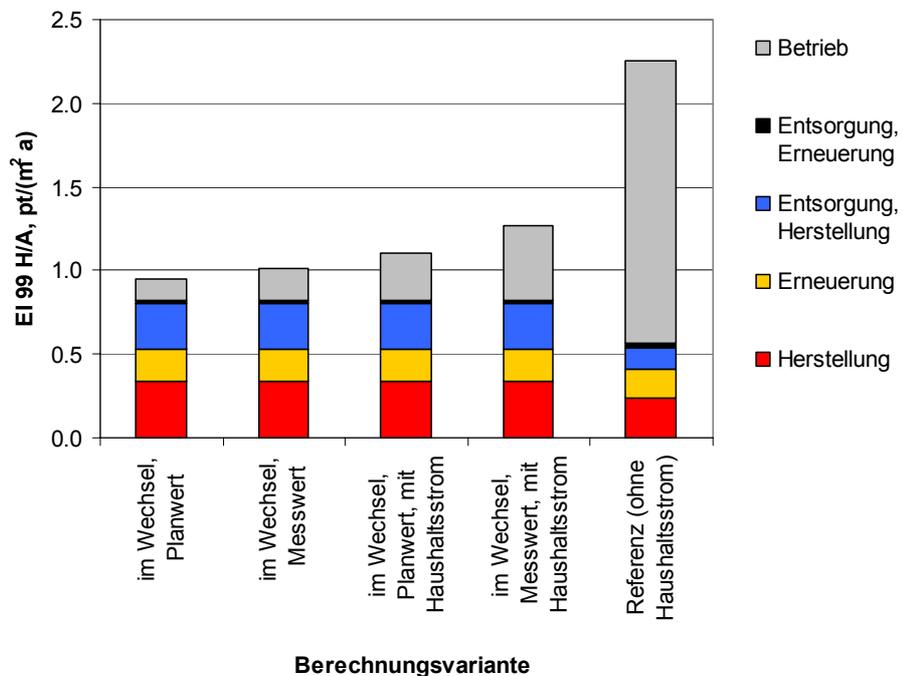


Abbildung 5.6 Gebäudelebensphasen, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Die wichtigsten Aussagen aus Abbildung 5.6 sind die folgenden:

- Die Gesamtbelastung des Haus „im Wechsel“ beträgt über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betriebsenergie aber ohne Haushaltsstrom) 42% (Planwert) bzw. 45% (Messwert) der Belastungen des Referenzgebäudes.
- Der Betrieb des Gebäudes macht nur 13% (Planwert) bzw. 19% (Messwert) der Gesamtbelastung über den Lebenszyklus aus.
- Mit 47% (Planwert) bzw. 44% (Messwert) der Gesamtbelastung sind die mehrheitlich massiven Bauteile im Fundament, dem Keller und den Böden die wich-

¹⁴ Schweizer Strommix plus Importe (Basis Niederspannung)

tigsten Komponenten. Dies führt auch zu den erhöhten Belastungen in der Entsorgung (29% der Gesamtbelastung durch Entsorgung der Gebäudes¹⁵).

- Der Einfluss des Haushaltstroms ist mit 14-20% der Gesamtbelastung relativ gering, was einerseits auf den relativ geringen Verbrauch (Planwert: 12.6 kWh/m² EBF; Messwert: 21.4 kWh/m² EBF) aber auch auf den hohen Wasserkraftanteil im Schweizer Strom zurückzuführen ist.

Auswertung des kumulierten Energieaufwandes

Wie Abbildung 5.7 zeigt, hat die Wärmeerzeugung welche primär mit der Pelletfeuerung sowie Solar erfolgt einen grossen Einfluss auf den tiefen Anteil des Betriebsenergiebedarfs. Der Anteil der Betriebsenergie an der Gesamtbelastung beträgt für den Planwert: gut 2% und für den Messwert: gut 3%. Dies ist auch der Grund, dass die Gesamtbelastung des Haus „im Wechsel“ über den gesamten Gebäudelebenszyklus (ohne Haushaltsstrom) nur 34% (Planwert) bzw. 39% (Messwert) der Belastungen des Referenzgebäudes beträgt.

Der Einfluss des Haushaltstroms ist hier mit 40-50% der Gesamtbelastung bedeutend höher als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99, was auf die tiefe Effizienz der Stromerzeugung aus Kernkraft zurückzuführen ist.

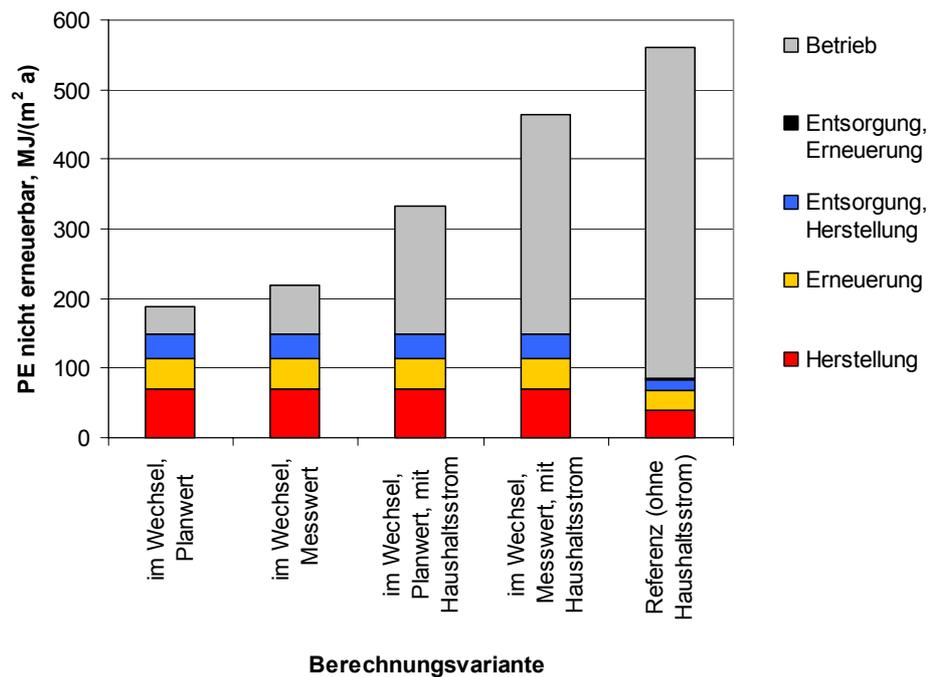


Abbildung 5.7 Gebäudelebensphasen, kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Neben der nicht erneuerbaren Energie wird für das Gebäude auch ein grösserer Anteil an erneuerbaren Energie verwendet. Für das Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ wurden folgende Bedarfe an den erneuerbaren Energien Holz und Wasserkraft ermittelt (Planwerte):

¹⁵ Entsorgung Herstellung: Gebäudeentsorgung ohne Bauteilerneuerung (v.a. massive Bauteile)

- Wasserkraft (Stromproduktion): 11 MJ/(m² a), wovon gut 50% für den Gebäudebetrieb (Strom für Wärmepumpe und Lüftung).
- Biomasse (vor allem Holz): 180 MJ/(m² a), wovon 104 MJ/(m² a) bzw. 58% für die Heizwärmeerzeugung (Pelletsfeuerung)

Der Hauptteil der Energie aus Biomasse in der Gebäudekonstruktion wird als Kork für Dämmung und Holz für Bodenbeläge bei den Geschossböden im Gebäude verwendet.

Methode der ökologischen Knaptheit (UBP 97)

Die Resultate der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knaptheit in Abbildung 5.8 zeigen nur eine Verbesserung von gut 12% (Planwert) bzw. gut 4% (Messwert) gegenüber dem Referenzgebäude. Dieses Resultat ist einerseits auf die geringen Belastung der Betriebsphase in dieser Bewertung und andererseits auf die zusätzlichen Aufwendungen (Beton) für das Kellergeschoss zurückzuführen. Da das Referenzgebäude über keinen Keller verfügt sind hier die Belastungen nicht direkt vergleichbar.

Auch hier ist der Einfluss des Haushaltstroms mit 24-33% der Gesamtbelastung klar höher als bei der Bewertung mit Eco-indicator 99. Dies ist vor allem durch die Belastungen aus der Deponierung von radioaktiven Abfällen aus der Stromerzeugung bedingt.

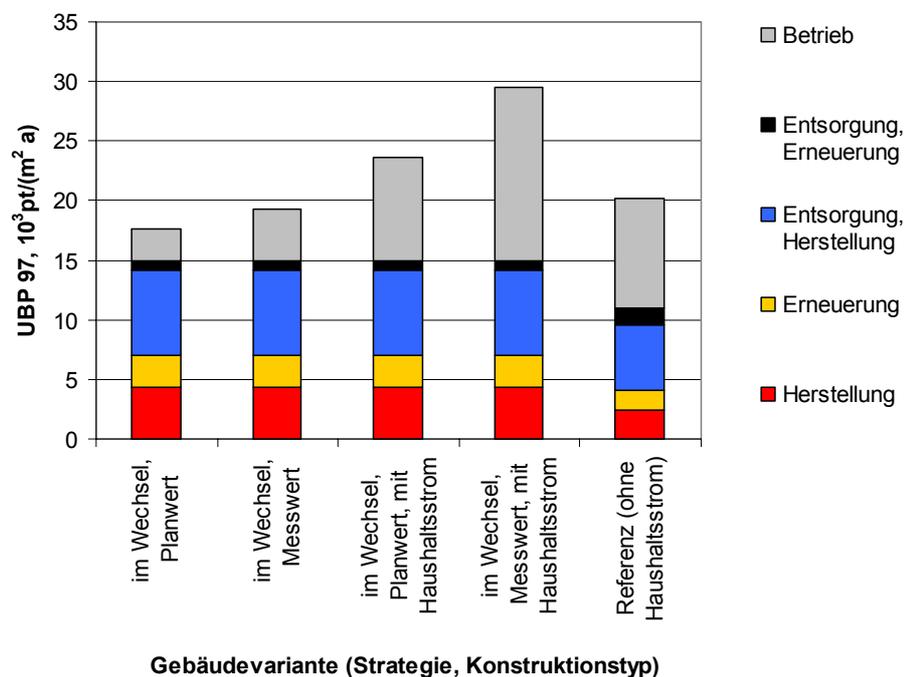


Abbildung 5.8 Gebäudelebensphasen, Methode der ökologischen Knaptheit (UBP 97)
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

5.3.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „im Wechsel“

In dieser Analyse wurde der Anteil an der Gesamtbelastung einzelner Gebäudekomponenten über den gesamten Lebenszyklus untersucht. Folgende Bauteilgruppen wurden unterschieden:

- Massive Baustoffe: Beinhaltet neben Beton und Mauerwerk auch die Unterlagsböden nicht jedoch Verputze oder Bauplatten und Konstruktionsholz.
- Dämmung: Beinhaltet alle Dämmstoffe an der Aussenhülle sowie Dämmstoffe zur Schalldämmung in den Zwischenböden und den Wohnungstrennwänden.
- Installationen: Beinhaltet alle Anlagen für Lüftung, Wärmeerzeugung und Verteilung der Raumwärme sowie die Solaranlage und die Photovoltaikanlage.
- Übrige Baustoffe: Beinhaltet Konstruktionsholz, Fenster und Türen, Verputze und Innenverkleidungen, etc.

Auswertung mit
Eco-indicator 99

Die Analyse der Gebäudekomponenten in Abbildung 5.9 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

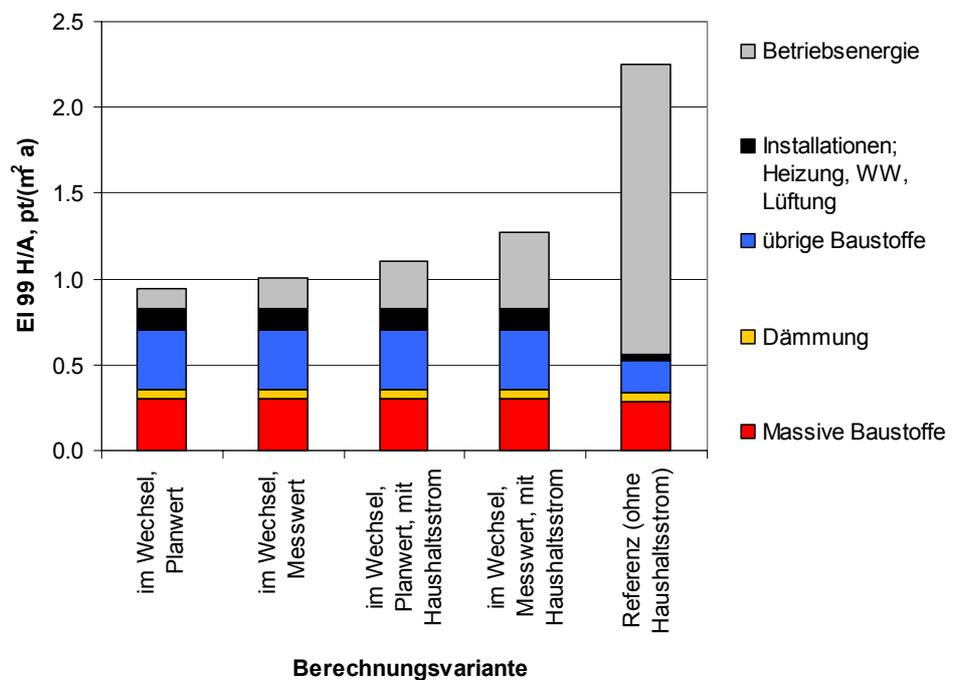


Abbildung 5.9 Anteile der Gebäudekomponenten, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Wie Abbildung 5.9 zeigt sind die Resultate ähnlich wie für das Gebäude „Sunny Woods“. Unterschiedlich ist vor allem der geringere Belastungsanteil für die Installationen für die Haustechnik. Dies ist dadurch begründet, dass hier nur eine kleine Photovoltaikanlage installiert ist. Für das Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ können folgende Hauptaussagen betreffend dem Einfluss der Gebäudekomponenten (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung) gemacht werden:

- Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung beträgt nur 7%. Über 50% dieser Belastung ist auf die 260 mm starke Korkdämmung der Böden im Erdgeschoss verursacht.

- Die massiven Baumaterialien machen 32% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus. Dies ist hauptsächlich auf den verwendeten Beton im Fundament, dem Keller und auf die Unterlagsböden zurückzuführen.
- Die Materialien des Heizungs- und Lüftungssystems haben nur einen kleinen Anteil von etwa 6% an der Gesamtbelastung (ohne Solar- und PV-Anlage).
- Der thermische Solarkollektor sowie das Photovoltaikmodul macht insgesamt 7% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus (einschliesslich Rohre, Wärmetauscher und Speicher).

5.3.3 Diskussion und Folgerungen „im Wechsel“

Die Untersuchung der Umweltbelastungen aus Herstellung, Erneuerung und Entsorgung des Mehrfamilienhauses „im Wechsel“ zeigt im Vergleich zu einem Referenzhaus in üblichem Baustandard eine sehr günstige Bilanz bezüglich der Ressourceneffizienz. Wie beim Gebäude „Sunny Woods“ sind auch hier die grössten Belastungsanteile im Fundament, Keller und den Geschossdecken zu finden. Ebenfalls haben die Dämmstoffe nur einen untergeordneten Anteil an der Gesamtbelastung (6-9%).

Betriebsenergie

Der Anteil der Betriebsenergie an der Gesamtbelastung des Gebäudes ist gering. Dies ist auf das vorbildliche Energiekonzept des Gebäudes zurückzuführen, welches vor allem erneuerbare Energien einsetzt. Die Abweichung der Messwerte von den Planungswerten ist vor allem auf zu optimistische Auslegungswerte (z.B. Strombedarf der Lüftung). Beim Haushaltsstrombedarf zeigt sich eine grosse Differenz zwischen Planungswert und Messwert, welche auch für das Gesamtergebnis von Bedeutung ist. Hier liegt ein Grund in der schlechten Effizienz der von den Bewohnern eingesetzten Beleuchtung. Um den Planungswert zu erreichen müssten auch konsequent energieeffiziente Haushaltsgeräte verwendet werden (A-Klasse).

Bewertung des Gebäudes

Das Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ erreicht insgesamt vor allem aufgrund der hohen Dämmstärken und damit geringem Heizwärmebedarf eine günstige Ökobilanz. Ungünstig wirken sich die massiven Geschossdecken und dem Kellergeschoss vor allem in der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit aus. Das Gebäude hat durch die Wärmeerzeugung mit Holz und Sonne eine sehr gute Bilanz bezüglich der Schonung von nichterneuerbaren Energieressourcen. Der Haushaltsstrom führt je nach angewendeter Bewertung zu einer mässigen bis sehr starken Erhöhung der Gesamtbelastung. Dieses Resultat zeigt, dass bei Niedrigenergiehäusern der Reduktion des Haushaltstromes eine grosse Bedeutung zukommt.

Optimierungspotential

Das grösste Optimierungspotential im Betrieb liegt bei der Reduktion des Haushaltsstrombedarfs. Wären die geplanten Werte für den Haushaltsstrom erreicht worden wäre die Belastung aus dem Betrieb um etwa 25% geringer. Eine weitere Steigerung der Ökoeffizienz wäre vor allem auch durch die Verwendung von Ökostrom zu erreichen (z.B. naturemade star).

Gebäudeseitig liegt das grösste Optimierungspotential bei den Geschossdecken. Eine Konstruktion mit geringeren Mengen an Beton und Zement würde hier eine Verbesserung bringen. Eine leichtere Konstruktion kann jedoch Trittschallprobleme mit sich bringen, was in einem Mehrfamilienhaus in jedem Fall vermieden werden muss. Von geringerem Einfluss, aber aufgrund der vorliegenden Daten eher ungünstig erwies sich die Bodendämmung mit Kork im Erdgeschoss. Aufgrund des relativ hohen Gewichts des Korks wäre hier eine Dämmung mit einem mineralischen Dämmstoff vorzuziehen.

5.4. Resultate Haus „Wegere“

Berechnungsvarianten für
Resultatdiskussion

Für die Resultatdiskussion wurden sowohl Planungswerte wie auch Messwerte einbezogen. Folgende Berechnungsvarianten wurden einbezogen:

- Variante mit Planungswerten. Ohne Haushaltsstrom
- Variante mit Messwerten. Ohne Haushaltsstrom
- Variante mit Planungswerten. Mit Haushaltsstrom
- Variante mit Messwerten. Mit Haushaltsstrom
- Referenzgebäude

Strombezug

Für die Diskussion der Resultate wurde primär der für den Standort relevante Schweizer Strommix¹⁶ verwendet.

5.4.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „Wegere“

Auswertung mit
Eco-indicator 99

Die Analyse der Gebäudelebensphasen in Abbildung 5.2 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

¹⁶ Schweizer Strommix plus Importe (Basis Niederspannung)

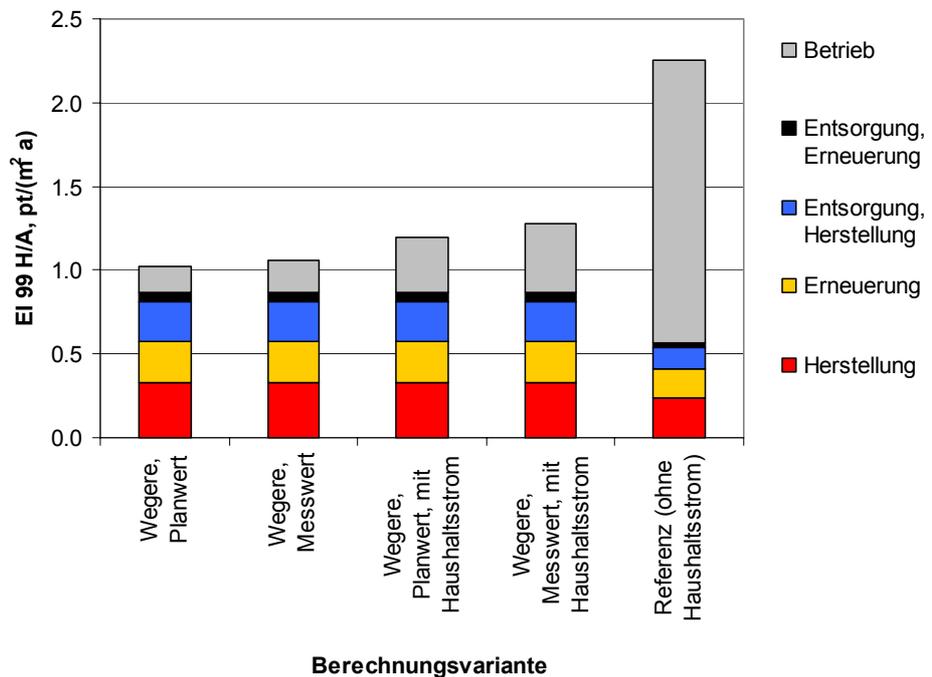


Abbildung 5.10 Gebäudelebensphasen, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Die wichtigsten Aussagen aus Abbildung 5.2 sind die folgenden:

- Die Gesamtbelastung des Reihenhauses „Wegere“ beträgt über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betriebsenergie aber ohne Haushaltsstrom) etwa 46% der Belastungen des Referenzgebäudes.
- Der Betrieb des Gebäudes macht nur 16% (Planwert) bzw. 19% (Messwert) der Gesamtbelastung über den Lebenszyklus aus.
- Mit knapp 50% der Gesamtbelastung sind die mehrheitlich massiven Bauteile im Fundament, dem Keller und den Böden die wichtigsten Einzelkomponenten. Dadurch ergeben sich auch die relativ hohen Anteile (23% der Gesamtbelastung) in der Entsorgung (Entsorgung Herstellung).
- Der Einfluss des Haushaltstroms ist mit 15-17% der Gesamtbelastung in einem ähnlichen Bereich wie beim Mehrfamilienhaus „im Wechsel“.

Bewertung der Schutzgüter
in Eco-indicator 99

Abbildung 5.11 zeigt die Belastungsanteile für die Schutzgüter Ressourcenverbrauch, Ökosystemqualität und Menschliche Gesundheit, welche in Eco-indicator 99 gewichtet werden. Klar zeigt sich die massive Verbesserung bei der Schonung von Ressourcen gegenüber dem Referenzgebäude. Bezüglich den beiden anderen Schutzgüter ist eine ähnliche Belastung (Menschliche Gesundheit) bzw. eine Verschlechterung (Ökosystemqualität) festzustellen. In diesen beiden Kategorien kann die Verringerung der Emissionen aus der Betriebsphase den gebäudeseitigen Mehraufwand gegenüber dem Referenzgebäude (Keller, Haustechnik, etc.) nicht kompensieren. Die Gesamtbewertung ist daher stark von der Gewichtung des Schutzgutes Ressourcenschonung abhängig.

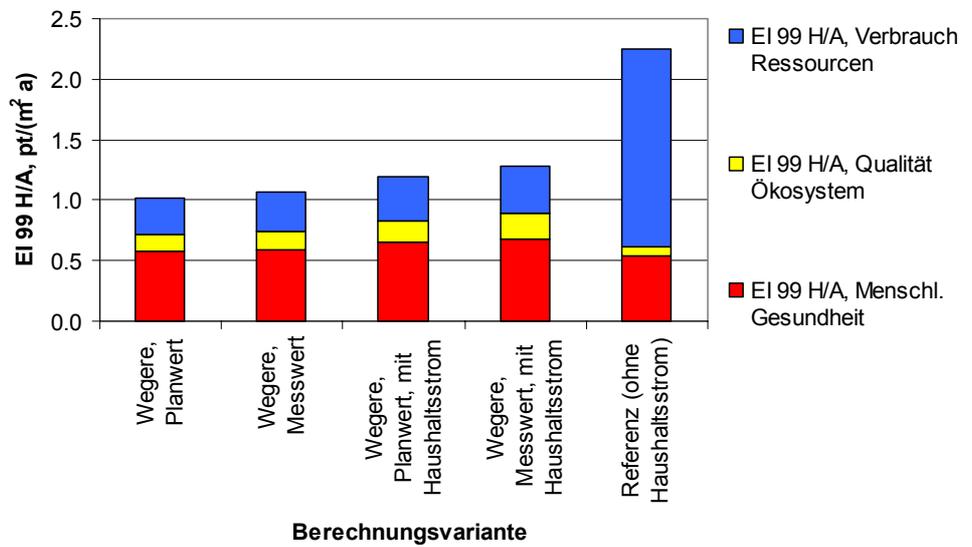


Abbildung 5.11 Bewertung mit Eco-indicator 99 H/A, Belastungsanteile der drei Schutzgüter

5.4.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „Wegere“

Auswertung mit
Eco-indicator 99

Die Analyse der Gebäudekomponenten in Abbildung 5.12 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

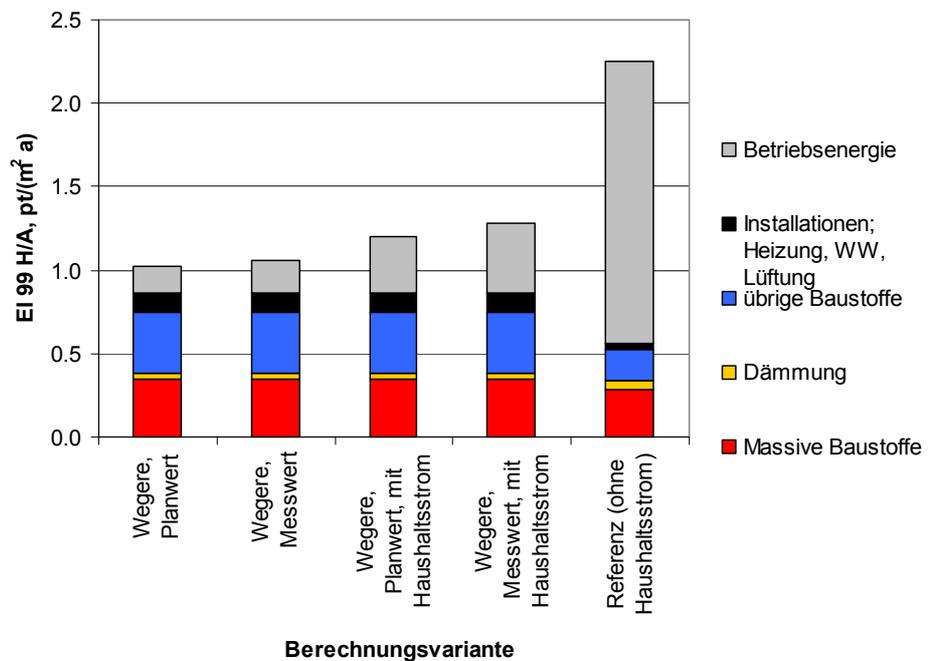


Abbildung 5.12 Anteile der Gebäudekomponenten, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Aus Abbildung 5.12 können für die fünf Wohneinheiten der Überbauung „Wegere“ folgende Hauptaussagen betreffend dem Einfluss der Gebäudekomponenten (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung) gemacht werden:

- Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung beträgt nur 3%.
- Mit etwa 35% der Gesamtbelastung haben die „übrigen Baustoffe“ den grössten Anteil an der Gesamtbelastung. Hier macht sich der grosse Holzanteil im Gebäudeaufbau bemerkbar.
- Die Materialien des Heizungs- und Lüftungssystems haben insgesamt einen Anteil von etwa 11% an der Gesamtbelastung.

Im Gegensatz zu den Angaben in (Gugerli & Gilgen, 2000) zeigte sich nur einen geringen Belastungsanteil des Dachs (3% der Gesamtbelastung).

Auswertung des kumulierten Energieaufwandes

Ähnliche Resultate zeigt die Berechnung des kumulierten Energiebedarfs (nur nicht erneuerbar). Die Dämmung einen Anteil von nur 3% und die massiven Baumaterialien 16% am Gesamtergebnis. Innerhalb der Haustechnikkomponenten (6% der Gesamtbelastung) hat die Lüftungsanlage mit 3% der Gesamtbelastung den grössten Anteil. Bei den Bauteilen hat das Fundament und der Keller mit zusammen 13% der Gesamtbelastung einen grossen Einfluss. Vergleichbar ist der Belastungsanteil der Böden (13%).

Der wichtigste Anteil bei dieser Bewertungsmethode ist mit 52% der Gesamtbelastung der Betriebsenergiebedarf (Planungswert ohne Haushaltsstrom).

Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

Die Bewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit zeigt höhere Anteile für die massiven Bauelemente (34%) und eine deutlich geringere Gewichtung des Betriebsenergiebedarfs (27%) als die Bewertung des kumulierten Energiebedarfs. Die Dämmung hat mit einem Anteil von 3% und die Haustechnik mit 8% einen vergleichbaren Anteil an der Gesamtbelastung wie bei der Bewertung mit dem kumulierten Energieaufwand.

5.4.3 Diskussion und Folgerungen „Wegere“

Die Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus des Hauses „Wegere“ liegt aufgrund des weniger kompakten Haustyps leicht höher als bei den Gebäuden „Sunny Woods“ und „im Wechsel“. Auch hier spielen die massiven Bauelemente einen wichtigen Einfluss für die Gesamtbelastung des Gebäudes.

Betriebsenergie und Optimierungspotential

Der Anteil der Betriebsenergie an der Gesamtbelastung des Gebäudes ist je nach Bewertungsmethode gering bis bestimmend (<50%). Dies ist auf die Bewertung des Stromes für den Betrieb der Wärmepumpe zurückzuführen. Dies zeigt dass für diese Gebäude der Bezug von Ökostrom für den Betrieb der Wärmepumpe einen wesentlichen Beitrag zur Optimierung der Umwelteffizienz beitragen könnte. Das Fehlen einer Nutzung von Solarenergie für Warmwasser führt hier trotz sehr guter Gebäudedämmung zu einem Strombedarf für die Wärmepumpe (Heizung und WW) von 12 kWh/m². Eine Nutzung von Solarwärme für Warmwasser könnte somit ebenfalls eine deutliche Senkung der Belastung bringen.

Wie bei den anderen Gebäuden zeigt sich auch hier beim Haushaltsstrombedarf ein um 24% höherer Messwert als Planungswert. Da der Haushaltstrombedarf grösser ist als der Strombedarf für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser wäre eine Optimierung dieses Verbrauchs auch hier wichtig.

Gebäudeaufbau und Optimierungsmöglichkeiten

Die Reihenhäuser „Wegere“ sind sehr gut gedämmt und für den Gebäudetyp sehr kompakt gebaut. Daher ist das Optimierungspotential auf Gebäudeseite relativ gering. Grössere Belastungen werden durch die Unterlagsböden verursacht. Hier würde eine trockene Bauweise (z.B. mit einheimischen Steinplatten oder nur mit Holz) zu einer Reduktion dieses Belastungsanteils führen.

Da ein Weglassen des Kellergeschosses für Gebäude in der Schweiz kaum in Frage kommt ist das Optimierungspotential im diesem Bereich relativ gering.

5.5. Resultate Haus „Chräbsbach“

Berechnungsvarianten für Resultatdiskussion

Für die Betrachtungen wurde neben dem Strombezug ab Schweizer Netz auch eine Variante mit dem europäischen Strommix berechnet. Die Gegenüberstellung der Resultate enthält somit folgende Varianten:

- Variante mit Strombezug aus Schweizer Stromnetz¹⁷.
- Variante mit Strombezug aus Europäischem Stromnetz¹⁸.
- Referenzgebäude

Strombedarf

Der Strombedarf von Haushaltsgeräten wurde in der Resultatdiskussion nicht berücksichtigt, da keine entsprechenden Daten verfügbar waren.

5.5.1 Analyse der Gebäudelebensphasen „Chräbsbach“

Auswertung mit Eco-indicator 99

Die Analyse der Gebäudelebensphasen in Abbildung 5.13 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

¹⁷ Schweizer Strommix plus Importe (Basis Niederspannung)

¹⁸ Europäischer Strommix (Basis Niederspannung). UCTE = Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

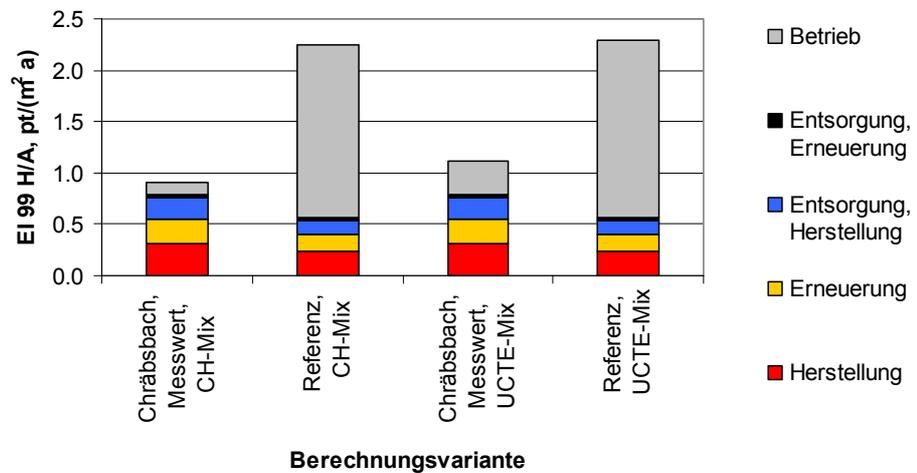


Abbildung 5.13 Gebäudelebensphasen, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A

Die wichtigsten Aussagen aus Abbildung 5.13 sind die folgenden:

- Die Gesamtbelastung des Haus „im Chräbsbach“ beträgt über den gesamten Gebäudelebenszyklus (inkl. Betriebsenergie aber ohne Haushaltsstrom) gut 40% der Belastungen des Referenzgebäudes. Wird der Berechnung der europäische Strommix (UCTE) zugrundegelegt beträgt dieser Anteil 49%.
- Der Betrieb des Gebäudes macht nur 12% der Gesamtbelastung über den Lebenszyklus aus. Wird der Berechnung der europäische Strommix (UCTE) zugrundegelegt beträgt dieser Anteil 29%.
- Durch die hauptsächlich aus massiven Bauteilen bestehenden Gebäudestruktur ist der Anteil der massiven Bauelemente mit knapp 40% der Gesamtbelastung relativ gross. Dadurch ergeben sich auch höhere Belastungen in der Entsorgung (Entsorgung Herstellung).

Verwendeter Strommix

Durch die Bereitstellung von knapp 70% des Wärmebedarfs für Raumwärme und Warmwasser durch die Wärmepumpe, ist die Art des Strombezuges ein wichtiger Faktor. Wie Abbildung 5.13 zeigt steigt die Gesamtbelastung des Gebäudes bei Zugrundelegung des europäischen Strommixes (UCTE) um 23% bei der Bewertung mit Eco-indicator 99. Bei einer Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit beträgt die Erhöhung 163% und für den kumulierten Energieaufwand (nicht erneuerbar) 18%.

Vergleich der Bewertungsmethoden

Werden die Resultate der drei verwendeten Bewertungsmethoden miteinander verglichen, so ist festzustellen, dass für die Bewertung mit Eco-indicator 99 und dem kumulierten nichterneuerbaren Energieaufwand eine sehr deutliche Verbesserung der Gesamtbelastung erreicht wird (siehe Abbildung 5.14). Bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97) wird dagegen kein besseres Resultat als für das Referenzgebäude erzielt.

Das Gesamtergebnis ist also stark abhängig von der Gewichtung des Ressourcenverbrauchs. In Eco-indicator 99 und beim kumulierten Energieaufwand wird der Ressourcenbedarf stark gewichtet, was zu dem günstigen Resultat führt.

Bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit werden wird der Ressourcenbedarf kaum gewichtet, was dazu führt, dass die höheren Aufwendungen für das Gebäude (vor allem bei den Wänden, Fenster und Solaranlage) die Einsparung beim Betriebsenergiebedarf mehr als kompensieren. Ein ähnliches Resultat wird erhalten, wenn in der Bewertung mit Eco-indicator 99 nur die Schutzgüter Menschliche Gesundheit und Ökosystemqualität berücksichtigt werden.

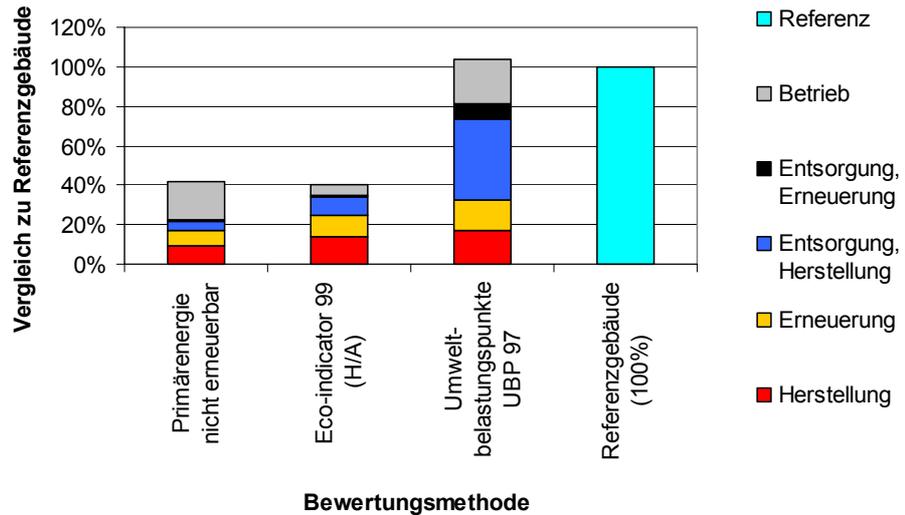


Abbildung 5.14 Vergleich der Bewertungsmethoden. Gesamtbelastung gegenüber Referenzgebäude, Strombezug Schweizer Strommix inkl. Importe

5.5.2 Einfluss der Gebäudekomponenten „Chräbsbach“

Auswertung mit Eco-indicator 99

Die Analyse der Gebäudekomponenten in Abbildung 5.15 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 durchgeführt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

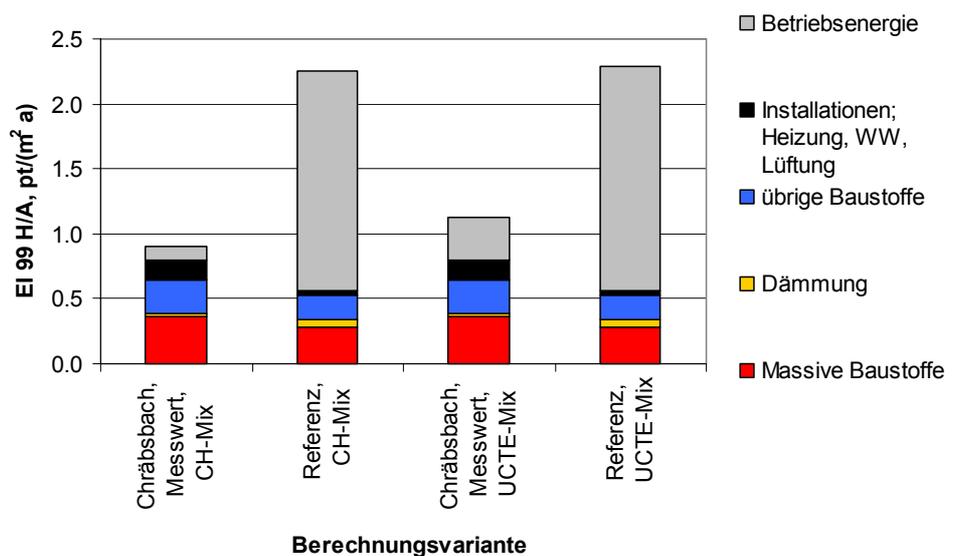


Abbildung 5.15 Anteile der Gebäudekomponenten, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A

Aus Abbildung 5.15 können für das Gebäude „im Chräbsbach“ folgende Hauptaussagen betreffend dem Einfluss der Gebäudekomponenten (Herstellung, Erneuerung und Entsorgung) gemacht werden:

- Auch bei diesem Gebäude ist der Anteil der Dämmmaterialien mit 4% der Gesamtbelastung gering.
- Durch die hauptsächlich aus massiven Bauteilen bestehenden Gebäudestruktur ist der Anteil der massiven Bauelemente mit knapp 40% der Gesamtbelastung relativ gross.
- Durch die Wände über Boden aus massiven Bauelementen (Felcobeton) ist deren Anteil an der Gesamtbelastung mit 12% etwa doppelt so hoch wie bei einer Holzkonstruktion.
- Das Fundament und der Keller machen insgesamt 17% der Gesamtbelastung aus. Der Anteil der Betonböden ist 21%.
- Die Materialien des Heizungs- und Lüftungssystems haben nur einen kleinen Anteil von etwa 6% an der Gesamtbelastung.
- Der thermische Solarkollektor macht 10% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus (einschliesslich Rohre, Wärmeaustauscher und Speicher).

Auswertung des kumulierten Energieaufwandes

Wie auch aus Abbildung 5.14 ersichtlich ist, ist bei der Bewertung des kumulierten Energiebedarfs vor allem der Anteil der Betriebsenergie deutlich höher. Ohne Einbezug der Betriebsenergie zeigen sich ähnliche Resultate in der Aufteilung der einzelnen Komponenten wie die Bewertung mit Eco-indicator 99. Einzig die Fenster weisen in der Bewertung des kumulierten Energiebedarfs einen deutlich höheren Anteil¹⁹ auf.

Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

Die Bewertung nach der Methode der ökologischen Knappheit zeigt ähnliche Resultate in der Aufteilung der einzelnen Komponenten wie die Bewertung mit Eco-indicator 99. Wie auch aus Abbildung 5.14 ersichtlich ist, ist hier vor allem der Anteil der Betriebsenergie höher. In Bezug auf das Gebäude ohne Betriebsenergie zeigen sich nur geringe Unterschiede in der Aufteilung zu Eco-indicator 99.

5.5.3 Diskussion und Folgerungen „Chräbsbach“

Die Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus des Hauses „im Chräbsbach“ liegt aufgrund der sehr kompakten Gebäudehülle sehr tief für diesen Gebäudetyp (Reihenhaus). Interessant dabei ist, dass dieser tiefe Wert trotz der massiven Bauweise erreicht wurde.

Allerdings ist zu beachten dass im Gegensatz zu den anderen Gebäuden das beheizte Kellergeschoss teilweise in die Energiebezugsfläche eingeht. In den anderen Gebäuden ist das Kellergeschoss unbeheizt und wird daher nicht in die Energiebezugsfläche ein, was zu höheren Belastungen je Quadratmeter führt. Würde auch beim Haus „im Chräbsbach“ nur die beiden Wohngeschosse berücksichtigt, so würde die Gesamtbelastung um 30% erhöhen. Damit wäre die Gesamtbelastung etwa 25% höher beim Reihenhaus „Wegere“.

¹⁹ 20% des Gesamtanteils ohne Betriebsenergie gegenüber 13% bei Eco-indicator 99.

Betriebsenergie und Optimierungspotential

Durch die, für ein Niedrigenergiehaus relativ schlechten Dämmwerte des Kellers ist der Wärmebedarf mit 28 kWh/m² EBF hoch. Durch die gute Effizienz der Wärmeerzeugung mit markantem Anteil an Solarwärme (32%) ist jedoch der Gesamtanteil der Betriebsenergie trotzdem tief (13%). Eine Bessere Dämmung im Kellerbereich würde hier eine spürbare Verringerung der Belastung bewirken. Für den Betrieb der Wärmepumpe würde der Bezug von Ökostrom zu einer leichten Verbesserung der Umwelteffizienz führen. Dies ist vor allem von Bedeutung wenn der bezogene Strom einen grösseren fossilen Anteil aufweist.

Gebäudeaufbau und Optimierungsmöglichkeiten

Durch die, für ein Niedrigenergiehaus relativ schlechten Dämmwerte des Kellers ist der Wärmebedarf mit 28 kWh/m² EBF hoch. Durch die gute Effizienz der Wärmeerzeugung mit markantem Anteil an Solarwärme (32%) ist jedoch der Gesamtanteil der Betriebsenergie trotzdem tief (13%). Eine Bessere Dämmung im Kellerbereich würde hier eine weitere Verringerung der Belastung bewirken.

Da die massive Bauweise ein zentrales Element der Architektur dieses Baus darstellt, kann hier die ökologische Optimierung nur unter dieser Voraussetzung diskutiert werden.

Durch den Einsatz von Felcobeton wird gegenüber normalem Beton trotz höherer Wandstärke eine leicht tiefere Belastung erreicht. Die Verwendeten Inventare sind jedoch sehr grob und es bestehen Unsicherheiten bezüglich der Entsorgung dieses Materialverbundes. Da hierzu keine detaillierten Entsorgungsinventare verfügbar waren konnte diese Frage ob hier ein Optimierungspotential besteht nicht beantwortet werden.

Die Wandaufbauten mit Kalksandstein und Zellulosedämmung weist eine sehr günstige Ökobilanz auf und eine Optimierung wäre hier kaum möglich. Beim Dachaufbau würde ein Ersatz der Betondecke durch eine Holzkonstruktion zu einer leichten Verringerung der Gesamtbelastung führen. Dies ist jedoch nur praktikabel, wenn damit die wirksame Speichermasse des Gebäudes nicht wesentlich reduziert wird.

5.6. Vergleich der Gebäude untereinander

Strombedarf

Der Strombedarf für Haushaltsgeräten wird in der Resultatdiskussion nicht berücksichtigt, da nicht für alle Gebäude entsprechenden Daten verfügbar waren.

5.6.1 Auswertung mit Eco-indicator 99

Aufteilung nach Gebäudelebensphasen

Abbildung 5.16 zeigt die Aufteilung nach Gebäudelebensphasen für die vier Beispielgebäude im Vergleich. Als Vergleichswert wurde auch hier zusätzlich das Referenzgebäude²⁰ dargestellt. Die Resultate wurden mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 berechnet (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

²⁰ Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau mit 220 MJ/m² a Heizenergiebedarf). Wärmeerzeugung mit Gasheizung. Zweigeschossiger Massivbau ohne Keller mit Backsteinwänden und Kompaktwärmedämmung aus EPS.

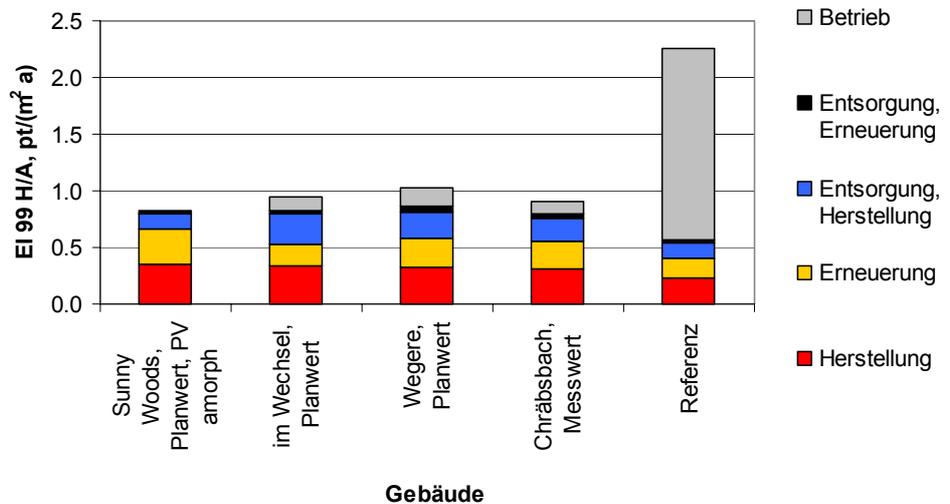


Abbildung 5.16 Vergleich der Gebäude, Gebäudelebensphasen, Analyse mit Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Es zeigt sich, dass alle vier Beispielgebäude trotz unterschiedlicher Bauweise eine vergleichbare Belastung in der Erstellung des Gebäudes aufweisen. Bei der Erneuerung zeigen sich Unterschiede in den Aufwendungen zwischen den Gebäuden. Ursache dafür sind neben den unterschiedlichen Fensterqualitäten vor allem auch die Aufwendungen für Solarkollektoren und Photovoltaik. Vor allem bei „Sunny Woods“ fallen diese grossen Aufwendungen in der Erneuerung auf. Im Gegenzug ist dafür in der Jahresbilanz keine Zusatzenergie für den Betrieb des Gebäudes notwendig. Die Entsorgung des Gebäudes am Ende der Lebensdauer (Entsorgung Herstellung) zeigt vor allem für das Haus „im Wechsel“ erhöhte Werte. Dies ist vor allem auf die höheren Aufwände beim Abbruch der Betonböden und des Kellergeschosses zurückzuführen.

Insgesamt weisen die vier Beispielgebäude ohne Berücksichtigung der Betriebsenergie eine um 41% bis 54% höhere Belastung über den Lebenszyklus auf als das Referenzgebäude. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die vier Beispielgebäude alle ein Kellergeschoss aufweisen, das Referenzgebäude jedoch nicht. Bei Berücksichtigung eines Kellergeschosses im Referenzhaus wären die Belastungen der Beispielgebäude nur noch 11% bis 21% höher.

Eine starke Belastungsreduktion wird durch den geringen Energiebedarf der Beispielgebäude im Betrieb erreicht. Damit werden die zusätzlichen Aufwendungen für das Gebäude in der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) weit mehr als kompensiert.

Bewertung der Schutzgüter in
Eco-indicator 99

Da Eco-indicator 99 zwischen den drei Schutzgüter Ressourcen, Menschliche Gesundheit und Ökosystemqualität unterscheidet, interessiert ein Vergleich der Belastung auf Basis dieser Aufteilung. Wie zeigt Abbildung 5.17 unterscheiden sich die betrachteten Gebäude vor allem in den Belastungsanteilen im Ressourcenverbrauch vom Referenzgebäude.

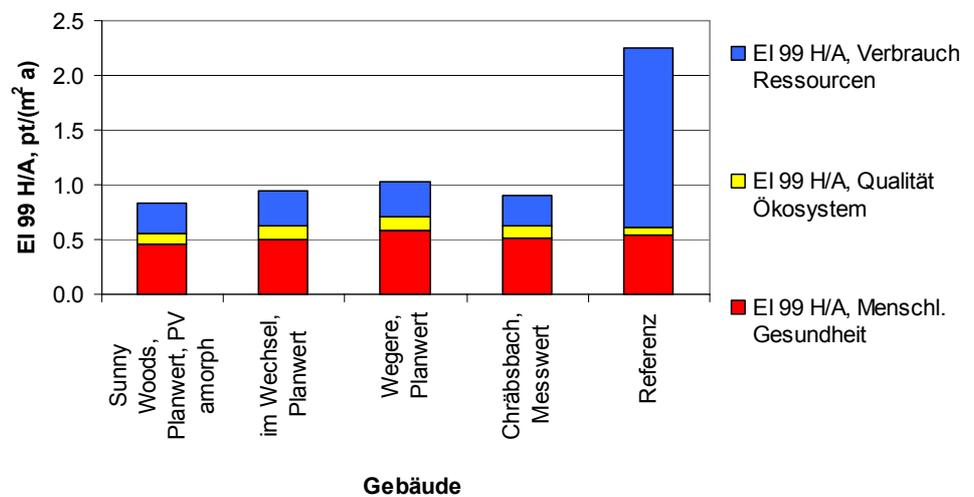


Abbildung 5.17 Vergleich der Gebäude, Schadensanteile nach Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Die Belastungen in der Kategorie Ressourcenverbrauch ist beim Referenzgebäude zu 89% durch den Betriebsenergieaufwand bestimmt. Bei den energieoptimierten Gebäuden liegt der Anteil für den Betriebsenergieaufwand in der Kategorie Ressourcenverbrauch dagegen bei 0% für „Sunny Woods“ und 10-15% für die drei anderen Gebäude.

Die Beeinträchtigung der Menschlichen Gesundheit ist in der Bewertung mit Eco-indicator 99 vor allem bei den energieoptimierten Gebäuden von grosser Relevanz. Bei dieser Bewertung sind die höheren Aufwände der Niedrigenergiehäuser gegenüber dem Referenzhaus in der Gebäudestruktur und Haustechnik deutlich zu sehen.

Aufteilung nach Einzelbauteilen

Abbildung 5.18 zeigt die Aufteilung der Gesamtbelastung für die einzelnen Häuser auf einzelne Bauteile. Es zeigt sich, dass bei etwa vergleichbarer Gesamtbelastung für das Gebäude ohne Betriebsenergie, die Anteile je nach Bauart recht unterschiedlich aufteilen. So weist das Gebäude „Sunny Woods“ grösser Belastungen vor allem für die Böden, Fenster und die Solar- und PV-Anlage aus, während im Gebäude „Wegere“ Das Fundament und de Keller einen wichtigen Einfluss haben. Im letzteren Fall kann dies vor allem aufgrund der grossen Kellerfläche in Bezug auf die beheizte Wohnfläche begründet werden.

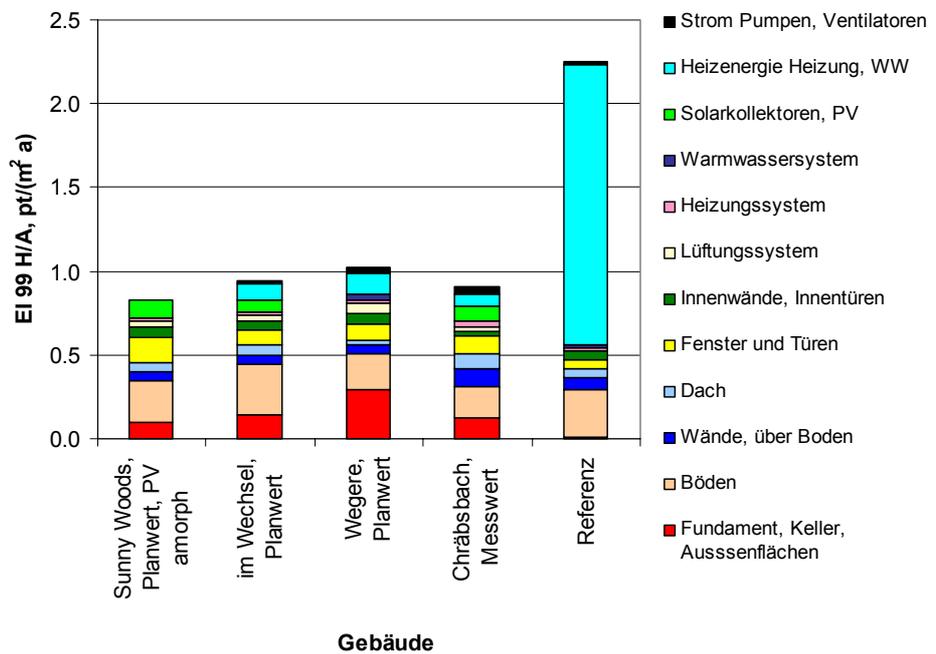


Abbildung 5.18 Vergleich der Gebäude, Schadensanteile nach Eco-indicator 99 H/A
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Für alle Gebäude gilt, dass die Dämmmaterialien nur einen Anteil von knapp 3% bis knapp 7% an der Gesamtbelastung ausmachen. Bezogen auf die Gesamtbelastung ohne Betriebsphase liegt dieser Anteil gut 3% bis gut 7%. Daraus kann der gefolgert werden, dass eine sehr gute Dämmung auch aus ökologischer Sicht gegenüber anderen Massnahmen zu bevorzugen ist.

5.6.2 Auswertung des kumulierten Energieaufwandes, nicht erneuerbar

Vergleich mit Einbezug des Betriebsenergiebedarfs

Abbildung 5.19 zeigt die Unterschiede zwischen den Beispielgebäuden und dem Referenzgebäude im kumulierten, nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand über den gesamten Lebenszyklus. Die Beispielgebäude weisen eine Gesamtbelastung von nur 27% bis 51% des Referenzgebäudes auf. Am besten schneidet das Gebäude „Sunny Woods“ ab, das die gesamte Betriebsenergie aus Solarenergie (PV und thermisch) deckt. Die ungünstigsten Werte weist das Haus „Wegere“ aus, da hier zwar mit der Wärmepumpe Umweltwärme genutzt wird aber keine Solarenergie genutzt wird.

Vergleich ohne Einbezug des Betriebsenergiebedarfs

In Bezug auf den Gebäudelebenszyklus ohne Betriebsenergie sind die Gebäude sehr ähnlich. Der höchste Primärenergieaufwand wird hierbei für das Gebäude „Sunny Woods“ benötigt und der geringste Aufwand für das Haus „im Chräbsbach“. Alle Gebäude benötigen einen um 43% bis 75% höheren Primärenergieaufwand als das Referenzgebäude. Dieser Mehraufwand wird jedoch bei weitem wettgemacht über den Betriebsenergiebedarf über die Lebensdauer des Gebäudes. Die betrachteten Gebäude unterscheiden sich vor allem in den Belastungsanteilen im Ressourcenverbrauch vom Referenzgebäude.

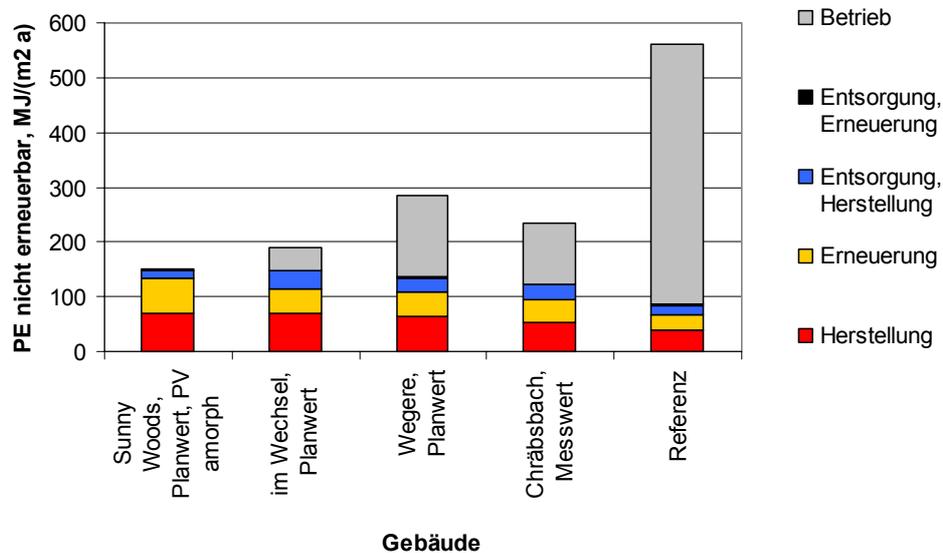


Abbildung 5.19 Vergleich der Gebäude, Gebäudelebensphasen, kumulierter Primärenergiebedarf
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

Vergleich mit Einbezug des Betriebsenergiebedarfs

5.6.3 Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit

Die Methode der ökologischen Knappheit zeigt aufgrund ihres deutlich anderen Bewertungsschwerpunkts stark abweichende Resultate für den Vergleich der Beispielgebäude mit dem Referenzgebäude. Wie Abbildung 5.20 zeigt weisen nur die Gebäude „Sunny Woods“ und „im Wechsel“ eine tiefere Gesamtbelastung als das Referenzgebäude auf.

Da in der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit Emissionen in Luft Boden und Wasser bedeutend stärker gewichtet werden als in Eco-indicator 99 und der Verbrauch von Energie-Ressourcen nur sehr schwach gewichtet wird, entsteht dieses Resultat. Eine Vergleichbare Rangfolge wird mit Eco-indicator 99 erreicht wenn nur die Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“ und „Ökosystemqualität“ bewertet werden.

Für die Gebäude „Wegere“ und „im Chräbsbach“ wirkt sich der Strombezug für die Wärmepumpe ungünstig auf das Resultat aus. Um eine vergleichbare Belastung wie eine kondensierende Gasheizung zu erreichen (je MJ Nutzwärmeproduktion) müsste die Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von 4.6 oder mehr aufweisen²¹. Der Strombedarf in der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit nach BUWAL (1998) weist eine hohe Belastungen durch die dabei entstehenden radioaktiven Abfälle aus. Auf der anderen Seite hat die Gasheizung aufgrund der sauberen Verbrennung eine geringe Belastung.

Vergleich ohne Einbezug des Betriebsenergiebedarfs

In Bezug auf den Gebäudelebenszyklus ohne Betriebsenergie sind die Beispielgebäude wiederum sehr ähnlich. Alle Gebäude weisen eine um 33% bis 49% höhere Belastung als das Referenzgebäude. Dieser Mehraufwand kann jedoch

²¹ Gültig für Schweizer Strommix + Importe und ohne Berücksichtigung der jeweiligen Infrastruktur (Heizungsanlage oder Wärmepumpe).

hier nur teilweise durch die Einsparung an Betriebsenergie über die Lebensdauer des Gebäudes kompensiert werden.

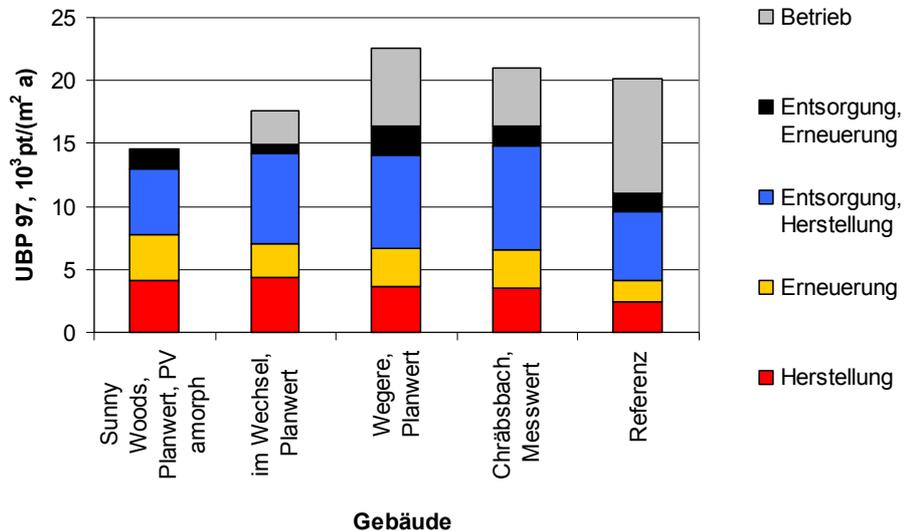


Abbildung 5.20 Vergleich der Gebäude, Gebäudelebensphasen, Methode der ökologischen Knappheit
Verwendeter Strommix: Schweizer Strommix mit Importen

6. Standardlösungen für Solarhäuser

Zielsetzung der Entwicklung von Standardlösungen

Innerhalb des IEA SHC Task 28 Sustainable Solar Housing wurden verschiedene Strategien zur Erreichung eines tiefen Bedarfs an Heizenergie wie auch an Primärenergie mithilfe von Gebäudesimulationen untersucht. Dabei war das Hauptziel ein Primärenergiebedarf²² von 60 kWh/(m² a) zu erreichen (Wall & Hastings, 2002). Eine weitere Bedingung war, den Heizenergiebedarf je nach verfolgter Strategie auf 15-20 kWh/(m² a) zu senken.

Ziel ökologische Untersuchung

Ziel der ökologischen Untersuchung ist es, die verschiedenen Strategien und Konstruktionstypen miteinander bezüglich ihrer Umweltbelastung zu vergleichen und daraus Hinweise und Praxistipps für Planer zu erarbeiten.

Angewendete Strategien

6.1. Definitionen und Festlegungen zu den Standardlösungen

Für die Entwicklung der Standardlösungen (TSS; Typical Solution Sets) wurden zwei verschiedene Strategien verfolgt:

- Wärmeschutz erhöhen; Wärmeverluste reduzieren (Conservation Strategy). Heizenergiebedarf maximal 15 kWh/(m² a).
- Anteil aktiver Solarnutzung erhöhen (Solar Strategy). Heizenergiebedarf maximal 20 kWh/(m² a).

²² Primärenergiefaktor für Strom von 2.35 kWh_{PE}/kWh und für Erdgas von 1.14 kWh_{PE}/kWh verwendet. Im Primärenergiebedarf ist der Strom für Haushaltgeräte [20.74 kWh/(m² a)] nicht eingeschlossen.

Im internationalen Projekt IEA SHC Task 28 Sustainable Solar Housing wurden drei Haustypen und drei unterschiedliche Klimazonen betrachtet. Zu jeder Variante wurden dann Lösungen in beiden Strategien erarbeitet und deren Energiebedarf mithilfe von Gebäudesimulationsprogrammen ermittelt²³. Die Resultate dieser Untersuchungen wurden als Grundlage für die ökologische Beurteilung verwendet.

In Abbildung 6.1 sind die Varianten (Klimaregion, Gebäudetyp und Konstruktions-typ) dargestellt, für welche eine ökologische Bewertung durchgeführt wurde.

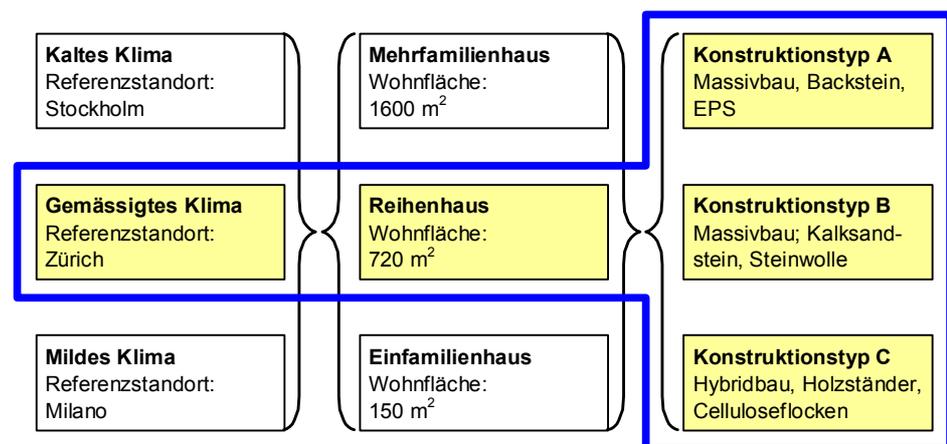


Abbildung 6.1 Untersuchte Varianten

Betrachtete Klimazone

Die Betrachtungen beschränken sich auf die gemässigte Klimazone (Referenzstandort: Zürich), da dieser für schweizerische Verhältnisse die grösste Bedeutung hat.

Betrachteter Gebäudetyp

Für die ökologische Beurteilung wurde das Reihenhaus ausgewählt, da es eine häufiger Gebäudetyp bei den Niedrigenergiehäuser darstellt. Auch liegen die pro Quadratmeter Wohnfläche verwendeten Baustoffmengen zwischen denen eines Mehrfamilienhauses (geringe spezifische Baustoffmenge) und denen eines Einfamilienhauses (hohe spezifische Baustoffmenge), was eine Übertragung der Resultate auf die anderen beiden Gebäudetypen leichter ermöglicht.

Betrachtete
Konstruktions-typen

Für die Betrachtungen wurden zudem drei verschiedene Bauweisen unterschieden um Unterschiede in der Materialwahl aufzeigen zu können. Folgende Bauweisen wurden untersucht:

- Typ A: Massivbau mit Backsteinwänden und Kompaktwärmedämmung an der Fassade sowie hauptsächlichlicher Verwendung von fossilen Dämmstoffen (EPS).
- Typ B: Massivbau mit Kalksandsteinwänden und hinterlüfteter Fassade sowie hauptsächlichlicher Verwendung von mineralischen Dämmstoffen (Steinwolle).

Typ C: Hybridbau mit Wänden ausgebildet als Holzrahmen-Elemente gedämmt mit Zelluloseflocken. Böden aus armiertem Beton.

²³ Die detaillierte Beschreibung aller innerhalb von IEA SHC Task 28 Sustainable Solar Housing untersuchten Varianten sowie deren Resultate werden in einem Handbook of Sustainable Solar Housing voraussichtlich im Frühjahr 2005 publiziert.

Referenzgebäude

Das den Untersuchungen zu Grunde liegende Referenzgebäude entspricht dem Konstruktionstyp A mit „Strategie 0“, d.h. mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau mit $220 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ Heizenergiebedarf).

6.2. Inventarisierung Reihenhaus

Im folgenden Abschnitt ist der Konstruktionsaufbau der verschiedenen Varianten das Reihenhauses beschrieben.

Die Betrachtungen beziehen sich auf einen Neubau eines Reihenhauses mit 6 Wohneinheiten. Jede Wohneinheit besitzt eine Nettowohnfläche von 120 m^2 , welche auf 2 Stockwerke verteilt ist. Die Wohneinheiten werden über die Innenmasse definiert, welche über alle Varianten konstant belassen werden. Pro Wohneinheit wird eine Länge von 11.1 m eine Breite von 5.4 m und eine Höhe von 5.4 m (über beide Geschosse) festgelegt. Für die Festlegung der Leitungslängen für Lüftung, Heizung und Warmwasser wurde für die einzelnen Wohnungen folgende Annahmen aufgrund der in Abbildung 6.2 dargestellten Gebäudegrundrisse getroffen.

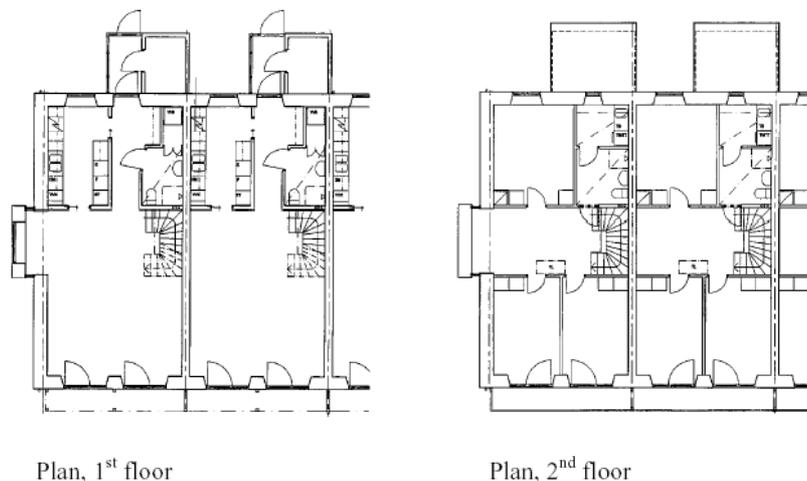


Abbildung 6.2 Gebäudegrundriss Reihenhaus (Smeds et al., 2002)



Abbildung 6.3 Ansicht Beispiel-Reihenhaus (Bild: Hans Eek)

- Küche und Toilette sowie grosser Wohnraum im Erdgeschoss
- 3 Zimmer sowie Bad/WC im Obergeschoss
- Installationsräume für Lüftungsrohre etc. neben Nassräumen
- Gebäude mit Pultdach (ohne Dachboden)
- Gebäude ohne Keller²⁴. Als Materialvariante wird jedoch eine Berechnung mit zusätzlichen Materialaufwänden für Kellerräume durchgeführt.

Die Grundlage für die getroffenen Annahmen bildet ein in Göteborg (Schweden) erstelltes Reihenhaus, welches auch für die Simulationsberechnungen (Smeds et al., 2002) als Basis diente (siehe Abbildung 6.3).

Daten zum Rohbau

Tabelle 6.1 zeigt die Gebäudeparameter des analysierten Reihenhauses im gemässigten Klima (Referenzstandort Zürich), welche für alle drei Konstruktions-typen (Typ: A, B und C) identisch gehalten wurden. Die 20 cm starken Fussböden sind aus armiertem Beton, (3 gew.-% Stahl) gefertigt und werden mit einem Unterlagsboden (Zement) von 6 cm Stärke überdeckt (8 cm, wenn eine Fussbodenheizung eingesetzt wird). Die Lüftungskanäle (falls vorhanden) werden in der Geschossdecke verlegt. Für die Bodenbeläge wurde Holz verwendet. Das Dach wird aus Holzbalken mit einer Eindeckung aus Zementziegel angenommen (2.5 cm stark). Alle Fenster haben einen Holzrahmen und eine Verglasung mit 2 Scheiben. Alle Wandverkleidungen im Innern sind aus Gipskartonplatten gefertigt (1.3 cm stark). Die Wandverkleidung an der Gebäudeaussenseite ist abhängig vom gewählten Konstruktionstyp.

²⁴ Das in (Smeds et al., 2002) definierte Referenzgebäude für die Gebäudesimulationen besitzt keinen Keller.

Tabelle 6.1 Gebäudeparameter des bilanzierten Reihenhauses

| Parameter | Beschreibung | Einheit | Strategie | | |
|-----------------|------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------|
| | | | 1: Wärmeschutz | 2: Solargewinn | R: Referenz |
| Gebäudevolumen | Innenvolumen | m ³ | 1941 | 1941 | 1941 |
| Wohnfläche | Nettowohnfläche (beheizt) | m ² | 720 | 720 | 720 |
| Dachfläche | Aus Innendimensionen | m ² | 360 | 360 | 360 |
| Aussenwände | Opake Aussenflächen | m ² | 386 | 350 | 350 |
| Innenwände | Wohnungstrennwände | m ² | 300 | 300 | 300 |
| Fensterfläche | (N, S, E, W) | m ² | 72 | 108 | 108 |
| Fenster | 2 fach, U-Wert Glass: | W/m ² K | 1.1 (Argon) | 1.1 (Argon) | 2.8 (Luft) |
| Wärmeproduktion | Für Heizung und WW | Typ | Gas, bzw. WP | Gasheizung | |
| Sonnenkollektor | Flachkollektor | m ² | 4, bzw. ohne | 72 | keine |
| Wärmeverteilung | Bodenheizung | m | 1860 | 1860 | 420 |
| WW System | Rostfreier Stahl / PE | m | 174 | 174 | 174 |
| Lüftungssystem | Wärmerückgewinnung | % | 80 | 80 | keine |
| | verz. Stahl / PE Rohre | m | 60 / 360 | 60 / 360 | keine |
| | PE Erdwärmetauscher | m | 6 x 40 | keine | keine |

Alle Werte beziehen sich auf das gesamte Haus mit 6 Wohneinheiten.

Konstruktionstypen A, B, C

Neben den Hauptbauteilen am Gebäude (Wände, Böden, Dach) wurden in den drei Varianten auch einzelne Materialien innerhalb der Installation variiert um deren Einfluss untersuchen zu können. Dies betrifft vor allem die verwendeten Materialien für die Heizungsrohre sowie die Lüftungsrohre.

Spezifizierung
Konstruktionstypen

In der Tabelle 6.2, Tabelle 6.3 und Tabelle 6.4 sind die verschiedenen Konstruktionstypen dargestellt. Die für die Bilanzierung verwendeten Materialmengen sind detailliert im Anhang in Tabelle 10.3 dargestellt.

Tabelle 6.2 Konstruktionstyp A. Verwendete Dämmstärken und Materialien

| Parameter | Material | Einheit | Strategie | | |
|-------------------|--|---------|-------------------|-------------------|----------------|
| | | | 1: Wärmeschutz | 2: Solargewinn | R: Referenz |
| Dämmung, Wand | EPS, 20 kg/m ³ , kompakt | cm | 14-20 *) | 10-12 *) | 6 |
| Dämmung, Dach | EPS, 30 kg/m ³ , oberhalb Sparren | cm | 18 | 14 | 12 |
| Dämmung, Boden | Schaumglas, 120 kg/m ³ EPS, 15 kg/m ³ (Trittschall) | cm | 10 | 8 | 8 |
| | | cm | 2 | 2 | 2 |
| Material, Wand | Backstein (aussen / innen) | cm | 17.5 | 17.5 | 17.5 |
| Fassade | Mineralischer Putz | cm | 2 | 2 | 2 |
| Material, Dach | Holzsparren unterhalb Dämmung | cm | 20 | 20 | 20 |

*) Höherer Wert für Orientierungen West und Ost, tieferer Wert für Orientierungen Süd und Nord.

Tabelle 6.3 Konstruktionstyp B. Verwendete Dämmstärken und Materialien

| Parameter | Material | Einheit | Strategie | | R: Referenzgebäude nicht berechnet für Konstruktionstyp B |
|----------------|--|----------|-------------------|-------------------|--|
| | | | 1: Wärmeschutz | 2: Solargewinn | |
| Dämmung, Wand | Steinwolle, 60 kg/m ³ , hinterlüftet | cm | 14-20 *) | 10-12 *) | |
| Dämmung, Dach | Steinwolle, 30 kg/m ³ | cm | 26 | 20 | |
| Dämmung, Boden | Steinwolle, 160 kg/m ³ Steinwolle, 100 kg/m ³ (Trittschall) | cm cm | 12 2 | 10 2 | |
| Material, Wand | Kalksandstein (aussen / innen) | cm | 17.5 | 17.5 | |
| Fassade | Holzverkleidung, aussen | cm | 2 | 2 | |
| Material, Dach | Holzsparren zwischen Dämmung | cm | 26 | 20 | |

*) Höherer Wert für Orientierungen West und Ost, tieferer Wert für Orientierungen Süd und Nord.

Tabelle 6.4 Konstruktionstyp C. Verwendete Dämmstärken und Materialien

| Parameter | Material | Einheit | Strategie | | R: Referenzgebäude nicht berechnet für Konstruktionstyp C |
|----------------|--|----------|----------------------|-------------------|--|
| | | | 1: Wärmeschutz | 2: Solargewinn | |
| Dämmung, Wand | Celluloseflocken, 60 kg/m ³ , hinterlüftet | cm | 18-32 *) | 15-18 *) | |
| Dämmung, Dach | Celluloseflocken, 60 kg/m ³ | cm | 32 | 24 | |
| Dämmung, Boden | XPS, 33 kg/m ³ Steinwolle, 100 kg/m ³ (Trittschall) | cm cm | 10 2 | 10 no **) | |
| Material, Wand | Holzrahmenkonstruktion | cm | 1.5 / 18-32 / 1.5 | 1.5 / 15 / 1.5 | |
| Fassade | Holzverkleidung, aussen | cm | 2 | 2 | |
| Material, Dach | Holzsparren zwischen Dämmung | cm | 32 | 24 | |

*) Höherer Wert für Orientierungen West und Ost, tieferer Wert für Orientierungen Süd und Nord.

**) Minimale wirksame thermische Gebäudemasse notwendig für Funktion des Heizsystems erlaubt für diese Variante keinen Einsatz einer Trittschalldämmung.

Strategien:
Energiebedarf des Gebäudes

Die Berechnung der durch die Gebäudeheizung zu kompensierenden Lüftungswärmeverluste und Transmissionswärmeverluste wie auch die solaren und internen Gewinne erfolgte mit verschiedenen Gebäudesimulationsprogrammen (Task 28, 2003). Für die Ökobilanzierung wurden die in der Simulation verwendeten Gebäudeparameter (U-Werte, Fensterflächen, Energiebedarfe für Heizung, Warmwasser und Lüftung ,etc.) aus diesen Arbeiten übernommen. Tabelle 6.5 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Parameter der betrachteten Gebäudevarianten.

Tabelle 6.5 Heizenergie- und Primärenergiebedarf der untersuchten Varianten

| Strategie, Gebäudetyp, Wärmeerzeugung | Heizenergiebedarf kWh/(m ² a) | Primärenergiebedarf kWh/(m ² a) |
|--|--|--|
| Referenzgebäude, Gebäudetyp A | 65.3 | 118.2 |
| Strategie 1, alle Typen, Gasheizung + 4m ² Solar für WW | 14.8 | 45.5 |
| Strategie 1, alle Typen, Wärmepumpe (Heizung + WW) | 15.2 | 49.7 |
| Strategie 2, Gebäudetyp A+B, Gasheizung + 12m ² Solar | 19.4 | 51.4 |
| Strategie 2, Gebäudetyp C, Gasheizung + 12m ² Solar | 21.6 | 54.0 |

Daten aus Simulationsrechnungen (Task 28, 2003) für gemässigttes Klima (Klimastandort Zürich)
 Strategie 1: erhöhter Wärmeschutz (2 Varianten Wärmeerzeugung); Strategie 2: aktive Solarnutzung
 Gebäudetyp A: Massiv, EPS-Kompaktwärmeeisung; Gebäudetyp B: Massiv, Mineralwolleisung hinterlüftet; Gebäudetyp C: Hybridbau, Holzständerkonstruktion mit Zelluloseisungstoff
 Primärenergiefaktor für Strom von 2.35 kWh_{PE}/kWh und für Erdgas von 1.14 kWh_{PE}/kWh verwendet. Im Primärenergiebedarf ist der Strom für Haushaltgeräte [20.74 kWh/(m² a)] nicht eingeschlossen.

Festlegungen zur Laufzeit und Luftmenge der Lüftung

Für die Bewertung des Stromverbrauchs der Lüftung wurde ein Betrieb der Anlage nur während der Heizperiode angenommen (Laufzeit ca. 5900 h/a²⁵). Die Luftführung wird als Kaskadenlüftung ausgebildet. Es wird von einer Luftmenge von etwa 120 m³/h pro Wohnung oder 742 m³/h für das gesamte Haus ausgegangen (Standardbetrieb).

Lüftungssystem

Das Gebäude der Strategie 1 (Wärmeschutz) und 2 (Solargewinn) haben ein Lüftungssystem mit verzinkten Stahlrohren (Ø 125 mm) in der Luftführung vor dem Wohnungsverteiler und Polyäthylenrohren (PE, Ø 80 mm) für Luftverteilung in den Räumen. Die PE-Rohre werden in der Geschossdecke verlegt. Strategie 1 beinhaltet zudem einen Erdwärmetauscher mit ein (PE, Ø 160 mm).

Wärmeerzeugung, und Wärmeverteilung

Bei der Basisvariante in Strategie 1 hat jede der sechs Wohneinheiten einen eigenen Gaskessel (10 kW_{th}, kondensierend) sowie 4 m² Solarkollektor. Als Variante wurde auch die alleinige Wärmebereitstellung für Raumwärme und Warmwasser mit einer Wärmepumpe (10 kW_{th}) gerechnet (siehe Kapitel 7.5).

In Strategie 2 wird ein zentraler Gaskessel (10 kW_{th}, kondensierend) für die Produktion der Raumwärme verwendet. Daneben besitzt jede Wohneinheit 12 m² Flachkollektoren sowie einen kleinen Gaskessel (5 kW_{th}, kondensierend) für die Warmwasserproduktion. Für den Gebäudetyp C (Hybrid) wird ein System mit Wärmespeicherung in der Bodenheizung (Einspeichersystem ohne separatem Solarspeicher) betrachtet. Dieses System hat eine etwas schlechtere Effizienz, dafür aber einen geringeren Materialbedarf.

Im Referenzhaus hat jede der sechs Wohneinheiten seinen eigenen kondensierenden Gaskessel (15 kW) zur Produktion von Raumwärme und Warmwasser. Die Wärmeverteilung für Raumwärme erfolgt in Strategie 1 und 2 mit einer Fussbodenheizung (PE- / Aluminium Verbundrohre) und im Referenzgebäude mit Stahlradiatoren (Systemrohre aus rostfreiem Stahl / PE). Die Rohre für Warmwasserverteilung bestehen aus einem Systemrohr aus rostfreiem Stahl und PE und

²⁵ Die Laufzeit der Lüftung ergab sich aus den Kriterien in der Gebäudesimulation (Task 28, 2003)

werden mit Armaflex gedämmt. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Gebäude-
daten ist aus Tabelle 6.1 zu entnehmen.

Lebensdauer der Bauteile

Die verwendeten Werte zur Lebensdauer des gesamten Gebäudes und der
einzelnen Gebäudekomponenten sind im Anhang in Kapitel 10.1.1 detailliert
aufgelistet. Für dieses Projekt wurde die Lebensdauer der Bauteile für alle
Gebäudevarianten und die unterschiedlichen Strategien (TSS) konstant gehalten.
Für alle Gebäudevarianten wurde von einer Gebäudelebensdauer von 80 Jahren
ausgegangen.

7. Resultate und Diskussion Standardlösungen

Bezugsgrößen

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen pro m² Nettowohnfläche und Jahr
(Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Für alle Betrachtungen wurde neben dem
Referenzgebäude je 3 Konstruktionsvarianten (Typ A, B und C) mit den beiden
Energierstrategien (Strategie 1: Wärmeschutz; Strategie 2: Solarertrag) gerechnet.
Das Referenzgebäude (Bezeichnung „R“; Konstruktionsvariante Typ A) wird in den
Auswertungen immer als Vergleich gezeigt.

Verwendeter Strommix

Für den Elektrizitätsbezug vom Netz wird der europäische Strommix (UCTE)
verwendet. Der Strombedarf von Haushaltsgeräten wurde in der Resultat-
diskussion ausgeschlossen.

7.1. Einfluss der Lebenszyklusphasen des Gebäudes

In dieser Analyse wird der Anteil der Herstellung, Erneuerung, Beseitigung,
Transporte und den Betrieb auf die Gesamtauswirkung über den gesamten
Lebenszyklus des Gebäudes untersucht.

7.1.1 Auswertung mit Eco-indicator 99

Eco-indicator 99

Die Analyse in Abbildung 7.1 wurde mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99
(Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr) durchgeführt.

Die wichtigsten Folgerungen aus Abbildung 7.1 sind die folgenden:

- Strategie 1 führt zu einer Belastung über den gesamten Lebenszyklus, welche
nur 54-58% des Referenzgebäudes beträgt. Für Strategie 2 liegt dieser Wert
bei 60-64%. Die Unterschiede der beiden Strategien halten sich demnach in
engen Grenzen.
- Der Betrieb des Gebäudes macht bei den energieoptimierten Gebäuden nur
noch 47-54% der Gesamtbelastung über den Gebäudelebenszyklus aus. Beim
Referenzgebäude sind es demgegenüber 75%.

Beim Referenzgebäude lohnt es sich demnach immer, beim Betrieb mit
energiesparenden Massnahmen anzusetzen, wohingegen bei energie-
optimierten Gebäuden andere Faktoren (Materialwahl, Haushaltstrombezug,
etc.) im Verhältnis zur Gesamtbelastung relevant werden.

- Die Belastungen aus den Materialien für die Erneuerung sind ähnlich gross wie die Belastungen aus der Errichtung des Gebäudes (Herstellung).
- Der Rückbau des Gebäudes und die Beseitigung der Materialien (aus Renovation und Abbruch) bilden einen nicht vernachlässigbaren Anteil an der Gesamtbelastung über den Gebäudelebenszyklus (11-14%).

Die Belastungen durch die Baustellentransporte (Materialien aus Erstellung und Erneuerung) sind mit 2-3% der Gesamtbelastung relativ unbedeutend.

Unterschied der Konstruktionsvarianten

Der Unterschied zwischen den drei Konstruktionsvarianten fällt mit etwa 6% gering aus, obwohl in der Variante A hauptsächlich energieintensive Materialien eingesetzt wurden. Ein grosser Teil der Differenz ist auf die verwendeten Dämmstoffe zurückzuführen (EPS und Schaumglas anstatt Steinwolle). Weitere Auswertungen zu Fragen der Materialisierung einzelner Gebäudekomponenten sind in Kapitel 7.3 zu finden.

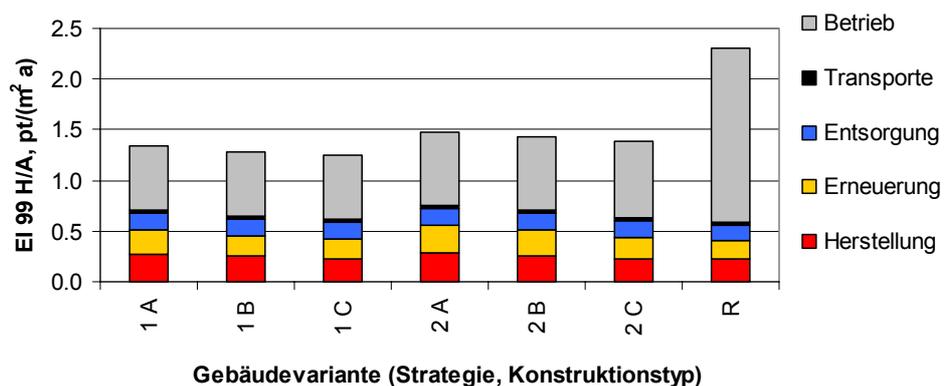


Abbildung 7.1 Analyse der Gebäudelebensphasen, Eco-indicator 99 H/A

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; A, B, C = Konstruktionsvarianten
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

Belastungsanteile der Schutzgüter

Die Analyse der Belastungsanteile der drei Schutzgüter²⁶ innerhalb dem Eco-indicator 99 zeigt, dass die Veränderungen zum Referenzhaus vor allem für den Schutz nicht erneuerbarer Ressourcen eine Auswirkung zeigt (Reduktion um 52-60%), die anderen Schutzgüter „Menschliche Gesundheit“ und „Ökosystemqualität“ werden kaum verändert.

Die Beurteilung, bis zu welchem Punkt eine energetische Optimierung eines Gebäudes verfolgt werden soll, ist daher stark abhängig von der Gewichtung des Ressourcenschutzes. Wird dieser nur sehr gering gewichtet, so wäre kaum ein Unterschied zwischen dem Referenzhaus und den energieoptimierten Varianten vorhanden. Eine Bewertung auf dieser Basis führt damit zu anderen Schlussfolgerungen. Dies zeigen auch die in Abbildung 7.4 gezeigten Resultate der Methode der ökologischen Knappheit.

²⁶ Menschliche Gesundheit, Schutz der Ökosysteme, Schutz der Ressourcen

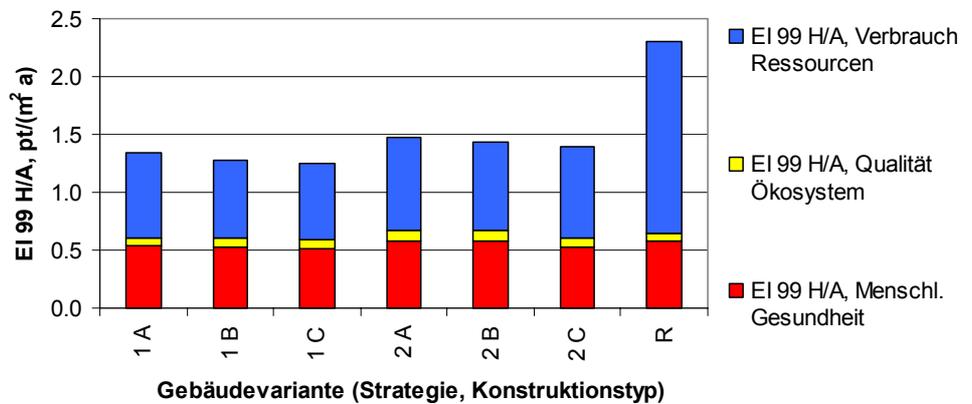


Abbildung 7.2 Eco-indicator 99 H/A, Belastungsanteile der drei Schutzgüter

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; A, B, C = Konstruktionsvarianten
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

7.1.2 Auswertung des kumulierten Energieaufwands (nicht erneuerbar)

Kumulierter Energieaufwand

Die Abbildung 7.3 zeigt den kumulierten nicht erneuerbaren Energieaufwand für die verschiedenen Varianten und Strategien und für das Referenzhaus. Der Anteil der Betriebsenergie am gesamten kumulierten Energiebedarf beträgt je nach Variante 65-71%. Für das Referenzgebäude liegt dieser Wert bei rund 84%.

Gegenüber dem Referenzgebäude wird über den gesamten Lebenszyklus eine Energieeinsparung von 41-50% erreicht. Für den Betrieb alleine liegt die Reduktion bei 51-59%. Durch die Mehraufwendungen bei der Herstellung und Erneuerungen ist die Reduktion bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus' klar tiefer.

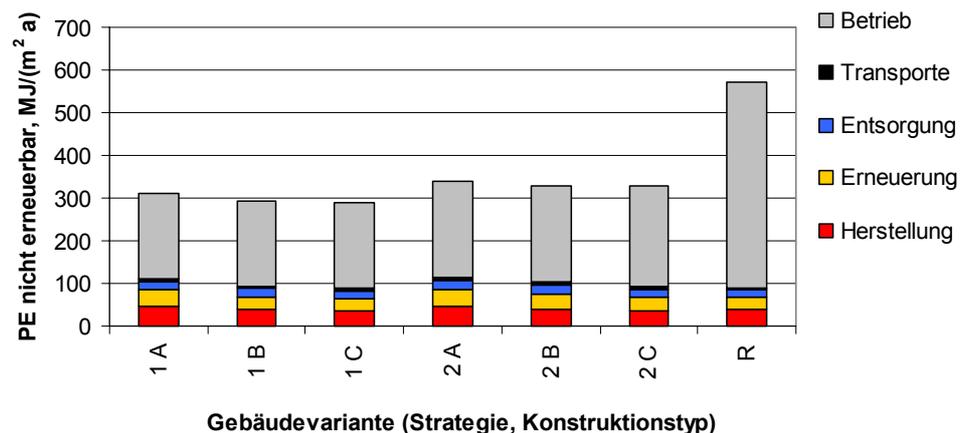


Abbildung 7.3 Analyse der Gebäudelebensphasen, kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; A, B, C = Konstruktionsvarianten
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

Energieanteile

Wird der erneuerbare Energieanteil aus Wasser und Holz beim kumulierten Energiebedarf mit einbezogen, so zeigen sich vor allem die Unterschiede in der Verwendung von Holzbaustoffen. Der Anteil an Energie aus Wasserkraft liegt bei rund 2% des Energiebedarfs über den gesamten Lebenszyklus. Für die Energie aus

Holz liegt dieser Wert bei 7-16%, wobei der höhere Wert bei den Hybridbauten (Konstruktionstyp C) durch den erhöhten Holzanteil in der Konstruktion zustande kommt. Für das Referenzgebäude liegen diese Werte bei 1% für Energie aus Wasserkraft und knapp 5% für Energie aus Holz.

7.1.3 Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit

Die Unterschiede zur ressourcenorientierten Bewertung von Eco-indicator 99 wird aus den in Abbildung 7.4 dargestellten Resultaten mit der Methode der ökologischen Knappheit deutlich (in 10^3 Umweltbelastungspunkte pro m^2 und Jahr). Mit der Methode der ökologischen Knappheit (BUWAL, 1998) überwiegen die Belastungen aus den Luftemissionen (z.B. aus Stromproduktion) und den deponierten Abfällen die Einsparungen durch den verringerten Endenergiebedarf klar. Dies äussert sich vor allem bei den hohen Belastungen, welche durch den Strombedarf verursacht werden. In der Bewertung mit Umweltbelastungspunkten wird der Strom (UCTE-Mix) pro kWh um einem Faktor 7.9 höher belastet als die kWh Erdgas, welche in der Gasfeuerung verbrannt wird²⁷. Dies wirkt sich vor allem beim Strombedarf für die Lüftungsanlage und andere Haustechnik einrichtungen aus. Daher liegen die Belastung aus dem Betrieb der energieoptimierten Gebäude trotz des deutlich reduzierten Betriebsenergiebedarfs im Bereich des Referenzgebäudes.

Bei allen Gebäudevarianten dominiert die Entsorgung mit 31-44% der Gesamtbelastungen das Resultat stark. Hier ist der Einfluss der Belastung durch die deponierten Massivbaustoffe²⁸ ersichtlich, welche etwa 70% der gesamten Belastung aus der Entsorgung ausmachen. Aus diesem Grund weisen die Varianten mit Holzbauwänden (Hybridbau) in der Entsorgung deutlich tiefere Belastungswerte auf.

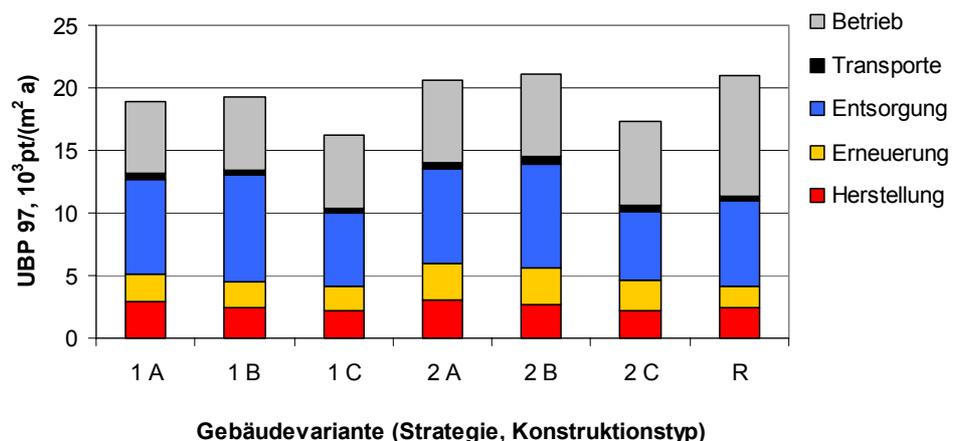


Abbildung 7.4 Analyse der Gebäudelebensphasen, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; A, B, C = Konstruktionsvarianten
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

²⁷ Bei Verwendung des Schweizer Strommixes inkl. Importe liegt dieser Faktor bei 4.2 .

²⁸ In der Methode der Ökologischen Knappheit (BUWAL, 1998) wird pro kg deponiertes Material eine Belastung von 0.5 kUBP ausgewiesen.

Folgerungen aus den
Resultaten zu UBP 97

Die Methode der ökologischen Knappheit stützt primär die Schutzgüter Menschliche Gesundheit und Schutz der Ökosysteme und misst dem Schutz der Ressourcen wenig Gewicht bei. Die Bewertungsmethode Eco-indicator 99 würde ähnliche Resultate erhalten, wenn die Gewichtung des Schutzgutes Ressourcen nur sehr gering gewählt würde (siehe dazu Abbildung 7.2).

7.2. Einfluss der Gebäudekomponenten

Es wurde der Anteil einzelner Gebäudekomponenten an der Gesamtbelastung über den gesamten Lebenszyklus untersucht. Folgende Bauteilgruppen wurden unterschieden:

- Massive Baustoffe: Beinhaltet neben Beton und Mauerwerk auch die Unterlagsböden nicht jedoch Verputze oder Bauplatten und Konstruktionsholz.
- Dämmung: Beinhaltet alle Dämmstoffe an der Aussenhülle sowie Dämmstoffe zur Schalldämmung in den Zwischenböden und den Wohnungstrennwänden.
- Installationen: Beinhaltet alle Anlagen für Lüftung, Wärmeerzeugung und Verteilung der Raumwärme sowie die Solaranlage und die Photovoltaikanlage.
- Übrige Baustoffe: Beinhaltet Konstruktionsholz, Fenster und Türen, Verputze und Innenverkleidungen, etc.

7.2.1 Auswertung mit Eco-indicator 99

Auswertung mit
Eco-indicator 99

Die Resultate der Betrachtung mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (siehe Abbildung 7.5) lassen folgende Schlüsse zu:

- Der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung beträgt nur etwa 2% für den Konstruktionstypen B und C sowie etwa 5-7% für den Konstruktionstyp A.
- Die massiven Baumaterialien machen 17-26% der Gesamtbelastung des Gebäudes aus. Dies ist hauptsächlich auf den verwendeten Beton für die Geschossdecken und die Unterlagsböden zurückzuführen.
- Die Materialien des Heizungs- und Lüftungssystems haben nur einen Anteil von etwa 4-6% an der Gesamtbelastung (ohne Solaranlage in Strategie 2).
- Der thermische Solarkollektor macht 6-7% der Gesamtbelastung der Gebäude mit Strategie 2 (Solargewinne) aus (einschliesslich Rohre, Wärmeaustauscher und zusätzlich benötigter Speicher).

Innerhalb der übrigen Baumaterialien (insgesamt 13-17% der Gesamtbelastung) wird nur ein geringerer Teil (ca. 4% der Gesamtbelastung) durch die Fenster verursacht (argongefüllte Doppelverglasung).

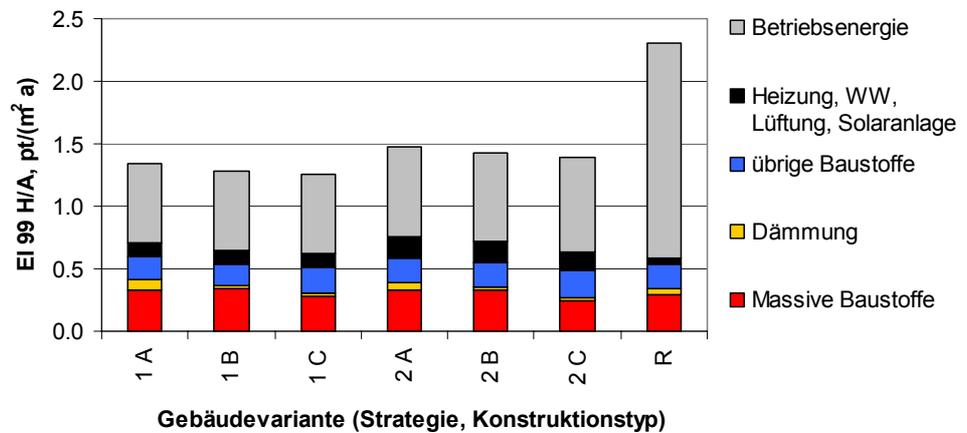


Abbildung 7.5 Analyse der Gebäudekomponenten, Eco-indicator 99 H/A

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; A, B, C = Konstruktionsvarianten
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

Materialien ohne Einfluss auf den Betriebsenergiebedarf

Die weiteren Bauelemente, sowie ein Grossteil der massiven Bauelemente sind weniger durch die Motivation, ein möglichst energiesparendes Gebäude zu entwerfen, als vielmehr durch das Grundkonzept der Architektur bestimmt (Massivbau, Leichtbau, Art des Innenausbau und der Fassade, etc.). Diese, sich nur wenig auf den Betriebsenergiebedarf des Gebäudes auswirkenden Bauteile machen für die Gebäudevarianten der Strategie 1 etwa 35-37% der Gesamtbelastung aus. Für die Gebäudevarianten der Strategie 2 liegt dieser Anteil bei 29-33% und für das Referenzgebäude bei knapp 20% der Gesamtbelastung des jeweiligen Gebäudes.

Wahl der Dämmmaterialien

Bei den Gebäuden des Konstruktionstyps A sind die Belastungen durch die Verwendung von Primärenergie intensiven Dämmstoffen (EPS, Schaumglas) etwa um einen Faktor 3 höher als bei den anderen beiden Konstruktionstypen (hauptsächlich gedämmt mit Steinwolle bzw. Zelluloseflocken). Allerdings ist die Auswirkung der Dämmmaterialwahl mit weniger als 5% der Gesamtbelastung des Gebäudes relativ tief.

Auch die Einsparung durch die etwas schwächere Dämmung in den Gebäuden der Strategie 2 gegenüber der Strategie 1 sind dagegen gering. Für die Materialvariante A mit Dämmungen aus EPS und Schaumglas liegen die Einsparung bei knapp 2% der Gesamtbelastung des Gebäudes (Bezug: Strategie 2). Für die anderen beiden Varianten liegt die Einsparung dagegen deutlich unter 1% der Gesamtbelastung des Gebäudes.

Einfluss der Solaranlage

Die um gut 10% höhere Gesamtbelastung bei den Gebäudevarianten der Solarstrategie ist zum grössten Teil auf den Mehraufwand an Material bei der Solaranlage zurückzuführen. Demgegenüber wird der Betriebsenergieaufwand durch den Solarertrag deutlich reduziert. Bei grösseren Kollektorflächen nehmen diese Einsparungen infolge der reduzierten Erträge pro Quadratmeter Kollektorfläche ab. Bezogen auf die Herstellung und Erneuerung des Gebäudes machen die Solar Kollektoren etwa 7% der Belastung in den Gebäuden der Strategie 2 aus und

stellen damit einen deutlichen Zusatzaufwand dar. Dieses Resultat ergibt sich auch aufgrund der angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren welche einen 4-maligen Ersatz der Anlage innerhalb der Gebäudelebensdauer erfordert. Wie Abbildung 7.6 zeigt ist bei Solarkollektorflächen über 12 m² pro Unit (72 m² für ganzes Haus) nur noch eine bescheidene Verbesserung der Gesamtbelastung zu erreichen. Diese Kollektorfläche entspricht in diesem Gebäude 0.1 m² pro m² beheizter Nettowohnfläche. Unter 6 m² pro Unit (36 m² für ganzes Haus) nimmt dagegen die Gesamtbelastung durch den erhöhten Betriebsenergieaufwand deutlich zu. Bei heizungsunterstützenden Systemen ist daher aus ökologischer Sicht eine Kollektorfläche von etwa 10% der Nettowohnfläche anzustreben.

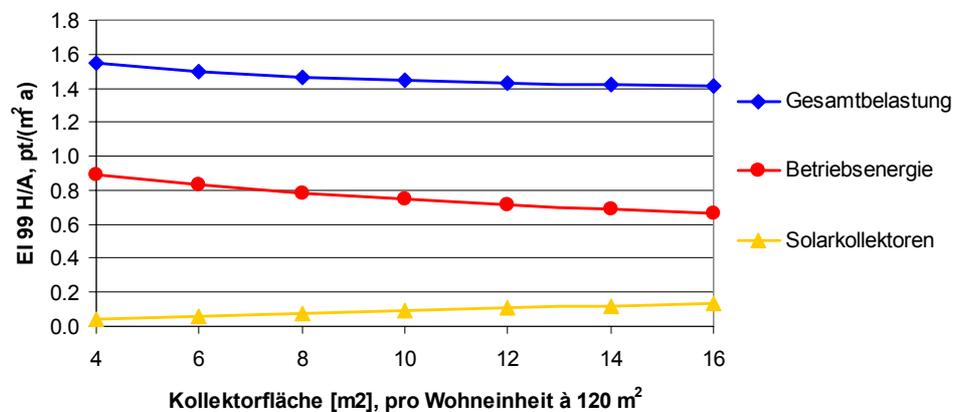


Abbildung 7.6 Einfluss der Solarkollektorfläche, Eco-indicator 99 H/A

Legende: Strategie: 2 = Solargewinn; Konstruktionsvariante Typ B

7.2.2 Auswertung des kumulierten Energieaufwands (nicht erneuerbar)

Kumulierter Energieaufwand

Ähnliche Resultate werden bei der Berechnung des kumulierten Energiebedarfs für die einzelnen Gebäudekomponenten erreicht. Im Allgemeinen sind die Belastungsanteile der einzelnen Materialgruppen gegenüber einer Betrachtung mit Eco-indicator 99 kleiner, da die Betriebsenergie einen grösseren Einfluss auf den gesamten kumulierten Energiebedarf hat. Während die Dämmung mit einem Anteil von 1-8% am Gesamtresultat ähnlich bewertet wird, zeigt sich bei den massiven Baumaterialien mit einem Anteil von 9-14% am Gesamtresultat eine deutlich schwächere Gewichtung dieser Materialgruppe als in der Bewertung mit Eco-indicator 99. Die Haustechnikkomponenten (Heizung, Lüftung ohne Solarkollektoren) haben einen Anteil von nur 3-4% am gesamten kumulierten Energieaufwand des Gebäudes. In der Strategie 2 (Solar) machen die zusätzlichen die Aufwendungen für die grosse Solaranlage knapp 5% des gesamten kumulierten Energiebedarf aus.

Bei den übrigen Baumaterialien (9-12% der Gesamtbelastung) ist der Belastungsanteil der Fenster mit ca. 3% der Gesamtbelastung relativ klein.

7.2.3 Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit

Methode der ökologischen Knappheit

Die relativen Einflüsse der einzelnen Bauelemente innerhalb den energieoptimierten Varianten (Strategie 1 und 2) sind bei einer Bewertung mit der Methode

der ökologischen Knappheit (BUWAL UBP 97) bis auf zwei Ausnahmen ähnlich wie bei der Bewertung mit Eco-indicator 99.

Der hauptsächliche Unterschied der Bewertung der Methode der ökologischen Knappheit gegenüber Eco-indicator 99 zeigt sich in der Bewertung des Betriebsenergiebedarfs. Der Belastungsanteil der Betriebsenergie liegt mit der Methode der ökologischen Knappheit bei 27-36% der Gesamtbelastung für die energieoptimierten Gebäudevarianten und bei 46% beim Referenzgebäude. Bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 liegen diese Anteile deutlich tiefer (siehe Kapitel 7.1.1). Dagegen werden die massiven Bauelemente mit 27-41% der Gesamtbelastung deutlich stärker gewichtet. Dies ist auf die Bewertung der Deponievolumen zurückzuführen.

7.3. Einfluss der Materialwahl einzelner Komponenten

Betrachtete Komponenten

In den folgenden Auswertungen wurde der Einfluss der Materialwahl für die folgenden Komponenten detaillierter untersucht:

- Bodenbelag
- Rohr- und Dämmmaterialien für Heizungsverteilung, WW und Lüftung
- Rahmenmaterial für Fenster

Diese Auswertungen wurden für das Gebäude der Strategie 1 (Wärmeschutz) und den Konstruktionstyp B (Massivbau mit hinterlüfteter Fassade) durchgeführt.

Material Bodenbelag

Beim Bodenbelag besitzt die Grundvariante einen Belag aus Holz. Als Vergleich wurde ein Bodenbelag aus PVC und Linoleum untersucht. Der PVC Belag ist zwar drei mal dünner, belastet aber durch die Produktion und Entsorgung die Umwelt mehr. Der Einfluss der Materialwahl des Bodenbelags ist wegen der grossen Materialmenge (ungefähr 3-4 t Material) und dem häufigeren Ersatz (Lebensdauer 20 Jahre angenommen) nicht zu vernachlässigen. Bezogen auf die Gesamtbelastung des Gebäudes führte der PVC Bodenbelag zu einer Erhöhung der Belastung um nur 4% (Bewertung mit Eco-indicator 99 H/A. Ähnliche Wirkungen sind auch bei einer Bewertung mit dem kumulierten Energiebedarf oder der Methode der ökologischen Knappheit zu beobachten. In Bezug auf die ozonabbauenden Wirkung hat der Einsatz des PVC Belages sogar eine massive Wirkung auf das Gesamtergebnis (Faktor 5 schlechter).

Der Linoleumboden schneidet in allen Bewertungsmethoden vergleichbar wie der Holzboden ab.

Material Rohrleitungen

Bei den Verteilungen für Warmwasser und Heizung wurde neben der Grundvariante eine Materialvariante mit Kupferrohren berechnet. Da die Kupferherstellung energieintensiv ist, ergeben sich trotz guten Recyclingraten (40% Recyclat im Neumaterial) und dünneren Rohrdimensionen ungünstigere Werte für dieses Material. Bei der Lüftung wurden die Polyethylenrohre in der Grundvariante durch verzinkte Stahlrohre bzw. PVC (Erdregister) ersetzt. Der Einfluss der Materialwahl für die Rohrleitungen und Dämmmaterialien für die Verteilungen in Lüftung, Heizung und Warmwasser ist bezogen auf die Gesamtbelastung des Gebäudes mit einer Veränderung von 1-2% gegenüber der Basisvariante gering.

Fensterqualität

Die ökologische Auswirkung der Wahl des Fenstermaterials (Rahmen und Glas) ist neben der eigentlichen Materialproduktion vor allem auch vom Wärmedämmwert der Verglasung abhängig. Um den Einfluss von verschiedenen Verglasungsvarianten aufzuzeigen wurde für ein Fenster mit Holzmetallrahmen verschiedene Verglasungsvarianten bilanziert und zusammen mit den Transmissionsverlusten über die Lebensdauer dargestellt. Für diesen Vergleich wurden die Solargewinne nicht berücksichtigt, sind also nur gültig für vergleichbare Durchlassgrade (g-Wert) der Verglasungen. Die Resultate in Abbildung 7.7 wurden mit Eco-indicator 99 H/A bewertet und beziehen sich auf eine Fensterfläche von 1 m^2 (inkl. 30% Rahmenanteil) sowie eine Fensterlebensdauer von 30 Jahren.

Die Resultate zeigen den bedeutend grösseren Einfluss der Transmissionsverluste gegenüber den Aufwendungen für die Herstellung und Entsorgung des Fensters. Die Optimierung hat also in erster Linie die energetischen Kennwerte des Fensters zu betreffen (U-Wert, g-Wert). Eine Verwendung von Gläsern mit Kryptonfüllung ist empfehlenswert sofern damit insgesamt eine deutliche Verbesserung des Wärmeschutzes erreicht wird²⁹.

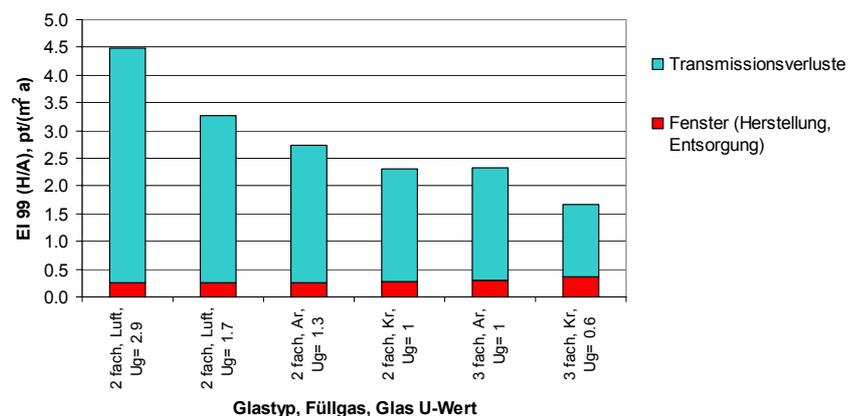


Abbildung 7.7 Vergleich von Fensterqualitäten, Eco-indicator 99 H/A

Bezug 1 m^2 Fensterfläche, Lebensdauer des Fensters 30 Jahre

Nur Transmissionsverluste berücksichtigt, Wärmeerzeugung mit kondensierender Gasheizung.

7.4. Einfluss eines Kellergeschosses

Betrachtete Gebäudevariante

Das für die Standardlösungen untersuchte Gebäude besitzt kein Kellergeschoss³⁰. Da in der Schweiz die meisten Gebäude ein Kellergeschoss aufweisen, wurde zusätzlich eine Variante des Gebäudes mit Kellergeschoss gerechnet um dessen Einfluss auf das Gesamtergebnis zu quantifizieren. Diese Auswertungen wurden für das Gebäude der Strategie 1 (Wärmeschutz) und den Konstruktionstyp B (Massivbau mit hinterlüfteter Fassade) durchgeführt.

²⁹ Bei vergleichbarem g-Wert mindestens ein um $0.1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ tieferer U-Wert der Verglasung.

³⁰ Die Grundberechnungen wurden ohne Kellergeschoss durchgeführt da die innerhalb von Projekt IEA Task28 „Sustainable solar housing“ simulierten Gebäude kein Kellergeschoss aufweisen.

Bewertung mit
Eco-indicator 99

In Abbildung 7.8 sind die Resultate dieser Untersuchung bewertet mit Eco-indicator 99 dargestellt (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m² und Jahr).

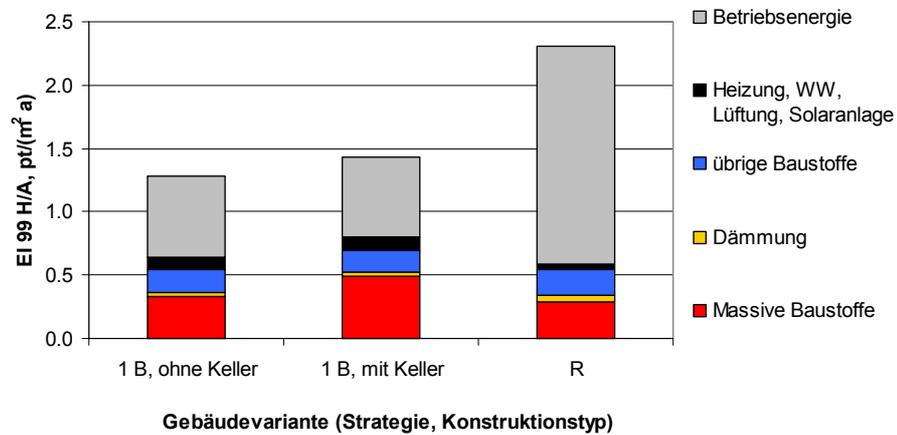


Abbildung 7.8 Gebäudevariante mit Kellergeschoss, berechnet mit Eco-indicator 99 H/A
Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; B = Konstruktionsvariante, massiv
R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

Das zusätzliche Kellergeschoss erhöht die Gesamtbelastung über den Lebenszyklus (inkl. Betrieb) um 12%. Ohne Einbezug der Betriebsphase (nur Erstellung, Erneuerung und Entsorgung) beträgt die Erhöhung 24%. Die Abbruchenergie des armierten Betons hat in dieser Betrachtung mit einem Anteil von 68% an der Belastungserhöhung den wichtigsten Anteil.

Unterschiede zu anderen
Bewertungsmethoden

Vergleichbare Resultate erhält man bei der Anwendung des kumulierten Energiebedarfs oder der Methode der ökologischen Knappheit, wenn nur der Anteil an der Gesamtbelastung ohne Berücksichtigung der Betriebsphase betrachtet wird. Durch die unterschiedliche Gewichtung der Betriebsphase ergeben sich für die Betrachtung mit der Betriebsphase leicht unterschiedliche Resultate:

- Erhöhung für UBP 97: 17% mit Betriebsphase; 24% ohne Betriebsphase
- Erhöhung für kumulierter Energiebedarf: 8% mit Betriebsphase; 25% ohne Betriebsphase.

Einschränkung der Resultat-
bewertung

Ein Keller bedeutet zusätzliche (unbeheizte) Bodenfläche, welche einen Zusatznutzen wie z.B. zusätzliche Abstellfläche darstellt. Folglich ist ein direkter Vergleich der Varianten mit und ohne Keller nicht ganz korrekt, da unterschiedliche funktionelle Einheiten betrachtet werden. Es müsste also die Erstellung, Erneuerung und der Abbruch eines Anbaues mit identischer Bodenfläche in die Betrachtung mit einbezogen werden. Dies führt wiederum zu einem Konflikt bei der Bewertung des Betriebsenergiebedarfs.

7.5. Einfluss des verwendeten Energieträgers

Das Heizsystem bzw. die gewählte Energieart hat einen entscheidenden Einfluss auf das Gesamtergebnis. Die Auswertungen wurden für das Gebäude des Konstruktionsstyps B (Massivbau mit hinterlüfteter Fassade) in der Strategie 1

(Wärmeschutz) und Strategie 2 (Solarertrag) durchgeführt. Dabei wurden folgende alternative Varianten der Wärmeerzeugung untersucht:

- Strategie 1: Grundvariante Wärmeerzeugung Raumwärme zu 100% mit Erdgas (kond. Kessel mit $\eta = 100\%$). Zusätzlich Solarkollektoren (24 m^2) für WW.
- Strategie 1: Wärmeerzeugung Raumwärme zu 100% mit Erdöl (kond. Kessel mit $\eta = 98\%$). Zusätzlich Solarkollektoren (24 m^2) für WW.
- Strategie 1: Wärmeerzeugung für Raumwärme zu 100% mit Erdgas (kond. Kessel mit $\eta = 100\%$). Zusätzlich Solarkollektoren (24 m^2 für WW).
- Strategie 1: Variante mit Wärmeerzeugung für Raumwärme und WW zu 100% mit einer Wärmepumpe (UCTE³¹-Strommix; mittlerer COP 2.52).
- Strategie 2: Grundvariante mit Wärmeerzeugung mit Solarkollektoren (72 m^2) und einer Zusatzheizung mit Erdgas (kondensierender Kessel mit $\eta = 100\%$).
- Strategie 2: Wärmeerzeugung mit Solarkollektoren (72 m^2) und einer Zusatzheizung mit Erdöl (kondensierender Kessel mit $\eta = 98\%$).
- Strategie 2: Wärmeerzeugung mit Solarkollektoren (72 m^2) und einer Zusatzheizung mit Holzpellets (Kessel mit $\eta = 85\%$).

7.5.1 Auswertung mit Eco-indicator 99

Auswertung mit
Eco-indicator 99

Abbildung 7.9 zeigt die Vorteile der Wärmepumpe in Strategie 1 (Wärmeschutz) und den Gebrauch von Holz für die Zusatzheizung in der Strategie 2 (Solar) bei einer Bewertung mit Eco-indicator 99 (Perspektive Hierarchist; in Punkten pro m^2 und Jahr). Diese zwei Varianten zeigen mit 47% respektive 55% die grösste Reduktion der Gesamtbelastung gegenüber dem Referenzgebäude. Diese Reduktion wird jedoch beinahe ausschliesslich in der Schadenskategorie Ressourcenverbrauch erreicht. In den Schadenskategorien „Menschliche Gesundheit“ und „Ökosystemqualität“ zeigt dagegen die Variante mit Wärmepumpe die höchsten Belastungen (auch höher als Referenzgebäude). Dieses Resultat ist auf die Belastungen aus der Stromproduktion zurückzuführen. Um für die Wärmepumpe einen Vorteil in allen drei Schadenskategorien zu erzielen, müsste der verwendete Strom einen hohen Anteil an erneuerbaren Energie enthalten (z.B. naturemade star). Der Vergleich zwischen Öl und Gas zeigt einen geringfügigen Vorteil der Gasfeuerung.

³¹ Europäischer Produktionsmix. Inventar auf Stufe Niederspannung (Frischknecht et al., 1996)

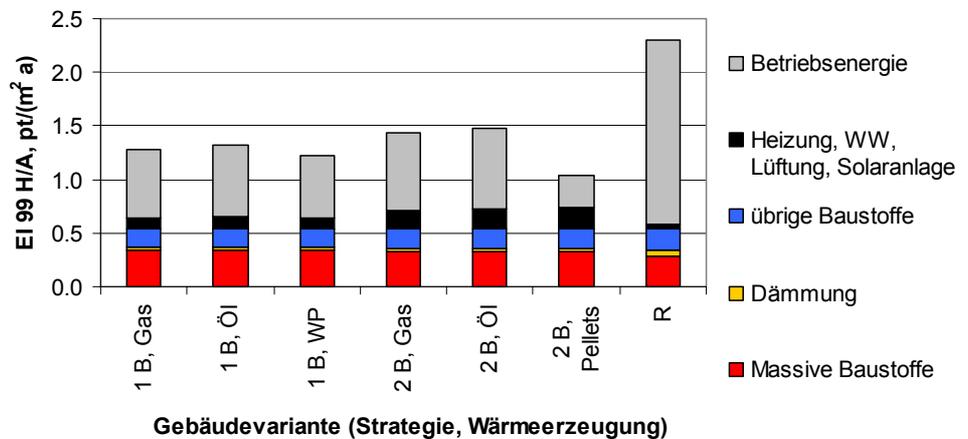


Abbildung 7.9 Variation des Energieträgers, Eco-indicator 99 H/A

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; B = Konstruktionsvariante, massiv R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

7.5.2 Auswertung des kumulierten Energieaufwandes (nicht erneuerbar)

Kumulierter Energieaufwand

Diese Berechnung zeigt ein ähnliches Resultat wie die Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A) mit dem Unterschied, dass die Variante der Strategie 1 mit Wärmepumpe deutlich schlechter abschneidet. Dies ist auf die tiefe Effizienz der Stromproduktion zurückzuführen. Die Variante mit der Strategie 2 mit Pelletheizung klar am besten abschneidet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit der Verwendung von Holz kaum noch nichterneuerbare Energie aufgewendet werden muss. Auf der anderen Seite werden in dieser Bewertung die Emissionen der Holzheizung (Staubes und NOx Emissionen) nicht berücksichtigt. So erreicht diese Variante eine Reduktion der Gesamtbelastung gegenüber dem Referenzgebäude um 66%.

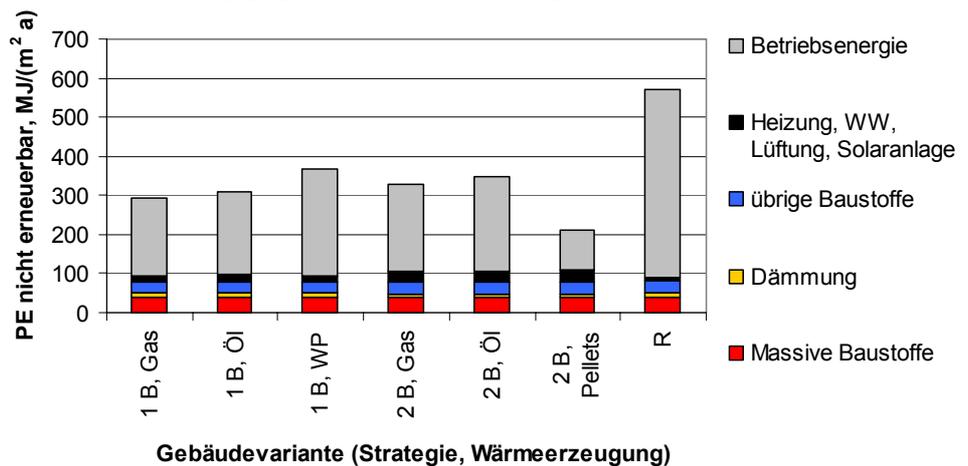


Abbildung 7.10 Variation des Energieträgers, kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar

Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; B = Konstruktionsvariante, massiv R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

7.5.3 Auswertung mit der Methode der ökologischen Knappheit

Methode der ökologischen Knappheit

Bei der Bewertung der Varianten mit der Methode der ökologischen Knappheit (siehe Abbildung 7.11) lässt sich keine klare Aussage machen. Alle Varianten (inkl. des Referenzgebäudes) bewegen sich in der gleichen Grössenordnung. Vor allem

die Wärmepumpe schneidet sehr schlecht ab, da die Stromproduktion gegenüber der Wärmeproduktion aus Gas deutlich erhöhte Luftemissionen aufweist. Ähnliches gilt für die Variante mit Holzfeuerung. Hier übersteigen die Belastungen durch die höheren Emissionen die Vorteile der CO₂ Neutralität des Brennstoffes sowie seiner Erneuerbarkeit. Das mit der Methode der ökologischen Knappheit erhaltene Resultat ist auch hier Vergleichbar mit dem Resultat der Schadenskategorie „Menschliche Gesundheit“ in der Bewertung mit Eco-indicator 99 (H/A).

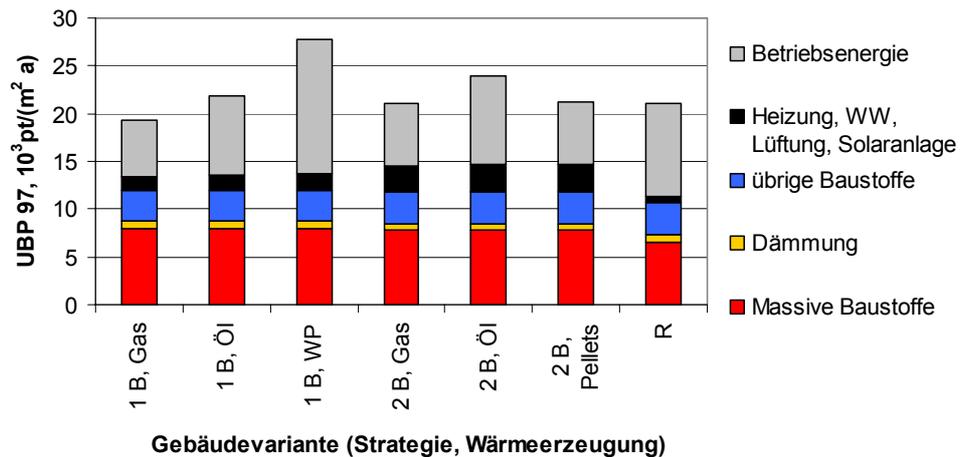


Abbildung 7.11 Variation des Energieträgers, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)
 Legende: Strategie: 1 = Wärmeschutz; 2 = Solargewinn; B = Konstruktionsvariante, massiv
 R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

8. Diskussion und Ausblick

8.1. Folgerungen aus den Resultaten und Handlungsanweisungen

Da das Gebäude immer als Gesamtes konzipiert wird und daher die einzelnen Bestandteile sich gegenseitig beeinflussen ist es schwierig, allgemein gültige Handlungsempfehlungen für die ökologische Optimierung von Niedrigenergiehäusern zu geben. So kann beispielsweise eine massive Bauweise bei geschickter Nutzung der Solargewinne die günstigere Bilanz ausweisen, als ein Leichtbau, der infolge kleineren Solargewinnen (Überhitzungsgefahr) einen leicht grösseren Heizenergiebedarf aufweist.

In den Kästen werden aus den erarbeiteten Resultaten einige Handlungsanweisungen formuliert, welche in einem gewählten architektonischen Konzept den Spielraum und die Ansatzpunkte für eine Optimierung aufzeigen.

Für die energetisch optimierten Gebäude liegt der Belastungsanteil aus dem Betrieb des Gebäudes je nach Gebäudevariante und Bewertungsmethode nur noch bei einem Drittel bis der Hälfte der Gesamtbelastung. Damit werden auch Fragen der Materialisierung wichtig. Es ist jedoch schwierig klare Empfehlungen für das ökologische Optimum einzelner Bauteile (z.B. Kollektorfläche, Art der Wärmeerzeugung) abzugeben, da sich die Belastungen je nach verwendeter Bewer-

tungsmethode für ein Material stark verändern können. Es ist klar, dass bei Bauteilen, welche sich auf den Energiebedarf auswirken (wie z.B. Dämmung, Solar Kollektoren, Lüftung) eine Optimierung zusammen mit dem Betriebsenergiebedarf (bzw. der Betriebsenergiebedarfsreduktion) sinnvoll ist.

Einfluss der
Bewertungsmethode

Da die verwendete Bewertungsmethode einen starken Einfluss auf das Resultat hat, ist die Frage nach der „richtigen“ Bewertungsmethode von Bedeutung. Dabei erscheint die Methode der Ökologischen Knappheit nicht geeignet, da sie den Verbrauch nicht erneuerbarer Ressourcen kaum gewichtet. So müsste eine Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl von knapp 8 aufweisen um gegenüber der Gasheizung im Vorteil zu sein³². Auch für eine Lüftungsanlage mit 85% Wärmerückgewinnung ist mit dieser Bewertung infolge des Strombedarfs für den Ventilator kaum einen Vorteil durch die Reduktion des Heizwärmeverbrauchs zu erzielen.

Gebäudeform

Da die Nutzungsphase für die Umweltbelastung eines Gebäudes immer relevant bleibt, ist eine energetische Optimierung eines Gebäudes stets anzustreben. Dabei spielt grundsätzlich das Verhältnis von Gebäudeoberfläche zu Energiebezugsfläche eine grosse Rolle. Dieses Verhältnis (A/EBF) fliesst entsprechend auch in den Normen zur Berechnung des Energiebedarfs ein.

Aus ökologischer Sicht hat diese Kennzahl eine doppelte Bedeutung. Einerseits wird mit einem tiefen Verhältnis A/EBF ein niedriger Heizenergiebedarf erreicht. Andererseits wird mit damit auch die notwendige Aussenwandfläche minimiert. Dies hat einen direkten Einfluss auf den Materialbedarf dieser Wände.

Aus diesen Gründen ist das Verhältnis A/EBF so tief wie möglich zu halten. Die Grenze der Möglichkeiten sind daher weitgehend vom architektonischen Konzept und den Möglichkeiten auf der verfügbaren Baufläche bestimmt.

Bauweise

Grundsätzlich weist der Leichtbau aus Holz ökologischen Vorteile auf, da die verwendeten Materialien CO₂ neutral sind und einen geringen Primärenergiebedarf aufweisen. Dies gilt natürlich nur für einheimische Hölzer. Für massive Gebäude ist aus ökologischer Sicht ein geringer Anteil an armiertem Beton wünschenswert. Dies hält die Abbruchenergien klein, welche für den Betonabbruch von Bedeutung sind.

Sowohl für den Leichtbau aus Holz als auch für den Massivbau schlagen die Unterlagsböden durch ihren Zementgehalt negativ zu Buche. Hier wäre es wichtig, die Unterlagsböden nicht dicker als unbedingt nötig auszuführen. Auch könnte vor allem im Holzbau mit trockenen Aufbauten gearbeitet werden, was die Ökobilanz klar verbessern würde und auch eine bessere Wiederverwertung (Sortenreinheit) beim Abbruch gewährleisten könnte.

³² Gültig für UCTE-Strommix und ohne Berücksichtigung der jeweiligen Infrastruktur (Heizungsanlage oder Wärmepumpe). Für den Schweizer Strommix + Importe müsste die JAZ > 4.6 sein.

Dämmmaterialien

Es zeigte sich, dass der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung über die gesamte Lebensdauer (inkl. Betrieb) des Gebäudes gering ist und in keinem Fall 10% überschritt. Wird bei der Wahl der Dämmstoffe auf die Minimierung des Primärenergiebedarfs geachtet (entweder durch Verwendung von erneuerbaren Materialien oder durch den Einsatz von Recyclatmaterial) sinkt der Anteil der Dämmmaterialien an der Gesamtbelastung auf unter 3%. Damit steht bezüglich ökologischer Optimierung von Gebäuden einer weiteren Erhöhung der Dämmstärke nichts entgegen. Dies zeigt sich auch in den Resultaten des Beispielgebäudes „Sunny Woods“, welches Dämmstärken von teilweise über 300 mm aufweist. Auch andere Untersuchungen zeigen, dass die optimale Dämmstärke aus ökologischer Sicht erst bei Dämmstärken über 30 cm liegen wird (Lalive d'Epinay, 2000).

Da die Dämmung nur einen relativ geringen Anteil an der Gesamtbelastung des Gebäudes hat ist es sinnvoll die Dämmstärke so gross wie möglich zu wählen. Das ökologische Optimum liegt weit über den derzeit üblichen Dämmstärken und wird auch bei Passivhäusern noch nicht erreicht.

Solarkomponenten

Der Einsatz von thermischen Solarkollektoren reduziert die ökologische Belastung markant. Die Verbesserung der Gesamtbelastung nimmt mit zunehmender Kollektorfläche infolge der reduzierten Erträge pro Quadratmeter Kollektorfläche ab. Das Minimum der ökologischen Gesamtbelastung liegt jedoch deutlich über der aus wirtschaftlich und technischer Sicht optimalen Kollektorfläche.

Da Photovoltaiksysteme als unabhängige, zusätzliche Bauteile gesehen werden können, besteht hier keine obere Einschränkung bezüglich der optimalen Fläche.. Vor allem bei Systemen mit amorphen Dünnschichtzellen werden geringe Materialaufwendungen für die Dachmontage in der Gesamtbewertung wichtig.

Bei heizungsunterstützenden Systemen ist aus ökologischer Sicht eine Kollektorfläche von etwa 10% der Nettowohnfläche anzustreben. Bei diesen Systemen sollte die Kollektorfläche grösser als 5% der Nettowohnfläche sein, da darunter die Gesamtbelastung durch den erhöhten Betriebsenergiebedarf für Heizung und Warmwasser wieder deutlich zunimmt.

Für Photovoltaiksysteme ist die ökologisch sinnvolle Anlagengrösse für ein Gebäude vor allem von der beschattungsfreien Dachfläche und der Gebäudeorientierung abhängig.

Heizungs- und Lüftungsinstallationen

Auch bei den Installationen für Heizung, Lüftung und Warmwasser zeigte sich, dass deren Anteil an der Gesamtbelastung des Gebäudes über die gesamte Lebensdauer 10% nicht überschreitet. Das Potential für Optimierungen auf der Materialseite ist in diesem Bereich relativ gering.

Das grösste Optimierungspotential liegt in der Verwendung von langlebigen Produkten vor allem bei den Bauteilen mit geringerer Lebensdauer wie z.B. den Warmwasserspeicher. Von grösserer Bedeutung für die Optimierung dieser Elemente ist jedoch deren Auswirkung auf den Betriebsenergiebedarf.

Fenster

Auch bei den Fenstern ist die Optimierung primär eine Frage der Energiebilanz und erst in zweiter Linie eine des „richtigen“ Materials. Wie auch die Untersuchungen von (Richter et al., 1996a; Richter et al., 1996b) zeigen, ist der Einfluss der Fenster auf den Betriebsenergiebedarf gross. Aus den bisher verfügbaren Resultaten kann jedoch nicht eine klare Strategie abgeleitet werden, wo das ökologische Optimum liegt. Zu unterschiedlich fallen die Resultate je nach verwendeter Bewertungsmethode oder Glastyp aus. Zudem sind viele Faktoren zu berücksichtigen, welche einen grossen Einfluss auf das Resultat haben (z.B. Art des Füllgases, Lichttransmissionsgrad, U-Wert, Speicherfähigkeit des Hauses, etc.). In vielen Punkten sind auch die getroffenen Annahmen für die Entsorgung oder Herstellung (z.B. Recyclingrate bei den PVC-Fensterrahmen) relevant.

Massive Bauelemente

Ein grosser Teil der Belastungen resultiert aus den verwendeten Materialien, welche für die Grundstruktur des Hauses benötigt werden (Böden, Wände, Dach). Diese Belastungen sind von der Grundkonzeption des Gebäudes abhängig und daher nur in sehr frühen Planungsphasen beeinflussbar. Es zeigten sich hier ein leichter Vorteil des Leichtbaus (und in geringerem Mass des Hybridbaus) gegenüber dem Massivbau. Dieses Resultat bezieht sich auf die Annahme einer identischen Lebensdauer für die beiden Gebäudetypen.

Grundsätzlich ist für die Optimierung der verwendeten Materialien vor allem die Langlebigkeit (z.B. durch Witterungsschutz und Bauphysikalisch richtige Konstruktion) und durch die Möglichkeit des Materialrecycling nach dem Erreichen der Lebensdauer (Vermeiden von Verbundmaterialien) wichtig.

Innenausbau

Beim Innenausbau können sich gewisse Materialien negativ auswirken. Dies zeigte sich beim Vergleich der Belastungen aus verschiedenen Materialien. Hier führte der eingesetzten PVC-Bodenbelag zu einer sichtbaren Erhöhung der Gesamtbelastungen. Durch die häufigere Renovation im Innenausbau ist die Auswahl der dafür verwendeten Materialien entsprechend wichtiger als bei der Tragstruktur. Auch hier sind grundsätzlich langlebige und recycelbare Produkte (welche auch nicht gerade wieder „ausser Mode“ sind) vorzuziehen.

Beim Innenausbau sollen natürliche Materialien bevorzugt werden (unbehandelte Hölzer oder Natursteine). Es ist vor allem auf die Langlebigkeit der verwendeten Bauteile zu achten. Es sollen Materialien gewählt werden für welche ein Recycling am Ende der Lebensdauer möglichst einfach ist. Vor allem beim Bodenbelag sind diese Überlegungen wichtig, da hier eine grosse Fläche und damit auch grosse Mengen betroffen sind.

8.2. Ausblick

Aufgrund der vorliegenden Studie konnten einige Aussagen zur Umweltverträglichkeit von Solargebäuden gemacht werden. Gleichzeitig ermöglichte die detaillierte Analyse mit der Ökobilanzmethodik einen umfassenden Einblick in die Komplexität des Systems Gebäude. Dieser Komplexität ist es auch zuzuschreiben, dass allgemeingültige Planungsgrundsätze sehr schwierig zu formulieren sind. Es können lediglich Tendenzen aufgrund von Fallbeispielen erörtert werden. Für eine weitere Detaillierung der aus den Resultaten erarbeiteten Grundsätze wären daher weitere Untersuchungen von verschiedenen Gebäudeteilsystemen notwendig. Solche Angaben wären primär für die Planer von Interesse, welche die Wahl und Auslegung der Systeme durchführen.

Auch im Bereich der Basisdaten bestehen an verschiedenen Orten, im Speziellen aber bei neuen Materialien und Systemen, erhebliche Datenlücken. Für detaillierte Systemuntersuchungen sind solche Grundlagendaten notwendig und müssten daher erhoben werden. Auch eine Integration von verschiedenen gebäudespezifischen Datensätzen und Bauelementen in die Datenbank ecoinvent wäre anzustreben. Damit würden diese Daten für ein breiteres Publikum verfügbar und anwendbar.

Im Zusammenhang mit dem abnehmenden Energiebedarf der Gebäude nehmen nicht direkt mit dem Gebäude zusammenhängende Parameter wie zum Beispiel Haushaltsstrombedarf oder Mobilitätsverhalten der Bewohner aufgrund verschiedener Siedlungskonzepte einen immer wichtigeren Anteil innerhalb einer Gesamtbetrachtung ein. In dieser Richtung wäre eine Untersuchung der ökologischen Auswirkungen verschiedener Wohn- oder Siedlungskonzepte wünschenswert.

9. Literatur

- BFE, 2000 BFE, Bundesamt für Energie, Ressort Regenerierbare Energien, Gute Beispiele - Wegweisende Wohnwürfel in Winterthur, Bern, 2000, Online-Version unter: www.e2000.ch/Regenerierbare/beispiele/TBspSolarplexus.htm.
- Binz et al. 2000 Binz A., Erb M. and Lehmann G., Ökologische Nachhaltigkeit im Wohnungsbau. Eine Bewertung von Erneuerungsbauten. Fachhochschule beider Basel, Institut für Energie, Muttenz, 2000.
- Bossard & Zurfluh, 2002 Bossard, B., Zurfluh, B., „Wohnen „im Wechsel“, aus Tagungsband zur 6. europäischen Passivhaustagung vom 25. und 26. Januar 2002 in Basel, Fachhochschule Beider Basel (FHBB), Basel, 2002.
- Bossard et al., 2003 Bossard, B., Zurfluh, B., Keiser, R., Passiv-Acht-Familienhaus Wechsel, Stans, P+D Schlussbericht Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden REN des Bundesamt für Energie (BFE), BARBOS GU für Baubiologie + Bauökologie, Stans, 2003.
- BUWAL 1998 BUWAL, Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997, Umwelt-Materialien Nr. 297 (Autoren: Brand, G., Scheidegger, A., Schwank, O., Braunschweig, A.), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern, 1998.
- Doka, 2000 Doka, G., Ökoinventar der Entsorgungsprozesse von Baumaterialien. Grundlagen zur Integration der Entsorgung in Ökobilanzen von Gebäuden. EMPA, Zentrum für Energie und Nachhaltigkeit im Bauwesen (ZEN), Dübendorf, 2000.
- Frankl, 2002 Frankl, P., Life Cycle Assessment (LCA) of PV Systems – Overview and Future Outlook, PV in Europe –From PV Technology to Energy Solutions, Rome, 2002.
- Frischknecht et al., 1996 Frischknecht, R., Bollens, U., Bosshart, S., Ciot, M., Ciseri, L., Doka, G., Hischer, R., Martin, A., Dones, R., Gantner, U., Ökoinventare von Energiesystemen, Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energie, (BfE), Bern, 1996.
- FWS, 2000 FWS, Die Wärmepumpe im Minergiehaus, Energieeffiziente Haustechnik für das 21. Jahrhundert, Wegweisende Würfel am Sonnenhang, pp. 10-11, Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz (FWS), Zürich, 2000
- Gugerli & Gilgen, 2000 Gugerli, H., Gilgen, D., Cepheus Schweiz, Passivhaussiedlung „Wegere“, Ökologie, Schlussbericht Amstein + Walthert Beratende Ingenieure AG, Zürich, 2000.
- Hässig & Primas, 2004 Hässig, W., Primas, A., Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich - Eine Praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen zu Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen, ausgearbeitet durch Basler & Hofmann AG, Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2004.
- Huber et al., 2001 Huber, H., Odermatt, A., Meierhans, D., Passivhaussiedlung „Wegere“ Nebikon, Messbericht Nr. Pe-4823-00, Hochschule für Technik + Architektur Luzern (HTA), Horw, 2001.
- Huber et al., 2003 Huber, H., Frei, B., Reichmuth, F., Passiv-Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ 6370 Stans, Bericht Nr. 414781, Hochschule für Technik + Architektur Luzern (HTA), Horw, 2003.

- Humm, 2002 Humm, O., Ein Passivhaus nach Schweizer Art, aus Gebäudetechnik, Heft 1, 2002, pp. 14-19, Zürich, 2002.
- IP Bau, 1994 Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten, Grundlagen für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten; IP Bau, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1994.
- Kämpfen, 2001 Kämpfen, B., Fotovoltaikanlage „Sunny Woods“ Zürich-Höngg, Jahresbericht 2001, Projektnummer 42203, Beat Kämpfen, Büro für Architektur, Zürich, 2001.
- Kämpfen, 2002 Kämpfen, B., Mehrfamilienhaus „Sunny Woods“, aus Tagungsband zur 6. europäischen Passivhaustagung vom 25. und 26. Januar 2002 in Basel, Fachhochschule Beider Basel (FHBB), Basel, 2002.
- Krapmeier et al., 2002 Krapmeier, H., Kök, O., Görg, M., Feist, W., Schnieders, J., CEPHEUS – Architektur Bautechnik Kosten, CEPHEUS 13 Nebikon (CH), aus Tagungsband zur 6. europäischen Passivhaustagung vom 25. und 26. Januar 2002 in Basel, Fachhochschule Beider Basel (FHBB), Basel, 2002.
- Lalive d'Epinay, 2000 Lalive d'Epinay, A., Die Umweltverträglichkeit als eine Determinante des architektonischen Entwurfs, Diss ETH Nr. 13610, Zürich, 2000.
- Müller & Walter, 1992: Müller, A., Walter, F., RAVEL zahlt sich aus, Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsrechnungen, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern, 1992.
- Naef & Widmer, 2003 Naef, R., Widmer, P., Wohnen in „Sunny Woods“, Zürich Höngg, Schlussbericht P+D Projektnummer 80005, Naef Energietechnik, Zürich, 2003.
- Pré, 2001a Pré Consultants, Eco-indicator 99, a damage oriented LCA impact assessment method, Methodology report, 3 th. edition. Distributiecentrum VROM, P.O.Box 351, 2700 AJ Zoetermeer, Holland, 2001.
- Pré, 2001b Pré Consultants, Eco-indicator 99, a damage oriented LCA impact assessment method, Annexe report, 3 th. edition. Distributiecentrum VROM, P.O.Box 351, 2700 AJ Zoetermeer, Holland, 2001.
- Richter et al., 1996a Richter, K., Künniger, T., Brunner, K., Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen verschiedener Rahmenmaterialien (ohne Verglasung), EMPA Abteilung Holz, Schweizerische Zentralstelle für Fenster und Fassadenbau (SZFF), Dietikon, 1996.
- Richter et al., 1996b Richter, K., Brunner, K., Bertschinger, H., Ökologische Bewertung von Wärmeschutzgläsern, EMPA Abteilung Holz, Dübendorf, 1996.
- Schmid, 2002 Schmid, F., Das Passivhaus wird schick, aus Gebäudetechnik, Heft 1, 2002, pp. 20-26, Zürich, 2002.
- SIA 380/1, 2001 Thermische Energie im Hochbau, Empfehlung SIA 380/1, Ausgabe 2001, Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein SIA, Zürich, 2001.
- SIA 480, 2000 Wirtschaftlichkeitsberechnung im Hochbau, Draft SIA 480, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA), Zürich, 2000.
- Smeds et al., 2002 Smeds, J., Wall, M., Hastings, R., DRAFT WD on Regional Reference Buildings and TSS, IEA Task 28 / Annex 38 Sustainable Solar Housing, 2002.
- Solaragentur, 2002a Stiftung Solaragentur Schweiz, Schweizer Solarpreis 2002, Kategorie C, best-isolierte Minergie- und Solarhäuser, Wohnen „im Wechsel“, Stans NW, Zürich, 2002.
- Solaragentur, 2002b Stiftung Solaragentur Schweiz, Schweizer Solarpreis 2002, Kategorie E, best-integrierte Anlagen, Sechsfamilienhaus „Sunny Woods“ Zürich, Zürich, 2002.

- Task 28, 2003 Task 28, Simulation Results for Row House in Temperate Climate, Working Documents of J. Morhenne and U. Gieseler, Prag, 2003.
- Trawnika & Betschart, 2000 Trawnika, M., Betschart, W., Cepheus - Erste Passivhausssiedlung der Schweiz, Tagungsband 11. Schweizerisches Status-Seminar vom 14./15. Sept. 2000 "Energie- und Umweltforschung im Bauwesen", Zürich, 2000, Online-Version unter: www.empa-ren.ch/Internet-Files/Programm/Aktuelles/aktualitaeten/Status-Seminar/tagungsband.htm.
- Unisolar, 2003 Unisolar, Produkteinformationen, www.uni-solar.com
- Wall & Hastings, 2002 Wall, M., Hastings, R., Energy Targets for Simulations of Typical Solutions for High Performance Housing, Working Document December 2002, Task 28 Subtask B Design and Analysis, Lund, 2002
- Weibel & Stritz, 1995 Weibel, T., Stritz, A., Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Hochbaukonstruktionen. ESU-Reihe 1/95: Institut für Energietechnik der ETH, Zürich, 1995.
- Werner et al., 1997 Werner, F., Richter, K., Bosshart, S., Frischknecht, R., Ökologischer Vergleich von Innenbauteilen am Beispiel von Zargen aus Massivholz, Holzwerkstoff und Stahl, EMPA Abteilung Holz, Dübendorf, 1997.
- Yang & Guha, 1999 Yang, J., Guha, S., Science and Technology of Amorphous Silicon Alloy Photovoltaics, IEEE Transaction on Electron Devices, Vol. 46, No 10, 1999, Online-Version unter: www.uni-solar.com/Our_Technology_Reports.html.

10. Anhang

10.1. Grundlagen

10.1.1 Bauteillebensdauer

In den Berechnungen wurden, die in Tabelle 10.1 dargestellten Lebensdauer für die einzelnen Bauelemente verwendet. Diese Werte wurden für die Beispielgebäude und innerhalb der verschiedenen Varianten der Standardlösungen konstant gehalten. Die Gebäudelebensdauer wurde für alle Varianten identisch mit 80 Jahren angenommen. Die Bauteillebensdauer ist abhängig von der Qualität der Wartung, der Bauausführung (z.B. Wetterschutz) und auch der Exposition des Gebäudes und kann in weiten Bereichen schwanken. Die für die Berechnungen verwendeten Werte stellen Durchschnittswerte aus unterschiedlichen Quellen dar (Frisknecht et al., 1996; IP Bau, 1994; Müller & Walter, 1992; SIA 480, 2000).

Tabelle 10.1 Für die Berechnungen verwendete Bauteillebensdauer

| Bauteil | Lebensdauer | Einheit |
|---|-------------|---------|
| Gebäude (massiv, hybrid), Massive Bauelemente, Konstruktionsholz | 80 | Jahre |
| Kompaktwärmedämmung verputzt (Aussenwand) | 30 | Jahre |
| Aussendämmung, hinterlüftete Fassade (inkl. Fassadenkonstruktion) | 40 | Jahre |
| Dämmung innerhalb Holzständerkonstruktion (Leichtbau) | 80 | Jahre |
| Dach, Dämmung, Eindeckung | 40 | Jahre |
| Bodendämmung über Bodenplatte | 40 | Jahre |
| Bodendämmung unter Bodenplatte | 80 | Jahre |
| Unterlagsboden | 40 | Jahre |
| Bodenbelag | 20 | Jahre |
| Innenputz, Wandverkleidungen | 30 | Jahre |
| Fenster (Glass und Rahmen) | 30 | Jahre |
| Beschattungssystem, Metallteile | 30 | Jahre |
| Beschattungssystem, Textile Teile | 10 | Jahre |
| Türen | 50 | Jahre |
| Heizung, Heizgerät (Öl, Gas, Holz, Wärmepumpe) | 20 | Jahre |
| Wärmepumpe, Erdsonde | 30 | Jahre |
| Heizung, Leitungen, Radiatoren, Fussbodenheizung | 40 | Jahre |
| Heizung, Kamin | 80 | Jahre |
| Heizung, Öltank, Einbauten für Holzlager | 50 | Jahre |
| WW-System, Heizgerät (Öl, Gas, Holz, Elektrisch) | 20 | Jahre |
| WW-System, therm. Solarkollektor | 20 | Jahre |
| WW-System, Speicher | 20 | Jahre |
| WW-System, Leitungen | 30 | Jahre |
| Lüftungsrohre, Erdregister | 40 | Jahre |
| Luftfilter | 1 | Jahr |
| Wärmetauscher im Lüftungsgerät, weitere Komponenten | 20 | Jahre |
| Pumpen, Ventilatoren | 20 | Jahre |

10.1.2 Transportdistanzen, für Standardlösungen

Für die Abschätzung der Transporte zur Baustelle wurden bei den Standardlösungen (TSS) für alle Gebäudevarianten identische Standarddistanzen verwendet. Es wurde eine Transportdistanz von 100 km (LKW 28 t) angenommen mit Ausnahme von Beton, wo nur 20 km (LKW 28 t) verbucht werden und mineralische Baustoffe (Backstein, Zement, etc.) wo ein Modalsplit von 80 km Bahntransport und 20 km Strassentransport (LKW 28 t) angenommen wurde. Für kleinere Komponenten (z.B. Lüftungsanlage, Heizkessel, Wärmepumpe, etc.) wird für den

| | |
|-----------------------------|---|
| | Transport auf die Baustelle statt eines LKW 28 t ein Lieferwagen als Transportmittel angenommen. |
| Halbfabrikate und Rohstoffe | Für Halbfabrikate und Rohstoffe (z.B. Stahl für Lüftungsrohre) wird von einer Transportdistanz von 600 km per Bahn, 50 km per LKW 28 t für die Herstellung des verwendeten Bauteils ausgegangen. Für reine Kunststoffteile (z.B. PE Rohre) wird eine Transportdistanz von 200 km per Bahn, 50 km per LKW 28 t für die Herstellung des verwendeten Bauteils angenommen. Diese Transportdistanzen wurden nur für diejenigen Inventare verwendet, wo für die Weiterverarbeitung nicht bereits Transporte berücksichtigt waren. |
| Entsorgung | Da die Transportprozesse für die Entsorgung bereits in den verwendeten Entsorgungsinventaren enthalten sind (Doka, 2000) wurde nur für diejenigen Entsorgungsprozesse Transportleistungen berücksichtigt welche nicht mit den Daten von (Doka, 2000) berechnet wurden. Für diese Prozesse wurde eine Transportdistanz von 50 km per LKW 28 t eingesetzt. |
| Ausnahmen | Die Inventare, die bereits Transportprozesse über den gesamten Lebensweg beinhalteten wurden diese verwendet. Dies betrifft die folgenden Inventare: <ul style="list-style-type: none"> – Fensterrahmen (Richter et al., 1996a) und Verglasung (Richter et al., 1996b). – Türzarge und Türblatt (Werner et al., 1997). – Solarkollektor (Frischknecht et al., 1996). – Erdsonde für Wärmepumpe (Frischknecht et al., 1996). |

10.1.3 Gebäudekennwerte, für Standardlösungen

Die Energiebezugsfläche kann aus der Nettowohnfläche mit den in Tabelle 10.2 dargestellten Faktoren umgerechnet werden. Die Nettowohnfläche ist hier definiert als Bodenfläche, welche mit den internen Dimensionen des Gebäudes berechnet wurde. Sie bezieht sich auf die beheizte Fläche und schliesst die Kellerflächen oder auch die Querschnitte der Wohnungstrennwände aus.

Tabelle 10.2 Vergleich Nettowohnfläche und Energiebezugsflächen nach SIA

| Klima, Strategie, Gebäudetyp | Nettowohnfläche m ² | Energiebezugsfläche m ² |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Gemässiges Klima, Referenzgebäude, Gebäudetyp A | 720 | 814 |
| Gemässiges Klima, Strategie 1, Gebäudetyp A | 720 | 832 |
| Gemässiges Klima, Strategie 1, Gebäudetyp B | 720 | 836 |
| Gemässiges Klima, Strategie 1, Gebäudetyp C | 720 | 815 |
| Gemässiges Klima, Strategie 2, Gebäudetyp A | 720 | 821 |
| Gemässiges Klima, Strategie 2, Gebäudetyp B | 720 | 826 |
| Gemässiges Klima, Strategie 2, Gebäudetyp C | 720 | 803 |

Strategie 1: erhöhter Wärmeschutz; Strategie 2: aktive Solarnutzung

Gebäudetyp A: Massiv, EPS-Kompaktwärmedämmung; Gebäudetyp B: Massiv, Mineralwollendämmung hinterlüftet; Gebäudetyp C: Hybridbau, Holzständerkonstruktion mit Zellulosedämmstoff

Tabelle 10.3 Herstellung Bauteile Gebäudevarianten Standardlösungen

| Bauelement | Material | Menge | Gebäudevariante (Strategie / Konstruktionstyp) | | | | | | |
|--|--|----------------|--|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 1A | 1B | 1C | 2A | 2B | 2C | R |
| Fundament | Beton, nicht armiert | kg | 4.84E+4 | 4.84E+4 | 4.84E+4 | 4.84E+4 | 4.84E+4 | 4.84E+4 | 4.84E+4 |
| Böden | Beton, 3 Gew.-% Stahl armiert, Boden | kg | 3.37E+5 | 3.37E+5 | 3.36E+5 | 3.37E+5 | 3.37E+5 | 3.36E+5 | 3.42E+5 |
| | Bitumendichtungsbahn | kg | 1.26E+3 | 1.26E+3 | 1.25E+3 | 1.26E+3 | 1.26E+3 | 1.25E+3 | 1.26E+3 |
| | Schaumglas | kg | 4.59E+3 | | | 3.67E+3 | | | 3.67E+3 |
| | XPS, mittlerer Dichte | kg | | | 1.25E+3 | | | 1.25E+3 | |
| | Mineralwolle, Tritschalldämmung | kg | | 8.78E+3 | 1.44E+3 | | 7.63E+3 | | |
| | EPS, Tritschalldämmung | kg | 2.16E+2 | | | 2.16E+2 | | | 2.16E+2 |
| | Polyethylen, Dichtungsbahn | kg | 1.44E+2 | 1.44E+2 | 1.44E+2 | 1.44E+2 | 1.44E+2 | 1.44E+2 | 1.44E+2 |
| | Unterlagsboden, Zement | kg | 1.27E+5 | 1.27E+5 | 1.27E+5 | 1.27E+5 | 1.27E+5 | 9.50E+4 | 9.50E+4 |
| | Holz, Parkett | kg | 4.32E+3 | 4.32E+3 | 4.32E+3 | 4.32E+3 | 4.32E+3 | 4.32E+3 | 4.32E+3 |
| | Innenputz | kg | 5.04E+3 | 5.04E+3 | 5.04E+3 | 5.04E+3 | 5.04E+3 | 5.04E+3 | 5.04E+3 |
| Dach | Dachziegel, Zement | kg | 2.01E+4 | 2.01E+4 | 2.00E+4 | 2.01E+4 | 2.01E+4 | 2.00E+4 | 2.01E+4 |
| | Kantholz | kg | 7.40E+3 | 9.75E+3 | 1.17E+4 | 7.40E+3 | 7.69E+3 | 9.01E+3 | 7.40E+3 |
| | PP-PET vlies diffusionsoffen | kg | 6.12E+1 | 6.12E+1 | 6.08E+1 | 6.12E+1 | 6.12E+1 | 6.08E+1 | 6.12E+1 |
| | Hardfaserplatte | kg | | | 5.13E+3 | | | 5.13E+3 | |
| | EPS, hohe Dichte | kg | 2.07E+3 | | | 1.61E+3 | | | 1.38E+3 |
| | Mineralwolle, niedrige Dichte | kg | | 2.54E+3 | | | 1.95E+3 | | |
| | Isofloc | kg | | | 6.20E+3 | | | 4.65E+3 | |
| | Polyethylen, Dichtungsbahn | kg | 7.65E+1 | 7.65E+1 | 7.60E+1 | 7.65E+1 | 7.65E+1 | 7.60E+1 | 7.65E+1 |
| | Spanplatte | kg | 4.97E+3 | 3.73E+3 | 3.71E+3 | 4.97E+3 | 3.73E+3 | 3.71E+3 | 4.97E+3 |
| | Gipsplatte | kg | | 4.97E+3 | 4.94E+3 | | 4.97E+3 | 4.94E+3 | |
| Aussenwände | Holz lasiert für Fassade | kg | | 5.41E+3 | 5.46E+3 | | 4.88E+3 | 4.89E+3 | |
| | Kantholz | kg | | 2.46E+3 | 9.36E+3 | | 1.60E+3 | 6.16E+3 | |
| | PP-PET vlies diffusionsoffen | kg | | 7.21E+1 | 7.28E+1 | | 6.51E+1 | 6.52E+1 | |
| | Aussenputz | kg | 1.64E+4 | | | 1.49E+4 | | | 1.48E+4 |
| | Weichfaserplatte | kg | | | 1.71E+3 | | | 1.53E+3 | |
| | Backsteinmauerwerk | kg | 9.59E+4 | | | 8.71E+4 | | | 8.63E+4 |
| | Kalksteinmauerwerk | kg | | 1.42E+5 | | | 1.28E+5 | | |
| | Spanplatte | kg | | | 4.44E+3 | | | 3.98E+3 | |
| | Gipsplatte | kg | 5.94E+3 | 5.86E+3 | 5.92E+3 | 5.39E+3 | 5.29E+3 | 5.30E+3 | 5.34E+3 |
| | EPS, mittlere Dichte | kg | 1.44E+3 | | | 8.81E+2 | | | 4.93E+2 |
| Wohnungs-trennwände | Mineralwolle, mittlere Dichte | kg | | 4.04E+3 | | | 2.46E+3 | | |
| | Isofloc | kg | | | 5.11E+3 | | | 3.31E+3 | |
| | Gipsplatte | kg | 7.80E+3 | 7.80E+3 | 7.80E+3 | 7.80E+3 | 7.80E+3 | 7.80E+3 | 7.80E+3 |
| | Kalksteinmauerwerk | kg | | 1.89E+5 | | | 1.89E+5 | | |
| | Backsteinmauerwerk | kg | 1.26E+5 | | | 1.26E+5 | | | 1.26E+5 |
| | Spanplatte | kg | | | 5.85E+3 | | | 5.85E+3 | |
| | Kantholz | kg | | | 5.40E+3 | | | 5.40E+3 | |
| | Brettschichtholz | kg | | | 1.35E+4 | | | 1.35E+4 | |
| | Mineralwolle, niedrige Dichte | kg | | | 1.53E+3 | | | 1.53E+3 | |
| | Mineralwolle, mittlere Dichte | kg | 5.40E+2 | 5.40E+2 | 5.40E+2 | 5.40E+2 | 5.40E+2 | 5.40E+2 | 5.40E+2 |
| Fenster | Doppelverglasung, 2-WS, Argon | m ² | 5.04E+1 | 5.04E+1 | 5.04E+1 | 7.56E+1 | 7.56E+1 | 7.56E+1 | |
| | Doppelverglasung | m ² | | | | | | | 7.56E+1 |
| | Fensterrahmen, Holz | m ² | 2.16E+1 | 2.16E+1 | 2.16E+1 | 3.24E+1 | 3.24E+1 | 3.24E+1 | 3.24E+1 |
| | Sonnenstoren, Metall | m ² | 5.04E+1 | 5.04E+1 | 5.04E+1 | 7.56E+1 | 7.56E+1 | 7.56E+1 | 7.56E+1 |
| | Eingangstüre, mit Dämmung | m ² | 1.20E+1 | 1.20E+1 | 1.20E+1 | 1.20E+1 | 1.20E+1 | 1.20E+1 | |
| Türen | Eingangstüre, ohne Dämmung | m ² | | | | | | | 1.20E+1 |
| | | | | | | | | | |
| Lüftungsanlage | Lüftungsgerät, 120 m ³ /h | kg | 1.92E+2 | 1.92E+2 | 1.92E+2 | 1.92E+2 | 1.92E+2 | 1.92E+2 | |
| | weitere Lüftungskomponenten | kg | 1.02E+2 | 1.02E+2 | 1.02E+2 | 1.02E+2 | 1.02E+2 | 1.02E+2 | |
| | Filtermatte, Polyester | kg | 1.85E+0 | 1.85E+0 | 1.85E+0 | 1.85E+0 | 1.85E+0 | 1.85E+0 | |
| | Spirorohr, verzinkt | kg | 1.12E+2 | 1.12E+2 | 1.12E+2 | 1.12E+2 | 1.12E+2 | 1.12E+2 | |
| | Dämmung 30 mm, für Luftleitungen | kg | 8.41E+1 | 8.41E+1 | 8.41E+1 | 8.41E+1 | 8.41E+1 | 8.41E+1 | |
| | PE Rohr, Luftverteilung | kg | 1.45E+2 | 1.45E+2 | 1.45E+2 | 1.45E+2 | 1.45E+2 | 1.45E+2 | |
| | Rohrschalldämpfer, DN 125 | kg | 1.18E+2 | 1.18E+2 | 1.18E+2 | 1.18E+2 | 1.18E+2 | 1.18E+2 | |
| | Zu- / Abluftventil, DN 125 | kg | 4.37E+1 | 4.37E+1 | 4.37E+1 | 4.37E+1 | 4.37E+1 | 4.37E+1 | |
| | PE Rohr, Erdregister | kg | 5.97E+2 | 5.97E+2 | 5.97E+2 | | | | |
| | Erdwärmetauscher, DN 160, Verlegung | m | 2.40E+2 | 2.40E+2 | 2.40E+2 | | | | |
| Heizanlage, Warmwasser-verteilung | Kamin, Heizung, 10 kW | kg | 1.36E+2 | 1.36E+2 | 1.36E+2 | 1.58E+2 | 1.58E+2 | 1.58E+2 | 1.36E+2 |
| | Feuerung, 10 kW | kg | 3.90E+2 | 3.90E+2 | 3.90E+2 | 4.55E+2 | 4.55E+2 | 4.55E+2 | 3.90E+2 |
| | Radiator, Flachheizkörper | kg | | | | | | | 2.30E+2 |
| | Baustahlmatte | kg | 6.48E+2 | 6.48E+2 | 6.48E+2 | 6.48E+2 | 6.48E+2 | 6.48E+2 | |
| | Bronze, Cu Sn 7 Zn Pb | kg | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 |
| | Plattenwärmetauscher, für WW | kg | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | 3.00E+1 | |
| | WW-Rohr, Stahl rostfrei / PE | kg | 4.30E+1 | 4.30E+1 | 4.30E+1 | 4.30E+1 | 4.30E+1 | 4.30E+1 | 1.07E+2 |
| | Heizungsrohr, PE / Aluminium | kg | 2.34E+2 | 2.34E+2 | 2.34E+2 | 2.34E+2 | 2.34E+2 | 2.34E+2 | |
| | Armaflex | kg | 4.50E+1 | 4.50E+1 | 4.50E+1 | 4.50E+1 | 4.50E+1 | 4.50E+1 | 8.36E+1 |
| | Umwälzpumpe, 40 W | kg | 2.96E+1 | 2.96E+1 | 2.96E+1 | 1.73E+1 | 1.73E+1 | 1.73E+1 | 2.96E+1 |
| Solaranlage | Speicher, 300 l | kg | 7.92E+2 | 7.92E+2 | 7.92E+2 | 7.92E+2 | 7.92E+2 | 7.92E+2 | 7.92E+2 |
| | Flachkollektor Kupferabsorber | m ² | 2.40E+1 | 2.40E+1 | 2.40E+1 | 7.20E+1 | 7.20E+1 | 7.20E+1 | |
| | Zusatzkomponenten, Solaranlage 15 m ² | kg | 2.00E+0 | 2.00E+0 | 2.00E+0 | 5.00E+0 | 5.00E+0 | 5.00E+0 | |
| | Heizungsrohr, Kupfer | kg | 6.92E+1 | 6.92E+1 | 6.92E+1 | 6.92E+1 | 6.92E+1 | 6.92E+1 | |
| | Armaflex | kg | 2.88E+1 | 2.88E+1 | 2.88E+1 | 2.88E+1 | 2.88E+1 | 2.88E+1 | |
| | Zusatzspeicher, 1125 l | kg | | | | 1.42E+3 | 1.42E+3 | | |
| Umwälzpumpe, 40 W | kg | 1.48E+1 | 1.48E+1 | 1.48E+1 | 1.48E+1 | 1.48E+1 | 1.48E+1 | | |

Strategie: 1 = Wärmeschutz, 2 = Solarertrag; A, B, C = Konstruktionsvarianten; R = Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)

10.2. Beispielhäuser, Herstellung Elemente

Tabelle 10.4 Herstellung Bauteile „Sunny Woods“

| Elementgruppe | D2 | E3 | E0 | E1 | E4 | E5 | E6 | M1 | T5 | I3 | I2 | I5 | I5a |
|--|---------------------------|----------------|-----------------------------|----------|-----------------------|----------------|------------|------------|-------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Beschreibung | Fundament, Bodenplatte | Außenwände, UG | Decken, Treppen, Balkone | Dach | Außenwände, EG, OG | Fenster, Türen | Innenwände | Innentüren | Hartflächen | Lüftungs-system | Heizungs-system | Sonnen-kollektoren | Photovoltaik |
| Bauteilmenge | m2 | 435 | 312 | 1625 | 284 | 1212 | 483 | 1467 | 119 | 29 | | | |
| Kalksteinmauerwerk | kg | | | | | | 1.25E+05 | | | | | | |
| Zement Unterlagsboden | kg | | | 1.79E+05 | | | | | | | | | |
| Beton PC 300 (armiert) | kg | 2.36E+05 | 1.69E+05 | 5.68E+04 | | 5.95E+04 | | | | 1.12E+04 | | | |
| Schieferplatte klein | kg | | | 3.13E+04 | | | | | | | | | |
| Gipskartonplatte | kg | | | 1.85E+04 | | 1.74E+04 | | 1.80E+04 | | | | | |
| Duripanel | kg | | | | | 7.96E+02 | | | | | | | |
| Mineralwolle, niedrige Dichte | kg | | | 1.09E+03 | | 1.36E+02 | | 4.76E+02 | | | | | |
| Mineralwolle, hohe Dichte | kg | | | | | 1.76E+04 | | 5.52E+03 | | | | | |
| Mineralwolle, Trittschall | kg | | | 4.22E+03 | 6.26E+03 | | | 6.58E+02 | | | | | |
| Glaswolle, niedrige Dichte | kg | | | 5.53E+01 | | | | | | | | | |
| Celluloseflocken (Isofloc) | kg | | | 1.34E+04 | 2.78E+03 | | | | | | | | |
| Vakuumdämmung | kg | | | 3.58E+02 | | | | | | | | | |
| Armaflex | kg | | | | | | | | | | 8.45E+01 | 2.65E+01 | |
| Holzbaustoff massiv | kg | | | 4.20E+03 | | 1.03E+04 | | 2.36E+03 | | | | | |
| Brettschichtholz | kg | | | 6.84E+04 | 1.31E+04 | 1.90E+04 | | 3.50E+04 | | | | | |
| Holzfaserverplatte | kg | | | | | | | 6.31E+03 | | | | | |
| Holzeingangstüre, gedämmt | m2 | | | | | 3.36E+01 | | | | | | | |
| Holzinnentüre, ungedämmt | m2 | | | | | | | 1.19E+02 | | | | | |
| Armierungsstahl | kg | 1.20E+04 | 8.62E+03 | 2.90E+03 | | 3.03E+03 | | | 5.73E+02 | | | | |
| Stahlblech niedriglegiert | kg | | | | | 2.18E+02 | | | | | | 7.32E+01 | |
| Stahlblech hochlegiert | kg | | | | | | | | | 1.20E+01 | | 1.20E+01 | |
| Stahlblech verzinkt | kg | | | | | | | | | 1.90E+02 | | | |
| Kupfer | kg | | | | | | | | | | | 6.00E+00 | |
| Aluminiumprofil, 35% Recycling | kg | | | 2.15E+03 | | | | | | | | | |
| Spirorohr, verzinkt | kg | | | | | | | | | 1.55E+03 | | | |
| Heizungsrohr, Stahl, schwarz | kg | | | | | | | | | | 6.64E+02 | 3.72E+02 | |
| Heizungsrohr, Kupfer | kg | | | | | | | | | 5.16E+01 | | 6.04E+01 | |
| Stahl unlegiert | kg | | | | | | | | | | | -1.62E+02 | |
| PE-Folie | kg | | | 1.30E+03 | 2.56E+02 | 5.76E+02 | | | | | | | |
| Polypropylen | kg | | | | | | | | | | | 4.20E-01 | |
| Gummi EPDM | kg | | | | | 5.28E+00 | | | | | | 9.00E+00 | |
| Bitumen ab Raffinerie CH (Gussasphalt) | kg | | | 5.04E+02 | | | | | | | | | |
| PP-Folie | kg | | | 1.59E+02 | | | | | | | | | |
| PE Rohr | kg | | | | | | | | | 7.00E+02 | | | |
| Elektrizität, Mittelspannung, CH + Imp. | TJ | | | | | | | | | | | 2.40E-04 | |
| Ölfeuerung, LowNOx, kond., Betrieb | TJ | | | | | | | | | | | 3.72E-04 | |
| Drahtspiegelglas (pro m2 Fensterfläche) | kg | | | | | 4.87E-01 | | | | | | | |
| Dreifachverglasung, 3-WS, Krypton | m2 | | | | | | 3.48E+02 | | | | | | |
| Fensterrahmen, 3-fach, Holz | m2 | | | | | | 1.01E+02 | | | | | | |
| Fassadenkonstruktion aufgesetzt (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | 6.00E+00 |
| Elektroinstallationen (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | 6.00E+00 |
| Wechselrichter (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | 6.00E+00 |
| Infra Heizung (Standardanlagenteile EFH) | Stk | | | | | | | | | | | 6.00E+00 | |
| Vakuumröhrenkollektor | m2 | | | | | | | | | | | 3.60E+01 | |

Tabelle 10.5 Herstellung Bauteile „Wegere“

| Elementgruppe | | D2 | E3 | E0 | E1 | E4 | E5 | E6 | M1 | T5 | I3 | I2 | I4 |
|------------------------------------|----|---------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|----------------|------------|------------|-------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| Beschreibung | | Fundament, Bodenplatte | Aussenwände, UG | Decken, Treppen, Balkone | Dach | Aussenwände, EG, OG | Fenster, Türen | Innenwände | Innentüren | Hartflächen | Lüftungs-system | Heizungs-system | Warmwasser-system |
| Bauteilmengen | | 463 | 310 | 1333 | 560 | 495 | 134 | 293 | 613 | 33 | | | |
| Kalksteinmauerwerk | kg | | | | | | | 2.35E+04 | | | | | |
| Anhydrit Unterlagsboden | kg | | | 6.45E+04 | | | | | | | | | |
| Zement Unterlagsboden | kg | 7.13E+04 | | | | | | | | | | | |
| Beton PC 300 (armiert) | kg | 2.01E+05 | 1.68E+05 | 4.67E+04 | | | | | | | | | |
| Beton PC 150 (armiert) | kg | 5.09E+04 | | | | | | | | | | | |
| Gipskartonplatte | kg | | | 5.70E+03 | | 1.17E+04 | | 1.97E+04 | | | | | |
| Kalkputz | kg | | | 2.96E+03 | | | | | | | | | |
| Dachziegel, Zement | kg | | | | 7.86E+03 | | | | | | | | |
| Mineralwolle, niedrige Dichte | kg | | | 1.03E+04 | | 4.80E+03 | | 1.14E+03 | | | | | |
| Mineralwolle, hohe Dichte | kg | | | | | | | 7.00E+02 | | | | | |
| Armaflex | kg | | | | | | | | | | | 1.47E+01 | |
| Holzbaustoff massiv | kg | | | 2.68E+04 | 1.48E+04 | 2.64E+04 | | 1.98E+03 | 1.39E+04 | 5.94E+02 | | | |
| Brettschichtholz | kg | | | 1.31E+04 | | | | | | | | | |
| Hartfaserplatte | kg | | | | 2.41E+03 | | | | | | | | |
| Spanplatte | kg | | | 1.99E+04 | | 8.18E+03 | | | | | | | |
| Holzfasersplatte | kg | | | | | | | | 3.04E+03 | | | | |
| Holzeingangstüre, gedämmt | m2 | | | | | | 9.90E+00 | | 8.24E+00 | | | | |
| Holzinnentüre, ungedämmt | m2 | | | | | | 9.25E+00 | | 7.06E+01 | | | | |
| Korkplatte, für Dämmung | kg | | | 3.87E+02 | | | | | | | | | |
| Holzverkleidung, lasiert | kg | | | | | 8.92E+03 | | | | | | | |
| Armierungsstahl | kg | 1.02E+04 | 9.80E+03 | 2.72E+03 | | | | | | | | | |
| Stahlblech hochlegiert | kg | | | | | | | | | | 1.35E+02 | | 3.50E+02 |
| Stahlblech verzinkt | kg | | | | | | | | | | 8.10E+01 | | |
| Aluminiumprofil, 35% Recycling | kg | | | | | | | | | | 5.00E+01 | | |
| Spirorohr, verzinkt | kg | | | | | | | | | | 9.65E+02 | | |
| PE-Folie | kg | | | 1.60E+03 | | | | 2.02E+02 | | | | | |
| PET | kg | | | | | | | | | | 4.70E+01 | | |
| PE Rohr | kg | | | | | | | | | | 3.75E+02 | | |
| Elektrizität, Mittelspannung, UCTE | TJ | | | | | | | | | | | | 5.00E-05 |
| Dreifachverglasung, 3-WS, Krypton | m2 | | | | | | 9.18E+01 | | | | | | |
| Fensterrahmen, 3-fach, Holz-Alu | m2 | | | | | | 2.30E+01 | | | | | | |

Tabelle 10.6 Herstellung Bauteile „im Wechsel“

| Elementgruppe | | D2 | E3 | E0 | E1 | E4 | E5 | E6 | M1 | T5 | I3 | I2 | I5 | I5a |
|---|-----|---------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|----------------|------------|------------|------------|-----------------|-----------------|--------------------|--------------|
| Beschreibung | | Fundament, Bodenplatte | Aussenwände, UG | Decken, Treppen, Balkone | Dach | Aussenwände, EG, OG | Fenster, Türen | Innenwände | Innentüren | Herflächen | Lüftungs-system | Heizungs-system | Sonnen-kollektoren | Photovoltaik |
| Bauteilmengen | | 340 | 206 | 1626 | 505 | 749 | 376 | 471 | 812 | 131 | | | | |
| Kalksteinmauerwerk | kg | | | | | | | 7.30E+04 | | | | | | |
| Beton PC 300 (armiert) | kg | 2.21E+05 | 1.20E+05 | 3.71E+05 | 7.81E+04 | 5.10E+04 | | 1.95E+04 | | 6.47E+03 | | | | |
| Beton PC 150 (armiert) | kg | | | 2.36E+05 | | | | | | 5.81E+03 | | | | |
| Kies (Fluss) | kg | | | | 1.82E+04 | | | | | | | | | |
| Gipskartonplatte | kg | | | | 4.52E+03 | 3.12E+04 | | 1.77E+04 | 1.76E+04 | | | | | |
| Duripanel | kg | | | | | 3.31E+03 | | | | | | | | |
| Beton PC 300, nicht armiert | kg | | | | | | | | | | | | | 2.59E+03 |
| Beton, 3 Gew.-% Stahl armiert | kg | | | | | | | | 8.69E+02 | | | | | |
| Mineralfolie, niedrige Dichte | kg | | | | 2.89E+03 | 5.15E+03 | | 2.04E+03 | | | | | | |
| Mineralfolie, hohe Dichte | kg | | | | 1.14E+03 | | | | | | | | | |
| Mineralfolie, Dämmung Boden | kg | | | 5.38E+03 | 4.84E+03 | | | | | | | | | |
| Glaswolle, mittlere Dichte | kg | | | | | | | | | | | | | -5.17E+02 |
| Celluloseflocken (Isofloc) | kg | | | | | | | | 2.15E+03 | | | | | |
| Armaflex | kg | | | | | | | | | | | 8.13E+01 | 7.35E+01 | |
| Holzbaustoff massiv | kg | | | 5.40E+03 | 8.24E+03 | 1.14E+04 | | 3.39E+03 | 3.25E+03 | 1.60E+03 | | | | |
| Brettschichtholz | kg | | | 6.95E+04 | 2.03E+02 | | | | | | | | | |
| Weichfaserplatte | kg | | | | 3.35E+03 | | | | | | | | | |
| Holzeingangstüre, gedämmt | m2 | | | | | | 2.10E+01 | | | | | | | |
| Holzzinnentüre, ungedämmt | m2 | | | | | | | | 1.32E+02 | | | | | |
| Korkplatte, für Dämmung | kg | | | 1.05E+04 | | | | | | | | | | |
| Holzverkleidung, lasiert | kg | | | | | 3.82E+03 | | | | | | | | |
| Aluminium 0% Rec. | kg | | | | | | | | | | | | | 6.80E+01 |
| Armierungsstahl | kg | 1.13E+04 | 5.79E+04 | 1.09E+04 | 4.02E+03 | 2.60E+03 | | 9.97E+02 | | 3.30E+02 | | | | |
| Stahlblech hochlegiert | kg | | | 1.52E+03 | | | | | | | | | | -4.49E+02 |
| Stahlblech, niedrigleg. feuerverzinkt | kg | | | 9.23E+02 | | | | | | | | | | |
| Stahlblech verzinkt | kg | | | | | | | | | | 1.13E+02 | | | |
| Aluminiumprofil, 35% Recycling | kg | | | | | | | | | | 1.00E+02 | | | |
| Spirorohr, verzinkt | kg | | | | | | | | | | 6.21E+02 | | | |
| Heizungsrohr, Stahl, schwarz | kg | | | | | | | | | | | 3.32E+02 | | |
| Heizungsrohr, Kupfer | kg | | | | | | | | | | | | -3.52E+02 | |
| Stahl unlegiert | kg | | | | | | | | | | | | | -6.84E+03 |
| PE-Folie | kg | | | | 2.27E+02 | | | | | | | | | |
| Polypropylen | kg | | | | 3.28E+02 | | | | | | | | | |
| Gummi EPDM | kg | | | | 1.51E+02 | | | | | | | | | |
| PE-Vlies | kg | | | | 4.22E+02 | | | | | | | | | |
| PP-Folie | kg | | | | 6.09E+02 | 1.15E+03 | | | | | | | | |
| Bitumendichtungsbahn | kg | | | | 4.40E+01 | | | | | | | | | |
| PET | kg | | | | | | | | | | -8.00E+01 | | | |
| PE Rohr | kg | | | | | | | | | | 4.65E+02 | | | |
| Elektrizität, Mittelspannung, CH + Imp. | TJ | | | | | | | | | | | | | 2.72E-04 |
| Wintergartenfenster (Holz Alu Rahmen) | m2 | | | | | | 1.72E+01 | | | | | | | |
| Wintergartenfenster (2 fach-V., Kr) | m2 | | | | | | 9.76E+01 | | | | | | | |
| Holzfenster (Rahmen) | m2 | | | | | | 7.19E+01 | | | | | | | |
| 2-fach Verglasung mit Krypton | m2 | | | | | | 1.68E+02 | | | | | | | |
| Fassadenkonstruktion aufgesetzt (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | | 7.20E-01 |
| Elektroinstallationen (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | | 1.44E+00 |
| Wechselrichter (PV) | Stk | | | | | | | | | | | | | 1.00E+00 |
| PV-Panel monokristallin, Silizium | kWp | | | | | | | | | | | | | 1.44E+00 |
| Infra Heizung (Standardanl.teile EFH) | Stk | | | | | | | | | | | | | 6.80E+00 |
| Vakuümrohrenkollektor | m2 | | | | | | | | | | | | | 4.05E+01 |

Tabelle 10.7 Herstellung Bauteile „Chräbsbach“

| Elementgruppe | | D2 | E3 | E0 | E1 | E4 | E5 | E6 | M1 | I3 | I2 | I5 |
|--|-----|---------------------------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------|----------------|------------|------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| Beschreibung | | Fundament, Bodenplatte | Aussenwände, UG | Decken, Treppen, Balkone | Dach | Aussenwände, EG, OG | Fenster, Türen | Innenwände | Innentüren | Lüftungs- system | Heizungs- system | Sonnenkollektoren |
| Bauteilmengen | | 72 | 104 | 124 | 65 | 150 | 39 | 100 | 13 | | | |
| Kalksteinmauerwerk | kg | | | | | 3.29E+04 | | 2.16E+04 | | | | |
| Zement Unterlagsboden | kg | | | 7.94E+03 | | | | | | | | |
| Beton PC 300 (armiert) | kg | | 9.12E+03 | 6.36E+04 | 2.47E+04 | | | | | | | |
| Beton PC 150 (armiert) | kg | 7.87E+03 | | | | | | | | | | |
| Zement | kg | 3.86E+03 | | | | | | | | | | |
| Kies (Fluss) | kg | | 1.31E+04 | | | | | | | | | |
| Innenputz mineralisch | kg | | 7.79E+02 | 1.58E+03 | 7.98E+02 | 1.76E+03 | | | | | | |
| Duripanel | kg | | | | | 1.59E+03 | | | | | | |
| Felcobeton | kg | 1.82E+04 | 2.35E+04 | 1.98E+03 | | | | | | | | |
| Celluloseflocken (Isofloc) | kg | | 2.57E+02 | | 8.82E+02 | 2.12E+03 | | | | | | |
| Holzbaustoff massiv | kg | | 1.87E+02 | 1.10E+03 | 1.57E+03 | 1.40E+03 | | | | | | |
| Spanplatte | kg | | | | | 2.81E+02 | | | | | | 1.63E+02 |
| Holzeingangstüre, gedämmt | m2 | | | | | | 1.89E+00 | | | | | |
| Holzinnentüre, ungedämmt | m2 | | | | | | | | 1.32E+01 | | | |
| Korkplatte, für Dämmung | kg | 1.72E+02 | | | | | | | | | | |
| Armierungsstahl | kg | | 4.65E+02 | 3.24E+03 | 1.26E+03 | | | | | | | |
| Stahlblech hochlegiert | kg | | | | | | | | | | 1.00E-01 | 1.25E+02 |
| Stahlblech verzinkt | kg | | | | | | | | | 1.19E+01 | | |
| Aluminiumprofil, 35% Recycling | kg | | | | | | | | | 1.00E+01 | | |
| Spirorohr, verzinkt | kg | | | | | | | | | 1.42E+02 | | |
| Stahl unlegiert | kg | | | | | | | | | | 9.00E+00 | 8.50E+01 |
| PE-Folie | kg | | | | | 1.50E+02 | | | | | | |
| Polypropylen | kg | | | | 3.87E+01 | | | | | | | |
| Gummi EPDM | kg | | | | | | | | | | 1.50E+00 | |
| Bitumendichtungsbahn | kg | | | | 2.67E+02 | | | | | | | |
| PET | kg | | | | | | | | | -9.40E+00 | | |
| PE Rohr | kg | | | | | | | | | 3.76E+01 | | |
| Kleber Haftgrund | kg | | | 4.98E+01 | | | | | | | | |
| Holzmetallfenster (Rahmen) | m2 | | | | | | 1.12E+01 | | | | | |
| 2-fach Verglasung mit Krypton | m2 | | | | | | 2.61E+01 | | | | | |
| Infra Heizung (Standardanlagenteile EFH) | Stk | | | | | | | | | | | 7.00E-01 |
| Vakuumröhrenkollektor | m2 | | | | | | | | | | | 4.00E+00 |

10.3. Beispielhäuser, verwendeter Betriebsenergiebedarf

In den folgenden Tabellen sind die für die Berechnung der Betriebsphase verwendeten Energiebedarfe der vier Beispielhäuser dargestellt. Dabei wurde unterschieden zwischen dem Energiebedarf gemäss Auslegung und den effektiv gemessenen Werten der Gebäude. Die Messwerte fallen meist höher aus, da die Raumtemperatur meist höher (etwa 22-23 °C) ist als für die Auslegungsberechnung angenommen (20 °C). Es wurde auf eine Heizgradtagkorrektur der Messwerte verzichtet, da dies bei diesen stark von der Sonneneinstrahlung abhängigen Gebäuden (Solarkollektoren, passive Gewinne) keine Verbesserung der Aussagekraft ergeben würde.

„Sunny Woods“

Die Messperiode für das Haus „Sunny Woods“ weist etwa 6% weniger Heizgradtage auf als der langjährige Durchschnitt für Zürich (3435 HGT). Die Winterperiode war jedoch kalt und schneereich (Ertrag Photovoltaik gering) dafür wies das Messjahr eine warme, sonnenreiche Sommerperiode auf. Die verwendeten Daten sind in Tabelle 10.8 ersichtlich. Diese Zahlen beziehen sich auf das gesamte Gebäude mit 6 Wohnungen.

Tabelle 10.8 Verwendete Energiebedarfsdaten, Haus „Sunny Woods“

| Energieträger | | Planungswert | Messwert |
|---------------------------|-------|--------------|----------|
| Strombedarf | | | |
| Strom für Lüftung | kWh/a | 3'180 | 4'720 |
| Strom für Pumpen | kWh/a | 2'400 | 3'560 |
| Strom für Heizung, WP | kWh/a | 4'320 | 20'270 |
| Strom für WW, WP | kWh/a | 5'100 | 5'100 |
| Haushaltsstrom | kWh/a | 30'800 | 34'000 |
| Stromproduktion | | | |
| Strom von PV-Anlage | kWh/a | 15'000 | 13'800 |
| Strombezug ab Netz | | | |
| ohne Haushaltsstrom | kWh/a | 0 | 19'850 |
| mit Haushaltsstrom | kWh/a | 30'800 | 53'850 |

Haus „im Wechsel“

Die Messperiode für das Mehrfamilienhaus „im Wechsel“ zeigt eine gute Übereinstimmung mit dem Design Reference Year (DRY) für die Station Luzern. Dies sowohl in Bezug auf die Temperaturen wie auch auf die Solarstrahlung. Die verwendeten Daten sind in Tabelle 10.9 ersichtlich. Diese Zahlen beziehen sich auf das gesamte Gebäude mit 8 Wohnungen.

Tabelle 10.9 Verwendete Energiebedarfsdaten, Haus „im Wechsel“

| Energieträger | | Planungswert | Messwert |
|----------------------------|-------|--------------|----------|
| Strombedarf | | | |
| Strom für Lüftung | kWh/a | 2'600 | 4'800 |
| Strom für Pumpen | kWh/a | 500 | 800 |
| Haushaltsstrom | kWh/a | 15'700 | 26'700 |
| Stromproduktion | | | |
| Strom von PV-Anlage | kWh/a | 1'200 | 1'450 |
| Strombezug ab Netz | | | |
| ohne Haushaltsstrom | kWh/a | 1'900 | 4'150 |
| mit Haushaltsstrom | kWh/a | 17'600 | 30'850 |
| Holzenergie | | | |
| Pellets Heizung + WW | kWh/a | 26'500 | 37'000 |
| davon Anteil für Heizwärme | % | 40% | 47% |

Haus „Wegere“

Die Messperiode für die Passivhäuser „Wegere“ weisen etwa 5% mehr Heizgradtage auf als der langjährige Durchschnitt für Luzern (3254 HGT). Weitere Vergleichsangaben zum Klima waren nicht verfügbar. Die verwendeten Daten sind in Tabelle 10.10 ersichtlich. Diese Zahlen beziehen sich auf eine Hausreihe mit 5 Wohnhäusern.

Tabelle 10.10 Verwendete Energiebedarfsdaten, Passivhäuser „Wegere“

| Energieträger | | Planungswert | Messwert |
|---------------------------|-------|-----------------------|----------|
| Strombedarf | | | |
| Strom für Lüftung | kWh/a | 2'513 | 2'513 |
| Strom für Pumpen | kWh/a | nicht separat erfasst | |
| Strom für Heizung, WP | kWh/a | 3'678 | 6'130 |
| Strom für WW, WP | kWh/a | 3'678 | 3'678 |
| Haushaltsstrom | kWh/a | 10'911 | 13'486 |
| Strombezug ab Netz | | | |
| ohne Haushaltsstrom | kWh/a | 9'869 | 12'321 |
| mit Haushaltsstrom | kWh/a | 20'780 | 25'807 |

Haus „Chräbsbach“

Die für das Passivhaus „im Chräbsbach“ verwendeten Energiedaten sind in Tabelle 10.11 ersichtlich.

Tabelle 10.11 Verwendete Energiebedarfsdaten, Passivhaus „im Chräbsbach“

| Energieträger | | Messwert |
|---------------------------|-------|---------------|
| Strombedarf | | |
| Strom für Lüftung | kWh/a | 683 |
| Strom für Heizung | kWh/a | 904 |
| Strom für WW | kWh/a | 225 |
| Haushaltsstrom | | keine Angaben |
| Strombezug ab Netz | | |
| ohne Haushaltsstrom | kWh/a | 1'812 |

10.4. Resultattabellen

10.4.1 Beispielgebäude, „Sunny Woods“

Tabelle 10.12 „Sunny Woods“, Eco-indicator 99 (H/A)

| Gesamtbelastung | Einheit | Berechnungsvariante (mit /ohne PV System; Planwert; Messwert) | | | | Referenz |
|-----------------|---------------|---|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| | | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | |
| Sunny Woods | EI 99 H/A, pt | 8.29E-01 | 9.15E-01 | 8.93E-01 | 9.87E-01 | 2.25E+00 |

| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 3.50E-01 | 3.79E-01 | 3.33E-01 | 3.50E-01 | 2.33E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 3.07E-01 | 3.66E-01 | 2.71E-01 | 3.07E-01 | 1.73E-01 |
| Entsorgung, Herstellung | EI 99 H/A, pt | 1.44E-01 | 1.43E-01 | 1.43E-01 | 1.44E-01 | 1.30E-01 |
| Entsorgung, Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 2.72E-02 | 2.69E-02 | 2.65E-02 | 2.72E-02 | 2.75E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 7.68E-18 | 7.68E-18 | 1.20E-01 | 1.58E-01 | 1.69E+00 |

| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|-----------------------------------|---------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | EI 99 H/A, pt | 1.00E-01 | 1.00E-01 | 1.00E-01 | 1.00E-01 | 8.98E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 2.44E-01 | 2.44E-01 | 2.44E-01 | 2.44E-01 | 2.86E-01 |
| Wände, über Boden | EI 99 H/A, pt | 5.99E-02 | 5.99E-02 | 5.99E-02 | 5.99E-02 | 6.95E-02 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 4.55E-02 | 4.55E-02 | 4.55E-02 | 4.55E-02 | 5.81E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 1.54E-01 | 1.54E-01 | 1.54E-01 | 1.54E-01 | 5.23E-02 |
| Innenwände, Innentüren | EI 99 H/A, pt | 6.54E-02 | 6.54E-02 | 6.54E-02 | 6.54E-02 | 4.83E-02 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 3.44E-02 | 3.44E-02 | 3.44E-02 | 3.44E-02 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 1.84E-02 | 1.84E-02 | 1.84E-02 | 1.84E-02 | 1.75E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.31E-02 |
| Solarkollektoren, PV | EI 99 H/A, pt | 1.07E-01 | 1.94E-01 | 5.21E-02 | 1.07E-01 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | EI 99 H/A, pt | 4.83E-18 | 4.83E-18 | 7.51E-02 | 1.19E-01 | 1.67E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 2.86E-18 | 2.86E-18 | 4.45E-02 | 3.89E-02 | 1.97E-02 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|---------------------------------------|---------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 2.83E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 4.07E-02 | 4.07E-02 | 4.07E-02 | 4.07E-02 | 5.31E-02 |
| übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.57E-01 | 3.57E-01 | 3.57E-01 | 3.57E-01 | 1.87E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | EI 99 H/A, pt | 1.60E-01 | 2.47E-01 | 1.05E-01 | 1.60E-01 | 4.06E-02 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 7.68E-18 | 7.68E-18 | 1.20E-01 | 1.58E-01 | 1.69E+00 |

| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|---------------------------------|---------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| EI 99 H/A, Menschl. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 4.65E-01 | 5.12E-01 | 4.86E-01 | 5.30E-01 | 5.45E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 8.57E-02 | 9.55E-02 | 1.16E-01 | 1.31E-01 | 6.86E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 2.78E-01 | 3.07E-01 | 2.91E-01 | 3.26E-01 | 1.64E+00 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist

„Sunny Woods“ amorph: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet

„Sunny Woods“ polykristallin: Variante mit PV Anlage aus polykristallinem Siliziumzellen.

„Sunny Woods“ k. PV, CH Mix: Variante ohne PV Anlage. Strombezug aus Schweizer Stromnetz.

„Sunny Woods“ amorph: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

Referenz: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.13 „Sunny Woods“, kumulierter Primärenergiebedarf

| Berechnungsvariante (mit /ohne PV System; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|---|--------------------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Sunny Woods | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.51E+02 | 1.92E+02 | 2.51E+02 | 2.99E+02 | 5.61E+02 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.11E+01 | 8.49E+01 | 6.74E+01 | 7.11E+01 | 4.00E+01 |
| Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.22E+01 | 8.98E+01 | 5.44E+01 | 6.22E+01 | 2.71E+01 |
| Entsorgung, Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.55E+01 | 1.55E+01 | 1.55E+01 | 1.55E+01 | 1.71E+01 |
| Entsorgung, Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.10E+00 | 2.10E+00 | 2.09E+00 | 2.10E+00 | 2.35E+00 |
| Betrieb | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.20E-15 | 7.20E-15 | 1.12E+02 | 1.48E+02 | 4.74E+02 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.57E+01 | 1.57E+01 | 1.57E+01 | 1.57E+01 | 1.24E+00 |
| Böden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 3.85E+01 |
| Wände, über Boden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.14E+01 | 1.14E+01 | 1.14E+01 | 1.14E+01 | 1.10E+01 |
| Dach | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.01E+01 | 1.01E+01 | 1.01E+01 | 1.01E+01 | 9.21E+00 |
| Fenster und Türen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.90E+01 | 3.90E+01 | 3.90E+01 | 3.90E+01 | 1.10E+01 |
| Innenwände, Innentüren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.16E+01 | 1.16E+01 | 1.16E+01 | 1.16E+01 | 9.24E+00 |
| Lüftungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.94E+00 | 5.94E+00 | 5.94E+00 | 5.94E+00 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.57E+00 | 3.57E+00 | 3.57E+00 | 3.57E+00 | 2.59E+00 |
| Warmwassersystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.64E+00 |
| Solkollektoren, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.93E+01 | 6.07E+01 | 7.71E+00 | 1.93E+01 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.52E-15 | 4.52E-15 | 7.04E+01 | 1.12E+02 | 4.56E+02 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.68E-15 | 2.68E-15 | 4.17E+01 | 3.65E+01 | 1.84E+01 |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.50E+01 | 3.50E+01 | 3.50E+01 | 3.50E+01 | 3.66E+01 |
| Dämmung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.08E+01 | 1.08E+01 | 1.08E+01 | 1.08E+01 | 1.41E+01 |
| übrige Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.63E+01 | 7.63E+01 | 7.63E+01 | 7.63E+01 | 2.96E+01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.88E+01 | 7.02E+01 | 1.72E+01 | 2.88E+01 | 6.24E+00 |
| Betriebsenergie | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.20E-15 | 7.20E-15 | 1.12E+02 | 1.48E+02 | 4.74E+02 |
| Energieanteile | | | | | | |
| Energieanteile | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 1.51E+02 | 1.92E+02 | 2.51E+02 | 2.99E+02 | 5.61E+02 |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 7.38E+00 | 9.59E+00 | 3.16E+01 | 4.11E+01 | 6.64E+00 |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 7.51E+01 | 7.80E+01 | 7.62E+01 | 7.69E+01 | 2.72E+01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

„Sunny Woods“ amorph: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet

„Sunny Woods“ polykristallin: Variante mit PV Anlage aus polykristallinem Siliziumzellen.

„Sunny Woods“ k. PV, CH Mix: Variante ohne PV Anlage. Strombezug aus Schweizer Stromnetz.

„Sunny Woods“ amorph: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

Referenz: Reihenhaushaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.14 „Sunny Woods“, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

| Berechnungsvariante (mit /ohne PV System; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|---|-------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
| Sunny Woods | UBP 97, kpt | 1.46E+01 | 1.72E+01 | 1.88E+01 | 2.08E+01 | 2.02E+01 |

| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|-----------------------------------|-------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Herstellung | UBP 97, kpt | 4.07E+00 | 4.92E+00 | 3.93E+00 | 4.07E+00 | 2.43E+00 |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 3.76E+00 | 5.45E+00 | 3.46E+00 | 3.76E+00 | 1.71E+00 |
| Entsorgung, Herstellung | UBP 97, kpt | 5.20E+00 | 5.20E+00 | 5.19E+00 | 5.20E+00 | 5.47E+00 |
| Entsorgung, Erneuerung | UBP 97, kpt | 1.59E+00 | 1.60E+00 | 1.58E+00 | 1.59E+00 | 1.41E+00 |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 3.00E-16 | 3.00E-16 | 4.67E+00 | 6.18E+00 | 9.13E+00 |

| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|-----------------------------------|-------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | UBP 97, kpt | 2.00E+00 | 2.00E+00 | 2.00E+00 | 2.00E+00 | 2.45E-01 |
| Böden | UBP 97, kpt | 4.63E+00 | 4.63E+00 | 4.63E+00 | 4.63E+00 | 5.35E+00 |
| Wände, über Boden | UBP 97, kpt | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 1.68E+00 |
| Dach | UBP 97, kpt | 7.74E-01 | 7.74E-01 | 7.74E-01 | 7.74E-01 | 6.61E-01 |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 2.61E+00 | 2.61E+00 | 2.61E+00 | 2.61E+00 | 7.86E-01 |
| Innenwände, Innentüren | UBP 97, kpt | 1.65E+00 | 1.65E+00 | 1.65E+00 | 1.65E+00 | 1.64E+00 |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 3.96E-01 | 3.96E-01 | 3.96E-01 | 3.96E-01 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 2.32E-01 | 2.32E-01 | 2.32E-01 | 2.32E-01 | 2.37E-01 |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.20E-01 |
| Solkollektoren, PV | UBP 97, kpt | 1.16E+00 | 3.71E+00 | 7.05E-01 | 1.16E+00 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | UBP 97, kpt | 1.88E-16 | 1.88E-16 | 2.93E+00 | 4.66E+00 | 8.37E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 1.12E-16 | 1.12E-16 | 1.74E+00 | 1.52E+00 | 7.68E-01 |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|---------------------------------------|-------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 6.02E+00 | 6.02E+00 | 6.02E+00 | 6.02E+00 | 6.46E+00 |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 9.36E-01 | 9.36E-01 | 9.36E-01 | 9.36E-01 | 7.17E-01 |
| Übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 5.87E+00 | 5.87E+00 | 5.87E+00 | 5.87E+00 | 3.19E+00 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | UBP 97, kpt | 1.79E+00 | 4.34E+00 | 1.33E+00 | 1.79E+00 | 6.57E-01 |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 3.00E-16 | 3.00E-16 | 4.67E+00 | 6.18E+00 | 9.13E+00 |

| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | Sunny Woods, Planwert, PV amorph | Sunny Woods, Planwert, PV polykristallin | Sunny Woods, Planwert, ohne PV | Sunny Woods, Messwert, PV amorph | Referenz |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|--|--------------------------------|----------------------------------|----------|
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 8.66E+00 | 1.04E+01 | 9.72E+00 | 1.04E+01 | 1.34E+01 |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 6.15E-01 | 6.84E-01 | 6.42E-01 | 6.96E-01 | 4.38E-01 |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 2.89E-03 | 3.04E-03 | 2.93E-03 | 3.09E-03 | 5.18E-03 |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 5.19E+00 | 5.89E+00 | 8.19E+00 | 9.37E+00 | 5.84E+00 |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 1.49E-01 | 1.91E-01 | 2.73E-01 | 3.29E-01 | 5.16E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

„Sunny Woods“ amorph: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet

„Sunny Woods“ polykristallin: Variante mit PV Anlage aus polykristallinem Siliziumzellen.

„Sunny Woods“ k. PV, CH Mix: Variante ohne PV Anlage. Strombezug aus Schweizer Stromnetz.

„Sunny Woods“ amorph: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

Referenz: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

10.4.2 Beispielgebäude, „im Wechsel“

Tabelle 10.15 Mehrfamilienhaus „im Wechsel“, Eco-indicator 99 (H/A)

| Berechnungsvariante (mit/ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------------|--|--|--|-----------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| im Wechsel | EI 99 H/A, pt | 9.46E-01 | 1.01E+00 | 1.10E+00 | 1.27E+00 | 2.25E+00 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 3.38E-01 | 3.38E-01 | 3.38E-01 | 3.38E-01 | 2.33E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 1.94E-01 | 1.94E-01 | 1.94E-01 | 1.94E-01 | 1.73E-01 |
| Entsorgung, Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 2.71E-01 | 1.30E-01 |
| Entsorgung, Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 1.99E-02 | 1.99E-02 | 1.99E-02 | 1.99E-02 | 2.75E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 1.23E-01 | 1.86E-01 | 2.78E-01 | 4.49E-01 | 1.69E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | EI 99 H/A, pt | 1.46E-01 | 1.46E-01 | 1.46E-01 | 1.46E-01 | 8.98E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 2.86E-01 |
| Wände, über Boden | EI 99 H/A, pt | 5.21E-02 | 5.21E-02 | 5.21E-02 | 5.21E-02 | 1.18E-01 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 6.73E-02 | 6.73E-02 | 6.73E-02 | 6.73E-02 | 5.81E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 8.19E-02 | 8.19E-02 | 8.19E-02 | 8.19E-02 | 5.23E-02 |
| Innenwände, Innentüren | EI 99 H/A, pt | 5.32E-02 | 5.32E-02 | 5.32E-02 | 5.32E-02 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 3.72E-02 | 3.72E-02 | 3.72E-02 | 3.72E-02 | 1.75E-02 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 1.59E-02 | 1.59E-02 | 1.59E-02 | 1.59E-02 | 2.31E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Solar Kollektoren, PV | EI 99 H/A, pt | 7.08E-02 | 7.08E-02 | 7.08E-02 | 7.08E-02 | 1.17E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | EI 99 H/A, pt | 1.04E-01 | 1.45E-01 | 1.04E-01 | 1.45E-01 | 5.03E-01 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 1.87E-02 | 4.09E-02 | 2.86E-02 | 5.27E-02 | 1.97E-02 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.45E-01 | 2.51E-01 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 2.98E-01 | 2.98E-01 | 2.98E-01 | 2.98E-01 | 2.83E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 6.16E-02 | 6.16E-02 | 6.16E-02 | 6.16E-02 | 5.31E-02 |
| Übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.39E-01 | 3.39E-01 | 3.39E-01 | 3.39E-01 | 1.87E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | EI 99 H/A, pt | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 4.06E-02 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 1.23E-01 | 1.86E-01 | 2.78E-01 | 4.49E-01 | 1.69E+00 |
| Anteil an Gesamtbelastung | | | | | | |
| Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| EI 99 H/A, Mensch. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.06E-01 | 5.38E-01 | 5.70E-01 | 6.47E-01 | 5.45E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 1.16E-01 | 1.30E-01 | 1.60E-01 | 2.05E-01 | 6.86E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 3.24E-01 | 3.42E-01 | 3.71E-01 | 4.21E-01 | 1.64E+00 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist.

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„im Wechsel“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„im Wechsel“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.16 Mehrfamilienhaus „im Wechsel“, kumulierter Primärenergiebedarf

| Berechnungsvariante (mit /ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|--|--------------------------|----------------------|----------------------|--|--|--------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| im Wechsel | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.89E+02 | 2.19E+02 | 3.34E+02 | 4.65E+02 | 5.61E+02 |
| Anteil der einzelnen Lebesphasen | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebesphasen | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.08E+01 | 7.08E+01 | 7.08E+01 | 7.08E+01 | 4.00E+01 |
| Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.33E+01 | 4.33E+01 | 4.33E+01 | 4.33E+01 | 2.71E+01 |
| Entsorgung, Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 3.43E+01 | 1.71E+01 |
| Entsorgung, Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.67E-01 | 4.67E-01 | 4.67E-01 | 4.67E-01 | 2.35E+00 |
| Betrieb | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.00E+01 | 6.97E+01 | 1.85E+02 | 3.16E+02 | 4.74E+02 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Fundament, Keller, Aussenflächen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.63E+01 | 2.63E+01 | 2.63E+01 | 2.63E+01 | 1.24E+00 |
| Böden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.95E+01 | 4.95E+01 | 4.95E+01 | 4.95E+01 | 3.85E+01 |
| Wände, über Boden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 8.26E+00 | 8.26E+00 | 8.26E+00 | 8.26E+00 | 2.03E+01 |
| Dach | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.34E+01 | 1.34E+01 | 1.34E+01 | 1.34E+01 | 9.21E+00 |
| Fenster und Türen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.21E+01 | 2.21E+01 | 2.21E+01 | 2.21E+01 | 1.10E+01 |
| Innenwände, Innentüren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 7.87E+00 | 7.87E+00 | 7.87E+00 | 7.87E+00 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.47E+00 | 6.47E+00 | 6.47E+00 | 6.47E+00 | 2.59E+00 |
| Heizungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.06E+00 | 3.06E+00 | 3.06E+00 | 3.06E+00 | 3.64E+00 |
| Warmwassersystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Solarkollektoren, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.19E+01 | 1.19E+01 | 1.19E+01 | 1.19E+01 | 3.18E+02 |
| Heizenergie Heizung, WW | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.25E+01 | 3.14E+01 | 2.25E+01 | 3.14E+01 | 1.37E+02 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.75E+01 | 3.83E+01 | 2.88E+01 | 4.94E+01 | 1.84E+01 |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.36E+02 | 2.35E+02 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.19E+01 | 4.19E+01 | 4.19E+01 | 4.19E+01 | 3.66E+01 |
| Dämmung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.67E+01 | 1.67E+01 | 1.67E+01 | 1.67E+01 | 1.41E+01 |
| übrige Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.89E+01 | 6.89E+01 | 6.89E+01 | 6.89E+01 | 2.96E+01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.14E+01 | 2.14E+01 | 2.14E+01 | 2.14E+01 | 6.24E+00 |
| Betriebsenergie | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.00E+01 | 6.97E+01 | 1.85E+02 | 3.16E+02 | 4.74E+02 |
| Energieanteile | | | | | | |
| Energieanteile | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 1.89E+02 | 2.19E+02 | 3.34E+02 | 4.65E+02 | 5.61E+02 |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 1.09E+01 | 1.63E+01 | 4.39E+01 | 7.24E+01 | 6.64E+00 |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 1.80E+02 | 2.21E+02 | 1.82E+02 | 2.24E+02 | 2.72E+01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„im Wechsel“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„im Wechsel“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.17 Mehrfamilienhaus „im Wechsel“, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

| Berechnungsvariante (mit /ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|--|-------------|----------------------|----------------------|--|--|--------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| im Wechsel | UBP 97, kpt | 1.77E+01 | 1.93E+01 | 2.37E+01 | 2.96E+01 | 2.02E+01 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Herstellung | UBP 97, kpt | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 2.43E+00 |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 2.60E+00 | 2.60E+00 | 2.60E+00 | 2.60E+00 | 1.71E+00 |
| Entsorgung, Herstellung | UBP 97, kpt | 7.19E+00 | 7.19E+00 | 7.19E+00 | 7.19E+00 | 5.47E+00 |
| Entsorgung, Erneuerung | UBP 97, kpt | 7.83E-01 | 7.83E-01 | 7.83E-01 | 7.83E-01 | 1.41E+00 |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 2.68E+00 | 4.31E+00 | 8.72E+00 | 1.46E+01 | 9.13E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | UBP 97, kpt | 2.68E+00 | 2.68E+00 | 2.68E+00 | 2.68E+00 | 2.45E-01 |
| Böden | UBP 97, kpt | 5.61E+00 | 5.61E+00 | 5.61E+00 | 5.61E+00 | 5.35E+00 |
| Wände, über Boden | UBP 97, kpt | 9.96E-01 | 9.96E-01 | 9.96E-01 | 9.96E-01 | 3.32E+00 |
| Dach | UBP 97, kpt | 1.24E+00 | 1.24E+00 | 1.24E+00 | 1.24E+00 | 6.61E-01 |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 1.47E+00 | 1.47E+00 | 1.47E+00 | 1.47E+00 | 7.86E-01 |
| Innenwände, Innentüren | UBP 97, kpt | 1.28E+00 | 1.28E+00 | 1.28E+00 | 1.28E+00 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 4.77E-01 | 4.77E-01 | 4.77E-01 | 4.77E-01 | 2.37E-01 |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 2.04E-01 | 2.04E-01 | 2.04E-01 | 2.04E-01 | 4.20E-01 |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Solkollektoren, PV | UBP 97, kpt | 1.02E+00 | 1.02E+00 | 1.02E+00 | 1.02E+00 | 5.85E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | UBP 97, kpt | 1.95E+00 | 2.72E+00 | 1.95E+00 | 2.72E+00 | 2.52E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 7.31E-01 | 1.60E+00 | 1.12E+00 | 2.06E+00 | 7.68E-01 |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.65E+00 | 9.81E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 6.44E+00 | 6.44E+00 | 6.44E+00 | 6.44E+00 | 6.46E+00 |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 1.15E+00 | 1.15E+00 | 1.15E+00 | 1.15E+00 | 7.17E-01 |
| Übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 5.68E+00 | 5.68E+00 | 5.68E+00 | 5.68E+00 | 3.19E+00 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | UBP 97, kpt | 1.70E+00 | 1.70E+00 | 1.70E+00 | 1.70E+00 | 6.57E-01 |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 2.68E+00 | 4.31E+00 | 8.72E+00 | 1.46E+01 | 9.13E+00 |
| Anteil an Gesamtbelastung | | | | | | |
| Anteil an Gesamtbelastung | Einheit | im Wechsel, Planwert | im Wechsel, Messwert | im Wechsel, Planwert, mit Haushaltsstrom | im Wechsel, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 1.16E+01 | 1.24E+01 | 1.33E+01 | 1.53E+01 | 1.34E+01 |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 7.06E-01 | 7.35E-01 | 7.85E-01 | 8.69E-01 | 4.38E-01 |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 3.07E-03 | 3.18E-03 | 3.26E-03 | 3.51E-03 | 5.18E-03 |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 5.20E+00 | 5.95E+00 | 9.29E+00 | 1.29E+01 | 5.84E+00 |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 1.89E-01 | 2.23E-01 | 3.64E-01 | 5.22E-01 | 5.16E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„im Wechsel“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„im Wechsel“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„im Wechsel“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

10.4.3 Beispielgebäude, Reihenhauses „Wegere“

Tabelle 10.18 Reihenhauses „Wegere“, Eco-indicator 99 (H/A)

| Berechnungsvariante (mit/ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|---|------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Haus Wegere | EI 99 H/A, pt | 1.02E+00 | 1.06E+00 | 1.20E+00 | 1.28E+00 | 2.25E+00 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 3.27E-01 | 3.27E-01 | 3.27E-01 | 3.27E-01 | 2.33E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 1.73E-01 |
| Entsorgung, Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.38E-01 | 2.38E-01 | 2.38E-01 | 2.38E-01 | 1.30E-01 |
| Entsorgung, Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 5.02E-02 | 5.02E-02 | 5.02E-02 | 5.02E-02 | 2.75E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 1.58E-01 | 1.98E-01 | 3.33E-01 | 4.14E-01 | 1.69E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | EI 99 H/A, pt | 2.89E-01 | 2.89E-01 | 2.89E-01 | 2.89E-01 | 8.98E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 2.15E-01 | 2.15E-01 | 2.15E-01 | 2.15E-01 | 2.86E-01 |
| Wände, über Boden | EI 99 H/A, pt | 5.93E-02 | 5.93E-02 | 5.93E-02 | 5.93E-02 | 1.18E-01 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 2.67E-02 | 2.67E-02 | 2.67E-02 | 2.67E-02 | 5.81E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 9.15E-02 | 9.15E-02 | 9.15E-02 | 9.15E-02 | 5.23E-02 |
| Innenwände, Innentüren | EI 99 H/A, pt | 6.82E-02 | 6.82E-02 | 6.82E-02 | 6.82E-02 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 5.87E-02 | 5.87E-02 | 5.87E-02 | 5.87E-02 | 1.75E-02 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.23E-02 | 2.23E-02 | 2.23E-02 | 2.23E-02 | 2.31E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 3.43E-02 | 3.43E-02 | 3.43E-02 | 3.43E-02 | 0.00E+00 |
| Solar Kollektoren, PV | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.17E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | EI 99 H/A, pt | 1.18E-01 | 1.57E-01 | 1.18E-01 | 1.57E-01 | 5.03E-01 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 4.03E-02 | 4.03E-02 | 4.03E-02 | 4.03E-02 | 1.97E-02 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.75E-01 | 2.16E-01 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.51E-01 | 3.51E-01 | 3.51E-01 | 3.51E-01 | 2.83E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 5.31E-02 |
| übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.71E-01 | 3.71E-01 | 3.71E-01 | 3.71E-01 | 1.87E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | EI 99 H/A, pt | 1.15E-01 | 1.15E-01 | 1.15E-01 | 1.15E-01 | 4.06E-02 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 1.58E-01 | 1.98E-01 | 3.33E-01 | 4.14E-01 | 1.69E+00 |
| Anteil an Gesamtbelastung | | | | | | |
| Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) | |
| EI 99 H/A, Mensch. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.77E-01 | 5.93E-01 | 6.49E-01 | 6.83E-01 | 5.45E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 1.34E-01 | 1.46E-01 | 1.85E-01 | 2.08E-01 | 6.86E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 3.12E-01 | 3.24E-01 | 3.64E-01 | 3.89E-01 | 1.64E+00 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist.

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Wegere“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„Wegere“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhauses mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.19 Reihenhaus „Wegere“, kumulierter Primärenergiebedarf

| Berechnungsvariante (mit /ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|--|--------------------------|------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Haus Wegere | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.86E+02 | 3.22E+02 | 4.50E+02 | 5.25E+02 | 5.61E+02 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.34E+01 | 6.34E+01 | 6.34E+01 | 6.34E+01 | 4.00E+01 |
| Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.47E+01 | 4.47E+01 | 4.47E+01 | 4.47E+01 | 2.71E+01 |
| Entsorgung, Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.59E+01 | 2.59E+01 | 2.59E+01 | 2.59E+01 | 1.71E+01 |
| Entsorgung, Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.31E+00 | 3.31E+00 | 3.31E+00 | 3.31E+00 | 2.35E+00 |
| Betrieb | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.48E+02 | 1.85E+02 | 3.12E+02 | 3.88E+02 | 4.74E+02 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Fundament, Keller, Ausssenflächen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.79E+01 | 3.79E+01 | 3.79E+01 | 3.79E+01 | 1.24E+00 |
| Böden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.63E+01 | 3.63E+01 | 3.63E+01 | 3.63E+01 | 3.85E+01 |
| Wände, über Boden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 8.15E+00 | 8.15E+00 | 8.15E+00 | 8.15E+00 | 2.03E+01 |
| Dach | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.43E+00 | 3.43E+00 | 3.43E+00 | 3.43E+00 | 9.21E+00 |
| Fenster und Türen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.30E+01 | 2.30E+01 | 2.30E+01 | 2.30E+01 | 1.10E+01 |
| Innenwände, Innentüren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.10E+01 | 1.10E+01 | 1.10E+01 | 1.10E+01 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 9.75E+00 | 9.75E+00 | 9.75E+00 | 9.75E+00 | 2.59E+00 |
| Heizungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.67E+00 | 3.67E+00 | 3.67E+00 | 3.67E+00 | 3.84E+00 |
| Warmwassersystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.21E+00 | 4.21E+00 | 4.21E+00 | 4.21E+00 | 0.00E+00 |
| Solar Kollektoren, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.18E+02 |
| Heizenergie Heizung, WW | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.11E+02 | 1.47E+02 | 1.11E+02 | 1.47E+02 | 1.37E+02 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 3.78E+01 | 3.78E+01 | 3.78E+01 | 3.78E+01 | 1.84E+01 |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.64E+02 | 2.03E+02 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.59E+01 | 4.59E+01 | 4.59E+01 | 4.59E+01 | 3.66E+01 |
| Dämmung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 8.31E+00 | 8.31E+00 | 8.31E+00 | 8.31E+00 | 1.41E+01 |
| übrige Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.56E+01 | 6.56E+01 | 6.56E+01 | 6.56E+01 | 2.96E+01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.76E+01 | 1.76E+01 | 1.76E+01 | 1.76E+01 | 6.24E+00 |
| Betriebsenergie | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.48E+02 | 1.85E+02 | 3.12E+02 | 3.88E+02 | 4.74E+02 |
| Energieanteile | | | | | | |
| Energieanteile | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 2.86E+02 | 3.22E+02 | 4.50E+02 | 5.25E+02 | 5.61E+02 |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 3.85E+01 | 4.69E+01 | 7.58E+01 | 9.30E+01 | 6.64E+00 |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 1.12E+02 | 1.12E+02 | 1.14E+02 | 1.15E+02 | 2.72E+01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Wegere“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„Wegere“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.20 Reihenhaus „Wegere“, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

| Berechnungsvariante (mit /ohne Haushaltsstrom; Planwert; Messwert) | | | | | | |
|--|-------------|------------------|------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Haus Wegere | UBP 97, kpt | 2.26E+01 | 2.41E+01 | 2.94E+01 | 3.25E+01 | 2.02E+01 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Herstellung | UBP 97, kpt | 3.62E+00 | 3.62E+00 | 3.62E+00 | 3.62E+00 | 2.43E+00 |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 3.08E+00 | 3.08E+00 | 3.08E+00 | 3.08E+00 | 1.71E+00 |
| Entsorgung, Herstellung | UBP 97, kpt | 7.35E+00 | 7.35E+00 | 7.35E+00 | 7.35E+00 | 5.47E+00 |
| Entsorgung, Erneuerung | UBP 97, kpt | 2.33E+00 | 2.33E+00 | 2.33E+00 | 2.33E+00 | 1.41E+00 |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 6.18E+00 | 7.72E+00 | 1.30E+01 | 1.62E+01 | 9.13E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Fundament, Keller, Aussensflächen | UBP 97, kpt | 5.60E+00 | 5.60E+00 | 5.60E+00 | 5.60E+00 | 2.45E-01 |
| Böden | UBP 97, kpt | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 4.41E+00 | 5.35E+00 |
| Wände, über Boden | UBP 97, kpt | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 1.17E+00 | 3.32E+00 |
| Dach | UBP 97, kpt | 3.77E-01 | 3.77E-01 | 3.77E-01 | 3.77E-01 | 6.61E-01 |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 1.53E+00 | 1.53E+00 | 1.53E+00 | 1.53E+00 | 7.86E-01 |
| Innenwände, Innentüren | UBP 97, kpt | 1.45E+00 | 1.45E+00 | 1.45E+00 | 1.45E+00 | 0.00E+00 |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 8.22E-01 | 8.22E-01 | 8.22E-01 | 8.22E-01 | 2.37E-01 |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 2.74E-01 | 2.74E-01 | 2.74E-01 | 2.74E-01 | 4.20E-01 |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 7.55E-01 | 7.55E-01 | 7.55E-01 | 7.55E-01 | 0.00E+00 |
| Solar Kollektoren, PV | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.85E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | UBP 97, kpt | 4.61E+00 | 6.14E+00 | 4.61E+00 | 6.14E+00 | 2.52E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 1.57E+00 | 1.57E+00 | 1.57E+00 | 1.57E+00 | 7.68E-01 |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 6.83E+00 | 8.45E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 7.62E+00 | 7.62E+00 | 7.62E+00 | 7.62E+00 | 6.46E+00 |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 6.94E-01 | 6.94E-01 | 6.94E-01 | 6.94E-01 | 7.17E-01 |
| übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 6.21E+00 | 6.21E+00 | 6.21E+00 | 6.21E+00 | 3.19E+00 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | UBP 97, kpt | 1.85E+00 | 1.85E+00 | 1.85E+00 | 1.85E+00 | 6.57E-01 |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 6.18E+00 | 7.72E+00 | 1.30E+01 | 1.62E+01 | 9.13E+00 |
| Anteil an Gesamtbelastung | | | | | | |
| Anteil an Gesamtbelastung | Einheit | Wegere, Planwert | Wegere, Messwert | Wegere, Planwert, mit Haushaltsstrom | Wegere, Messwert, mit Haushaltsstrom | Referenz (ohne Haushaltsstrom) |
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 1.18E+01 | 1.23E+01 | 1.37E+01 | 1.46E+01 | 1.34E+01 |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 8.50E-01 | 8.70E-01 | 9.39E-01 | 9.80E-01 | 4.38E-01 |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 3.39E-03 | 3.44E-03 | 3.61E-03 | 3.71E-03 | 5.18E-03 |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 9.57E+00 | 1.06E+01 | 1.42E+01 | 1.63E+01 | 5.84E+00 |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 3.13E-01 | 3.58E-01 | 5.12E-01 | 6.03E-01 | 5.16E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

Strombezug: Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Wegere“, Planwert: Grundvariante für Gebäude; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Gebäude und Energiebedarf entsprechend dem realen Gebäude (Messwerte).

„Wegere“, Planwert: Variante mit Haushaltsstrom; Planungswerte für Energiebedarf verwendet.

„Wegere“, Messwert: Variante mit Haushaltsstrom; Messwerte für Energiebedarf verwendet.

Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

10.4.4 Beispielgebäude, Haus „im Chräbsbach“

Tabelle 10.21 Haus „im Chräbsbach“, Eco-indicator 99 (H/A)

| Berechnungsvariante (Variation Strombezug) | | | | | |
|--|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Chräbsbach | EI 99 H/A, pt | 9.10E-01 | 2.25E+00 | 1.12E+00 | 2.29E+00 |

| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 3.10E-01 | 2.33E-01 | 3.10E-01 | 2.33E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 2.47E-01 | 1.73E-01 | 2.47E-01 | 1.73E-01 |
| Entsorgung, Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.04E-01 | 1.30E-01 | 2.04E-01 | 1.30E-01 |
| Entsorgung, Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 3.15E-02 | 2.75E-02 | 3.15E-02 | 2.75E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 1.17E-01 | 1.69E+00 | 3.29E-01 | 1.72E+00 |

| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
|-----------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Fundament, Keller, Aussensflächen | EI 99 H/A, pt | 1.23E-01 | 8.98E-03 | 1.23E-01 | 8.98E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 1.88E-01 | 2.86E-01 | 1.88E-01 | 2.86E-01 |
| Wände, über Boden | EI 99 H/A, pt | 1.08E-01 | 6.95E-02 | 1.08E-01 | 6.95E-02 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 8.62E-02 | 5.81E-02 | 8.62E-02 | 5.81E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 1.05E-01 | 5.23E-02 | 1.05E-01 | 5.23E-02 |
| Innenwände, Innentüren | EI 99 H/A, pt | 3.28E-02 | 4.83E-02 | 3.28E-02 | 4.83E-02 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.88E-02 | 0.00E+00 | 2.88E-02 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 3.15E-02 | 1.75E-02 | 3.15E-02 | 1.75E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 2.31E-02 | 0.00E+00 | 2.31E-02 |
| Solarkollektoren, PV | EI 99 H/A, pt | 8.96E-02 | 0.00E+00 | 8.96E-02 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | EI 99 H/A, pt | 7.30E-02 | 1.67E+00 | 2.05E-01 | 1.67E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 4.42E-02 | 1.97E-02 | 1.24E-01 | 5.53E-02 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.61E-01 | 2.83E-01 | 3.61E-01 | 2.83E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 3.18E-02 | 5.31E-02 | 3.18E-02 | 5.31E-02 |
| übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 1.87E-01 | 2.49E-01 | 1.87E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | EI 99 H/A, pt | 1.50E-01 | 4.06E-02 | 1.50E-01 | 4.06E-02 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 1.17E-01 | 1.69E+00 | 3.29E-01 | 1.72E+00 |

| Anteil an Gesamtbelastung | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|------------------|-----------------------------------|--------------------|
| EI 99 H/A, Mensch. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.09E-01 | 5.45E-01 | 6.40E-01 | 5.67E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 1.09E-01 | 6.86E-02 | 1.14E-01 | 6.94E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 2.91E-01 | 1.64E+00 | 3.68E-01 | 1.65E+00 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist.

„Chräbsbach“, Messwert, CH-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

Referenz; CH-Mix: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Chräbsbach“, Messwert, UCTE-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug europäischem Strommix UCTE.

Referenz; UCTE-Mix: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus europäischem Strommix UCTE.

Tabelle 10.22 Haus „im Chräbsbach“, kumulierter Primärenergiebedarf

| | | Berechnungsvariante (Variation Strombezug) | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Chräbsbach | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.34E+02 | 5.61E+02 | 2.76E+02 | 5.61E+02 |
| Anteil der einzelnen Lebesphasen | | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.33E+01 | 4.00E+01 | 5.33E+01 | 4.00E+01 |
| Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.22E+01 | 2.71E+01 | 4.22E+01 | 2.71E+01 |
| Entsorgung, Herstellung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.65E+01 | 1.71E+01 | 2.65E+01 | 1.71E+01 |
| Entsorgung, Erneuerung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.74E+00 | 2.35E+00 | 1.74E+00 | 2.35E+00 |
| Betrieb | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.10E+02 | 4.74E+02 | 1.53E+02 | 4.74E+02 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Fundament, Keller, Aussenflächen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.99E+01 | 1.24E+00 | 1.99E+01 | 1.24E+00 |
| Böden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.51E+01 | 3.85E+01 | 2.51E+01 | 3.85E+01 |
| Wände, über Boden | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.37E+01 | 1.10E+01 | 1.37E+01 | 1.10E+01 |
| Dach | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.28E+01 | 9.21E+00 | 1.28E+01 | 9.21E+00 |
| Fenster und Türen | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.48E+01 | 1.10E+01 | 2.48E+01 | 1.10E+01 |
| Innenwände, Innentüren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.01E+00 | 9.24E+00 | 5.01E+00 | 9.24E+00 |
| Lüftungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.04E+00 | 0.00E+00 | 5.04E+00 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.84E+00 | 2.59E+00 | 5.84E+00 | 2.59E+00 |
| Warmwassersystem | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 3.64E+00 | 0.00E+00 | 3.64E+00 |
| Solarkollektoren, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.17E+01 | 0.00E+00 | 1.17E+01 | 3.18E+02 |
| Heizenergie Heizung, WW | MJ-eq., nicht erneuerbar | 6.84E+01 | 4.56E+02 | 9.51E+01 | 1.37E+02 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.14E+01 | 1.84E+01 | 5.75E+01 | 1.84E+01 |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., nicht erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 5.08E+01 | 3.66E+01 | 5.08E+01 | 3.66E+01 |
| Dämmung | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.93E+00 | 1.41E+01 | 1.93E+00 | 1.41E+01 |
| übrige Baustoffe | MJ-eq., nicht erneuerbar | 4.85E+01 | 2.96E+01 | 4.85E+01 | 2.96E+01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | MJ-eq., nicht erneuerbar | 2.26E+01 | 6.24E+00 | 2.26E+01 | 6.24E+00 |
| Betriebsenergie | MJ-eq., nicht erneuerbar | 1.10E+02 | 4.74E+02 | 1.53E+02 | 4.74E+02 |
| Energieanteile | | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, CH-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 2.34E+02 | 5.61E+02 | 2.76E+02 | 5.68E+02 |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 2.93E+01 | 6.64E+00 | 1.39E+01 | 4.06E+00 |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 3.56E+01 | 2.72E+01 | 3.58E+01 | 2.72E+01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

„Chräbsbach“, Messwert, CH-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

Referenz; CH-Mix: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Chräbsbach“, Messwert, UCTE-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug europäischem Strommix UCTE.

Referenz; UCTE-Mix: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus europäischem Strommix UCTE.

Tabelle 10.23 Haus „im Chräbsbach“, Methode der ökologischen Knappheit (UBP 97)

| Berechnungsvariante (Variation Strombezug) | | | | | |
|--|-------------|------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Chräbsbach | UBP 97, kpt | 2.10E+01 | 2.02E+01 | 2.43E+01 | 2.07E+01 |
| Anteil der einzelnen Lebesphasen | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Herstellung | UBP 97, kpt | 3.49E+00 | 2.43E+00 | 3.49E+00 | 2.43E+00 |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 3.06E+00 | 1.71E+00 | 3.06E+00 | 1.71E+00 |
| Entsorgung, Herstellung | UBP 97, kpt | 8.29E+00 | 5.47E+00 | 8.29E+00 | 5.47E+00 |
| Entsorgung, Erneuerung | UBP 97, kpt | 1.58E+00 | 1.41E+00 | 1.58E+00 | 1.41E+00 |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 4.58E+00 | 9.13E+00 | 7.92E+00 | 9.70E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Fundament, Keller, Aussensflächen | UBP 97, kpt | 2.97E+00 | 2.45E-01 | 2.97E+00 | 2.45E-01 |
| Böden | UBP 97, kpt | 3.65E+00 | 5.35E+00 | 3.65E+00 | 5.35E+00 |
| Wände, über Boden | UBP 97, kpt | 2.79E+00 | 1.68E+00 | 2.79E+00 | 1.68E+00 |
| Dach | UBP 97, kpt | 1.52E+00 | 6.61E-01 | 1.52E+00 | 6.61E-01 |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 1.64E+00 | 7.86E-01 | 1.64E+00 | 7.86E-01 |
| Innenwände, Innentüren | UBP 97, kpt | 1.24E+00 | 1.64E+00 | 1.24E+00 | 1.64E+00 |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 3.44E-01 | 0.00E+00 | 3.44E-01 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 6.47E-01 | 2.37E-01 | 6.47E-01 | 2.37E-01 |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 4.20E-01 | 0.00E+00 | 4.20E-01 |
| Solkollektoren, PV | UBP 97, kpt | 1.59E+00 | 0.00E+00 | 1.59E+00 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung, WW | UBP 97, kpt | 2.85E+00 | 8.37E+00 | 4.94E+00 | 8.37E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 1.72E+00 | 7.68E-01 | 2.99E+00 | 1.33E+00 |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 9.37E+00 | 6.46E+00 | 9.37E+00 | 6.46E+00 |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 3.82E-01 | 7.17E-01 | 3.82E-01 | 7.17E-01 |
| übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 4.07E+00 | 3.19E+00 | 4.07E+00 | 3.19E+00 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage, PV | UBP 97, kpt | 2.58E+00 | 6.57E-01 | 2.58E+00 | 6.57E-01 |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 4.58E+00 | 9.13E+00 | 7.92E+00 | 9.70E+00 |
| Anteil an Gesamtbelastung | Einheit | Chräbsbach, Messwert, CH-Mix | Referenz, CH-Mix | Chräbsbach, Messwert, UCTE-Mix | Referenz, UCTE-Mix |
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 1.01E+01 | 1.34E+01 | 1.37E+01 | 1.40E+01 |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 1.10E+00 | 4.38E-01 | 1.23E+00 | 4.59E-01 |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 2.54E-03 | 5.18E-03 | 2.93E-03 | 5.24E-03 |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 9.55E+00 | 5.84E+00 | 9.11E+00 | 5.77E+00 |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 2.53E-01 | 5.16E-01 | 2.75E-01 | 5.19E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

„Chräbsbach“, Messwert, CH-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

Referenz; CH-Mix: Reihenhaushaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus Schweizer Strommix inkl. Importen.

„Chräbsbach“, Messwert, UCTE-Mix: Grundvariante Gebäude, Energiebedarf entsprechend den Messwerten, Strombezug europäischem Strommix UCTE.

Referenz; UCTE-Mix: Reihenhaushaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau); Strombezug aus europäischem Strommix UCTE.

10.5. Standardlösungen, Reihenhaus, Basisvarianten

Tabelle 10.24 Basisvarianten, Reihenhaus, Eco-indicator 99 (H/A)

| | | Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---|---|---|--|--|--|-------------------------------------|--|--|
| Gesamtbelastung | Einheit | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ A | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B | Strategie 1: Wärmeschutz, Hybridbau Typ C | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ B | Strategie 2: Solar, Hybridbau Typ C | Referenzgebäude, Massivbau Typ A | | |
| Gesamtgebäude | EI 99 H/A, pt | 1.34E+00 | 1.28E+00 | 1.25E+00 | 1.47E+00 | 1.43E+00 | 1.39E+00 | 2.31E+00 | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | | |
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.78E-01 | 2.49E-01 | 2.27E-01 | 2.81E-01 | 2.60E-01 | 2.19E-01 | 2.33E-01 | | |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 2.31E-01 | 1.97E-01 | 1.94E-01 | 2.72E-01 | 2.47E-01 | 2.61E-01 | 1.73E-01 | | |
| Entsorgung | EI 99 H/A, pt | 1.68E-01 | 1.71E-01 | 1.74E-01 | 1.66E-01 | 1.69E-01 | 1.63E-01 | 1.57E-01 | | |
| Transporte | EI 99 H/A, pt | 2.62E-02 | 2.76E-02 | 2.50E-02 | 3.81E-02 | 3.93E-02 | 3.52E-02 | 1.89E-02 | | |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 7.18E-01 | 7.18E-01 | 7.56E-01 | 1.72E+00 | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | | |
| Fundament, Keller | EI 99 H/A, pt | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | | |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 3.29E-01 | 3.23E-01 | 3.20E-01 | 3.25E-01 | 3.21E-01 | 2.83E-01 | 2.93E-01 | | |
| Wände | EI 99 H/A, pt | 1.54E-01 | 1.24E-01 | 7.93E-02 | 1.34E-01 | 1.15E-01 | 7.24E-02 | 1.24E-01 | | |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 7.19E-02 | 4.88E-02 | 7.18E-02 | 6.43E-02 | 4.63E-02 | 6.65E-02 | 6.05E-02 | | |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 5.44E-02 | 5.44E-02 | 5.44E-02 | 5.42E-02 | | |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 1.53E-02 | 1.53E-02 | 1.53E-02 | 0.00E+00 | | |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 1.86E-02 | 1.86E-02 | 1.86E-02 | 1.23E-02 | 1.23E-02 | 1.23E-02 | 1.80E-02 | | |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 2.71E-02 | 2.71E-02 | 2.71E-02 | 3.57E-02 | 3.57E-02 | 3.57E-02 | 2.36E-02 | | |
| Solar Kollektoren | EI 99 H/A, pt | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 1.06E-01 | 1.06E-01 | 8.51E-02 | 0.00E+00 | | |
| Heizenergie Heizung | EI 99 H/A, pt | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 3.26E-01 | 3.26E-01 | 3.63E-01 | 1.17E+00 | | |
| Heizenergie Warmwasser | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.36E-01 | 2.36E-01 | 2.38E-01 | 5.03E-01 | | |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.56E-01 | 1.56E-01 | 1.56E-01 | 5.53E-02 | | |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | | |
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.27E-01 | 3.36E-01 | 2.77E-01 | 3.24E-01 | 3.33E-01 | 2.43E-01 | 2.91E-01 | | |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 9.19E-02 | 2.81E-02 | 3.35E-02 | 6.70E-02 | 2.21E-02 | 2.57E-02 | 5.35E-02 | | |
| Übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 1.83E-01 | 1.78E-01 | 2.07E-01 | 1.97E-01 | 1.91E-01 | 2.17E-01 | 1.96E-01 | | |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | EI 99 H/A, pt | 1.02E-01 | 1.02E-01 | 1.02E-01 | 1.69E-01 | 1.69E-01 | 1.48E-01 | 4.16E-02 | | |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 7.18E-01 | 7.18E-01 | 7.56E-01 | 1.72E+00 | | |
| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | | |
| EI 99 H/A, Menschl. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.33E-01 | 5.27E-01 | 5.12E-01 | 5.82E-01 | 5.79E-01 | 5.27E-01 | 5.74E-01 | | |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 7.63E-02 | 7.71E-02 | 7.53E-02 | 8.78E-02 | 8.89E-02 | 8.39E-02 | 7.27E-02 | | |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 7.29E-01 | 6.76E-01 | 6.67E-01 | 8.05E-01 | 7.65E-01 | 7.80E-01 | 1.66E+00 | | |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist

- 1 A: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
 - 1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
 - 1 C: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
 - 2 A: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
 - 2 B: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
 - 2 C: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
 - R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)
- Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.25 Basisvarianten, Reihenhaus, kumulierter Energiebedarf

| | | Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | | |
|--|-----------------------|---|---|---|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Gesamtbelastung | Einheit | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ A | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B | Strategie 1: Wärmeschutz, Hybridbau Typ C | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ B | Strategie 2: Solar, Hybridbau Typ C | Referenzgebäude, Massivbau Typ A | |
| Gesamtgebäude | MJ-eq., n. erneuerbar | 3.09E+02 | 2.94E+02 | 2.88E+02 | 3.40E+02 | 3.30E+02 | 3.28E+02 | 5.72E+02 | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Herstellung | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.77E+01 | 3.78E+01 | 3.64E+01 | 4.64E+01 | 3.85E+01 | 3.57E+01 | 4.00E+01 | |
| Erneuerung | MJ-eq., n. erneuerbar | 3.62E+01 | 3.09E+01 | 2.82E+01 | 4.08E+01 | 3.76E+01 | 3.18E+01 | 2.71E+01 | |
| Entsorgung | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.05E+01 | 2.06E+01 | 1.89E+01 | 2.04E+01 | 2.05E+01 | 1.78E+01 | 1.94E+01 | |
| Transporte | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.87E+00 | 5.16E+00 | 4.56E+00 | 7.13E+00 | 7.39E+00 | 6.49E+00 | 3.48E+00 | |
| Betrieb | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.00E+02 | 2.00E+02 | 2.00E+02 | 2.26E+02 | 2.26E+02 | 2.36E+02 | 4.82E+02 | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Fundament, Keller | MJ-eq., n. erneuerbar | 1.30E+00 | 1.30E+00 | 1.30E+00 | 1.30E+00 | 1.30E+00 | 1.30E+00 | 1.30E+00 | |
| Böden | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.33E+01 | 4.25E+01 | 4.05E+01 | 4.23E+01 | 4.18E+01 | 3.69E+01 | 3.98E+01 | |
| Wände | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.83E+01 | 1.99E+01 | 1.31E+01 | 2.39E+01 | 1.80E+01 | 1.22E+01 | 2.14E+01 | |
| Dach | MJ-eq., n. erneuerbar | 1.25E+01 | 6.89E+00 | 9.21E+00 | 1.06E+01 | 6.34E+00 | 8.74E+00 | 9.61E+00 | |
| Fenster und Türen | MJ-eq., n. erneuerbar | 7.78E+00 | 7.78E+00 | 7.78E+00 | 1.15E+01 | 1.15E+01 | 1.15E+01 | 1.14E+01 | |
| Lüftungssystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 5.15E+00 | 5.15E+00 | 5.15E+00 | 2.85E+00 | 2.85E+00 | 2.85E+00 | 0.00E+00 | |
| Heizungssystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.73E+00 | 2.73E+00 | 2.73E+00 | 1.89E+00 | 1.89E+00 | 1.89E+00 | 2.68E+00 | |
| Warmwassersystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.21E+00 | 4.21E+00 | 4.21E+00 | 5.36E+00 | 5.36E+00 | 5.36E+00 | 3.75E+00 | |
| Solar Kollektoren | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.03E+00 | 4.03E+00 | 4.03E+00 | 1.50E+01 | 1.50E+01 | 1.11E+01 | 0.00E+00 | |
| Heizenergie Heizung | MJ-eq., n. erneuerbar | 6.78E+01 | 6.78E+01 | 6.78E+01 | 8.90E+01 | 8.90E+01 | 9.90E+01 | 3.19E+02 | |
| Heizenergie Warmwasser | MJ-eq., n. erneuerbar | 6.80E+01 | 6.80E+01 | 6.80E+01 | 6.44E+01 | 6.44E+01 | 6.50E+01 | 1.38E+02 | |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., n. erneuerbar | 6.40E+01 | 6.40E+01 | 6.40E+01 | 7.21E+01 | 7.21E+01 | 7.21E+01 | 2.56E+01 | |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., n. erneuerbar | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | |
| Anteil der Gebäudematerialien | | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., n. erneuerbar | 4.11E+01 | 4.02E+01 | 3.21E+01 | 4.06E+01 | 3.98E+01 | 2.94E+01 | 3.81E+01 | |
| Dämmung | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.40E+01 | 9.63E+00 | 5.32E+00 | 1.75E+01 | 7.59E+00 | 4.10E+00 | 1.42E+01 | |
| Übrige Baustoffe | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.80E+01 | 2.85E+01 | 3.45E+01 | 3.14E+01 | 3.16E+01 | 3.71E+01 | 3.12E+01 | |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | MJ-eq., n. erneuerbar | 1.61E+01 | 1.61E+01 | 1.61E+01 | 2.51E+01 | 2.51E+01 | 2.12E+01 | 6.43E+00 | |
| Betriebsenergie | MJ-eq., n. erneuerbar | 2.00E+02 | 2.00E+02 | 2.00E+02 | 2.26E+02 | 2.26E+02 | 2.36E+02 | 4.82E+02 | |
| Energieanteile | | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 3.09E+02 | 2.94E+02 | 2.88E+02 | 3.40E+02 | 3.30E+02 | 3.28E+02 | 5.72E+02 | |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 6.71E+00 | 6.65E+00 | 6.68E+00 | 7.93E+00 | 7.90E+00 | 7.80E+00 | 4.12E+00 | |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 2.59E+01 | 3.25E+01 | 5.70E+01 | 2.79E+01 | 3.25E+01 | 5.56E+01 | 2.73E+01 | |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

- 1 A: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
 1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
 1 C: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
 2 A: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
 2 B: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
 2 C: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
 R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)
 Referenz: Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

Tabelle 10.26 Basisvarianten, Reihenhaus, Methode der ökologischen Knappheit

| Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | | | | |
|---|-------------|---|---|---|--|--|--|-------------------------------------|--|
| Gesamtbelastung | Einheit | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ A | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B | Strategie 1: Wärmeschutz, Hybridbau Typ C | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ B | Strategie 2: Solar, Hybridbau Typ C | Referenzgebäude, Massivbau Typ A | |
| Gesamtgebäude | UBP 97, kpt | 1.89E+01 | 1.93E+01 | 1.62E+01 | 2.06E+01 | 2.10E+01 | 1.73E+01 | 2.10E+01 | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | | | | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Herstellung | UBP 97, kpt | 2.87E+00 | 2.44E+00 | 2.15E+00 | 3.00E+00 | 2.65E+00 | 2.23E+00 | 2.43E+00 | |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 2.31E+00 | 2.12E+00 | 1.94E+00 | 3.04E+00 | 2.93E+00 | 2.43E+00 | 1.71E+00 | |
| Entsorgung | UBP 97, kpt | 7.55E+00 | 8.50E+00 | 5.95E+00 | 7.46E+00 | 8.33E+00 | 5.40E+00 | 6.88E+00 | |
| Transporte | UBP 97, kpt | 3.89E-01 | 4.14E-01 | 3.65E-01 | 5.51E-01 | 5.72E-01 | 4.99E-01 | 2.87E-01 | |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 5.81E+00 | 5.81E+00 | 5.81E+00 | 6.56E+00 | 6.56E+00 | 6.76E+00 | 9.70E+00 | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | | | | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Fundament, Keller | UBP 97, kpt | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | |
| Böden | UBP 97, kpt | 6.10E+00 | 6.23E+00 | 5.97E+00 | 6.04E+00 | 6.17E+00 | 5.28E+00 | 5.48E+00 | |
| Wände | UBP 97, kpt | 3.89E+00 | 4.32E+00 | 1.28E+00 | 3.56E+00 | 4.04E+00 | 1.16E+00 | 3.42E+00 | |
| Dach | UBP 97, kpt | 8.38E-01 | 6.36E-01 | 8.78E-01 | 7.43E-01 | 5.77E-01 | 8.00E-01 | 6.95E-01 | |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 5.58E-01 | 5.58E-01 | 5.58E-01 | 8.19E-01 | 8.19E-01 | 8.19E-01 | 8.13E-01 | |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 1.89E-01 | 1.89E-01 | 1.89E-01 | 0.00E+00 | |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 2.29E-01 | 2.29E-01 | 2.29E-01 | 1.41E-01 | 1.41E-01 | 1.41E-01 | 2.44E-01 | |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 4.74E-01 | 4.74E-01 | 4.74E-01 | 5.90E-01 | 5.90E-01 | 5.90E-01 | 4.28E-01 | |
| Solar Kollektoren | UBP 97, kpt | 4.78E-01 | 4.78E-01 | 4.78E-01 | 1.72E+00 | 1.72E+00 | 1.33E+00 | 0.00E+00 | |
| Heizenergie Heizung | UBP 97, kpt | 1.24E+00 | 1.24E+00 | 1.24E+00 | 1.63E+00 | 1.63E+00 | 1.82E+00 | 5.85E+00 | |
| Heizenergie Warmwasser | UBP 97, kpt | 1.25E+00 | 1.25E+00 | 1.25E+00 | 1.18E+00 | 1.18E+00 | 1.19E+00 | 2.52E+00 | |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 3.32E+00 | 3.32E+00 | 3.32E+00 | 3.75E+00 | 3.75E+00 | 3.75E+00 | 1.33E+00 | |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | | | | |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 7.29E+00 | 7.92E+00 | 5.36E+00 | 7.18E+00 | 7.77E+00 | 4.75E+00 | 6.59E+00 | |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 1.22E+00 | 8.06E-01 | 4.83E-01 | 8.91E-01 | 6.36E-01 | 3.46E-01 | 7.22E-01 | |
| übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 3.13E+00 | 3.27E+00 | 3.08E+00 | 3.33E+00 | 3.44E+00 | 3.22E+00 | 3.32E+00 | |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | UBP 97, kpt | 1.48E+00 | 1.48E+00 | 1.48E+00 | 2.64E+00 | 2.64E+00 | 2.25E+00 | 6.72E-01 | |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 5.81E+00 | 5.81E+00 | 5.81E+00 | 6.56E+00 | 6.56E+00 | 6.76E+00 | 9.70E+00 | |
| Anteile an Gesamtbelastung | | | | | | | | | |
| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | 1 A | 1 B | 1 C | 2 A | 2 B | 2 C | R | |
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 1.12E+01 | 1.07E+01 | 1.06E+01 | 1.26E+01 | 1.22E+01 | 1.18E+01 | 1.42E+01 | |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 5.21E-01 | 5.38E-01 | 6.19E-01 | 5.92E-01 | 6.13E-01 | 6.66E-01 | 4.72E-01 | |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 3.25E-03 | 3.08E-03 | 3.29E-03 | 3.45E-03 | 3.33E-03 | 3.54E-03 | 5.33E-03 | |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 6.90E+00 | 7.79E+00 | 4.76E+00 | 7.07E+00 | 7.90E+00 | 4.56E+00 | 5.82E+00 | |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 2.92E-01 | 2.78E-01 | 2.72E-01 | 3.22E-01 | 3.12E-01 | 3.10E-01 | 5.23E-01 | |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

- 1 A: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
- 1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
- 1 C: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
- 2 A: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante A (Backstein Massiv, EPS Kompaktdämmung)
- 2 B: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
- 2 C: Strategie 2: Solarertrag; Konstruktionsvariante C (Hybrid, Holzrahmen, Cellulosedämmstoff)
- R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A)
- Referenz: Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

10.5.1 Standardlösungen, Reihenhaus, Einfluss der Materialwahl

Tabelle 10.27 Einfluss Materialwahl, Eco-indicator 99 (H/A)

| | | Materialvariante (Massivbau, Typ B, Strategie 1: Wärmeschutz) | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|---|----------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| Gesamtbelastung | Einheit | Basis-variante | Bodenbelag PVC | Bodenbelag Linoleum | Verrohrung für Heizung WW Cu/PIR | Verrohrung für Lüftung Stahl/PVC | PVC-Fenster |
| Gesamtgebäude | EI 99 H/A, pt | 1.28E+00 | 1.33E+00 | 1.28E+00 | 1.32E+00 | 1.28E+00 | 1.30E+00 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | 1 B, basis | 1 B, PVC Boden | 1 B, Linoleum | 1 B, Cu/PIR | 1 B, St/PVC | 1 B, PVC Fenster |
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 2.59E-01 | 2.49E-01 | 2.68E-01 | 2.52E-01 | 2.57E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 1.97E-01 | 2.28E-01 | 1.98E-01 | 2.16E-01 | 1.99E-01 | 2.13E-01 |
| Entsorgung | EI 99 H/A, pt | 1.71E-01 | 1.80E-01 | 1.66E-01 | 1.70E-01 | 1.71E-01 | 1.71E-01 |
| Transporte | EI 99 H/A, pt | 2.76E-02 | 2.74E-02 | 2.72E-02 | 2.78E-02 | 2.77E-02 | 2.79E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | 1 B, basis | 1 B, PVC Boden | 1 B, Linoleum | 1 B, Cu/PIR | 1 B, St/PVC | 1 B, PVC Fenster |
| Fundament, Keller | EI 99 H/A, pt | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 3.23E-01 | 3.73E-01 | 3.19E-01 | 3.23E-01 | 3.23E-01 | 3.23E-01 |
| Wände | EI 99 H/A, pt | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.88E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 6.21E-02 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 2.98E-02 | 2.48E-02 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 1.86E-02 | 1.86E-02 | 1.86E-02 | 5.40E-02 | 1.86E-02 | 1.86E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 2.71E-02 | 2.71E-02 | 2.71E-02 | 2.98E-02 | 2.71E-02 | 2.71E-02 |
| Solkollektoren | EI 99 H/A, pt | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 3.16E-02 |
| Heizenergie Heizung | EI 99 H/A, pt | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 2.48E-01 | 2.48E-01 |
| Heizenergie Warmwasser | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.49E-01 | 2.49E-01 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | 1 B, basis | 1 B, PVC Boden | 1 B, Linoleum | 1 B, Cu/PIR | 1 B, St/PVC | 1 B, PVC Fenster |
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.36E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 2.81E-02 | 2.80E-02 | 2.80E-02 | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 2.81E-02 |
| übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 1.78E-01 | 2.28E-01 | 1.74E-01 | 1.78E-01 | 1.78E-01 | 2.03E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | EI 99 H/A, pt | 1.02E-01 | 1.02E-01 | 1.02E-01 | 1.40E-01 | 1.07E-01 | 1.02E-01 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 | 6.35E-01 |
| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | 1 B, basis | 1 B, PVC Boden | 1 B, Linoleum | 1 B, Cu/PIR | 1 B, St/PVC | 1 B, PVC Fenster |
| EI 99 H/A, Menschl. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.27E-01 | 5.44E-01 | 5.20E-01 | 5.34E-01 | 5.30E-01 | 5.35E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 7.71E-02 | 8.88E-02 | 7.53E-02 | 7.88E-02 | 8.00E-02 | 8.31E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 6.76E-01 | 6.97E-01 | 6.81E-01 | 7.05E-01 | 6.75E-01 | 6.86E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist

1 B, Basisvariante : Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

1B, PVC Bodenbelag: Wie Grundvariante aber statt Holzbodenbelag PVC Bodenbelag

1B, Linoleum: Wie Grundvariante aber statt Holzbodenbelag Linoleum Bodenbelag

1B, Cu/PIR: Wie Grundvariante aber statt Verrohrung aus Stahl Rohre aus Kupfer mit PIR Dämmung für Heizung und WW

1B, Stahl/PVC: Wie Grundvariante aber statt Lüftungsrohre aus Polyethylen Verrohrung aus Stahl und Erdregister aus PVC

1B, PVC Fensterrahmen: Wie Grundvariante aber statt Holzfensterrahmen PVC Fensterrahmen

10.5.2 Standardlösungen, Reihenhaus, Einfluss des Kellergeschosses

Tabelle 10.28 Einfluss Kellergeschoss, Eco-indicator 99 (H/A)

| | | Gebäudevariante, weitere Merkmale | | |
|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|----------|
| Gesamtbelastung | Einheit | 1 B, ohne Keller | 1 B, mit Keller | R |
| Reihenhaus, gemässigt Klima | EI 99 H/A, pt | 1.06E+00 | 1.22E+00 | 2.29E+00 |

| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | 1 B, ohne Keller | 1 B, mit Keller | R |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------|
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.33E-01 | 2.80E-01 | 2.27E-01 |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 1.76E-01 | 1.76E-01 | 1.68E-01 |
| Entsorgung | EI 99 H/A, pt | 1.70E-01 | 2.76E-01 | 1.55E-01 |
| Transporte | EI 99 H/A, pt | 3.41E-02 | 3.78E-02 | 1.86E-02 |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 4.45E-01 | 4.45E-01 | 1.72E+00 |

| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | 1 B, ohne Keller | 1 B, mit Keller | R |
|-------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------|
| Fundament, Keller | EI 99 H/A, pt | 9.35E-03 | 1.67E-01 | 9.35E-03 |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 3.05E-01 | 3.05E-01 | 2.79E-01 |
| Wände | EI 99 H/A, pt | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 6.05E-02 |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 5.42E-02 |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.00E-02 | 2.00E-02 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.47E-02 | 2.47E-02 | 1.80E-02 |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 4.51E-02 | 4.51E-02 | 2.36E-02 |
| Solarkollektoren | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung | EI 99 H/A, pt | 1.09E-01 | 1.09E-01 | 1.17E+00 |
| Heizenergie Warmwasser | EI 99 H/A, pt | 1.97E-01 | 1.97E-01 | 5.03E-01 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 5.53E-02 |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |

| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | 1 B, ohne Keller | 1 B, mit Keller | R |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------|
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.18E-01 | 4.75E-01 | 2.77E-01 |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 5.35E-02 |
| Übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 1.78E-01 | 1.78E-01 | 1.96E-01 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | EI 99 H/A, pt | 8.98E-02 | 8.98E-02 | 4.16E-02 |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 4.45E-01 | 4.45E-01 | 1.72E+00 |

| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | 1 B, ohne Keller | 1 B, mit Keller | R |
|---------------------------------|---------------|------------------|-----------------|----------|
| EI 99 H/A, Menschl. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 6.12E-01 | 7.03E-01 | 5.63E-01 |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 1.04E-01 | 1.17E-01 | 7.20E-02 |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 3.42E-01 | 3.95E-01 | 1.66E+00 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist

1 B, ohne Keller: Grundvariante; Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

1 B, mit Keller: zusätzliches Kellergeschoss auf gesamter Gebäudegrundfläche aus Beton

R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A), Reihenhaus mit einem Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau).

10.5.3 Standardlösungen, Reihenhaus, Wärmeerzeugungsarten

Tabelle 10.29 Wärmeerzeugungsarten, Eco-indicator 99 (H/A)

| | | Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | | |
|--|---------------|---|--|--|--|---|--|--|--|
| | Einheit | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Gas + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Öl + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Wärmepumpe | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Gas + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Öl + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Pellet+ 72 m ² Solar | Referenzgebäude, Massivbau Typ A, Gasheizung | |
| Gesamtbelastung | | | | | | | | | |
| Gesamtgebäude | EI 99 H/A, pt | 1.28E+00 | 1.32E+00 | 1.22E+00 | 1.43E+00 | 1.48E+00 | 1.04E+00 | 2.31E+00 | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R | |
| Herstellung | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 2.52E-01 | 2.42E-01 | 2.60E-01 | 2.63E-01 | 2.66E-01 | 2.33E-01 | |
| Erneuerung | EI 99 H/A, pt | 1.97E-01 | 2.06E-01 | 1.86E-01 | 2.47E-01 | 2.57E-01 | 2.66E-01 | 1.73E-01 | |
| Entsorgung | EI 99 H/A, pt | 1.71E-01 | 1.71E-01 | 1.74E-01 | 1.69E-01 | 1.69E-01 | 1.69E-01 | 1.57E-01 | |
| Transporte | EI 99 H/A, pt | 2.76E-02 | 2.81E-02 | 3.46E-02 | 3.93E-02 | 3.93E-02 | 4.03E-02 | 1.89E-02 | |
| Betrieb | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.64E-01 | 5.85E-01 | 7.18E-01 | 7.51E-01 | 3.01E-01 | 1.72E+00 | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R | |
| Fundament, Keller | EI 99 H/A, pt | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | 9.35E-03 | |
| Böden | EI 99 H/A, pt | 3.23E-01 | 3.23E-01 | 3.23E-01 | 3.21E-01 | 3.21E-01 | 3.21E-01 | 2.93E-01 | |
| Wände | EI 99 H/A, pt | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.24E-01 | 1.15E-01 | 1.15E-01 | 1.15E-01 | 1.24E-01 | |
| Dach | EI 99 H/A, pt | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.88E-02 | 4.63E-02 | 4.63E-02 | 4.63E-02 | 6.05E-02 | |
| Fenster und Türen | EI 99 H/A, pt | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 3.69E-02 | 5.44E-02 | 5.44E-02 | 5.44E-02 | 5.42E-02 | |
| Lüftungssystem | EI 99 H/A, pt | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 2.48E-02 | 1.53E-02 | 1.53E-02 | 1.53E-02 | 0.00E+00 | |
| Heizungssystem | EI 99 H/A, pt | 1.86E-02 | 2.52E-02 | 2.85E-02 | 1.23E-02 | 1.48E-02 | 1.80E-02 | 1.80E-02 | |
| Warmwassersystem | EI 99 H/A, pt | 2.71E-02 | 3.34E-02 | 4.33E-02 | 3.57E-02 | 4.79E-02 | 5.81E-02 | 2.36E-02 | |
| Solarkollektoren | EI 99 H/A, pt | 3.16E-02 | 3.16E-02 | 0.00E+00 | 1.06E-01 | 1.06E-01 | 1.06E-01 | 0.00E+00 | |
| Heizenergie Heizung | EI 99 H/A, pt | 2.48E-01 | 2.85E-01 | 1.78E-01 | 3.26E-01 | 3.48E-01 | 8.96E-02 | 1.17E+00 | |
| Heizenergie Warmwasser | EI 99 H/A, pt | 2.49E-01 | 2.60E-01 | 2.68E-01 | 2.36E-01 | 2.47E-01 | 5.52E-02 | 5.03E-01 | |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | EI 99 H/A, pt | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.38E-01 | 1.56E-01 | 1.56E-01 | 1.56E-01 | 5.53E-02 | |
| Strom Haushaltsgeräte | EI 99 H/A, pt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | |
| Anteil der Gebäudematerialien | | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R | |
| Massive Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.36E-01 | 3.33E-01 | 3.33E-01 | 3.33E-01 | 2.91E-01 | |
| Dämmung | EI 99 H/A, pt | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 2.81E-02 | 2.21E-02 | 2.21E-02 | 2.21E-02 | 5.35E-02 | |
| Übrige Baustoffe | EI 99 H/A, pt | 1.78E-01 | 1.78E-01 | 1.78E-01 | 1.91E-01 | 1.91E-01 | 1.91E-01 | 1.96E-01 | |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | EI 99 H/A, pt | 1.02E-01 | 1.15E-01 | 9.46E-02 | 1.69E-01 | 1.84E-01 | 1.95E-01 | 4.16E-02 | |
| Betriebsenergie | EI 99 H/A, pt | 6.35E-01 | 6.64E-01 | 5.85E-01 | 7.18E-01 | 7.51E-01 | 3.01E-01 | 1.72E+00 | |
| Anteile an Gesamtbelastung | | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R | |
| EI 99 H/A, Menschl. Gesundheit | EI 99 H/A, pt | 5.27E-01 | 5.73E-01 | 7.04E-01 | 5.79E-01 | 6.31E-01 | 5.97E-01 | 5.74E-01 | |
| EI 99 H/A, Qualität Ökosystem | EI 99 H/A, pt | 7.71E-02 | 8.89E-02 | 1.22E-01 | 8.89E-02 | 1.02E-01 | 1.15E-01 | 7.27E-02 | |
| EI 99 H/A, Verbrauch Ressourcen | EI 99 H/A, pt | 6.76E-01 | 6.99E-01 | 3.95E-01 | 7.65E-01 | 7.65E-01 | 3.30E-01 | 1.66E+00 | |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in Eco-indicator Punkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre). Bewertungstypus Eco-indicator 99: Hierarchist

1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

2 B: Strategie 2: Solarertrag Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

1 B, Gas: Wärmeerzeugung zu mit Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$) + 24 m² Solarkollektor.

1 B, Öl: Wärmeerzeugung zu mit Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$) + 24 m² Solarkollektor.

1 B, WP: Wärmeerzeugung zu 100% mit Wärmepumpe (UCTE –Strommix, JAZ 2.52).

2 B, Gas: Grundvariante, Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$).

2 B, Öl: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$).

2 B, Holz: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Holzpellets ($\eta = 85\%$).

R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A), Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau), Wärmeerzeugung zu mit Erdgas ($\eta = 94\%$).

Tabelle 10.30 Wärmeezeugungsarten, kumulierter Energiebedarf

| | | Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | | Referenzgebäude, Massivbau Typ A, Gasheizung |
|--|-----------------------|--|---|---|--|---|---|----------|--|
| Gesamtbelastung | Einheit | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Gas + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Öl + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Wärmepumpe | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Gas + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Öl + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Pellets+ 72 m ² Solar | | |
| Gesamtgebäude | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,94E+02 | 3,10E+02 | 3,66E+02 | 3,30E+02 | 3,48E+02 | 2,11E+02 | 5,72E+02 | |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | | | | | | | | | |
| Herstellung | MJ-eq., n. erneuerbar | 3,78E+01 | 3,84E+01 | 3,74E+01 | 3,85E+01 | 3,91E+01 | 3,94E+01 | 4,00E+01 | |
| Erneuerung | MJ-eq., n. erneuerbar | 3,09E+01 | 3,23E+01 | 3,05E+01 | 3,76E+01 | 3,92E+01 | 4,05E+01 | 2,71E+01 | |
| Entsorgung | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,06E+01 | 2,06E+01 | 2,07E+01 | 2,05E+01 | 2,05E+01 | 2,05E+01 | 1,94E+01 | |
| Transporte | MJ-eq., n. erneuerbar | 5,16E+00 | 5,26E+00 | 6,32E+00 | 7,39E+00 | 7,51E+00 | 7,59E+00 | 3,48E+00 | |
| Betrieb | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,00E+02 | 2,14E+02 | 2,71E+02 | 2,26E+02 | 2,41E+02 | 1,03E+02 | 4,82E+02 | |
| Anteil der Gebäudekomponenten | | | | | | | | | |
| Fundament, Keller | MJ-eq., n. erneuerbar | 1,30E+00 | 1,30E+00 | 1,30E+00 | 1,30E+00 | 1,30E+00 | 1,30E+00 | 1,30E+00 | |
| Böden | MJ-eq., n. erneuerbar | 4,25E+01 | 4,25E+01 | 4,25E+01 | 4,18E+01 | 4,18E+01 | 4,18E+01 | 3,98E+01 | |
| Wände | MJ-eq., n. erneuerbar | 1,99E+01 | 1,99E+01 | 1,99E+01 | 1,80E+01 | 1,80E+01 | 1,80E+01 | 2,14E+01 | |
| Dach | MJ-eq., n. erneuerbar | 6,89E+00 | 6,89E+00 | 6,89E+00 | 6,34E+00 | 6,34E+00 | 6,34E+00 | 9,61E+00 | |
| Fenster und Türen | MJ-eq., n. erneuerbar | 7,78E+00 | 7,78E+00 | 7,78E+00 | 1,15E+01 | 1,15E+01 | 1,15E+01 | 1,14E+01 | |
| Lüftungssystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 5,15E+00 | 5,15E+00 | 5,15E+00 | 2,85E+00 | 2,85E+00 | 2,85E+00 | 0,00E+00 | |
| Heizungssystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,73E+00 | 3,80E+00 | 4,28E+00 | 1,89E+00 | 2,34E+00 | 2,46E+00 | 2,68E+00 | |
| Warmwassersystem | MJ-eq., n. erneuerbar | 4,21E+00 | 5,25E+00 | 7,11E+00 | 5,36E+00 | 7,32E+00 | 8,80E+00 | 3,75E+00 | |
| Solarkollektoren | MJ-eq., n. erneuerbar | 4,03E+00 | 4,03E+00 | 0,00E+00 | 1,50E+01 | 1,50E+01 | 1,50E+01 | 0,00E+00 | |
| Heizenergie-Heizung | MJ-eq., n. erneuerbar | 6,78E+01 | 7,54E+01 | 8,26E+01 | 8,90E+01 | 9,90E+01 | 1,93E+01 | 3,19E+02 | |
| Heizenergie Warmwasser | MJ-eq., n. erneuerbar | 6,30E+01 | 7,41E+01 | 1,24E+02 | 6,44E+01 | 7,03E+01 | 1,19E+01 | 1,39E+02 | |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | MJ-eq., n. erneuerbar | 6,40E+01 | 6,40E+01 | 6,40E+01 | 7,21E+01 | 7,21E+01 | 7,21E+01 | 2,56E+01 | |
| Strom Haushaltsgeräte | MJ-eq., n. erneuerbar | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | 0,00E+00 | |
| Anteil der Gebäudematerialien | | | | | | | | | |
| Massive Baustoffe | MJ-eq., n. erneuerbar | 4,02E+01 | 4,02E+01 | 4,02E+01 | 3,98E+01 | 3,98E+01 | 3,98E+01 | 3,81E+01 | |
| Dämmung | MJ-eq., n. erneuerbar | 9,63E+00 | 9,63E+00 | 9,63E+00 | 7,59E+00 | 7,59E+00 | 7,59E+00 | 1,42E+01 | |
| Übrige Baustoffe | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,85E+01 | 2,85E+01 | 2,85E+01 | 3,16E+01 | 3,16E+01 | 3,16E+01 | 3,12E+01 | |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | MJ-eq., n. erneuerbar | 1,61E+01 | 1,82E+01 | 1,65E+01 | 2,51E+01 | 2,75E+01 | 2,91E+01 | 6,43E+00 | |
| Betriebsenergie | MJ-eq., n. erneuerbar | 2,00E+02 | 2,14E+02 | 2,71E+02 | 2,26E+02 | 2,41E+02 | 1,03E+02 | 4,82E+02 | |
| Energieanteile | | | | | | | | | |
| Energie, fossil | MJ-eq. | 2,94E+02 | 3,10E+02 | 3,66E+02 | 3,30E+02 | 3,48E+02 | 2,11E+02 | 5,72E+02 | |
| Energie, Wasser | MJ-eq. | 6,65E+00 | 1,32E+01 | 1,94E+01 | 7,90E+00 | 1,53E+01 | 1,04E+01 | 4,12E+00 | |
| Energie, Holz | MJ-eq. | 3,25E+01 | 3,28E+01 | 3,45E+01 | 3,25E+01 | 3,28E+01 | 1,77E+02 | 2,79E+01 | |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in MJ Primärenergie pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

- 1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
- 2 B: Strategie 2: Solarertrag Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)
- 1 B, Gas: Wärmeezeugung zu mit Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$) + 24 m² Solarkollektor.
- 1 B, Öl: Wärmeezeugung zu mit Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$) + 24 m² Solarkollektor.
- 1 B, WP: Wärmeezeugung zu 100% mit Wärmepumpe (UCTE –Strommix, JAZ 2.52).
- 2 B, Gas: Grundvariante, Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$).
- 2 B, Öl: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$).
- 2 B, Holz: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Holzpellets ($\eta = 85\%$).
- R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A), Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau), Wärmeezeugung zu mit Erdgas ($\eta = 94\%$).

Tabelle 10.31 Wärmeezeugungsarten, Methode der ökologischen Knappheit

| | | Gebäudevariante (Strategie, Konstruktionstyp) | | | | | | |
|--|----------------|---|--|--|--|---|--|--|
| | | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Gas + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Öl + 24 m ² Solar | Strategie 1: Wärmeschutz, Massivbau Typ B, Wärmepumpe | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Gas + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Massivbau Typ A, Öl + 72 m ² Solar | Strategie 2: Solar, Pellet+ 72 m ² Solar | Referenzgebäude, Massivbau Typ A, Gasheizung |
| Gesamtbelastung | Einheit | | | | | | | |
| Gesamtgebäude | UBP 97, kpt | 1.93E+01 | 2.18E+01 | 2.78E+01 | 2.10E+01 | 2.39E+01 | 2.12E+01 | 2.10E+01 |
| Anteil der einzelnen Lebensphasen | Einheit | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R |
| Herstellung | UBP 97, kpt | 2.44E+00 | 2.48E+00 | 2.32E+00 | 2.65E+00 | 2.69E+00 | 2.71E+00 | 2.43E+00 |
| Erneuerung | UBP 97, kpt | 2.12E+00 | 2.20E+00 | 1.89E+00 | 2.93E+00 | 3.03E+00 | 3.10E+00 | 1.71E+00 |
| Entsorgung | UBP 97, kpt | 8.50E+00 | 8.50E+00 | 9.01E+00 | 8.33E+00 | 8.33E+00 | 8.33E+00 | 6.88E+00 |
| Transporte | UBP 97, kpt | 4.14E-01 | 4.21E-01 | 5.13E-01 | 5.72E-01 | 5.80E-01 | 5.86E-01 | 2.87E-01 |
| Betrieb | UBP 97, kpt | 5.81E+00 | 8.21E+00 | 1.41E+01 | 6.56E+00 | 9.28E+00 | 6.45E+00 | 9.70E+00 |
| Anteil der Gebäudekomponenten | Einheit | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R |
| Fundament, Keller | UBP 97, kpt | 2.50E-01 | 2.60E-01 | 2.60E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 | 2.50E-01 |
| Böden | UBP 97, kpt | 6.23E+00 | 6.23E+00 | 6.23E+00 | 6.17E+00 | 6.17E+00 | 6.17E+00 | 5.48E+00 |
| Wände | UBP 97, kpt | 4.32E+00 | 4.32E+00 | 4.32E+00 | 4.04E+00 | 4.04E+00 | 4.04E+00 | 3.42E+00 |
| Dach | UBP 97, kpt | 6.36E-01 | 6.36E-01 | 6.36E-01 | 5.77E-01 | 5.77E-01 | 5.77E-01 | 6.95E-01 |
| Fenster und Türen | UBP 97, kpt | 5.58E-01 | 5.58E-01 | 5.58E-01 | 8.19E-01 | 8.19E-01 | 8.19E-01 | 8.13E-01 |
| Lüftungssystem | UBP 97, kpt | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 2.99E-01 | 1.89E-01 | 1.89E-01 | 1.89E-01 | 0.00E+00 |
| Heizungssystem | UBP 97, kpt | 2.29E-01 | 2.92E-01 | 5.02E-01 | 1.41E-01 | 1.66E-01 | 1.76E-01 | 2.44E-01 |
| Warmwassersystem | UBP 97, kpt | 4.74E-01 | 5.35E-01 | 9.43E-01 | 5.90E-01 | 7.07E-01 | 8.01E-01 | 4.28E-01 |
| Solarkollektoren | UBP 97, kpt | 4.78E-01 | 4.78E-01 | 0.00E+00 | 1.72E+00 | 1.72E+00 | 1.72E+00 | 0.00E+00 |
| Heizenergie Heizung | UBP 97, kpt | 1.24E+00 | 2.46E+00 | 4.29E+00 | 1.63E+00 | 3.24E+00 | 1.67E+00 | 5.85E+00 |
| Heizenergie Warmwasser | UBP 97, kpt | 1.25E+00 | 2.42E+00 | 6.45E+00 | 1.18E+00 | 2.30E+00 | 1.03E+00 | 2.52E+00 |
| Strom Pumpen, Ventilatoren | UBP 97, kpt | 3.32E+00 | 3.32E+00 | 3.32E+00 | 3.75E+00 | 3.75E+00 | 3.75E+00 | 1.33E+00 |
| Strom Haushaltsgeräte | UBP 97, kpt | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 |
| Anteil der Gebäudematerialien | Einheit | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R |
| Massive Baustoffe | UBP 97, kpt | 7.92E+00 | 7.92E+00 | 7.92E+00 | 7.77E+00 | 7.77E+00 | 7.77E+00 | 6.59E+00 |
| Dämmung | UBP 97, kpt | 8.06E-01 | 8.06E-01 | 8.06E-01 | 6.36E-01 | 6.36E-01 | 6.36E-01 | 7.22E-01 |
| Übrige Baustoffe | UBP 97, kpt | 3.27E+00 | 3.27E+00 | 3.27E+00 | 3.44E+00 | 3.44E+00 | 3.44E+00 | 3.32E+00 |
| Heizung, WW, Lüftung, Solaranlage | UBP 97, kpt | 1.48E+00 | 1.60E+00 | 1.74E+00 | 2.64E+00 | 2.78E+00 | 2.88E+00 | 6.72E-01 |
| Betriebsenergie | UBP 97, kpt | 5.81E+00 | 8.21E+00 | 1.41E+01 | 6.56E+00 | 9.28E+00 | 6.45E+00 | 9.70E+00 |
| Anteile an Gesamtbelastung | Einheit | 1 B, Gas | 1 B, Öl | 1 B, WP | 2 B, Gas | 2 B, Öl | 2 B, Pellets | R |
| UBP 97, Luft | UBP 97, kpt | 1.07E+01 | 1.26E+01 | 1.49E+01 | 1.22E+01 | 1.44E+01 | 1.19E+01 | 1.42E+01 |
| UBP 97, Wasser | UBP 97, kpt | 5.38E-01 | 6.64E-01 | 7.39E-01 | 6.13E-01 | 7.56E-01 | 6.48E-01 | 4.72E-01 |
| UBP 97, Boden | UBP 97, kpt | 3.08E-03 | 5.27E-03 | 2.75E-03 | 3.33E-03 | 5.81E-03 | 2.44E-03 | 5.33E-03 |
| UBP 97, Abfälle | UBP 97, kpt | 7.79E+00 | 8.28E+00 | 1.18E+01 | 7.90E+00 | 8.42E+00 | 8.41E+00 | 5.82E+00 |
| UBP 97, Energie | UBP 97, kpt | 2.78E-01 | 3.05E-01 | 3.66E-01 | 3.12E-01 | 3.42E-01 | 2.10E-01 | 5.23E-01 |

Alle Resultate beziehen sich auf die Belastungen in tausend Umweltbelastungspunkten pro m² Nettowohnfläche und Jahr (Gebäudelebensdauer 80 Jahre).

1 B: Strategie 1: Wärmeschutz; Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

2 B: Strategie 2: Solarertrag Konstruktionsvariante B (Massiv, Kalksandstein, hinterlüftet, Steinwolle)

1 B, Gas: Wärmeezeugung zu mit Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$) + 24 m² Solarkollektor.

1 B, Öl: Wärmeezeugung zu mit Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$) + 24 m² Solarkollektor.

1 B, WP: Wärmeezeugung zu 100% mit Wärmepumpe (UCTE –Strommix, JAZ 2.52).

2 B, Gas: Grundvariante, Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdgas (kondensierend, $\eta = 100\%$).

2 B, Öl: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Erdöl (kondensierend, $\eta = 98\%$).

2 B, Holz: Solarkollektoren (90 m²), Zusatzheizung Holzpellets ($\eta = 85\%$).

R: Referenzgebäude (Konstruktionsvariante A), Reihenhaus mit einen Energiebedarf entsprechend aktuell üblicher Bauweise (Neubau), Wärmeezeugung zu mit Erdgas ($\eta = 94\%$).

10.6. Sachinventare

10.6.1 Wärmeerzeugung

Für die Wärmeerzeugung wird auf die Inventardaten aus (Frischknecht et al., 1996) zurückgegriffen. Dabei wurden die dort publizierten Sachbilanzdaten in die folgenden Bausteine aufgeteilt um eine differenzierte Analyse der einzelnen Lebensphasen zu ermöglichen:

- Die Herstellungsaufwände wurden aus den Infrastrukturangaben zu den Feuerungen in (Frischknecht et al., 1996) berechnet. Dabei wurden die Entsorgung und die Transporte von diesen Daten subtrahiert.
- Die Entsorgungsaufwände wurden aus den Infrastrukturangaben zur Entsorgung der Feuerungen in (Frischknecht et al., 1996) berechnet.
- Die Transportaufwände wurden aus den Infrastrukturangaben der Feuerungen in (Frischknecht et al., 1996) entnommen.
- Die Belastungen durch den Betrieb wurden aus den Angaben in (Frischknecht et al., 1996) mit Bezug auf den Energieinput (Endenergie) entnommen. Dabei wurde von den Daten sowohl die Infrastruktur wie auch der Hilfsstromverbrauch subtrahiert, da diese Komponenten separat berücksichtigt wurden.

10.6.2 Weitere Systemkomponenten Wärmeerzeugung

In den Berechnungen wurden weitere Systemkomponenten, wie Speicher Expansionsgefäß, Umwälzpumpen, Ventile, Kamin sowie wenn vorhanden der Tankraum berücksichtigt. Die Sachinventare für diese Komponenten stammen ebenfalls aus (Frischknecht et al., 1996). Dabei wurde für die meisten Systemkomponenten von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen. Eine längere Lebensdauer wurde für den Tankraum (40 Jahre für Stahl, 80 Jahre für Betonvormauerung), Die Heizungsverteilung (40 Jahre) sowie den Kamin (80 Jahre) angewendet. Der Kamin wurde für die Gebäude der Standardlösungen (TSS) im Gegensatz zu den Daten in (Frischknecht et al., 1996) als rostfreies Stahlrohr ($d_i = 80 \text{ mm}$) mit einer Wärmedämmung aus Mineralwolle (30 mm stark, Dichte 50 kg/m^3) bilanziert. Bei den Beispielgebäuden wurde die effektiven Materialien verwendet.

Für die Wärmeverteilung wurden die verwendeten Daten aus den Leitungslängen, Rohrdurchmessern, Wandstärken und Dämmstärken berechnet. Für die Standardlösungen beruhen diese Daten auf Annahmen zur Leitungsverlegung. Bei den Beispielhäusern stammen die Daten aus den Unternehmerangaben.

10.6.3 Lüftungsanlage

Die Bilanzierung der Lüftungsanlagen erfolgte für die Standardlösungen (TSS) mit Daten für ein System mit dezentralen Lüftungsgeräten. Die Grunddaten für diese verwendeten Sachinventare stammen aus Daten von (Hässig & Primas, 2004).

Für die Beispielhäuser wurden die effektiv verbauten Systemkomponenten inventarisiert. Wenn keine Daten zu den eingesetzten Geräten verfügbar waren, wurden diese mit denselben Datengrundlagen wie bei den Standardlösungen ergänzt.

10.6.4 Photovoltaikanlagen

Die Bilanzierung der Bauteile für Photovoltaikanlagen erfolgte mit den Inventaren aus (Frischknecht et al., 1996). Für die Photovoltaikanlage mit amorphen Dreischichtzellen („Sunny Woods“) stand jedoch kein Inventar zur Verfügung. Es standen lediglich einige Informationen zum Produktionsprozess sowie dem kumulierten Energiebedarf solcher Zellen zur Verfügung (Yang & Guha, 1999; Frankl, 2002). Die verwendeten Daten wurden daher aus den Inventardaten für monokristalline Zellen aus (Frischknecht et al., 1996) approximiert. Dabei wurde angenommen, dass für die amorphen Zellen ein um 90% reduzierter Materialbedarf bei der Zelle benötigt wird³³. Zudem besitzt diese Zelle keine Glasabdeckung aber dafür ein Kunststoffschutz und wird auf ein Chromstahlblech (Trägerfläche) beschichtet (Trägerfläche). Diese Unterschiede im Inventar sind in Tabelle 10.32 dargestellt:

Tabelle 10.32 Inventar des amorphen PV-Panels für „Sunny Woods“

| PV-Panel Sunny Woods, Silizium, Proxy. | | | | |
|--|-------------------|------------------|---------|--------|
| | 1 | 1 | kWp | |
| Verwendete Module | Menge Herstellung | Menge Entsorgung | Einheit | Quelle |
| Panel m-Si | 1 | | kWp | 1 |
| PV-Zellenabfaelle in Reststoffdeponie | -1.29 | 1.29 | kg | 1 |
| PV/EVA-Zellenabfaelle | -17.9 | 17.9 | kg | 1 |
| PE in KVA | -2.12 | 2.12 | kg | 1 |
| Karton in KVA | -1.73 | 1.73 | kg | 1 |
| Kunststoffe in KVA | -0.914 | 5.914 | kg | 1 |
| F in KVA | -71.3 | 0.0192 | kg | 1 |
| Al in KVA | -0.0629 | 0.0629 | kg | 1 |
| m-Si Zelle | -564.3 | | stk | 1 |
| Glas (Flach-) unbeschichtet | -71.3 | | kg | 1 |
| Polycarbonat | 5 | | kg | 1 |
| Chromstahlblech, CrNi18 8, 40% Recyclingstahl *) | 23 | | kg | 2 |
| 1: Datensatz aus Frischknecht et al., 1996 | | | | |
| 2: Datensatz aus Richter et al., 1996a | | | | |

*) Zugrundelegung einer Blechstärke von 0.15 mm (Yang & Guha, 1999).

Die Inventare für den Wechselrichter, Elektroinstallation und die Befestigungsmaterialien wurden aus (Frischknecht et al., 1996) übernommen und auf die Bausteine Herstellung und Entsorgung aufgeteilt um eine differenzierte Analyse der einzelnen Lebensphasen zu ermöglichen.

10.6.5 Solaranlagen

Die Bilanzierung der Solaranlagen erfolgte mit den Inventaren aus (Frischknecht et al., 1996). Bei den Beispielhäusern wurde für die Montageelemente und die Standardanlagenteile (Speicher, Verrohrung, Expansionsgefäß) die spezifischen Daten der Gebäude verwendet (Menge, Material).

Für die Berechnung wurden die Inventare aus (Frischknecht et al., 1996) auf die Bausteine Herstellung und Entsorgung aufgeteilt um eine differenzierte Analyse der Lebensphasen zu ermöglichen.

³³ Abschätzung auf Basis des kumulierter Energiebedarfs gemäss Frankel (2002).

Im Falle des Vakuumröhrenkollektors wird bei der Entsorgung nicht von einer Deponierung des Kupferabsorbers (wie in Frischknecht et al. (1996) angenommen) sondern von einem Recycling des Metalls und Glases ausgegangen.

10.6.6 Fenster, Türen

Für die Fenster (Rahmen und Gläser) wird auf die Inventardaten aus (Richter et al., 1996a und Richter et al., 1996b) zurückgegriffen. Dabei wurden die dort publizierten Sachbilanzdaten in die Einzelprozesse Herstellung (inkl. Anteile an Wartung über Lebensdauer) Entsorgung und Transporte (zu und von Baustelle) aufgeteilt um eine differenzierte Analyse der einzelnen Lebensphasen zu ermöglichen.

Zur Bilanzierung der Kryptonfüllung bei Dreifachverglasungen wurden die Energiedaten der Kryptonherstellung aus (Binz et al., 2000) verwendet.

Für die Sachbilanz des Fensterrahmens mit Dreifachverglasung („Sunny Woods“) wurden die Grunddaten des Holzrahmens für Zweifachverglasung nach (Richter et al., 1996a) verwendet. Zusätzlich wurde eine Dämmschicht von 20 mm berücksichtigt (evakuiertes EPS).

Die Bilanzierung der Türen basiert auf den Sachinventaren aus (Werner et al., 1997). Dabei wurden die Inventare für Massivholzzargen verwendet. Diese Türart wurde für die Innentüren bei den Beispielhäusern verwendet. Für die Verwendung als gedämmte Aussentüre wurde eine zusätzliche Dämmstoffschicht (40 mm), sowie Holzmaterial für den breiteren Rahmen berücksichtigt.