



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

# UMWELTWIRKUNGEN VON ENERGIESTANDARDS

## PERSPEKTIVEN FÜR DEN GEBÄUDEPARK SCHWEIZ

### Schlussbericht

Ausgearbeitet durch

**e c o n c e p t AG, Reto Dettli, Martin Baur, Daniel Philippen**

Lavaterstrasse 66, 8002 Zürich, [econcept@econcept.ch](mailto:econcept@econcept.ch), [www.econcept.ch](http://www.econcept.ch)

**ESU-Services GmbH, Rolf Frischknecht, Mireille Faist Emmenegger**

Kanzleistrasse 4, 8610 Uster, [frischknecht@esu-services.ch](mailto:frischknecht@esu-services.ch), [www.esu-services.ch](http://www.esu-services.ch)



### **Begleitgruppe:**

---

Die Arbeiten wurden von einer Begleitgruppe fachlich begleitet. Den Mitgliedern sei an dieser Stelle herzlich gedankt!

M. Zimmermann	EMPA / REN (Auftraggeber)
H. Bürgi	Minergie (bis Sommer 06)
A. Binz	Fachhochschule beider Basel FHBB / Minergie
C. Gmür	AWEL Kanton Zürich
L. Gutzwiller	BFE, Energiewirtschaftliche Grundlagen
H. Preisig	Projektleiter SIA Effizienzpfad Energie

### Impressum

Datum: Dezember 2006

Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen

Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 31 322 56 11, Fax +41 31 323 25 00

[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

BFE-Projektleiter: M. Zimmermann, [mark.zimmermann@empa.ch](mailto:mark.zimmermann@empa.ch)

Projektnummer: 101 305

Bezugsort der Publikation: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch)

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die AutorInnen dieses Berichts verantwortlich.



# Inhalt

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>v</b>
<b>1 Ziel der Arbeit.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Systemgrenzen und Bezugsgrössen .....</b>	<b>3</b>
<b>3 Anforderungen der Energiestandards .....</b>	<b>5</b>
3.1 Berücksichtigte Standards, Gebäudetypen und Energiesysteme .....	5
3.1.1 Berücksichtigte Standards .....	5
3.1.2 Berücksichtigte Gebäudetypen .....	13
3.1.3 Berücksichtigte Energiesysteme und Kennwerte Wärmeerzeugung .....	13
3.1.4 Kennwerte baulicher Massnahmen und Lüftung.....	16
3.2 Energiekennzahlen.....	17
3.2.1 SIA 380/1 .....	18
3.2.2 MuKE n Modul 2 .....	19
3.2.3 Minergie .....	22
3.2.4 Minergie-P / Passivhaus .....	26
3.2.5 Übersicht.....	30
<b>4 Umweltbelastungen durch Erstellung und Erneuerung der Bauten....</b>	<b>33</b>
4.1 Die Ökobilanz-Methode .....	33
4.2 Bewertungsmethoden und Auswertung der Ergebnisse .....	37
4.2.1 Kumulierter Energieaufwand.....	37
4.2.2 Treibhauspotential .....	38
4.2.3 Eco-indicator '99 .....	38
4.2.4 Methode der ökologischen Knappheit 2006.....	41
4.3 Grundlagen.....	41
4.3.1 Datenquellen zu Haustechnik und Baumaterialien .....	41
4.3.2 Datenquellen zu Gebäuden .....	42
4.4 Umweltbelastungen aufgrund baulicher Massnahmen für die einzelnen Energiestandards .....	42
4.4.1 Umweltbelastung des Rohbaus .....	42

4.4.2	Einfluss der Wärmedämmung auf den Heizenergiebedarf .....	45
4.4.3	Umweltbelastung der Gebäudehülle .....	48
<b>5</b>	<b>Umweltbelastungen der einzelnen Energiestandards .....</b>	<b>51</b>
5.1	Vorgehen .....	51
5.1.1	Energieverbrauch .....	51
5.1.2	Bauliche Aufwendungen .....	52
5.1.3	Lüftung .....	52
5.1.4	Rohbau und Sanierungsaufwendungen .....	53
5.2	SIA 380/1 Grenzwerte .....	53
5.2.1	Übersicht .....	53
5.2.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	53
5.2.3	Treibhauspotential (GWP) .....	55
5.2.4	Eco-indicator '99 (H, A) .....	57
5.2.5	Methode der ökologischen Knappheit 2006 .....	60
5.2.6	Zusammenfassung .....	62
5.3	MuKE n Modul 2 .....	63
5.3.1	Übersicht .....	63
5.3.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	63
5.3.3	Treibhauspotential (GWP) .....	65
5.3.4	Eco-indicator '99 (H, A) .....	67
5.3.5	Methode der ökologischen Knappheit 2006 .....	70
5.3.6	Zusammenfassung .....	73
5.4	Minergie .....	74
5.4.1	Übersicht .....	74
5.4.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	74
5.4.3	Treibhauspotential (GWP) .....	76
5.4.4	Eco-indicator '99 (H, A) .....	78
5.4.5	Methode der ökologischen Knappheit 2006 .....	81
5.4.6	Zusammenfassung .....	84
5.5	Minergie-P .....	85
5.5.1	Übersicht .....	85
5.5.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA) .....	85
5.5.3	Treibhauspotential (GWP) .....	87
5.5.4	Eco-indicator '99 .....	90
5.5.5	Methode der ökologischen Knappheit 2006 .....	93
5.5.6	Zusammenfassung .....	95

5.6	Synthese.....	96
5.6.1	Einfamilienhäuser .....	96
5.6.2	Mehrfamilienhäuser .....	99
<b>6</b>	<b>Vertiefung ausgewählter Fragestellungen.....</b>	<b>103</b>
6.1	Einfluss unterschiedlicher Wirkungsgrade von Wärmepumpen .....	103
6.1.1	Ausgangslage .....	103
6.1.2	Resultate.....	103
6.1.3	Fazit .....	106
6.2	Einfluss des Strommixes .....	106
6.2.1	Ausgangslage .....	106
6.2.2	Resultate.....	107
6.2.3	Fazit .....	109
6.3	Bauten mit Heizölfeuerungen .....	110
6.3.1	Ausgangslage .....	110
6.3.2	Resultate.....	110
6.3.3	Fazit .....	113
<b>7</b>	<b>Vergleichende Analyse der Ergebnisse .....</b>	<b>115</b>
7.1	Neubauten .....	115
7.2	Sanierungen .....	117
7.3	Zielgrösse Klimaschutz.....	118
<b>8</b>	<b>Die zukünftige Entwicklung des Schweizerischen Wohngebäudeparks.....</b>	<b>121</b>
8.1	Methodisches Vorgehen.....	121
8.2	Prognose der Energiebezugsflächen .....	122
<b>9</b>	<b>Prognosen der Umweltwirkungen des Wohngebäudeparks .....</b>	<b>127</b>
9.1	Methodisches Vorgehen.....	127
9.1.1	Zusätzliche Grössen für die Prognosen.....	127
9.1.2	Aufbau der Prognosen .....	128
9.1.3	Zielwerte .....	129

9.2	Ergebnisse der Prognosen .....	130
9.2.1	KEA nicht erneuerbar .....	130
9.2.2	GWP 100 a .....	133
9.2.3	UBP 2006 .....	134
9.2.4	Eco-indicator 99 .....	136
9.2.5	Prinzipielle Erreichbarkeit des IPCC-Ziels .....	137
9.3	Vergleich der Prognosen und Schlussfolgerungen .....	138
<b>10</b>	<b>Welche Anforderungen lassen sich an zukünftige Energiestandards formulieren? .....</b>	<b>141</b>
<b>Anhang</b> .....		<b>143</b>
<b>A-1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>143</b>
<b>A-2</b>	<b>Tabellarische Übersichten .....</b>	<b>143</b>
A-2.1	Übersicht der Kennziffern und Endenergieverbräuche der einzelnen Energiestandards .....	144
A-2.1.1	EFH Neubauten .....	144
A-2.1.2	MFH Neubauten .....	146
A-2.1.3	EFH Sanierungen .....	148
A-2.1.4	MFH Sanierungen .....	149
A-2.2	Inputdaten des Referenzgebäudes .....	151
<b>A-3</b>	<b>Bewertungsmethoden in Ökobilanzen .....</b>	<b>152</b>
A-3.1	Berechnung des Primärenergieverbrauchs .....	153
A-3.2	Klimaänderungspotential .....	154
A-3.3	Eco-indicator '99 .....	155
A-3.3.1	Menschliche Gesundheit .....	156
A-3.3.2	Ökosystem Qualität .....	157
A-3.3.3	Ressourcenentwertung .....	158
A-3.3.4	Zusammenfassung der Methode .....	158
A-3.4	Methode der ökologischen Knappheit 2006 .....	160
<b>Literatur</b> .....		<b>163</b>



# Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt "Umweltwirkungen von Energiestandards - Perspektiven für den Gebäudepark Schweiz" ist Teil des Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms "Rationelle Energienutzung in Gebäuden" des Bundesamtes für Energie.

*Rahmen der Arbeit*

Die Arbeit untersucht das Zusammenwirken von Energiestandards mit der Entwicklung des Gebäudeparks und quantifiziert die resultierenden Umweltauswirkungen mit Hilfe von Ökobilanzierungen. Berücksichtigt wird der ganze Lebenszyklus der Bauten, d.h. die baulichen Aufwendungen, der Betrieb sowie die Entsorgung bzw. der Rückbau.

*Energiestandards und Umweltwirkungen*

Basierend auf den Ergebnissen der Ökobilanzen werden die nötigen Anforderungen an zukünftige Standards für Neubauten sowie für Umbauten/Sanierungen formuliert. Hierfür wird auf zu erreichende Ziele für die Umweltauswirkungen des Gebäudeparks Schweiz Bezug genommen.

*Anforderungen formulieren*

Als Systemgrenze für die Ökobilanzen wird das einzelne Gebäude mit vor- und nachgelagerten Prozessschritten (z.B. Graue Energie, Umweltbelastung von Erneuerung), Energie für Heizen und Warmwasser sowie übrigen Betriebsenergien gewählt.

*Systemgrenzen der Ökobilanzen*

## Energiestandards, Energiesysteme und Indikatoren

Es werden folgende Energiestandards, Energiesysteme und Indikatoren unterschieden:

➤ Energiestandards für Neubauten und Sanierungen:

*Energiestandards*

- SIA 380/1 Grenzwerte
- MuKE n Modul 2 (nur Neubauten)
- Minergie
- Minergie-P

➤ Energiesysteme:

*Energiesysteme*

- Heizöl
- Heizöl / Solar
- Erdgas / Solar
- Wärmepumpen (mit unterschiedlichem Strommix)

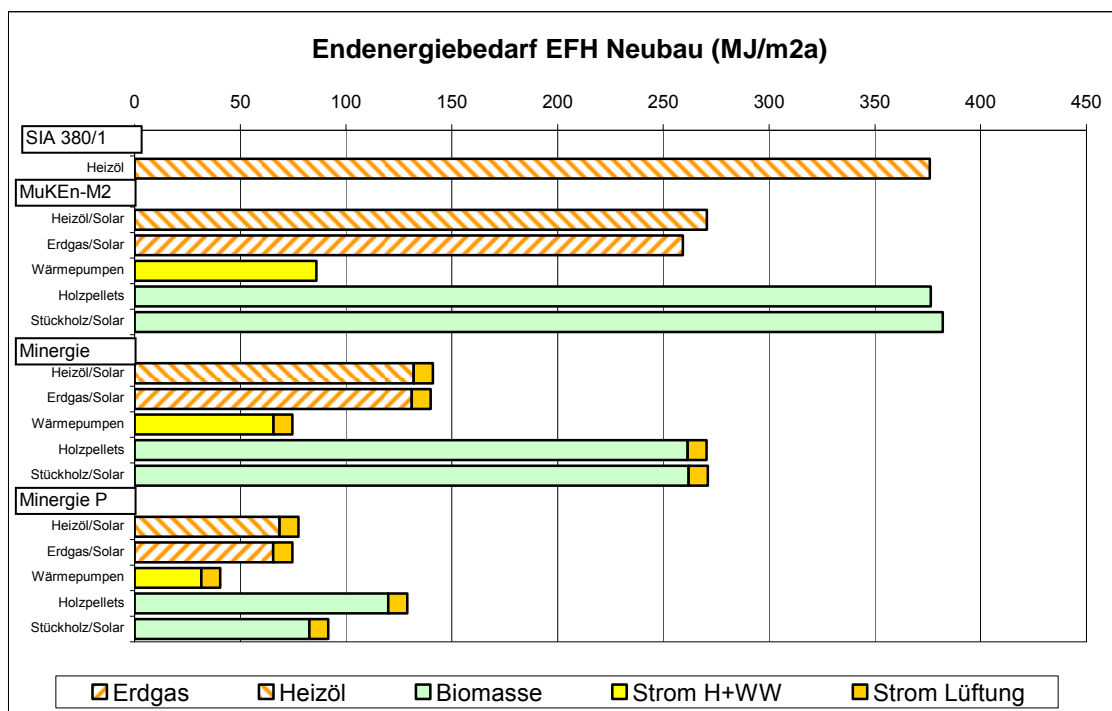
- Holzpellets
- Stückholz / Solar

#### Indikatoren

##### ➤ Indikatoren:

- Von aussen dem Gebäude zugeführte Endenergie
- CO<sub>2</sub>-Emissionen und CO<sub>2</sub>-Äquivalente (GWP 100 a)
- Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar (KEA)
- Umweltbelastungspunkte 2006 (UBP 06, provisorische UBP)
- Eco-indicator '99 (H,A) (EI'99 (H,A))

Der Endenergiebedarf der einzelnen Standards ist am Beispiel eines Einfamilienhaus-Neubaus (EFH-Neubau) in Abbildung 1 dargestellt. Die Vorgaben der Energiestandards differieren nach eingesetztem Energiesystem, was zu den teils grossen Unterschieden zwischen den Energiesystemen innerhalb eines Energiestandards führt.



**Abbildung 1:** Endenergiebedarf des untersuchten Einfamilienhauses (Neubau) in Megajoule pro Quadratmeter Energiebezugsfläche und Jahr.

#### Auswirkungen Energiesystem auf Wärmeschutz

Die unterschiedlichen Vorgaben der Energiestandards bezüglich der zulässigen Energieverbräuche bei verschiedenen Energiesystemen führen bei Gebäuden mit Wärmepumpen- und mit Holzheizungen zu

einem gegenüber fossil beheizten Gebäuden reduzierten Wärmeschutz und somit generell zu einem höheren Heizenergiebedarf.

## Eingesetzte Ökobilanzmethoden

Die verwendeten Ökobilanzierungsmethoden lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Beim Kumulierten Energieaufwand, nicht erneuerbar (KEA) werden die fossilen (Öl, Gas) und nuklearen (Uran) Primärenergieresourcen für die Bereitstellung der Endenergie berücksichtigt. *Kumulierter Energieaufwand, nicht erneuerbar*
- Treibhausgas-Emissionen (GWP 100a): Für diejenigen Substanzen, welche zur Klimaänderung beitragen, wird das Treibhauspotential („global warming potential“, GWP) als Wirkungsparameter beigezogen. In dieser Studie wird das Treibhauspotential auf 100 Jahre Integrationszeit berechnet. *Treibhauspotential*
- Die Methode Eco-indicator '99 beruht auf dem Konzept der Schadensmodellierung. Die Schutzgüter, deren Beeinträchtigungen mit Hilfe einer Ökobilanz hier quantifiziert werden, sind Humangesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcenentwertung. *Eco-indicator '99*
- Die Bewertung mit Umweltbelastungspunkten (UBP 06) (Methode der ökologischen Knappheit) beruht auf dem Prinzip „Distance-to-target“. Zur Gewichtung werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert. *Umweltbelastungspunkte 2006*

## Übersicht der Ergebnisse

In Abbildung 2 werden am Beispiel EFH Neubau die Umweltwirkungen der einzelnen untersuchten Varianten und Standards verglichen. Es ist zu beachten, dass bei den Neubauten der Anteil des Rohbaus des Gebäudes in den Umweltwirkungen enthalten ist. Er wird in der Graphik separat aufgeführt um die Grössenordnung zu verdeutlichen. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

*Niedrigenergiestandards führen teilweise nur in geringem Masse zu tieferen Umweltwirkungen*

Die Energiestandards unterscheiden sich deutlich bezüglich des Indikators KEA (nicht erneuerbare Energien). Die Niedrigenergiestandards weisen mit abnehmendem Energiebedarf auch abnehmende Umweltwirkungen auf. Beim Indikator UBP beträgt die Reduktion für Minergie-P Bauten jedoch nur ca. 40% - 55% des Werts der Referenzvariante SIA 380/1. Dies bedeutet, dass bezüglich der provisorischen Umweltbelastungspunkte 2006 (UBP 06) ein neu erstelltes Minergie-P-Gebäude nur wenig besser ist als ein Gebäude nach MuKE Modul 2 (MuKE-M2). Dies ist auf den hohen Anteil der Umweltbelastungen durch den Rohbau sowie die Umweltbelastung der zusätzlichen energietechnischen Massnahmen (vor allem Wärmedämmung, Materialaufwand Lüftung sowie Elektrizitätsbedarf Lüftung) zurückzuführen.

*Bei Minergie-P ist die Wahl des Heizsystems sekundär*

Der Minergie-P-Standard wird unabhängig vom Heizsystem innerhalb einer Bewertungsmethode ähnlich gut bewertet. Bei den untersuchten Varianten ist die Wahl des Heizsystems bei einem Minergie-P-Gebäude demnach von untergeordneter Bedeutung für dessen Umweltwirkungen. Dies ist auf die geringen Umweltbelastungen des Energieverbrauchs im Vergleich zu denjenigen der energietechnischen Massnahmen (inkl. Betriebsstrom für die Lüftung) zurückzuführen. Es ist zu beachten, dass die Abnahme der Umweltbelastung durch Niedrigenergiestandards bei den UBP deutlich geringer ist als bei den anderen Bewertungsmethoden.

*Fossile Varianten werden ähnlich bewertet*

Bei den fossilen Varianten führt die Bewertung der Umweltwirkungen mit KEA, GWP und EI'99 zu relativ ähnlichen Aussagen. Unterschiedliche Bewertungen ergeben sich bei den Versorgungsvarianten Wärmepumpen (CH-Mix) und Holz. Bei der Variante "Wärmepumpe mit GuD Strom" liegen die Umweltwirkungen zwischen den Varianten Fossil/Solar und Holz.

*Strom aus regenerativen Quellen führt zu guten Werten von Bauten mit Wärmepumpen*

Bei der Auswahl der Energiesysteme schneiden Holzpellets, Stückholz/Solar und die Wärmepumpe mit Schweizer Strommix bezüglich Umweltwirkungen (ausser bei der Bewertung mit UBP 2006) bei allen Energiestandards vergleichsweise gut bis sehr gut ab. Der hohe nukleare Anteil beim Schweizer Strommix führt zum schlechteren Abschneiden der Wärmepumpe bei den UBP.

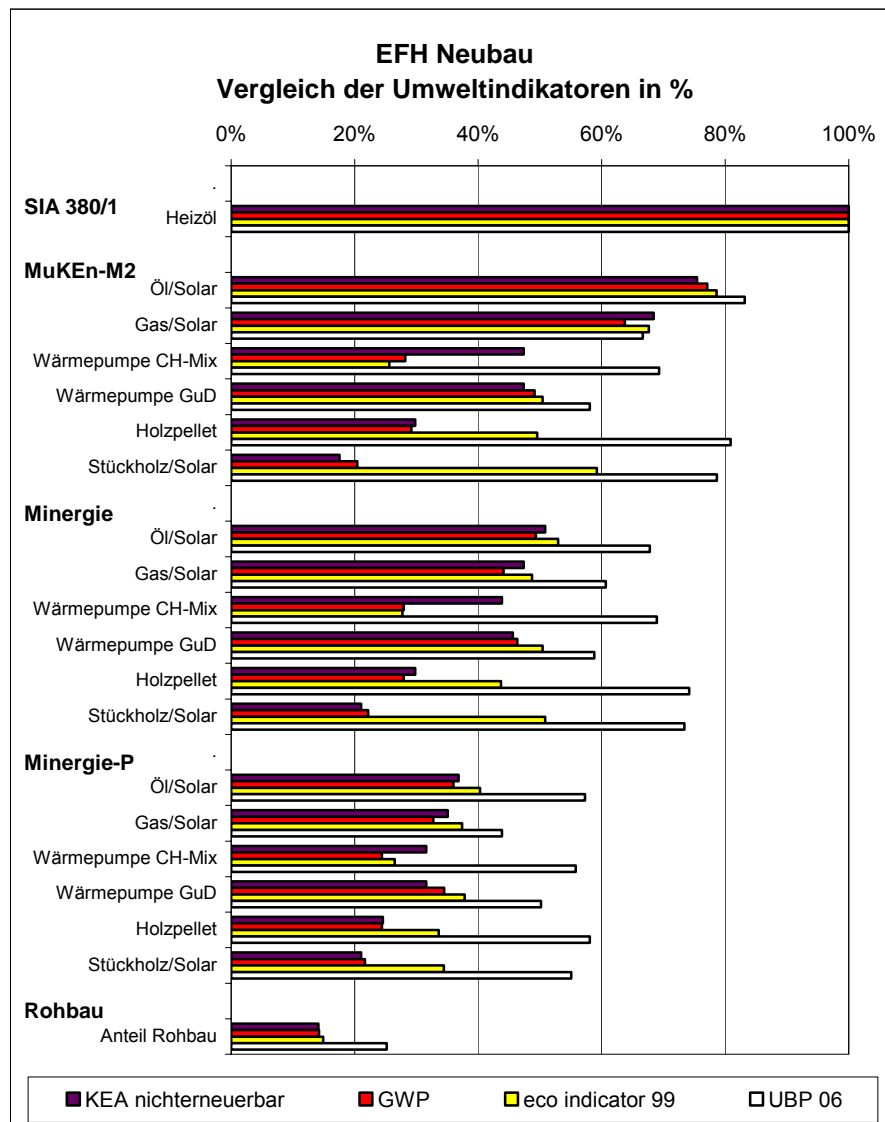


Abbildung 2: Relativer Vergleich der Resultate der unterschiedlichen Bewertungsmethoden für EFH Neubau. Bei Neubauten ist sind die Umweltwirkungen des Rohbaus enthalten und zur Erläuterung der Grössenordnung separat aufgeführt.

Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Varianten für EFH Sanierungen. MuKEN-M2 geht nicht in die Betrachtung ein, da dieser Standard keine Vorgaben für Sanierungen formuliert.

Bei den Sanierungen führen die Minergie-Varianten mit Wärmepumpen (CH-Mix) und Holzfeuerungen mit Ausnahme der UBP zu sehr deutlichen Verbesserungen gegenüber SIA 380/1. Diese werden

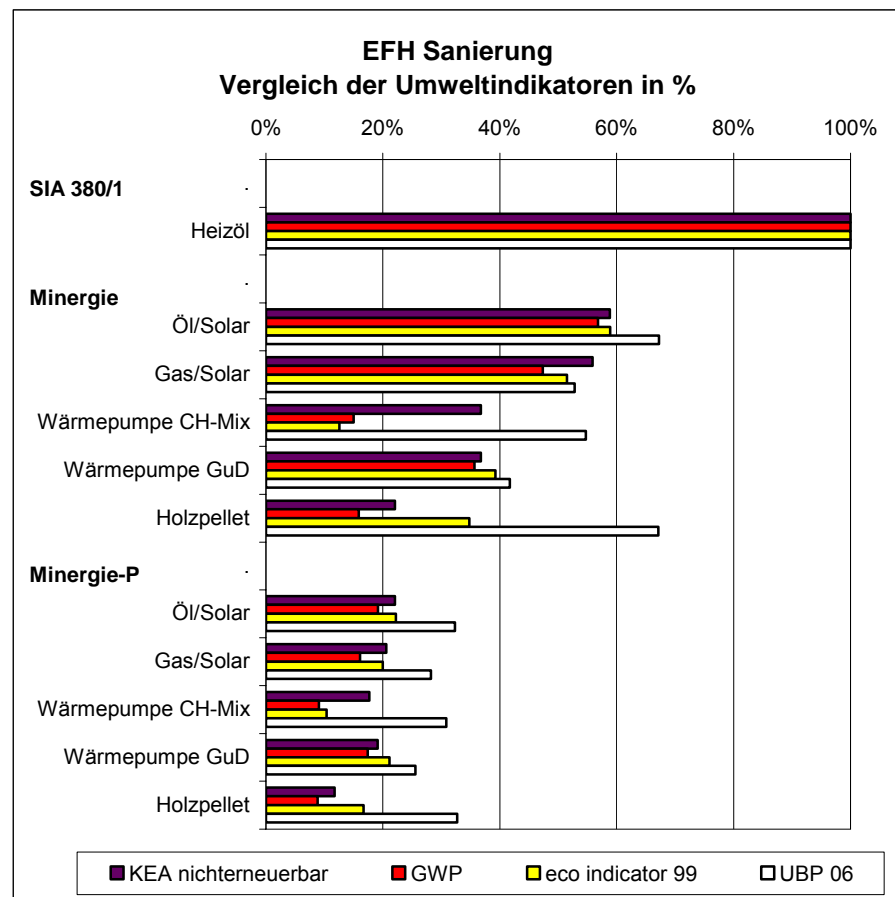
Sanierungen

auch unter Berücksichtigung von GuD-Strom um deutlich mehr als die Hälfte gegenüber einer Sanierung gemäss SIA 380/1 mit Heizöl reduziert.

#### Minergie-P

Durch den Wegfall der Bewertung des bereits bestehenden Rohbaus bei Sanierungen wird Minergie-P für die meisten Varianten noch vorteilhafter im Vergleich zu Minergie. Für Minergie-P sind bei Sanierungen auch die Umweltbelastungspunkte niedrig, wodurch dieser Standard am besten abschneidet.

Die Reduktionen mit Minergie-Standard gegenüber SIA 380/1 sind prozentual gegenüber den Neubauten höher. Dies unterstreicht die Bedeutung der Anwendung des Minergie-Standards bei Sanierungen.



**Abbildung 3** Relativer Vergleich der Resultate der unterschiedlichen Bewertungsmethoden für Einfamilienhaus-Sanierungen (EFH-Sanierungen).

Wird der nukleare Anteil aus dem Strommix eliminiert (beispielsweise durch Bezug von zertifiziertem Ökostrom) sinkt die Umweltbelastung auch gemäss UBP 2006 deutlich. In Kombination mit Ökostrom weist die Wärmepumpen-Variante durchwegs gute Werte auf.

*Ökostrom*

Beim Einsatz von erneuerbaren Energien (Holz oder Wärmepumpen CH-Mix) hat der gewählte Energiestandard des Gebäudes nur sehr geringen Einfluss auf den Umweltindikator GWP (Treibhauspotential). Der Wert liegt in der Grössenordnung von 10 - 20% der Referenzvariante.

*GWP von Bauten mit erneuerbaren Energien unabhängig vom Energiestandard*

### **Vertiefung ausgewählter Fragestellungen**

Der Einfluss unterschiedlicher Wirkungsgrade von Wärmepumpen ist bei den Neubauten deutlich geringer ausgeprägt als bei den bestehenden Bauten, da der Aufwand für den Rohbau einen bedeutenden Anteil der Umweltwirkungen bestimmt.

*Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe*

Je nach Indikator erlaubt eine höhere Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe (5.5 statt 4.0 für Heizung, 3.5 statt 2.7 für Warmwasser) dank der Verringerung des Stromverbrauchs eine Reduktion der Umweltbelastungen um bis zu 17%. Die Einsparungen sind grösser bei den Bewertungsmethoden, die der Betriebsphase eine höhere Bedeutung geben (KEA nicht erneuerbar).

Der Einfluss der Art des Strommixes ist vor allem für die Varianten mit Wärmepumpen wichtig. Die Treibhausgasemissionen nehmen sowohl beim UCTE-Strommix als auch bei Strom aus einem modernen GuD-Kraftwerk um einen Faktor von rund 2.5 zu (Abbildung 4). Geht man davon aus, dass zukünftig ein bestimmter Anteil des Stroms auch in der Schweiz aus GuD-Kraftwerken stammt, wird das gute Abschneiden der Varianten mit Wärmepumpen und CH-Strommix, beispielsweise bei Minergie-Bauten, relativiert.

*Einfluss des Strommixes*

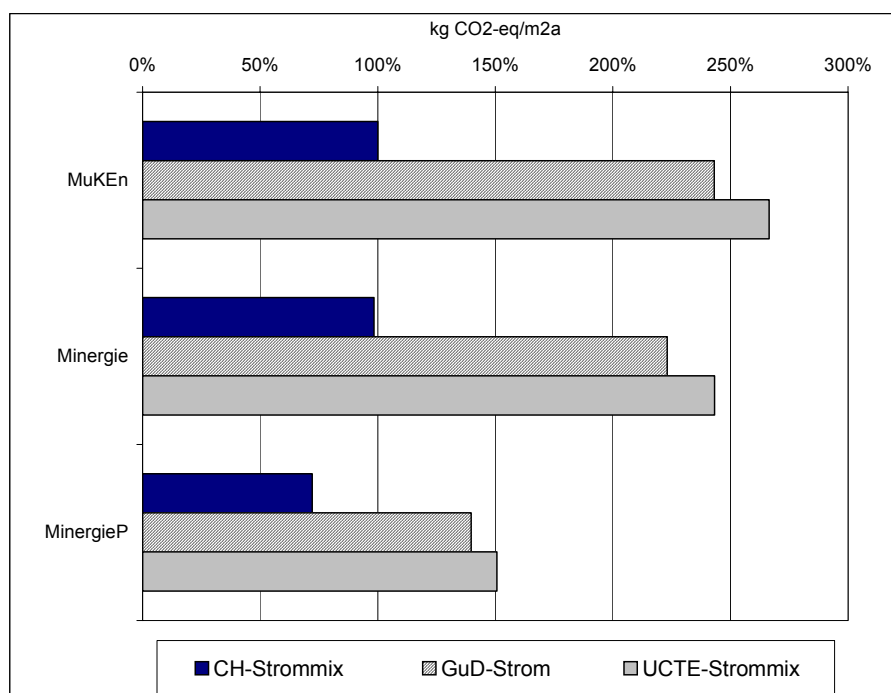


Abbildung 4: Einfluss des Strommixes bei der Variante Wärmepumpe, Einfamilienhaus Neubau für den Indikator Treibhauspotential (GWP 100a). Variante MuKE n mit CH-Strommix entspricht 100%.

### Hochrechnungen für den Gebäudepark Schweiz

*Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft knapp verfehlt*

Die Hochrechnung der Umweltwirkungen auf den gesamten Gebäudepark der Wohnbauten in der Schweiz zeigt, dass auf Grund der langen Sanierungszyklen der Gebäude auch mit den jeweils besten Kombinationen von Energiestandards und Energiesystemen für Bauten die anvisierten längerfristigen Ziele (2000-Watt-Gesellschaft, IPCC<sup>1</sup>) nicht erreicht werden. Die Differenz zum Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft im Jahr 2050 könnte bei einer konsequenten Anwendung der besten Baustandards und Energiesysteme jedoch gering sein. Die Hochrechnungen berücksichtigen die Neubau- und Sanierungstätigkeiten gemäss den neuen Energieperspektiven des Bundesamtes für Energie.

<sup>1</sup> IPCC: International Panel on Climate Change



Abbildung 5 zeigt die Prognose der Treibhausgasemissionen des Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 pro Person samt Zielwert, der sich aus dem IPCC-Report (Bezug Kyoto-Protokoll) ergibt. Er-sichtlich wird die "Trägheit" des Gebäudeparks Schweiz mit langen Sanierungszyklen und entsprechend langsamer Reduktion der Umweltwirkung des Gebäudeparks.

Prognose GWP

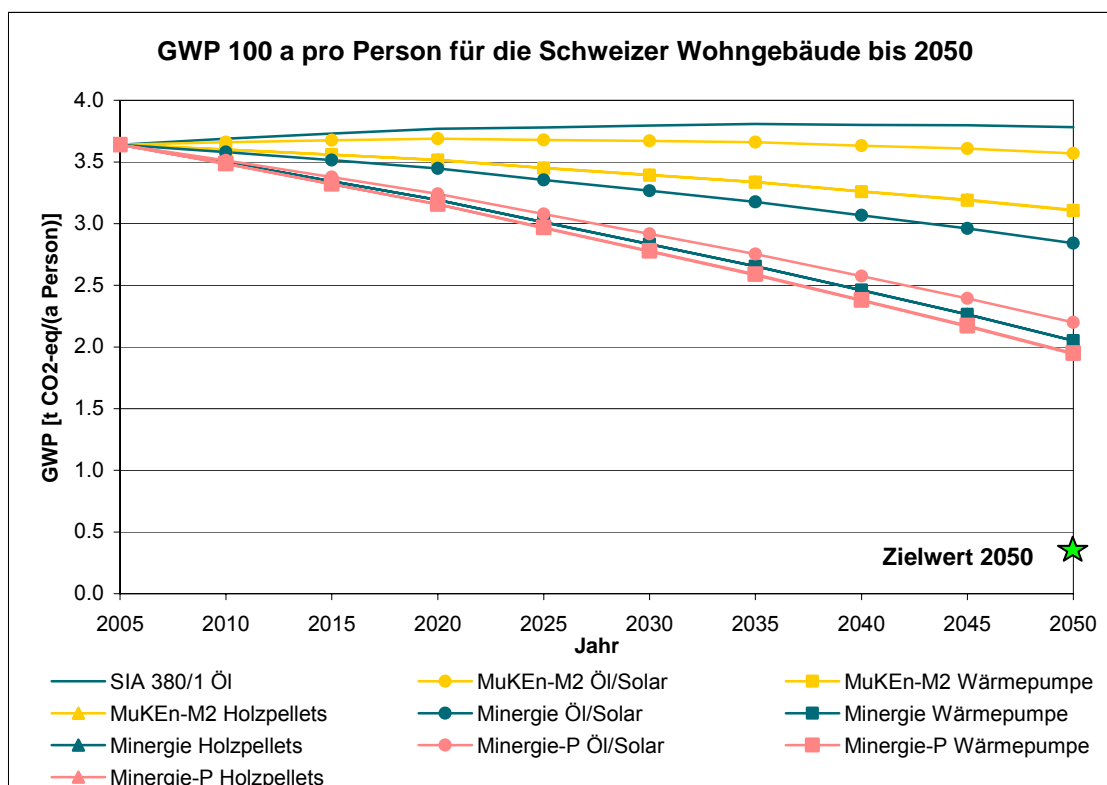


Abbildung 5 Prognose des Treibhauspotentials (GWP 100 a) pro Kopf für den Schweizer Wohngebäudepark bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen. Die Kurven der Energiesysteme Holzpellets und Wärmepumpe kommen jeweils aufeinander zu liegen. Zielwert für den Wohngebäudepark im Jahr 2050 liegt gemäss IPCC bei 0.32 t CO<sub>2</sub>-eq/(a Person).

Das für die vorliegende Arbeit *umgerechnete Ziel* des IPCC für das Jahr 2050 von 0.32 t CO<sub>2</sub>-eq pro Person und Jahr *für Wohnen* wird selbst mit der besten Kombination (Minergie-P mit Holzpellets oder Wärmepumpe (CH-Mix)) deutlich verfehlt.

Weitere Abschätzungen zeigen, dass das Ziel des IPCC für das Jahr 2050 selbst dann nicht erreicht werden könnte, würde man den

Altbestand an Wohngebäuden mit der umweltverträglichsten Kombination durch Vollsanierung und Neubau im Jahr 2050 vollständig ersetzt haben. Dies gilt analog auch für die Bewertungsmethode KEA und die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft. Neben der Erhöhung der Sanierungsrate ist folglich auch eine generelle Verbesserung der Baustandards und der Energiesysteme im Sinne geringerer Umweltbelastung notwendig.

### Anforderungen an zukünftige Energiestandards

*Zielsetzungen  
entscheidend*

Die aus den Untersuchungen ableitbaren Anforderungen an die zukünftigen Energiestandards hängen stark von den anvisierten Zielsetzungen im energiepolitischen Gesamtkontext der Schweiz ab.

Es können drei sich teilweise widersprechende Zielsetzungen unterschieden werden:

- a) Erreichen der Anforderungen an die 2000-Watt-Gesellschaft (Zielgrösse KEA)
- b) Minimierung der Umweltbelastungen (Zielgrösse UBP 06, EI'99)
- c) Reduktion der Treibhausgasemissionen (Zielgrösse GWP)

Die Anforderungen an zukünftige Energiestandards sollten so definiert werden, dass ein möglichst grosses Spektrum dieser Ziele abgedeckt werden kann.

*Zielgrösse 2000-  
Watt-Gesellschaft*

Aus den Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft folgt, dass die Energiestandards Anforderungen an den einzusetzenden Primärenergieträger beinhalten sollten. Dabei erreichen Gebäude/Energiesysteme mit Holzenergie sowie Minergie-P-Bauten die besten Werte. Es sollten auch für Gebäude mit Holzenergie hohe Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt werden. Beim Strommix führt ein Wechsel hin zu zertifiziertem Ökostrom zu deutlich tieferen KEA-Werten (KEA nicht erneuerbar).

*Zielgrösse Umwelt-  
belastung*

Das Ziel einer Reduktion der Umweltbelastungen (UBP) ist mit den heutigen Energiestandards schwierig zu erreichen, wenn keine Anforderungen an die Herstellung und die Wahl der Baumaterialien gemacht erfolgen. Bei den Neubauten resultieren bei Minergie-P-Bauten, unabhängig von den Energiesystemen, Reduktionen gegenüber dem Standard SIA 380/1 von rund 50%. Dass keine grösseren Reduktionen erreicht werden können, ist auf den hohen Anteil der

baulichen Massnahmen (Rohbau sowie zusätzliche wärmetechnische Massnahmen) an der gesamten Umweltbelastung zurückzuführen. Bei den Sanierungen hingegen führt der Minergie-P-Standard zu einer Reduktion der Umweltbelastungen von rund 70% gegenüber einer Sanierung gemäss SIA 380/1, da der Rohbau bereits besteht.

Eine Reduktion der Umweltbelastungen kann deshalb über die Wahl der Baumaterialien, eine Verbesserung der Prozesse zu deren Herstellung, über die Verbesserung ausgewählter Energiesysteme (beispielsweise eine Reduktion der Partikelemissionen bei Holzfeuerungen) und durch die Wahl umweltfreundlicher Stromprodukte (zertifizierter Ökostrom) zusätzlich zu einer Verschärfung der Anforderungen der Energiestandards erfolgen.

Eine möglichst deutliche Reduktion der Klimagasemissionen bedingt den Einbezug des GWP der Energiesysteme in die energetischen Anforderungen an Bauten. Vor allem im Sanierungsbereich zeigt sich, dass das Energiesystem den grössten Einfluss auf die Treibhausgasemissionen hat. Auch wenn als Strommix GuD-Strom angenommen wird, liegen die resultierenden Emissionen von Wärmepumpen bei Minergie-Sanierungen deutlich unter den Treibhausgas-Emissionen der fossilen Varianten.

*Zielgrösse Klimaschutz*

Die Minergie-Anforderungen könnten bei Sanierungen noch deutlich gesenkt werden und liessen sich trotzdem mit beschränktem Aufwand mittels Wärmepumpen erreichen. Dies auch im Hinblick auf zukünftig zu erwartende bessere Wirkungsgrade der Wärmepumpen.

Die grössten Einsparungen an Treibhausgasemissionen lassen sich also durch den Einbezug des Kriteriums GWP bei den Sanierungen erreichen. Der Einbezug des Kriteriums GWP kann durch tiefere Grenzwerte bei Minergie-Sanierungen erreicht werden. Diese tieferen Grenzwerte führen zu mehr Wärmepumpen und damit tieferen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sanierungsbereich - auch unter Einbezug der Erzeugung der zusätzlichen Elektrizität mittels GuD-Kraftwerken.

*Mehr Klimaschutz durch deutlich tiefere Grenzwerte bei Minergie-Sanierungen.*

Die heute bei Minergie-Bauten bestehenden, vergleichsweise moderaten Anforderungen an den Heizenergiebedarf der Gebäude mit WP- und Holzheizungen, sind aus Umweltsicht nicht gerechtfertigt und sollten angepasst werden. Eine Verbesserung kann durch eine Anpassung der Gewichtung von Elektrizität und Holz im energetischen Nachweis erreicht werden.

*Reduzierte Anforderungen bei WP und Holzheizungen aus Umweltsicht nicht gerechtfertigt.*



# 1 Ziel der Arbeit

Das vorliegende Projekt "Umweltwirkungen von Energiestandards - Perspektiven für den Gebäudepark Schweiz" ist Teil des Forschungs-, Pilot- und Demonstrationsprogramms Rationelle Energienutzung in Gebäuden des Bundesamtes für Energie.

Mit der Arbeit wird das Zusammenwirken von Energiestandards und der Entwicklung des Gebäudeparks aufgezeigt und die resultierenden Umweltauswirkungen mit Hilfe von Ökobilanzierungen quantifiziert. Dabei wird besonderes Gewicht auf den noch wenig untersuchten Umbau- und Sanierungsbereich gelegt. Der Zeithorizont des Projektes berücksichtigt die absehbare Entwicklung über die nächsten 25-30 Jahre ergänzt mit einem Ausblick bis 2050.

*Ziele des Projekts*

Berücksichtigt wird der ganze Lebenszyklus der Bauten, d.h. die baulichen Aufwendungen, der Betrieb sowie die Entsorgung bzw. der Rückbau.

Die Umweltwirkungen werden basierend auf den neusten Daten der ecoinvent Datenbank ermittelt und mit unterschiedlichen Methoden bewertet. Als wichtigste Grösse für die Umweltwirkung wird die Emission von Klimagasen angesehen, weshalb dieser Indikator bei der Analyse etwas vertieft behandelt wird.

*Emissionen von Klimagasen und anderen Umweltwirkungen*

Basierend auf den Ergebnissen der Ökobilanzierungen werden Anforderungen an die zukünftigen Standards von Neubauten sowie Umbauten/Sanierungen bezogen auf zu erreichende Ziele für die Umweltauswirkungen des Gebäudeparks Schweiz formuliert.

*Anforderungen an zukünftige Standards*



## 2 Systemgrenzen und Bezugsgrössen

Damit die Auswirkungen der unterschiedlichen Standards miteinander verglichen werden können, wird folgende Systematik festgelegt: *Systematik*

➤ **Untersuchte Bauten:**

Die Arbeit konzentriert sich auf Wohnbauten, wobei aufgrund der unterschiedlichen Gebäudehüllzahl zwischen Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern unterschieden wird (EFH und MFH). Dabei wird für EFH eine Gebäudehüllzahl von 2, für MFH eine Gebäudehüllzahl von 1.3 angenommen. Zusätzlich wird zwischen Neubauten und Sanierungen unterschieden.

➤ **Systemgrenzen:**

Die Systemgrenze umfasst das einzelne Gebäude, wobei bei den Energiesystemen vor- und nachgelagerte Prozessschritte gemäss ecoinvent-Methodik berücksichtigt werden. Die Aufwendungen für das Gebäude (z.B. Graue Energie, Umweltbelastung von Erneuerung) wird jeweils qualitativ berücksichtigt und deren Verhältnis zum gesamten Energiebedarf aufgezeigt.

Betrachtet werden Energie für Warmwasser, Heizen (inkl. zugehörigen Hilfsenergien) und übrige Elektrizitätsanwendungen.

➤ **Bezugsgrösse:**

Die Grössen beziehen sich immer auf m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche (EBF) als spezifischen Wert. Darauf basierend erfolgt die Hochrechnung auf den gesamten Gebäudepark CH.

➤ **Indikatoren:**

Folgende Indikatoren werden unterschieden:

- Von aussen dem Gebäude zugeführte Endenergie
- CO<sub>2</sub> -Emissionen und CO<sub>2</sub> -Äquivalente (GWP 100 a)
- Kumulierter Energieaufwand (KEA)
- Umweltbelastungspunkte 2006 (UBP 06)
- Eco-indicator '99 (EI'99 (H,A))

➤ **Abgrenzungen Nutzenergie/Endenergie:** Im Fokus stehen die mit dem Endenergieeinsatz verbundenen Umweltwirkungen. Bei Nutzenergiestandards werden 4 Varianten der Energiebereitstellung ausgewählt. Bei Endenergiestandards mit unterschiedlicher

Gewichtung der Endenergieträger erfolgt ebenfalls mittels Annahmen eine Aufteilung in unterschiedliche Endenergieträger (z.B. Holz, Elektrizität) gemäss Verwendungszweck (Heizung, Lüftung)

- Es werden die theoretischen Energieverbrauchswerte gemäss den Anforderungen der Standards verwendet. In der Praxis erreichte Werte werden nicht berücksichtigt.
- Beurteilungszeitraum: Die Perspektiven des Gebäudeparks berücksichtigen einen Zeitraum bis 2050.
- Abgrenzung Standards und "Effizienzpfade":  
Die Effizienzpfade 2000-Watt-Gesellschaft und Effizienzpfad SIA werden in dieser Arbeit als zeitliche Aneinanderreihung von Energiestandards interpretiert. Sie werden aber bei der Hochrechnung auf die Schweiz nicht explizit berücksichtigt.



## 3 Anforderungen der Energiestandards

### 3.1 Berücksichtigte Standards, Gebäudetypen und Energiesysteme

#### 3.1.1 Berücksichtigte Standards

In diesem Kapitel werden die bestehenden Studien bezüglich freiwilligen und gesetzlichen Energiestandards sowie die in der Praxis erreichten Werte dargelegt. Dazu gehören die Anforderungen an Neubauten, Umbauten und Sanierungen.

Die Verwendbarkeit der bestehenden Energiestandards für die vorliegende Arbeit wird bewertet und bestehende Lücken werden aufgezeigt. Dabei werden die folgenden Energiestandards untersucht:

*Verwendbarkeit  
bewerten*

- SIA 380/1 Grenzwerte Neubauten und Sanierung
- MuKE n Modul 2 Neubauten (MuKEN M-2)
- Minergie Neubauten und Sanierung
- Minergie-P Neubauten und Sanierung

*Berücksichtigte  
Standards*

Der Zielpfad "SIA Effizienzpfad Energie" (Preisig & Pfäffli 2006) wird als Aneinanderreihung von Standards betrachtet und deshalb nicht separat analysiert.

#### a) Übersicht der verwendeten Energiestandards

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die 4 untersuchten Energiestandards. In den folgenden Abschnitten werden diese Standards im Detail präsentiert sowie die Berechnungen für den Endenergiebedarf für die verschiedenen Gebäudetypen und die Aufteilung auf verschiedene Energieträger vorgenommen.

Energie- standard	Bezugsgrösse der Anforderun- gen	Anforderungen Neubauten (MJ/m <sup>2</sup> a)	Anforderungen Sanierung (MJ/m <sup>2</sup> a)	Umrechnung auf End- energie	Sind Anforderungen zu berücksichtigen?				
					Heiz- energie	Warmwasser	Hilfsstrom Heizung/ Lüftung	Allgemein- strom	Graue Energie
SIA 380/1	Nutzenergie	Grenzwert MFH = 80 + 90*A/EBF  Grenzwert EFH = 90 + 90*A/EBF  EKZ bei Standardnutzungen: MFH: 272 EFH: 275-320	Einzelanforderungen für Gebäudeteile  Systemanforderung: 140% des Grenzwert- es Neubauten	Möglich	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
MuKE Modul 2	Nutzenergie	Max. 80% nicht-erneuerbare für Energiebedarf Heizung und Warmwasser		Möglich	Ja	Ja, Standard- verbrauchs- werte	Nein	Nein	Nein
Minergie	Endenergie (gewichtet)	151 MJ/m <sup>2</sup> a für EFH und MFH	288 MJ/m <sup>2</sup> a für EFH und MFH	Möglich	Ja	Ja, mit Standard- verbrauchs- werten	Ja	Nein	Nein
	Nutzenergie	<= 80% SIA 380/1 Grenzwert für Heizwärmebedarf	<= 120% SIA 380/1 Grenzwert für Heizwärmebedarf						
Minergie-P	Endenergie	108 MJ/m <sup>2</sup> a für EFH und MFH	108 EFH und MFH	Möglich	Ja	Ja, mit Standard- verbrauchs- werten	Ja	Nein, aber Vorgabe Gerätekla- ssen A und A+	Nein
	Nutzenergie	< 20% SIA 380/1 GW für Heizwärmebedarf	< 20% SIA 380/1 GW für Heizwärme- bedarf						

Tabelle 1: Übersicht der verschiedenen einbezogenen Energiestandards.

**b) SIA 380/1:2001**

Die SIA Norm 380/1 Ausgabe 2001 ist die Grundlage für die Wärmebedarfsrechnungen in der Schweiz. Sie legt Grenz- und Zielwerte für den Heizwärmebedarf (Nutzenergie) fest. Die Anforderungen an die Gebäudehülle werden alternativ als Grenz- und Zielwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten der Einzelbauteile (Einzelanforderungen) oder für den Heizwärmebedarf (Systemanforderung) definiert. Für den Heizwärmebedarf liegen die Zielwerte 40% unter dem Grenzwert. Die kantonalen Gesetze beziehen sich in der Regel auf den Grenzwert.

*Stellenwert*

Die Grenz- und Zielwerte für den Heizwärmebedarf sind folgendermassen definiert:

*Grenz- und Zielwerte*

Gebäude Typ	Wert	Anforderung Heizwärmebedarf (Nutzenergie)
EFH	Grenzwert	$90 \text{ MJ/m}^2\text{a} + 90 \text{ MJ/m}^2\text{a} * \text{Gebäudehüllzahl}$
EFH	Zielwert	$60 \text{ MJ/m}^2\text{a} + 50 \text{ MJ/m}^2\text{a} * \text{Gebäudehüllzahl}$
MFH	Grenzwert	$80 \text{ MJ/m}^2\text{a} + 90 \text{ MJ/m}^2\text{a} * \text{Gebäudehüllzahl}$
MFH	Zielwert	$50 \text{ MJ/m}^2\text{a} + 50 \text{ MJ/m}^2\text{a} * \text{Gebäudehüllzahl}$

Die Gebäudehüllzahl ist definiert als (Gebäudehüllfläche/Energiebezugsfläche)

*Tabelle 2: Grenz- und Zielwerte für den Heizwärmebedarf von Neubauten gemäss SIA 380/1:2001*

Der Wärmebedarf für Warmwasser gemäss Standardnutzung beträgt für MFH  $75 \text{ MJ/m}^2\text{a}$  und für EFH  $50 \text{ MJ/m}^2\text{a}$ . Die Werte für den Heizwärmebedarf (Nutzenergie) lassen sich durch Verwendung der vorgegebenen Nutzungsgrade in Endenergie umwandeln.

*Standardnutzungen  
Wärmebedarf*

SIA 380/1 macht keine Vorgaben für den Endenergiebedarf. Der resultierende Wert hängt von der Gebäudehüllzahl sowie dem Wirkungsgrad der Energiebereitstellung ab. Die folgenden Werte für den Endenergiebedarf sind deshalb informativ zu verstehen und beziehen sich auf Gebäude im Schweizer Mittelland.

*Anforderungen auf  
Ebene Nutzenergie*

Gebäude Typ	Wert	Nutzenergiebedarf
EFH	Grenzwert Neubau	270 MJ/m <sup>2</sup> a + Wärmebedarf Warmwasser (50 MJ/m <sup>2</sup> a) = <b>320 MJ/m<sup>2</sup>a</b> (Gebäudehüllzahl 2).
MFH	Grenzwert Neubau	197 MJ/m <sup>2</sup> a + Wärmebedarf Warmwasser (75 MJ/m <sup>2</sup> a) = <b>272 MJ/m<sup>2</sup>a</b> (Gebäudehüllzahl 1.3).

Tabelle 3: Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser

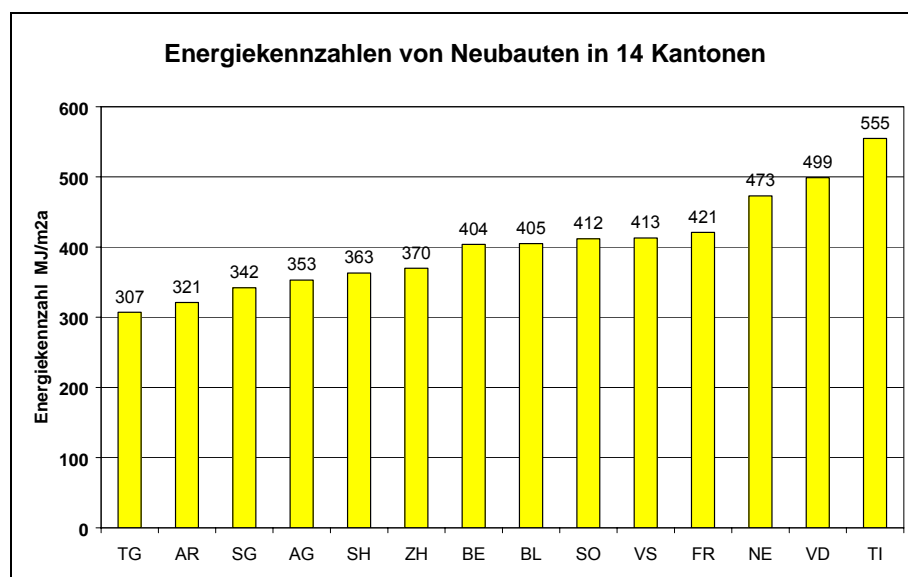
#### Sanierungen

Der Grenzwert für Sanierungen beträgt 140% des Grenzwertes für Neubauten. Zusätzlich sind Einzelanforderungen vorgegeben.

Für Elektrizität sind keine Grenz- und Zielwerte vorgegeben.

#### Praxiswerte

Die in der Realität erreichten Verbrauchswerte von Neubauten (Anforderungen nach SIA 380/1 oder SIA 180/1) sind durch Erhebungen gut fundiert. Die in Dettli et al. (2003) untersuchten Energiekennzahlen Wärme für Neubauten in 14 Kantonen liegen zwischen 307 MJ/m<sup>2</sup>a und 555 MJ/m<sup>2</sup>a, mit einer mittleren EKZ Wärme von 393 MJ/m<sup>2</sup>a, wie nachfolgende Figur illustriert.



Quelle: Wüest und Partner 2001, aus Dettli et al. 2003

Abbildung 6: Energiekennzahlen von Neubauten in 14 Kantonen mit Anforderungen gemäss SIA 380/1 oder 180

**c) MuKE n Modul 2**

Mit Hilfe der MuKE n (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich) sollen die kantonalen Vorschriften harmonisiert werden (Konferenz Kantonaler Energiedirektoren 2000). Die MuKE n sieht ein Basismodul vor sowie optionale Module für eine individuelle und trotzdem harmonisierte Ausgestaltung in den Kantonen. Die MuKE n bezieht sich im Bereich des Wärmeschutzes auf die SIA-Normen.

Das Basismodul für Neubauten ist im Wesentlichen identisch mit den Grenzwerten gemäss SIA 380/1, Ausgabe 2001. Das Basismodul enthält die minimalen Anforderungen, die beheizte oder gekühlte Bauten erfüllen müssen.

*Basismodul*

Darüber hinaus definiert die MuKE n neun Ergänzungsmodule. MuKE n Modul 2 (MuKE n-M2) formuliert erhöhte Anforderungen an Neubauten, indem der Höchstanteil an nicht-erneuerbaren Energien auf 80% beschränkt wird. Neubauten und Erweiterungen von bestehenden Bauten (Aufstockungen, Anbauten etc.) müssen so gebaut und ausgerüstet werden, dass höchstens 80% des zulässigen Wärmebedarfs für Heizung und Warmwasser mit nichterneuerbaren Energien gedeckt werden.

*Modul 2*

Der zulässige Wärmebedarf für Neubauten ergibt sich aus dem Grenzwert für den Heizwärmebedarf und dem Wärmebedarf für Warmwasser entsprechend der Standardnutzung gemäss SIA 380/1:2001. Die zu Heizzwecken benötigte Elektrizität wird mit dem Faktor 2 gewichtet. Die für die Aufbereitung des Warmwassers benötigte Elektrizität wird nicht gewichtet. Bei Bauten mit mechanischen Lüftungsanlagen kann bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs der effektive Energiebedarf für Lüftung inkl. Energiebedarf für Luftförderung eingesetzt werden.

*Zulässiger Wärmebedarf*

Stand der Umsetzung per 2003: Bis im Jahr 2003 haben 20 Kantone die Vorgaben der MuKE n übernommen. Die übrigen 5 Kantone beziehen sich in ihren Vorschriften auf die Norm SIA 380/1 (einer darunter auf die Ausgabe 1988). Unter dem Gesichtspunkt, dass SIA 380/1 auch die Grundlage der MuKE n bildet, haben nunmehr 24 von 26 Kantonen das in der MuKE n formulierte Ziel erreicht und ihre Gesetzesgrundlagen auf die SIA 380/1 Ausgabe 2001 abgestützt (Rieder et. al. 2005, S. 53). 11 Kantone verwenden bereits MuKE n Modul 2 als Anforderung an Neubauten.

*Umsetzung*

*Praxiswerte*

Stichproben im Kanton Zürich ergaben für Neubauten, die Anforderungen gemäss MuKE n Modul 2 einhalten müssen, eine Energiekennzahl Wärme von durchschnittlich 370 MJ/m<sup>2</sup>a für Heizung und Warmwasser für 2002 (AWEL 2003).

**d) Minergie**

Die Berechnungsweise nach SIA 380/1: 2001 bildet die Basis für den Minergie-Nachweis. Der Minergie-Standard definiert fünf Anforderungen an ein Gebäude:

*Anforderungen Minergie*

- Primäranforderungen an die Gebäudehülle zur Sicherung einer nachhaltigen Bauweise.
- Lüfterneuerung mittels einer Komfortlüftung.
- Minergie-Grenzwerte der Energiekennzahl.
- Zusatzanforderungen, je nach Gebäudekategorie betreffend Beleuchtung, gewerbliche Kälte- und Wärmeerzeugung.
- Die Mehrinvestitionen gegenüber konventionellen Vergleichsobjekten dürfen dabei höchstens 10 % betragen.

*Nachweis Minergie-Standard*

Es gibt zwei Verfahren zum Nachweis des Minergie-Standards:

- den Systemnachweis nach Norm SIA 380/1, anwendbar für alle Gebäudekategorien.
- die Standardlösungen, vereinfachtes Nachweisverfahren für einzelne Gebäudekategorien.  
Die zugehörigen 5 Standardlösungen sind Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonden, Holzfeuerung mit solarer Ergänzung, automatische Holzfeuerung, Abwärmenutzung sowie Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Aussenluft.

*Grenzwerte Neubauten*

Die Minergie-Grenzwerte (gewichtete Energiekennzahl Wärme<sup>2</sup>, Endenergie) betragen bei Wohnneubauten sowohl für MFH wie für EFH 42 kWh/m<sup>2</sup> bzw. 151 MJ/m<sup>2</sup>a (inkl. Heizung, Warmwasser und

---

<sup>2</sup> Gewichtungsfaktoren sind in Kapitel 3.1.3 zu finden.

Elektrizität für Lüftung). Die Primäranforderung für den Heizwärmebedarf beträgt maximal 80% des SIA 380/1 Grenzwertes.

Die Minergie-Grenzwerte (gewichtete Energiekennzahl Wärme, Endenergie) für Erneuerungen (Bauten vor 1990) betragen für MFH und EFH 80 kWh/m<sup>2</sup> bzw. 288 MJ/m<sup>2</sup> (inkl. Heizung, Warmwasser und Elektrizität für Lüftung). Die Primäranforderung für den Heizwärmebedarf beträgt maximal 120% des SIA 380/1 Grenzwertes.

*Grenzwerte Sanierungen*

Da die Minergie-Grenzwerte auf Stufe Endenergie angegeben sind, spielen die Wirkungsgrade der technischen Systeme eine wichtige Rolle. Die verschiedenen Energieträger sind mit Faktoren gewichtet (s. Tabelle 5). Der Minergie-Standard wertet die Energie zur Deckung des Heizwärmebedarfs, so wird die zugeführte Elektrizität für Wärmeerzeugung und Belüftung doppelt gerechnet. Es bestehen für den elektrischen Energieverbrauch im Haushalt keine Grenzwerte sondern lediglich Empfehlungen für die Energieeffizienzklasse A. Die Nutzungsgrade und Gewichtungen der einzelnen Energieträger sind bekannt und vorgegeben (s. Tabelle 4 und Tabelle 5).

*Umrechnung auf Endenergieträger*

Die mit Minergie-Bauten in der Praxis erreichten Verbrauchswerte sind durch Erhebungen gut fundiert. Eine Studie der Fachhochschule St. Gallen (2003) kommt nach der Untersuchung von 52 Minergie-Neubauten zu folgenden Ergebnissen:

*Praxiswerte*

- Die Hälfte der untersuchten Minergie-EFH liegt mit der gewichteten Energiekennzahl knapp unter dem Minergie-Grenzwert von 42 kWh/m<sup>2</sup>a, die andere Hälfte liegt deutlich unter dem Grenzwert.
- Kein einziges der untersuchten Minergie-MFH überschreitet den Minergie-Grenzwert, die meisten liegen zwischen 25 und 30 kWh/m<sup>2</sup>a.
- Die Minergie-Grenzwerte werden in der Praxis bei EFH durchschnittlich um 13.8% und bei MFH um durchschnittlich 12% unterschritten.

**e) Minergie-P / Passivhaus**

Die Berechnungsweise nach SIA 380/1: 2001 bildet die Basis für den Minergie-P-Nachweis.

*Anforderungen*

Es gelten folgende fünf Anforderungen:

- Spezifischer Wärmeleistungsbedarf<sup>3</sup>  
 $q_{H-MP*max} \leq 10 \text{ W/m}^2 \text{ EBF}$   
 Gilt nur für Gebäude mit Heizwärmeverteilung überwiegend über die Lüftungsanlage
- Heizwärmebedarf nach Norm SIA 380/1 (2001)  
 $Q_h \leq 20 \text{ \% des Grenzwertes } H_g$ , wenn  $A/EBF \geq 1.1$   
 $Q_h \leq 10 \text{ kWh/m}^2$ , wenn  $A/EBF < 1.1$
- Gewichtete Energiekennzahl  
 für Wohnbauten MFH und EFH:  $E_{gew} \leq 30 \text{ kWh/m}^2$   
 (108 MJ/m<sup>2</sup>)
- Luftdichtigkeit der Gebäudehülle  
 $n_{L50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$
- Strombedarf von Haushaltgeräten sowie zusätzliche Anforderungen  
 Effizienzklasse A für elektrische Geräte, Klasse A+ für Kühlgeräte

*Minergie-P Grenzwert*

Der Minergie-P-Grenzwert (Energiekennzahl Wärme, Endenergie) beträgt bei Wohnbauten (Neubauten und Sanierungen) sowohl für MFH wie für EFH maximal 30 kWh/m<sup>2</sup> bzw. 108 MJ/m<sup>2</sup> a (inkl. Heizung, Warmwasser und Elektrizität für Lüftung). Die Primäranforderung für den Heizwärmebedarf beträgt maximal 20% des SIA 380/1 Grenzwertes.

*Umrechnung auf Endenergieträger*

Da der Minergie-P-Grenzwert auf Stufe Endenergie angegeben ist, spielen die Wirkungsgrade der technischen Systeme eine wichtige Rolle. Analog zu Minergie sind die verschiedenen Energieträger mit Faktoren gewichtet (s. Tabelle 5) und die Nutzungsgrade sind festgelegt (s. Tabelle 4). Für den Elektrizitätsverbrauch ist die Verwendung

---

<sup>3</sup> Erläuterung der Variablen und Indizes im Abkürzungsverzeichnis



der Energieeffizienzklassen A und A+ für Geräte, jedoch kein Grenzwert vorgegeben.

Die Auswertungen von Praxiserfahrungen mit Minergie-P-Gebäuden sind bisher noch relativ wenig fundiert. Gemäss Frei, Reichmuth und Huber (2004), die den Energieverbrauch von 5 Passivhäusern gemessen haben, wurden die energetischen Planungswerte teilweise deutlich überschritten (30 bis 300%), da bei der Planung die Belegung und die Präsenz der BewohnerInnen vielfach überschätzt wurde. Hastings, Hoffmann und Voss (2005) haben drei Passivhausneubauten in der Schweiz genauer untersucht. Die Energiekennzahl Wärme liegt bei 2 der 3 untersuchten Häuser über dem Minergie-P-Grenzwert. Für Passivhaussanierungen liegen bisher keine Praxiswerte vor.

*Praxiswerte*

### 3.1.2 Berücksichtigte Gebäudetypen

Die vier Energiestandards werden für Neubauten und Sanierungen von Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser untersucht. Bei Einfamilienhäusern (EFH) wird gemäss SIA-Standard eine Gebäudehüllzahl (A/EBF) von 2, bei Mehrfamilienhäusern (MFH) eine Gebäudehüllzahl von 1.3 unterstellt.

*EFH und MFH, Neubauten und Sanierungen, werden untersucht*

### 3.1.3 Berücksichtigte Energiesysteme und Kennwerte Wärmeerzeugung

Für den Referenzstandard, SIA 380/1, wird eine 100%-ige Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser durch Heizöl angenommen. Für die anderen drei untersuchten Energiestandards (MuKEN-M2, Minergie und Minergie-P) werden die folgenden Energiesysteme für Heizenergie und Warmwasser verwendet:

*Berücksichtigte Energiesysteme*

- **Ölheizung mit solarer Ergänzung** für Warmwasser. Der Anteil an Kollektorfläche bezogen auf EBF unterscheidet sich dabei zwischen den 3 untersuchten Energiestandards sowie zwischen EFH und MFH. Er beträgt für EFH und MFH bei MuKEN-M2 3% (gemäss MuKEN-M2 Standardlösung b), sowie 4% (EFH) resp. 5% (MFH) für Minergie und Minergie-P Neubauten und Sanierungen (gemäss Minergie-Praxiserfahrungen).

- **Wärmepumpe**, 100%-ige ganzjährige Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser in allen 3 Varianten durch eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonde als Wärmequelle (entspricht der Minergie Standardlösung 1)
- **Holzfeuerung (Pellets)**, 100%-ige ganzjährige Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser in allen 3 Varianten durch eine Pelletfeuerung (entspricht der Minergie Standardlösung 3).
- **Stückholzfeuerung mit solarer Ergänzung** für Warmwasser (entspricht Minergie-Standardlösung 2). Der Anteil Kollektorfläche bezogen auf EBF entspricht der Ölheizung mit solarer Ergänzung.
- **Erdgas mit solarer Ergänzung** für Warmwasser. Der Anteil an Kollektorfläche bezogen auf EBF entspricht der Variante Ölheizung mit solarer Ergänzung.

*Umrechnung  
Nutzenergie in  
Endenergie*

Für diese fünf Varianten der Energiebereitstellung und die vier Nutzenergiestandards wird der jeweilige Endenergiebedarf berechnet. Ziel ist eine Aufteilung in unterschiedliche Endenergieträger (z.B. Biomasse, Elektrizität, fossile Energien) gemäss Verwendungszweck (Heizung, Lüftung, Warmwasserbereitstellung).

*Benutzte Kennziffern  
für Haustechnik*

Um den Endenergiebedarf der fünf Energiesysteme zu berechnen und diesen auf unterschiedliche Energieträger aufzuteilen, müssen unter anderem verschiedene Annahmen bezüglich Kennziffern von haustechnischen Anlagen und Gewichtungen einzelner Energieträger getroffen werden.

*Nutzungsgrade und  
Jahresarbeitszahlen*

Die in den Berechnungen verwendeten Werte für Nutzungsgrade und Jahresarbeitszahlen verschiedener haustechnischer Anlagen sind in der folgenden Tabelle dargestellt und gelten sowohl für EFH und MFH wie auch für Neubauten und Sanierungen.

Nutzungsgrade Haustechnik	Heizung	Warmwasser	Quelle
Nutzungsgrad Ölheizung nicht kondensierend (SIA 380/1)	85%	85%	Minergie Reglement
Nutzungsgrad Ölheizung kondensierend (für MuKE-M2, Minergie, Minergie-P)	91%	88%	Minergie Reglement
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe	400%	270%	Minergie Reglement
Nutzungsgrad Pellets	85%	85%	Minergie Reglement
Nutzungsgrad Stückholzfeuerung	75%	75%	Minergie Reglement
Nutzungsgrad Erdgasheizung	95%	92%	Minergie Reglement

**Tabelle 4:** Für Berechnungen verwendete Kennwerte für haustechnische Anlagen

Beim Nutzungsgrad der Ölheizung werden unterschiedliche Kennwerte für das Referenzobjekt (SIA 380/1) sowie MuKE-M2, Minergie und Minergie-P unterschieden. Für SIA 380/1 wird der Nutzungsgrad für eine nicht kondensierende Ölfeuerung verwendet. Dieser Wert ist etwas höher als der minimale Richtwert für den Nutzungsgrad gemäss SIA 380/1 (für EFH 0.80, für MFH 0.76). Für MuKE-M2, Minergie und Minergie-P wird der Nutzungsgrad für eine kondensierende Ölheizung verwendet.

Gemäss Vorgaben des Minergie-Reglementes (Minergie 2005) werden für die einzelnen Energieträger die folgenden Gewichtungsfaktoren verwendet:

*Gewichtungsfaktoren*

Gewichtungsfaktoren	Gewichtung g
Sonne	0
Holz	0.5
Fossile Energieträger	1.0
Elektrizität	2.0

**Tabelle 5:** Verwendete Gewichtungsfaktoren gemäss Minergie

Weitere wichtige Inputdaten betreffen den Anteil der Sonnenkollektoren an der Bereitstellung von Warmwasser und Heizungsenergie. Die Standardwerte für die Erträge von Sonnenkollektoren werden mit den Formeln gemäss Wegleitung zum Minergie-Nachweisformular, Kapi-

*Erträge von Solaranlagen*

tel "Erzeugung", ermittelt. Die resultierenden Erträge pro m<sup>2</sup> je nach installiertem Anteil von Sonnenkollektoren betragen bei einem Anteil von 3% Sonnenkollektoren bezogen auf die EBF 310 kWh/m<sup>2</sup>, bei einem Anteil von 4% und 5% Sonnenkollektoren bezogen auf die EBF 300 kWh/m<sup>2</sup>.

Solarer Deckungs-  
grad Warmwasser

Für den solaren Deckungsgrad Warmwasser wird ein Anteil von maximal 80% angenommen (Angaben von [www.swissolar.ch](http://www.swissolar.ch) und eigene Berechnungen).

### 3.1.4 Kennwerte baulicher Massnahmen und Lüftung

Der Heizwärmebedarf  $Q_h$  eines Gebäudes wird gemäss SIA 380/1 bestimmt durch den Gesamtwärmeverlust  $Q_t$  minus der genutzten Wärmegewinne  $Q_{ug}$ . Der Gesamtwärmeverlust wiederum setzt sich zusammen aus dem Transmissionswärmeverlust  $Q_T$  und dem Lüftungswärmeverlust  $Q_V$ .

$$Q_h = Q_V + Q_T - Q_{ug}$$

Für die Berechnungen des Heizwärmebedarfes der einzelnen Standards wurden folgende Werte für den Lüftungswärmeverlust  $Q_V$  verwendet:

Standard	Mechanische Lüftungsanlage	Thermisch wirksamer Aussenluft Volumenstrom (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h)	Lüftungswärmeverlust $Q_V$
SIA 380/1	Nein	0.70	66.0 MJ/m <sup>2</sup> a
MuKE-M2	Nein	0.70	66.0 MJ/m <sup>2</sup> a
Minergie	Ja	0.42	39.6 MJ/m <sup>2</sup> a
Minergie-P	Ja	0.27	25.5 MJ/m <sup>2</sup> a

Berechnungsgrundlagen: Standardluftwechsel gemäss SIA 380/1, Klimawerte Zürich SMA, Rückgewinnungsgrade Lüftung gemäss Kennwerte für Minergie-Nachweis

*Tabelle 6: Verwendete Eckwerte für den Lüftungswärmeverlust der einzelnen Standards.*

Die Kennwerte der baulichen Massnahmen werden als Differenz der Transmissionswärmeverluste  $Q_T$  und der genutzten Wärmegewinne  $Q_{ug}$  dargestellt. Damit lassen sich die Einflüsse baulicher Massnahmen, durch eine Veränderung des Wärmeschutzes oder durch Ver-

änderung der solaren Gewinne, einfach abbilden. Der Kennwert von  $Q_T - Q_{ug}$  wird für die jeweiligen Energiestandards als Verhältnis dieses Wertes zur Standardvariante gemäss SIA 380/1 dargestellt. Diese im Folgenden als „Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$ “ angegebene Grösse gibt an, in welchem Masse gegenüber der Standardvariante Transmissionswärmeverluste reduziert und solare Wärmegewinne optimiert werden.

Um die Anforderungen der einzelnen Energiestandards unter Berücksichtigung des Energiesystems und des Lüftungswärmebedarfes zu erfüllen, müssen die in Tabelle 7 aufgeführten Kennziffern  $Q_T - Q_{ug}$  gegenüber der Standardvariante erreicht werden.

Gebäudetyp	Kennziffer $Q_T - Q_{ug}$			
	SIA 380/1	MuKE n-M2	Minergie	Minergie-P
EFH Neubau	100%	80%-100%	34%-73%	13%
EFH Sanierung	100%	-	62%-80%	14-15%
MFH Neubau	100%	80%-100%	45%-69%	10%
MFH Sanierung	100%	-	80%	13%

*Tabelle 7: Übersicht der nötigen Kennziffern  $Q_T - Q_{ug}$  um in Abhängigkeit der Energiesysteme die Anforderungen an die Energiestandards zu erfüllen.*

## 3.2 Energiekennzahlen

In diesem Abschnitt werden für die vier Energiestandards und die verschiedenen Energiesysteme die Energiekennzahlen für Endenergie sowie die Aufteilung auf die verschiedenen Energieträger bestimmt. Dazu wird die Nutzenergie in Endenergie umgerechnet und gemäss Verwendungszweck in unterschiedliche Endenergieträger aufgeteilt. Diese Berechnungen werden für die vier Energiesysteme Heizöl/Solar, Erdgas/Solar, Wärmepumpe und Holzfeuerung einzeln durchgeführt.

*Berechnung Endenergieverbrauch*

Ausgehend von den jeweiligen Grenz- und Standardwerten für Nutzenergie für Heizung und Warmwasser wird für die Varianten Heizöl/Solar und Erdgas/Solar in einem ersten Schritt unter Berücksichtigung der Annahmen in den Abschnitten 3.1.3 und 3.1.4 der solare Anteil an der Warmwassererzeugung berechnet. Danach wird be-

stimmt, ob noch zusätzliche solare Energie zur Verfügung steht, um einen Beitrag an die Heizung zu leisten, und wie viel fossile Energie zusätzlich für die Warmwassererzeugung benötigt wird. In einem zweiten Schritt wird mit Hilfe der Wirkungsgrade für eine Öl-/Gasheizung der fossile Endenergiebedarf für Heizung berechnet.

Die Umrechnung der Nutzenergie in Endenergie geschieht bei den Varianten Wärmepumpe und Holzfeuerung durch Division der Nutzenergie durch die jeweiligen Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe respektive die Wirkungsgrade der Holzheizung für Heizung und Warmwasser (s. Tabelle 4).

### 3.2.1 SIA 380/1

#### *SIA 380/1: Methode*

Da bei SIA 380/1 im Gegensatz zu den anderen 3 Standards lediglich ein zu 100% fossiles Energiesystem besteht, erfolgt bei der Bestimmung des Endenergiebedarfs für Heizen und Warmwasser keine Aufteilung des Endenergieverbrauchs nach einzelnen Energieträgern. Die gesamte Endenergie wird fossil bereitgestellt.

Die Details und Ergebnisse für die 4 Gebäudetypen sind in der folgenden Tabelle ersichtlich.

Energiekennzahlen SIA 380/1 (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>H</sub> )	270	197	378	276
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	320	272	428	351
Endenergie	Heizung Fossil	318	232	445	324
	Warmwasser Fossil	59	88	59	88
	Total Fossil	376	320	504	413
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ugSIA</sub> ) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ugSIA</sub> ))		100%	100%	100%	100%

**Tabelle 8:** Energiekennzahlen für SIA 380/1 (Referenzwert), 100% fossiles Heizsystem

#### *Resultate*

Der gesamte Endenergieverbrauch beträgt für EFH Neubauten 376 MJ/m<sup>2</sup> a, für EFH Sanierungen 504 MJ/m<sup>2</sup> a, für Mehrfamilienhäuser betragen die entsprechenden Werte für Neubauten 320 MJ/m<sup>2</sup> a und

für Sanierungen  $413 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ . Die letzte Zeile gibt den Stand des Wärmeschutzes im Vergleich zum SIA 380/1-Standard an (Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$ ). Dieser beträgt in Tabelle 8 folglich 100% und ist vor allem für die anderen 3 untersuchten Energiestandards wichtig.

### 3.2.2 MuKE n Modul 2

In diesem Abschnitt werden für die beiden Neubau-Gebäudetypen (MuKE n gilt nicht für Sanierungen) die Energiekennwerte für Heizen und Warmwasseraufbereitung für den MuKE n-M2-Standard berechnet und dargestellt. Diese Berechnungen werden für die fünf Energiesysteme Heizöl/Solar, Wärmepumpe, Pelletfeuerung, Stückholz/Solar und Erdgas/Solar einzeln durchgeführt.

*MuKE n Modul 2*

#### a) Variante Heizöl/Solar

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Heizöl und Sonnenkollektoren. Dabei wird gemäss MuKE n-M2-Standardlösung von einem Anteil von 3% Sonnenkollektorfläche/EBF und einer gegenüber SIA 380/1 um 20% reduzierten Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  ausgegangen.

Energiekennzahlen MuKE n-M2 ( $\text{MJ/m}^2 \text{ a}$ )		EFH Neubau	MFH Neubau
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie ( $Q_h$ )	270	197
	Standardwert Warmwasser	50	75
	Total	320	272
Endenergie	Heizung Fossil	252	188
	Warmwasser Fossil	19	47
	Total Fossil	271	235
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0
	Warmwasser Solar	33	33
	Total Solar	33	33
Stand des Wärmeschutzes ( $(Q_T - Q_{ug} \text{ MuKE n-M2}) / (Q_T - Q_{ug} \text{ SIA})$ )		80%	80%

**Tabelle 9:** Energiekennzahlen für MuKE n-M2, Variante Heizöl/Solar

Der totale fossile Endenergiebedarf für EFH beträgt  $271 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ , für MFH  $235 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ . Der solare Endenergiebedarf beträgt sowohl für EFH wie MFH  $33 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ .

### b) Variante Erdgas/Solar

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Erdgas und Sonnenkollektoren. Dabei wird gemäss MuKEN-M2-Standardlösung von einem Anteil von 3% Sonnenkollektorfläche/EBF und einer gegenüber SIA 380/1 um 20% reduzierten Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  ausgegangen. Die resultierende fossile Endenergie beträgt für EFH Neubauten  $259 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$  und für MFH Neubauten  $225 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ . Die solar bereitgestellte Endenergie beträgt für beide Gebäudetypen  $33 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ .

Energiekennzahlen MuKEN-M2 ( $\text{MJ/m}^2 \text{ a}$ )		EFH Neubau	MFH Neubau
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie ( $Q_h$ )	270	197
	Standardwert Warmwasser	50	75
	Total	320	272
Endenergie	Heizung Fossil	241	180
	Warmwasser Fossil	18	45
	Total Fossil	259	225
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0
	Warmwasser Solar	33	33
	Total Solar	33	33
Stand des Wärmeschutzes ( $(Q_T - Q_{ug} \text{MuKEN-M2}) / (Q_T - Q_{ug} \text{SIA})$ )		80%	80%

*Tabelle 10: Energiekennzahlen MuKEN-M2, Variante Erdgas/Solar*

### c) Variante Wärmepumpe

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonde (gemäss Minergie Standardlösung).

Die resultierenden totalen Endenergieverbräuche für Strom betragen für EFH Neubauten  $86 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$  und für MFH Neubauten  $77 \text{ MJ/m}^2 \text{ a}$ .



Energiekennzahlen MuKE-M2 (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	270	197
	Standardwert Warmwasser	50	75
	Total	320	272
Endenergie	Heizung Strom	68	49
	Warmwasser Strom	19	28
	Total Strom	86	77
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> MuKE-M2) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		100%	100%

*Tabelle 11: Energiekennzahlen für MuKE-M2, Variante Wärmepumpe*

#### d) Variante Pelletfeuerung

Die folgende Tabelle präsentiert die Energiekennwerte für die Energiebereitstellung mittels einer automatischen Holz-(Pellets-)feuerung.

Energiekennzahlen MuKE-M2 (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	270	197
	Standardwert Warmwasser	50	75
	Total	320	272
Endenergie	Heizung Biomasse	318	232
	Warmwasser Biomasse	59	88
	Total Biomasse	376	320
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> MuKE-M2) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		100%	100%

*Tabelle 12: Energiekennzahlen MuKE-M2, Variante Holzfeuerung*

Die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser betragen für EFH Neubauten 376 MJ/m<sup>2</sup> a und für MFH Neubauten 320 MJ/m<sup>2</sup> a.

### e) Variante Stückholzfeuerung/Solar

Die folgende Tabelle stellt die Energiekennzahlen für eine Stückholzfeuerung mit solarer Ergänzung für die Warmwasserbereitstellung dar (3% Kollektorfläche/EBF).

Die Endenergieverbräuche für Heizung betragen für EFH 382 MJ/m<sup>2</sup> und für MFH 318 MJ/m<sup>2</sup>, für Warmwasser betragen diese jeweils 33 MJ/m<sup>2</sup>.

Energiekennzahlen MuKE-M2 (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>H</sub> )	270	197
	Standardwert Warmwasser	50	75
	Total	320	272
Endenergie	Heizung Biomasse	360	263
	Warmwasser Biomasse	22	55
	Total Biomasse	382	318
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0
	Warmwasser Solar	33	33
	Total Solar	33	33
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> MuKE-M2) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		100%	100%

*Tabelle 13: Energiekennzahlen MuKE-M2, Variante Stückholzfeuerung/Solar*

### 3.2.3 Minergie

#### Minergie

In diesem Abschnitt werden für die vier Gebäudetypen und die fünf Energiesysteme die Energiekennzahlen für Heizen und Warmwasseraufbereitung für den Minergie-Standard berechnet und dargestellt. Bei den nachfolgenden Haustechnikvarianten wird jeweils eine entsprechend gedämmte Gebäudehülle gewählt, um in der Kombination mit dem jeweiligen Haustechniksystem den Minergie-Standard gerade noch zu erfüllen.

**a) Variante Heizöl/Solar**

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Heizöl und Sonnenkollektoren. Dabei wird gemäss Minergie-Praxiserfahrungen von einem Anteil von 5% Sonnenkollektorfläche/EBF bei Sanierungen ausgegangen. Bei Neubauten nehmen wir bei EFH einen Anteil von 4% und bei MFH einen Anteil von 5% Sonnenkollektoren/EBF an.

*Variante Heizöl/Solar*

Energiekennzahlen Minergie (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	216	158	324	236
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	266	233	374	311
Endenergie	Heizung Fossil	120	108	256	228
	Warmwasser Fossil	11	24	11	24
	Total Fossil	131	132	267	252
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	54	40	54
	Total Solar	40	54	40	54
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		34%	45%	62%	80%

**Tabelle 14:** Energiekennzahlen für Minergie, Variante Heizöl/Solar

Die resultierende Endenergie, aufgeteilt auf die Energieträger Öl und Solar, sind in Tabelle 14 zu finden. Die letzte Zeile zeigt die im Gegensatz zum Referenzwert (SIA 380/1) benötigte Verbesserung der Gebäudehüllendämmung, die notwendig ist, um die Anforderungen des Minergie-Standards zu erreichen.

**b) Variante Erdgas/Solar**

Bei der Berechnung der Endenergieverbräuche der Variante Erdgas/Solar wird analog zur Variante Erdöl/Solar vorgegangen.

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Ergas und Sonnenkollektoren, sowie die zur Erreichung des Minergie-Standards notwendige Dämmung der Gebäudehülle.

Energiekennzahlen Minergie (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	216	158	324	236
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	266	233	374	311
Endenergie	Heizung Fossil	121	106	258	218
	Warmwasser Fossil	11	23	11	23
	Total Fossil	132	129	269	241
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	54	40	54
	Total Solar	40	54	40	54
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		37%	47%	66%	80%

**Tabelle 15:** Verwendete Energiekennzahlen Minergie, Variante Erdgas/Solar

### c) Variante Wärmepumpe

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonde (gemäss Minergie Standardlösung).

Energiekennzahlen Minergie (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	216	158	324	236
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	266	233	374	311
Endenergie	Heizung Strom	47	32	72	52
	Warmwasser Strom	19	28	19	28
	Total Strom	66	60	91	80
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		73%	69%	80%	80%

**Tabelle 16:** Verwendete Energiekennzahlen für Minergie, Variante Wärmepumpe

Die resultierenden totalen Endenergieverbräuche für Strom betragen für EFH Neubauten 66 MJ/m<sup>2</sup> a, für EFH Sanierungen 91 MJ/m<sup>2</sup> a, für

MFH Neubauten 60 MJ/m<sup>2</sup> a und für MFH Sanierungen 80 MJ/m<sup>2</sup> a. Die Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  darf bei EFH Neubauten noch 73% und bei MFH Neubauten 69% des Referenzwertes gemäss SIA 380/1 betragen.

#### d) Variante Pelletsfeuerung

Die folgende Tabelle präsentiert die Energiekennwerte für die Energiebereitstellung mittels einer automatischen Holz-(Pellets-)feuerung.

Die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser betragen für EFH Neubauten 261 MJ/m<sup>2</sup> a, 399 MJ/m<sup>2</sup> a für EFH Sanierungen sowie 241 MJ/m<sup>2</sup> a für MFH Neubauten und 332 MJ/m<sup>2</sup> a für MFH Sanierungen.

Energiekennzahlen Minergie (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie ( $Q_h$ )	216	158	324	236
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	266	233	374	311
Endenergie	Heizung Biomasse	203	153	340	244
	Warmwasser Biomasse	59	88	59	88
	Total Biomasse	261	241	399	332
Stand des Wärmeschutzes ( $(Q_T - Q_{ugMinergie}) / (Q_T - Q_{ugSIA})$ )		65%	69%	80%	80%

Tabelle 17: Verwendete Energiekennzahlen Minergie, Variante Holzfeuerung

Die zur Erreichung des Minergie-Standards notwendige Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  beträgt für EFH Neubauten 65% und für MFH Neubauten 69% gegenüber einer Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  beim SIA 380/1-Referenzstandard.

#### e) Variante Stückholz/Solar

Die folgende Tabelle enthält die Energiekennwerte für die Variante Stückholzheizung mit solarer Ergänzung für die Warmwasserbereitstellung.

Energiekennzahlen Minergie (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie ( $Q_h$ )	216	158	324	236
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	266	233	374	311
Endenergie	Heizung Biomasse	249	173	386	277
	Warmwasser Biomasse	13	55	13	28
	Total Biomasse	262	229	399	305
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	33	40	54
	Total Solar	40	33	40	54
Stand des Wärmeschutzes (( $Q_T - Q_{ug,Minergie}$ ) / ( $Q_T - Q_{ug,SIA}$ ))		37%	47%	66%	80%

**Tabelle 18:** Verwendete Energiekennzahlen Minergie, Variante Holzfeuerung/Solar

### 3.2.4 Minergie-P / Passivhaus

#### Minergie-P

In diesem Abschnitt werden für die vier Gebäudetypen und die fünf Energiesysteme die Energiekennwerte für Heizen und Warmwasseraufbereitung für den Minergie-P-Standard berechnet und dargestellt.

#### a) Variante Heizöl/Solar

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Heizöl und Sonnenkollektoren. Dabei wird von einem Anteil von 5% Sonnenkollektorfläche/EBF ausgegangen.

Die letzte Zeile der Tabelle zeigt die im Verhältnis zum Referenzwert (SIA 380/1-Standard) benötigte Verbesserung der Gebäudehüllendämmung, die notwendig ist, um die Anforderungen des Minergie-P-Standards zu erreichen. Die Kennziffer  $Q_T - Q_{ug}$  eines Minergie-P-Gebäudes muss also zwischen 85% und 90% gegenüber einem Referenzgebäude gemäss SIA 380/1 reduziert werden.

Energiekennzahlen Minergie-P (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	54	39	54	39
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	104	114	104	114
Endenergie	Heizung Fossil	57	42	76	58
	Warmwasser Fossil	11	24	11	24
	Total Fossil	68	66	87	82
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	54	40	54
	Total Solar	40	54	40	54
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie-P) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		13%	10%	15%	13%

*Tabelle 19: Verwendete Energiekennzahlen für Minergie-P, Variante Heizöl/Solar*

#### **b) Variante Erdgas/Solar**

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energieträger Erdgas und Sonnenkollektoren. Dabei wird von 5% Sonnenkollektorfläche/EBF ausgegangen.

Der resultierende solare Endenergieverbrauch beträgt für EFH 40 MJ/m<sup>2</sup> und für MFH 54 MJ/m<sup>2</sup> a, für Erdgas schwankt dieser je nach Gebäudetyp zwischen 63 und 87 MJ/m<sup>2</sup> a.

Energiekennzahlen Minergie-P (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	54	39	54	39
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	104	114	104	114
Endenergie	Heizung Fossil	55	41	76	56
	Warmwasser Fossil	11	23	11	23
	Total Fossil	66	63	87	78
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	54	40	54
	Total Solar	40	54	40	54
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie-P) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		13%	10%	15%	13%

**Tabelle 20:** Verwendete Energiekennzahlen Minergie-P Variante Erdgas/Solar

### c) Variante Wärmepumpe

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Energiebereitstellung für Heizung und Warmwasser mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Erdsonde (gemäss Minergie Standardlösung).

Energiekennzahlen Minergie-P (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	54	39	54	39
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	104	114	104	114
Endenergie	Heizung Strom	13	10	18	13
	Warmwasser Strom	19	28	19	28
	Total Strom	32	38	37	41
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie-P) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> SIA))		13%	10%	15	13%

**Tabelle 21:** Verwendete Energiekennzahlen für Minergie-P, Variante Wärmepumpe



Die resultierenden totalen Endenergieverbräuche für Strom betragen für EFH Neubauten 32 MJ/m<sup>2</sup> a, für EFH Sanierungen 37 MJ/m<sup>2</sup> a, für MFH Neubauten 38 MJ/m<sup>2</sup> a und für MFH Sanierungen 41 MJ/m<sup>2</sup> a.

#### d) Variante Pelletsfeuerung

Die folgende Tabelle präsentiert die Energiekennwerte für die Energiebereitstellung mittels einer automatischen Holz-(Pellets-)feuerung.

Energiekennzahlen Minergie-P (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>n</sub> )	54	39	54	39
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	104	114	104	114
Endenergie	Heizung Biomasse	61	45	85	62
	Warmwasser Biomasse	59	88	59	88
	Total Biomasse	120	134	144	150
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie-P) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> StA))		13%	10%	15%	13%

*Tabelle 22: Verwendete Energiekennzahlen Minergie-P, Variante Holzfeuerung*

Die Endenergieverbräuche für Heizung und Warmwasser betragen für EFH Neubauten 120 MJ/m<sup>2</sup> a, 144 MJ/m<sup>2</sup> a für EFH Sanierungen sowie 134 MJ/m<sup>2</sup> a für MFH Neubauten und 150 MJ/m<sup>2</sup> a für MFH Sanierungen.

#### e) Variante Stückholz/Solar

Die folgende Tabelle zeigt die Energiekennwerte für die Energiebereitstellung mittels einer Stückholzheizung und solarer Ergänzung für die Warmwasserbereitstellung.

Energiekennzahlen Minergie-P (MJ/m <sup>2</sup> a)		EFH Neubau	MFH Neubau	EFH Sanierung	MFH Sanierung
Nutzenergie	Grenzwert Heizenergie (Q <sub>h</sub> )	54	39	54	39
	Standardwert Warmwasser	50	75	50	75
	Total	104	114	104	114
Endenergie	Heizung Biomasse	69	51	96	70
	Warmwasser Biomasse	13	55	13	28
	Total Biomasse	83	107	110	98
Solar- und Umweltwärme	Heizung Solar	0	0	0	0
	Warmwasser Solar	40	33	40	54
	Total Solar	40	33	40	54
Stand des Wärmeschutzes ((Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> Minergie-P) / (Q <sub>T</sub> - Q <sub>ug</sub> StA))		13%	10%	15%	13%

**Tabelle 23:** Verwendete Energiekennzahlen Minergie-P Variante Stückholz/Solar

### 3.2.5 Übersicht

Die folgenden vier Abbildungen zeigen eine Übersicht über den Endenergiebedarf nach Energieträgern der vier untersuchten Energiestandards unterteilt nach den vier Gebäudetypen.

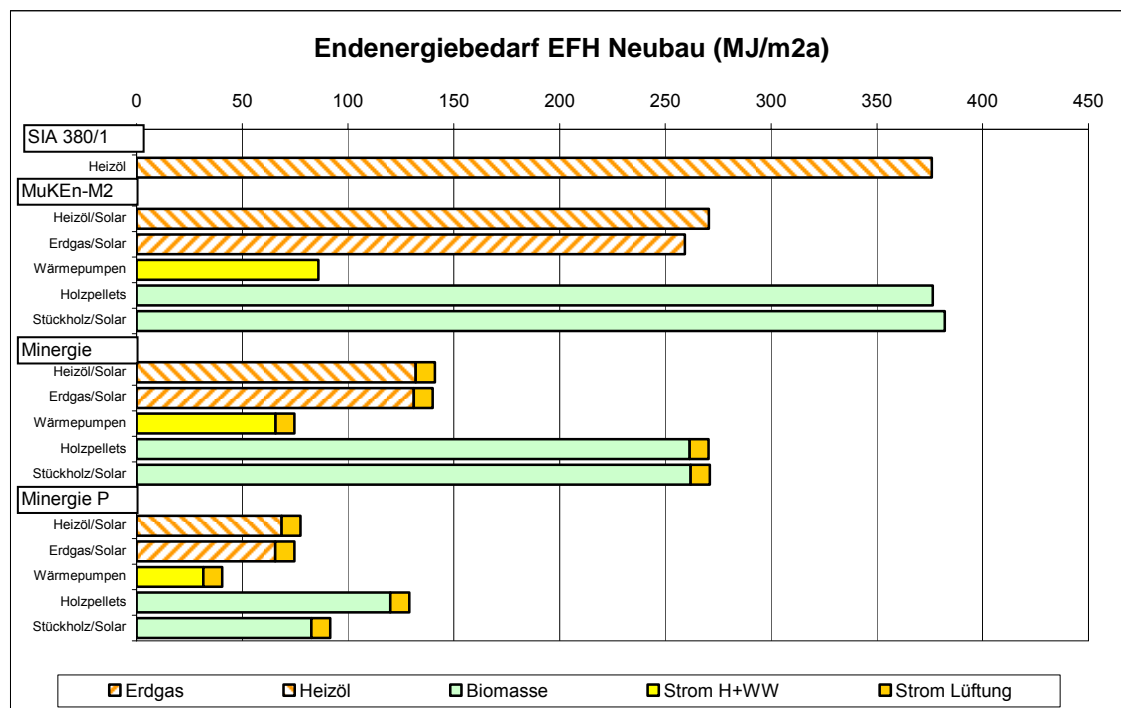


Abbildung 7: Endenergiebedarf EFH Neubauten

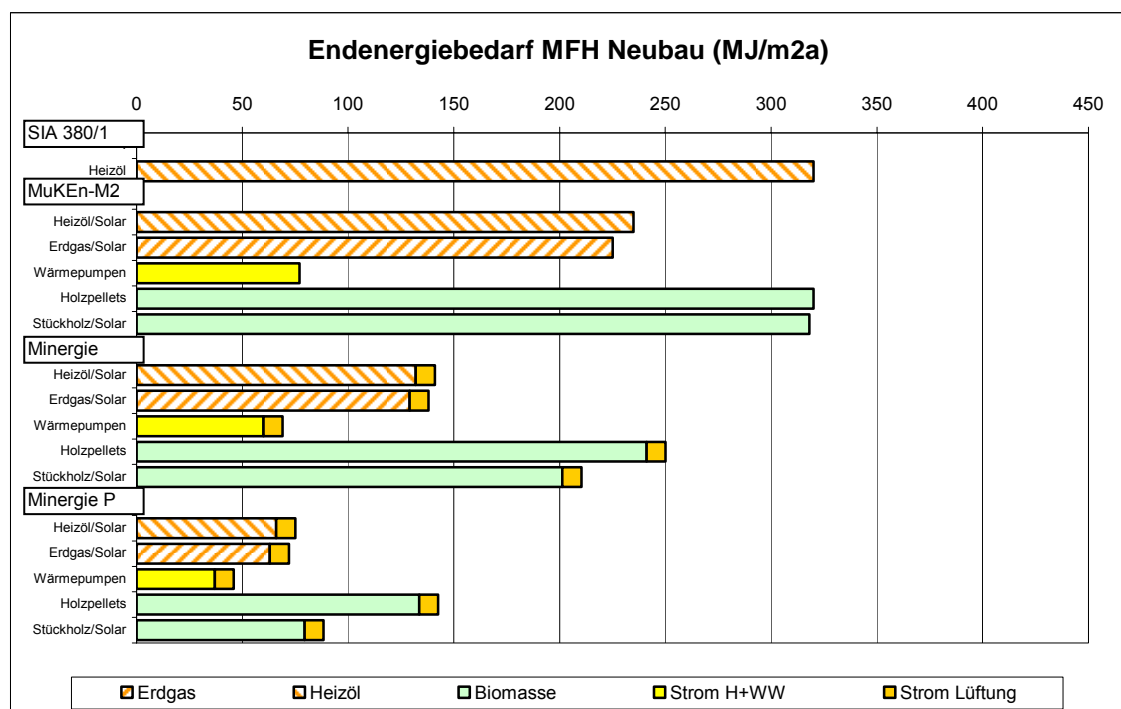


Abbildung 8: Endenergiebedarf MFH Neubauten

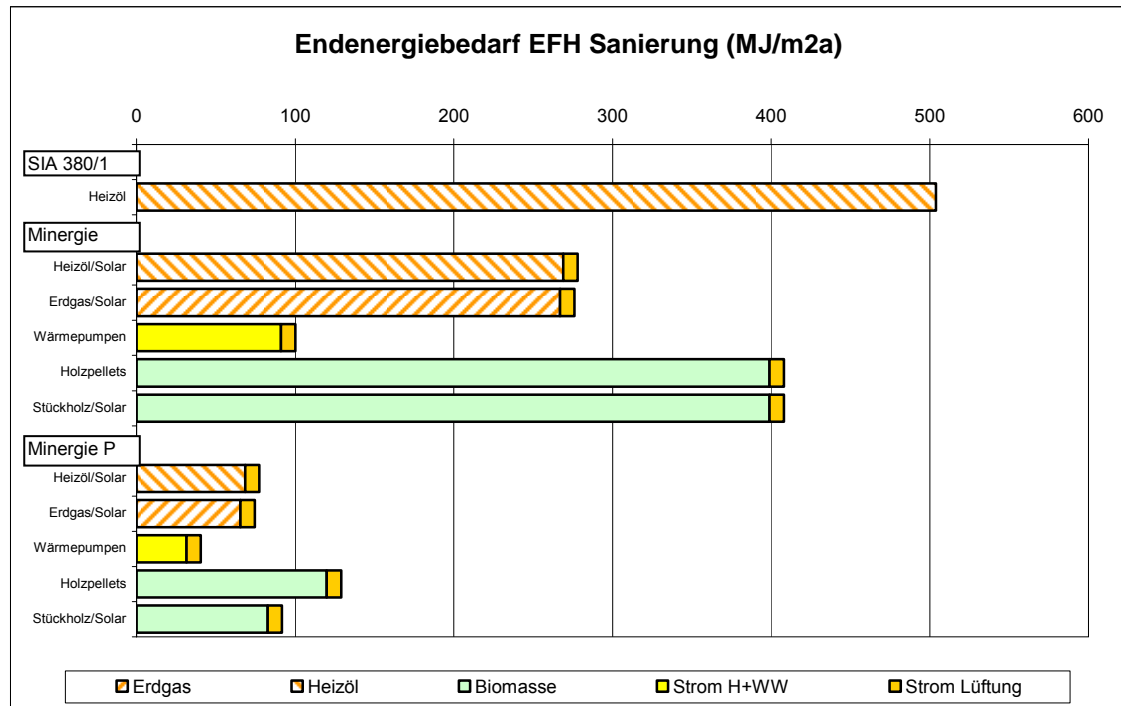


Abbildung 9: Endenergiebedarf EFH Sanierungen

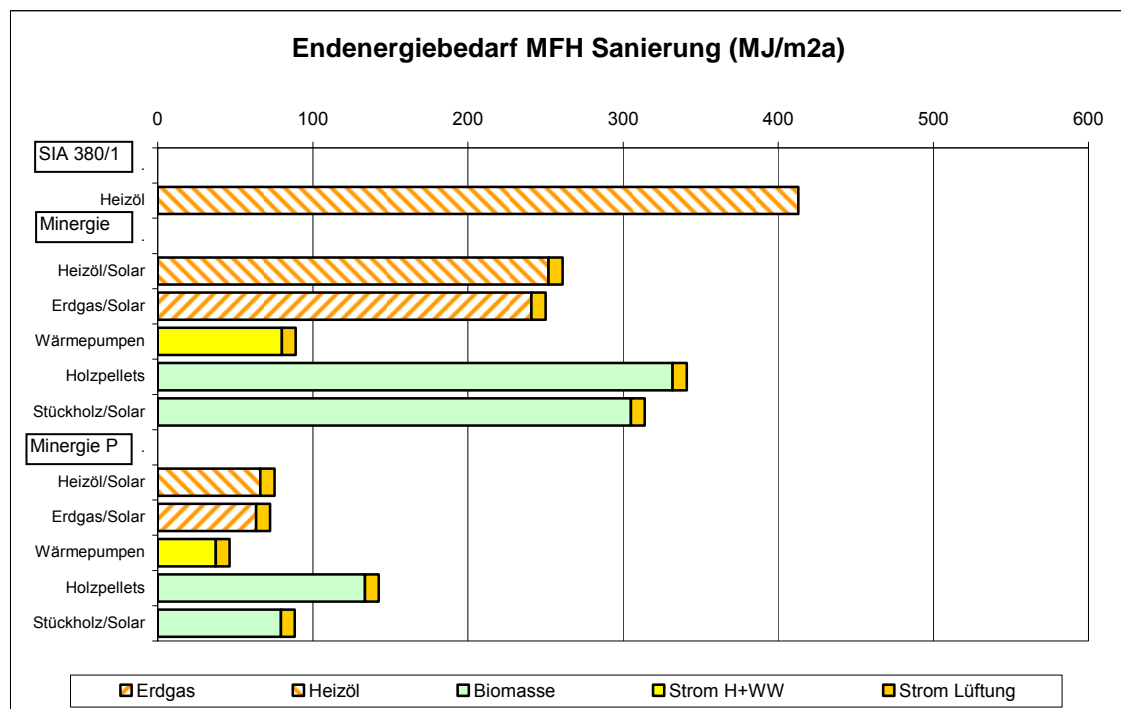


Abbildung 10: Endenergiebedarf MFH Sanierungen

## 4 Umweltbelastungen durch Erstellung und Erneuerung der Bauten

### 4.1 Die Ökobilanz-Methode

Die Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt<sup>7</sup> verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre, also von der Rohstoffentnahme bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle erfasst und beurteilt.

*Grundlagen  
Ökobilanz*

Die Internationale Organisation für Normung ISO hat die Vorgehensweise innerhalb der Ökobilanz-Methode mit der Norm ISO 14040 (International Organization for Standardization (ISO) 1997) in ihren Grundzügen und mit ISO 14041 (International Organization for Standardization (ISO) 1998) für die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie die Sachbilanz standardisiert. Die Normen zu den weiteren Phasen der Ökobilanz (International Organization for Standardization (ISO) 2000a; b) wurden in der ersten Hälfte 2000 verabschiedet und veröffentlicht.

*Standardisierte  
Methodik*

Eine Ökobilanz lässt sich gemäss ISO 14040 grob in vier Phasen unterteilen (siehe Abbildung 11): (1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, (2) Sachbilanz, (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung.

*Aufbau Ökobilanz*

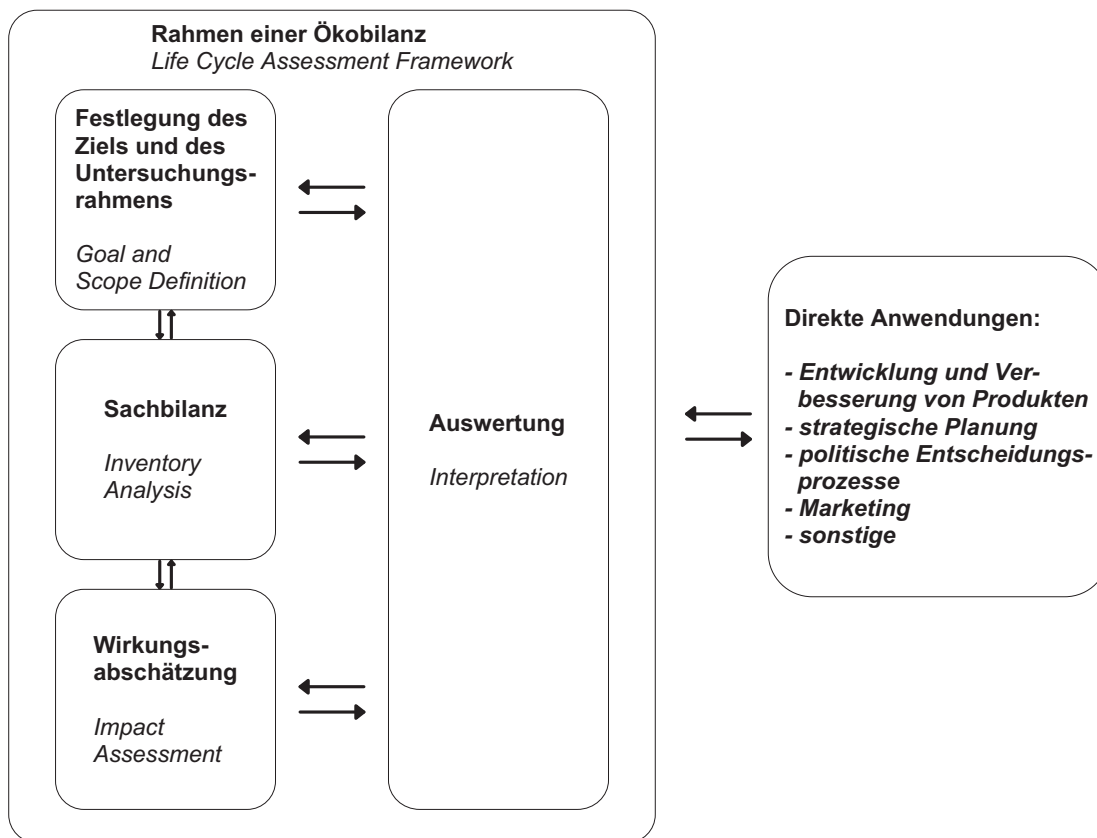


Abbildung 11: Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in **deutsch** und englisch; gemäss (International Organization for Standardization (ISO) 1997).

#### Zieldefinition

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt massgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

#### Sachbilanz

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die Umwelteinwirkungen<sup>8</sup> und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus (= Produktsystem) beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug gesetzt zum Untersuchungsgegenstand, der funktionellen Einheit.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt. In ISO 14040 ist die Wirkungsabschätzung als ein

einzigster Schritt dargestellt. Sie wird aber in folgende sieben Teilschritte unterteilt (International Organization for Standardization (ISO) 2000a):

- Begründung und Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Modellen: Hier werden jene Festlegungen spezifiziert, die in der Zieldefinition grob umrissen wurden.

*Beispiel:* Die Wirkungskategorie 'Treibhauseffekt' wird ausgewählt, da sie sowohl Schäden an der menschlichen Gesundheit wie auch Ökosystemschäden verursacht. Ausserdem wird festgelegt, dass die Modelle des IPCC<sup>9</sup> verwendet werden sollen und der Indikator "kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente" gewählt werden soll (und nicht z.B. Strahlungsveränderung oder Temperaturveränderung).

- Zuordnung der Sachbilanz-Ergebnisse zu Umweltwirkungen (Klassifizierung): Dieser Schritt umfasst die Gruppierung der Umwelteinwirkungen (Emissionen und Ressourcenverbräuche) nach den durch sie verursachten Umwelt(aus)wirkungen.

*Beispiel:* Da die Substanzen CO<sub>2</sub> und Methan treibhauswirksam sind, werden beide der Klasse Treibhauseffekt zugeordnet. Methan fördert zudem die Photooxidantenbildung und wird deshalb zusätzlich der Wirkungsklasse "Sommersmog" zugeordnet.

- Berechnung der Wirkungsindikator-Ergebnisse (Charakterisierung): Um verschiedene Substanzen mit gleicher Umweltwirkung vergleichen zu können, werden sie entsprechend ihrer Wirkung gewichtet. Dazu wird eine Referenzsubstanz bestimmt, bezüglich derer die Wirksamkeit der andern Schadstoffe ermittelt wird.

*Beispiel:* Die Umweltwirkung Treibhauseffekt wird auf der Basis der TreibhausPotentiale (global warming potential, GWP) quantifiziert. Referenzsubstanz ist CO<sub>2</sub>. GWP hat deshalb die Dimension [kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent]. Methan hat gemäss Albritton & Meira-Filho (2001) eine 23-mal grössere Treibhauswirkung als CO<sub>2</sub>. Eine Emission von z.B. 1'000 t Methan hat somit ein Treibhauspotential von 23'000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Diesen drei verbindlichen Schritten können die folgenden optionalen Schritte folgen:

- Berechnung der Höhe der Wirkungsindikator-Ergebnisse im Verhältnis zu einem oder mehreren Referenzwerten (Normie-

rung): Die Wirkungsindikator-Ergebnisse werden normiert. Dazu werden die Umweltwirkungen des Untersuchungsgegenstandes in Bezug gesetzt zu den gesamten Umweltauswirkungen einer Region absolut oder pro Kopf der Bevölkerung (z.B. der Welt, Europas oder eines Landes). Mittels Normierung wird somit der Beitrag der produktspezifischen Umweltauswirkungen an den gesamten (länderspezifischen, europäischen oder globalen) Umweltwirkungen bestimmt. Das Resultat der Normierung sind standardisierte, dimensionslose Wirkungsindikator-Ergebnisse. Die Gesamtheit der Indikatorergebnisse wird Wirkungsabschätzungsprofil genannt (International Organization for Standardization (ISO) 2000a).

Beispiel: Die gesamteuropäischen Treibhausgasemissionen des Jahres 1990 betrugen 6.5 Mia. t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Die Emission von 23'000t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (1'000 t Methan) entspricht somit einem normierten Wirkungsindikatorwert von  $3.5 \cdot 10^{-6}$ . Das heisst, dass das untersuchte Produktsystem, welches 1'000 t Methan emittiert, einen Beitrag von 3.5 Millionstel (ppm) an den Treibhauseffekt des Jahres 1990 beiträgt und damit auch diesen Anteil der Auswirkungen verantwortet.

- Ordnung: Die normierten Auswirkungswerte pro Wirkungskategorie können nun sortiert und möglicherweise klassiert werden.

Beispiel: Die verbal-argumentative Bewertung nach UBA (Schmitz et al. 1999) ordnet die Wirkungskategorien nach verschiedenen Kriterien.

- Gewichtung: Das Wirkungsabschätzungsprofil wird weiter zusammengefasst (bewertet). Gemäss (International Organization for Standardization (ISO) 1997) darf dies bei internen Studien und bei externen nicht-vergleichenden Studien gemacht werden. Bei extern kommunizierten Produktvergleichen soll hingegen keine Vollaggregation vorgenommen werden. Zudem sollen in allen Fällen die vor der Gewichtung vorhandenen Daten verfügbar bleiben.

Beispiel: Der oben errechnete normierte Wirkungsindikatorwert für 23'000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente ( $3.5 \cdot 10^{-6}$ ) wird gemäss Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) mit dem Faktor 2.5 gewichtet (d.h. multipliziert). Der Faktor errechnet sich aus der erforderlichen Reduktion der Treibhausgase auf 40% des Wertes von 1990.



- Analyse der Datenqualität: Es wird untersucht, welchen Einfluss die identifizierten Unsicherheiten auf die Höhe der Wirkungsindikatorwerte pro Wirkungskategorie und damit auf die Aussagekraft der Ergebnisse haben.

In der Auswertung (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend des festgelegten Ziels und des Untersuchungsrahmens der Ökobilanz zusammengefasst (International Organization for Standardization (ISO) 2000b). Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

## 4.2 Bewertungsmethoden und Auswertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden mit dem kumulierten Energieaufwand (KEA), dem Treibhauspotential auf 100 Jahre (GWP 100 a), der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (Umweltbelastungspunkte, UBP 06) sowie mit der Ökobilanzbewertungsmethode „Eco-indicator '99“ (mit der Bewertungsperspektive Hierarchist, EI'99 (H)) bewertet. Die Bewertungsmethoden werden im Anhang ausführlich beschrieben. In diesem Kapitel werden ihre Grundzüge dargestellt.

*Grundzüge der  
Bewertungsmethoden*

### 4.2.1 Kumulierter Energieaufwand

Die Definition des kumulierten Energieaufwandes ist ein wichtiger normativer Schritt. Unterschiedliche Studien verwenden hierzu unterschiedliche Ansätze. In dieser Studie weisen wir den Kumulierten Energieaufwand (KEA) in fünf Teilsummen aus (Frischknecht et al. 2004). Wir erachten die Summe der nicht erneuerbaren Primärenergie als umweltpolitisch relevant, weshalb diese Teilsumme speziell ausgewiesen und in erster Linie diskutiert wird.

*Teilsummen*

Der Beitrag der einzelnen Primärenergieressourcen errechnet sich wie folgt:

- fossil: Bedarf an Rohöl, Erdgas, geförderter Stein- und Braunkohle mal oberer Heizwert dieser Ressourcen.

- nuklear: Bedarf an spaltbarem Uran (U-235) mal Energiemenge, die in einem modernen Leichtwasserreaktor gewinnbar ist.
- Wasserkraft: Potentielle Energie, beziehungsweise mechanische Energie auf der Turbinenschaufel. Entspricht 122% beziehungsweise 128 % der erzeugten Strommenge (bei Lauf- beziehungsweise Speicherkraftwerken).
- Sonne, Wind und Geothermie: Sonnenenergie, die auf das Panel beziehungsweise den Sonnenkollektor trifft; kinetische Energie, die auf die Rotorfläche auftrifft. Geothermische Energie ist derzeit im ecoinvent Datenbestand v1.2 im Zusammenhang mit Wärmepumpen implementiert.
- Biomasse: Menge Biomasse, die vom Feld beziehungsweise im Wald geerntet wird mal oberer Heizwert.

#### 4.2.2 Treibhauspotential

*Treibhauspotential  
als Wirkungsparameter*

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das Treibhauspotential („global warming potential“, GWP) nach IPCC (Albritton & Meira-Filho 2001; Houghton et al. 1996) als Wirkungsparameter beigezogen. Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt. Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potentielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms CO<sub>2</sub> bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO<sub>2</sub> umgerechnet werden. In dieser Studie wird das Treibhauspotential auf 100 Jahre Integrationszeit aus fossilen Emissionsquellen berechnet.

#### 4.2.3 Eco-indicator '99

*Konzept der Schadensmodellierung*

Die Methode Eco-indicator '99 (Goedkoop & Spriensma 2000a; b) ist aus der Methode Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) heraus weiterentwickelt worden. Das Konzept der Schadensmodellierung wurde weiterentwickelt und verfeinert. Zudem konnten im Vergleich zum Eco-indicator 95 weitere Umwelteffekte berücksichtigt werden (insbesondere Ressourcenentwertung und Flächeninanspruchnahme).

Ausgangspunkt dieser Methode ist der Bewertungsschritt, d.h. sie wurde Top-Down entwickelt (und nicht Bottom-Up ausgehend vom Ergebnis der Sachbilanz). Als Schutzgüter, deren Beeinträchtigungen mit Hilfe einer Ökobilanz zu quantifizieren sind, werden

*Schutzgüter*

- Menschliche Gesundheit,
- Ökosystem Qualität, und
- Ressourcenentwertung

berücksichtigt. Ausgehend von diesen drei Schutzgütern werden Umweltschadensmodelle für die als wichtig erachteten Umweltwirkungen entwickelt um damit eine Anbindung an die Sachbilanzergebnisse zu ermöglichen. Im Folgenden werden die Schadensmodelle vorgestellt.

Drei verschiedene Wertemuster für diese Entscheidungen werden in der Methode benutzt, was zu drei in sich konsistenten Schadensmodellen führt. Die Ausgestaltung der Wertemuster erfolgt auf der Basis der Kulturtheorie (siehe dazu auch Hofstetter 1998:41-79) und umfasst die folgenden drei Typen von Entscheidern (stark vereinfacht):

*Wertemuster*

- E (Egalitarian): Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (Langzeitperspektive); weit entfernt lebende Menschen ebenso wichtig wie die eigene Familie; minimale wissenschaftliche Indizien der Umweltschädlichkeit eines Schadstoffes reichen aus, um ihn in einer Ökobilanz zu bewerten (vorsichtige Grundhaltung).
- I (Individualist): Hier und heute sind sehr wichtig (Kurzzeitperspektive, eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen); nur wissenschaftlich klar beweisbare Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potentiellen Schadstoffen werden anerkannt (risikofreudige Grundhaltung).
- H (Hierarchist): Wägt jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und den Nutzen ab. Ein Konsens der Wissenschaftler/-innen über Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potentiellen Schadstoffen rechtfertigt deren Einbezug in Ökobilanzen.

Mit diesen drei Perspektiven umfassen die Ergebnisse einer Bewertung mit dem Eco-indicator '99 somit je drei Datensets für Humangeundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen.

### Gewichtung der Dimensionen

Die abschliessende Gewichtung zwischen diesen drei Dimensionen erfolgt auf der Basis der Ergebnisse eines an der ETH Zürich unter Ökobilanz-Experten durchgeführten schriftlichen Panels. Die dort eruierten Gewichtungsfaktoren, die nicht einem europäischen Durchschnitt entsprechen, können als Default-Werte verwendet werden.

In dieser Studie wird die Perspektive „Hierarchist“ benutzt. In Abbildung 12 wird als Beispiel 1 kWh Schweizer mit 1 kWh europäischem Strom mit dieser Methode verglichen.

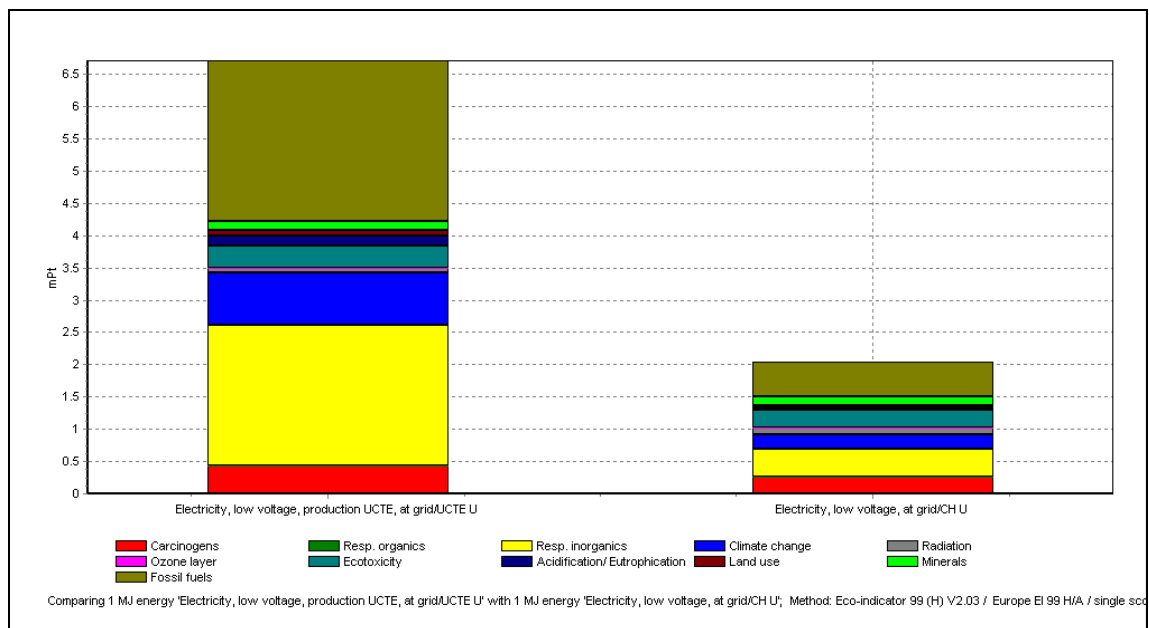


Abbildung 12: Vergleich von 1 kWh Schweizer Strom mit 1 kWh europäischem Strom mit der Bewertungsmethode Eco-indicator '99, Hierarchist.

### Bewertung Elektrizität

Eine Kilowattstunde Schweizer Strom wird mit 0.002 EI'99 Punkten bewertet, Eine Kilowattstunde europäischer Strom mit 0.007 EI'99 Punkten. Europäischer Strom wird zu einem grossen Teil aus fossilen Energieträgern bereitgestellt, während der Schweizer Strommix hauptsächlich aus Wasserkraft und Kernenergie sowie einem beachtlichen Anteil Import (im Wesentlichen aus Frankreich und Deutschland) besteht.

#### 4.2.4 Methode der ökologischen Knappheit 2006

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten Grundlagendaten. Die Umweltbelastung wird zu so genannten Umweltbelastungspunkten (UBP) zusammengefasst. Die Grundlagen der Methode wurden erstmals 1978 publiziert (Müller-Wenk 1978). Eine Aktualisierung ist derzeit in Bearbeitung. Es existieren schon provisorische Faktoren, die noch in Vernehmlassung sind und hier bereits benutzt werden. Es sind im Vergleich zur definitiven Version keine signifikanten Änderungen in der Bewertung der Umweltwirkungen und damit in den Resultaten zu erwarten.

*Sachbilanz als Grundlage*

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip „Distance-to-target“. Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maximal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert.

*Prinzip "Distance-to-target"*

### 4.3 Grundlagen

#### 4.3.1 Datenquellen zu Haustechnik und Baumaterialien

Für die Heizungen und für die Warmwasserbereitstellung werden die im ecoinvent Datenbestand v1.2 (ecoinvent Centre 2005) enthaltenen Sachbilanzdaten zu konventionellen Heizsystemen (Heizöl-, Erdgas- und Holzheizungen, Wärmepumpenheizung und Solarkollektoren) herangezogen. Aus derselben Quelle werden die Sachbilanzdaten für die Wärmedämmung entnommen.

*Ecoinvent Datenbestand*

Hässig & Primas (2004) haben eine Sachbilanz von Lüftungsanlagen für Mehrfamilienhäuser mit oder ohne Erdregister bzw. zentral oder dezentral durchgeführt. Die zugrunde liegenden Sachbilanzdaten werden für die Lüftung in dieser Studie verwendet.

Der ecoinvent Datenbestand v1.2 enthält Sachbilanzdaten zum Abbruch und zur Sortierung/Entsorgung von Baumaterialien.

### 4.3.2 Datenquellen zu Gebäuden

*Definition generischer Rohbau*

Um die Bedeutung der Gebäudeinfrastruktur ins Verhältnis zum Betrieb zu setzen, wird ein generischer Rohbau definiert und bilanziert. Da die Gebäude selbst innerhalb des gleichen Standards in der Bauweise sehr heterogen sein können, wird darauf verzichtet, für jeden Standard ein separates, durchschnittliches Gebäude zu definieren. Die Informationen zum Rohbau eines Reiheneinfamilienhauses stammen aus (Lalive d'Epinay 2004). Der dort ausgewiesene Materialbedarf wird mit den Sachbilanzdaten zu Herstellung, Abbruch und zur Sortierung/Entsorgung von Baumaterialien verknüpft.

## 4.4 Umweltbelastungen aufgrund baulicher Massnahmen für die einzelnen Energiestandards

### 4.4.1 Umweltbelastung des Rohbaus

*Referenzgebäude*

Als Datenbasis für den Rohbau wurde das Referenzhaus aus (Lalive d'Epinay 2004) benutzt. Es handelt sich um ein Reiheneinfamilienhaus mit 6 Wohneinheiten und ist ein Massivbau mit Backsteinwänden und Kompaktwärmedämmung an der Fassade sowie hauptsächlichlicher Verwendung von Kunststoff-Dämmstoffen (EPS). Da die Wärmedämmung für die Berechnungen bei den energietechnischen Massnahmen der verschiedenen Energiestandards der Häuser berücksichtigt wird, wird sie nicht mit dem Rohbau bilanziert.

Tabelle 24 zeigt die wichtigsten Gebäudeparameter des bilanzierten Hauses.

Element	Beschreibung	Einheit	Referenzhaus
Gebäudevolumen	Innenvolumen	m <sup>3</sup>	1941
Wohnfläche	Nettowohnfläche	m <sup>2</sup>	720
	Energiebezugsfläche	m <sup>2</sup>	814
Dachfläche	Aus Innendimensionen	m <sup>2</sup>	360
Fensterfläche	N, S, E, W	m <sup>2</sup>	108
	U-Wert	W/m <sup>2</sup> K	2.8
Material, Wand	Backstein	cm	17.5
Fassade	Mineralischer Putz	cm	2
Material, Dach	Holzsparren unterhalb	cm	20
	Dämmung		

*Tabelle 24: Gebäudeparameter des Referenzhauses (Lalive d'Epinay 2004). Alle Werte beziehen sich auf das gesamte Haus mit 6 Wohneinheiten.*

Die zugrunde gelegte Lebensdauer der Elemente wird in Tabelle 25 angegeben.

Material / Element	Lebensdauer (a)
Zement, unspezifisch, ab Werk	40 a
Beton, normal, ab Werk	80 a
Armierungsstahl, ab Werk	80 a
Bitumendichtungsbahn, ab Werk	80 a
Polyethylen-Granulat, LDPE, ab Werk	40 a
Steinwolle, ab Werk	40 a
Backstein, ab Werk	80 a
Vlies, Polyethylen, ab Werk	40 a (Dach)
Schaumglas, ab Werk	80 a
Gipsfaserplatte, ab Werk	80 a
Dachziegel, ab Werk	80 a
Spanplatte, Innenanwendung, ab Werk	40 a (Dach)
Deckputz mineralisch, ab Werk	30 a (Innen/Aussen)
Bronze, ab Werk	30 a
Stahl, niedriglegiert, ab Werk	30 a
Rohr ziehen, Stahl	30 a
Rohrisolierung, Elastomere, ab Werk	30 a
Umwälzpumpe 40W, ab Werk	30 a

Material / Element	Lebensdauer (a)
Warmwasserspeicher 600l, ab Werk	20 a
Schneittholz, Laubholz, gehobelt, luft-/kammergetrocknet, u=10%, ab Werk	Parkett 20 a, Dach 80a, Tür 40 a
Fenster, Holzrahmen, doppelte Verglasung, ab Werk	30 a

Tabelle 25: Lebensdauer der Elemente (Lalive d'Epinay 2004).

Tabelle 46 im Anhang beschreibt die Sachbilanzdaten des bilanzierten Hauses. Die Materialmengen beinhalten die Mengen für die Erneuerung des Gebäudes.

#### Bewertung Rohbau

Tabelle 26 zeigt die Ökobilanz-Resultate für den Rohbau, bewertet mit dem kumulierten Energieaufwand, dem Treibhauspotential (Zeithorizont 100 Jahre), der Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006) und mit dem Eco-indicator '99 (H, A). Die Resultate einer Variante des Rohbaus mit Fenstern mit Dreifachverglasung werden in der gleichen Tabelle dargestellt. Wichtige Elemente sind der Energieverbrauch beim Bauprozess und der Verbrauch an Zement und Backstein. Die Fenster haben einen kleinen Einfluss auf die Gesamtergebnisse, so dass die zwei Varianten sich kaum unterscheiden.

Für die Standards SIA, MuKEN-M2 und Minergie wird der Rohbau mit Doppelverglasung benutzt, für Minergie-P der Rohbau mit dreifach verglasten Fenstern.

Methode	Einheit	Rohbau, 2-fach Verglasung	Rohbau, 3-fach Verglasung
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	79.3	80.5
- KEA nicht erneuerbar	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	58.2	59.3
- KEA erneuerbar	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	21.1	21.3
Treibhauspotential 100 Jahre	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	5.59	5.65
Methode der ökologischen Knappheit 2006, provisorische Ökofaktoren	UBP/m <sup>2</sup> a	6'628	6'727
Eco-indicator '99 (H, A)	Pkte/m <sup>2</sup> a	0.350	0.355

Tabelle 26: Ausgewählte Ökobilanz-Resultate für den Rohbau.



#### 4.4.2 Einfluss der Wärmedämmung auf den Heizenergiebedarf

Abbildung 13 zeigt den Einfluss der Dämmung auf die Transmissionsverluste. Mit zunehmender Dämmstärke nimmt die isolierende Wirkung eines zusätzlichen Dämmzentimeters ab.

Wärmedämmung

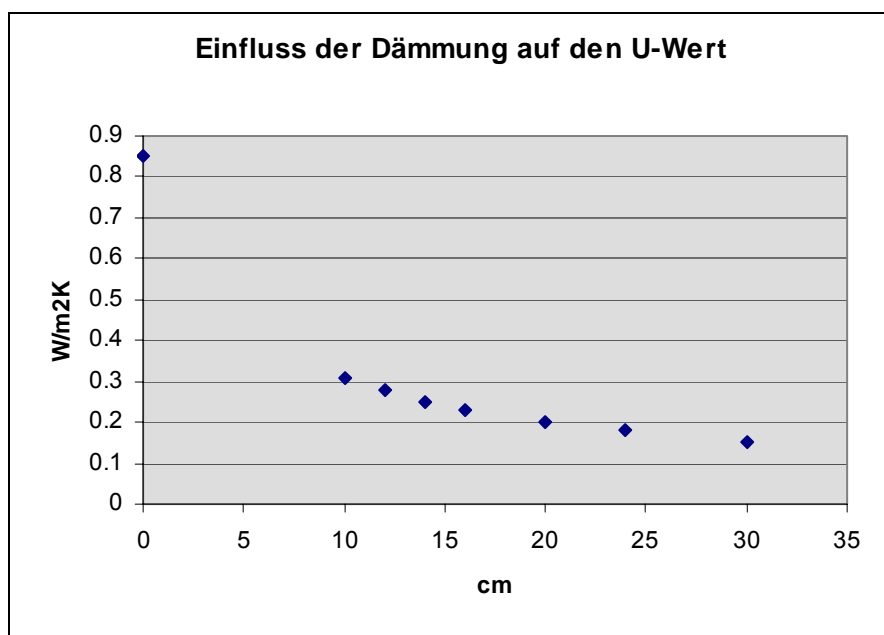


Abbildung 13: Einfluss der Dämmstärke auf den U-Wert für eine Kompaktfassade mit Polystyrol. Werte aus (Jakob et al. 2002)

Jakob et al. (Jakob et al. 2002) geben das Verhältnis zwischen der Dicke der Wärmedämmung und dem Wärmebedarf an (s. folgende Tabelle).

Dicke Wärmedämmung		Heizwärme			
Wand	Dach	Total	Einsparungen		
cm	cm	MJ/m <sup>2</sup> a	MJ/m <sup>2</sup> a	%	
10	12	215	-	-	
12	16	204	11	5%	
16	20	191	24	11%	
18	24	184	31	14%	
20	26	179	36	17%	
24	30	173	42	20%	
30	36	164	51	24%	

*Tabelle 27: Einsparungen an Heizwärme im Verhältnis zur Erhöhung der Dämmstärke (Jakob et al. 2002).*

Eine weitere Reduzierung des Heizenergiebedarfs kann man durch Dämmung des Bodens, Massnahmen an den Fenstern und mit dem Einbau einer Lüftungsanlage erreichen.

#### *Abstufung der Werte*

Wegen der grossen Diversität der Parameter, die zu den energetischen Charakteristiken eines Gebäudes führen, ist es nicht möglich, die Dämmstärke eindeutig mit dem Heizenergiebedarf zu korrelieren. Mangels verlässlicher Daten wird hier eine grobe Abstufung gewählt, die ausgehend von der maximalen Dämmstärke und dem tiefsten Energieverbrauch aus Tabelle 27 interpoliert wird. Für die Referenz werden die Dämmstärken von 10 cm (Wand), 12cm (Dach) und 8cm (Boden) gewählt. Für den Boden wird die Dämmstärke zwischen einem Minimum von 8 cm und einem Maximum von 22 cm variiert.

Die Berechnung des Bedarfs an Wärmedämmstoff basiert auf den folgenden Werten für die Gebäudeparameter. Die Werte sind so gewählt, dass sie einem durchschnittlichen Gebäude mit dem für das Projekt gewählten Verhältnis A/EBF entsprechen.

Element	Einheit	Gebäude	
		MFH	EFH
Länge	m	30	10
Breite	m	10	6
Geschosse	Anzahl	4	2
Höhe	m	3.5	2.3
Energiebezugsfläche (EBF)	m <sup>2</sup>	1200	120
Fensterfläche (% Fassade)		30%	20%
Wand (F <sub>w</sub> )	m <sup>2</sup>	1120	147
Boden (F <sub>B</sub> )	m <sup>2</sup>	300	60
Dach (F <sub>D</sub> )	m <sup>2</sup>	300	60
Gebäudehüllfläche (A)	m <sup>2</sup>	1570	237
A/EBF		1.3	2.0
Gedämmte Fläche (A <sub>d</sub> )	m <sup>2</sup>	1384	238
Gedämmte Fläche/EBF		1.2	2.0

Tabelle 28: Gebäudeparameter für die Berechnung der Dämmstoffmenge pro EBF.

Als Dämmstoff wird Steinwolle gewählt, da dieser Dämmstoff häufig eingesetzt wird. Für die Wand wird ein typisches Steinwolleprodukt für Kompaktfassaden mit einem Lambda-Wert von 0.036 W/m<sup>2</sup>K gewählt, für Dach und Boden durchschnittliche Produkte gemäss Angaben aus Lalive d'Epina y et al. (2004) und von Flumroc<sup>10</sup>. Die Hauptparameter der Dämmung werden in Tabelle 29 gezeigt.

Steinwolle als  
Dämmstoff

Gebäude- teil	Dichte kg/m <sup>3</sup>	Lambda-Wert W/(m*K)	Dicke cm	Lebensdauer a
Wand	90	0.036	Siehe Tabelle 30	40
Dach	30	0.036	Siehe Tabelle 30	40
Boden	110	0.036	Siehe Tabelle 30	40

Tabelle 29: Parameter der Dämmung für die Berechnung der Dämmstoffmenge. Lambda-Wert typischer Steinwolle-Produkte, eigene Annahmen.

Die Menge Dämmstoff pro EBF und Jahr wird mit folgender Formel gerechnet:

$$\text{Menge Dämmstoff} = \left( \sum F_{\text{Gebäudeteil}} * \text{Dichte}_{\text{Dämmstoff}} * \text{Dicke}_{\text{Dämmstoff}} \right) / \text{Lebensdauer}_{\text{Dämmstoff}} / \text{EBF}$$

Dicke der Dämmschicht

Tabelle 30 zeigt die daraus errechneten Werte. Für die weiteren Berechnungen wird die Dämmung der Häuser für die verschiedenen Varianten nach Massgabe der erreichbaren Energieeinsparung gegenüber dem SIA Grenzwert wie folgt festgelegt:

Variante	Dicke Dämmung			Bedarf Dämmung	
	Wand cm	Dach cm	Boden cm	MFH kg/m <sup>2</sup> a	EFH kg/m <sup>2</sup> a
100 % $Q_t - Q_{ug}$ gemäss SIA 380/1	10	12	8	0.225	0.376
80-99% $Q_t - Q_{ug}$	12	16	10	0.275	0.462
50-79% $Q_t - Q_{ug}$	18	24	14	0.406	0.680
30-49% $Q_t - Q_{ug}$	24	30	20	0.547	0.917
10-29% $Q_t - Q_{ug}$	30	36	22	0.660	1.100

*Tabelle 30: Dicke der Dämmschicht und daraus abgeleiteter Bedarf an Dämmung in Abhängigkeit des Heizenergiebedarfs. Eigene Berechnungen und Annahmen.*

#### 4.4.3 Umweltbelastung der Gebäudehülle

Fensterfläche für solare Gewinne

Eine zusätzliche Massnahme zur Verbesserung der Energiekennzahl des Gebäudes ist eine Vergrösserung der Fensterfläche zur Steigerung der solaren Gewinne. Dadurch wird die Aussenwandfläche weniger gross, ihre Umweltauswirkungen verringern sich entsprechend. Hingegen vergrössert sich der Einfluss der Fenster. Um diese beiden Effekte ins Verhältnis zu setzen, wird 1 m<sup>2</sup>a Fensterfläche mit 1 m<sup>2</sup>a Aussenwand mit einer Wärmedämmung aus EPS verglichen. Beim Fenster handelt es sich um ein Fenster mit Wärmeschutz-Doppelverglasung gefüllt mit Argon. Die Aussenwand ist eine durchschnittliche Aussenwand (Durchschnitt zwischen allen Expositionen) für einen massiven Bau aus Backstein mit EPS-Kompaktdämmung von 14-20 cm Dicke, je nach Ausrichtung der Aussenwand.

Tabelle 31 zeigt die Ökobilanz-Resultate für 1 m<sup>2</sup>a Fensterfläche bzw. 1 m<sup>2</sup>a Aussenwand, bewertet mit dem kumulierten Energieaufwand, dem Treibhauspotential (Zeithorizont 100 Jahre), der Methode der ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 2006, provisorische Ökofaktoren) und mit dem Eco-indicator '99 (H,A).

Bewertungsmethode	Einheit	Fenster	Aussenwand
KEA, nicht erneuerbar	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	22	25
Treibhauspotential	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	1.07	1.71
Eco-indicator '99 (H, A)	Pkte/m <sup>2</sup> a	0.12	0.12
UBP 2006, prov. Ökofaktoren	UBP/m <sup>2</sup> a	2'119	1'715

*Tabelle 31: Vergleich von 1 m<sup>2</sup>a Aussenwand und 1 m<sup>2</sup>a Wärmeschutzverglasung, bewertet mit KEA, GWP (100 a), UBP 06 (provisorische Ökofaktoren) und mit EI'99 (H,A).*

Der Vergleich zeigt, dass die Annahme bezüglich des Fensteranteils für die Bestimmung der Umweltbelastung des Rohbaus je nach Methode von unterschiedlicher Bedeutung ist. Für den Eco-indicator '99 und für den KEA nicht erneuerbar ist die Umweltbelastung von Aussenwand und Fenster sehr ähnlich, während das Fenster bei der Bewertung mit dem Treibhauspotential viel weniger und mit den UBP 2006 deutlich mehr Umweltbelastungen aufweist.

*Vergleich der Werte*



## 5 Umweltbelastungen der einzelnen Energiestandards

### 5.1 Vorgehen

#### 5.1.1 Energieverbrauch

Der Endenergieverbrauch der einzelnen Standards wird aus Kapitel 3.2 entnommen und mit Datensätzen des ecoinvent Datenbestands v1.2 (inkl. Korrekturen bis 30. Juni 2006) für die unterschiedlichen Heizungen verknüpft. Diese Datensätze berücksichtigen sowohl die Emissionen bei der Benutzung der Heizkessel als auch die Aufwendungen und Emissionen für die Bereitstellung der Energieträger. Tabelle 32 zeigt die Datensätze, die für die jeweiligen Heizsysteme verwendet werden.

*Verwendete Datensätze aus ecoinvent*

Heizsystem	Datensatz EFH	Datensatz MFH
Öl/Solar	light fuel oil, burned in boiler 10kW, non-modulating (SIA 380/1)	light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating (SIA 380/1)
	light fuel oil, burned in boiler 10kW condensing, non-modulating (andere Standards)	light fuel oil, burned in boiler 100kW condensing, non-modulating (andere Standards)
	heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system	heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system
Gas/Solar	natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW	natural gas, burned in boiler condensing modulating <100kW
	heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system	heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system
Wärmepumpe	Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW	Heat, borehole heat exchanger, at brine-water heat pump 10kW
Holzpellets	pellets, mixed, burned in furnace 15kW	pellets, mixed, burned in furnace 50kW
Stückholz/Solar	logs, mixed, burned in furnace 30kW	Nicht berücksichtigt
	heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system	Nicht berücksichtigt

*Tabelle 32: Heizsysteme und benutzte Datensätze aus dem ecoinvent Datenbestand v1.2 (inkl. Korrekturen bis 30. Juni 2006). Mangels spezifischen Datensätzen mussten teilweise die gleichen Datensätze für EFH und MFH benutzt werden.*

Der Energieverbrauch wird nach Heizenergie, Energie für Warmwasser und Strom für die Lüftung differenziert. Als Strommix wird in der

Basisvariante der Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) benutzt, da die Untersuchung auf den Schweizer Gebäudepark fokussiert. In Kapitel 6.2 wird die Sensitivität der Ergebnisse auf einen anderen Strommix (GuD-, UCTE-Strom) getestet.

### 5.1.2 Bauliche Aufwendungen

#### *Zusätzlicher Bedarf Wärmedämmung*

Die baulichen Aufwendungen berücksichtigen die zusätzliche Wärmedämmung sowie die Infrastruktur für die Komfortlüftung. Als Standard wird eine Steinwolle-Wärmedämmung angenommen, da dieser Dämmstoff häufig eingesetzt wird. Da der Bedarf an Wärmedämmung sehr abhängig von der Gebäudeform und –orientierung ist, wird in einem ersten Schritt die zusätzliche Menge Wärmedämmung pro m<sup>2</sup> EBF abgeschätzt. Die benutzten Werte sind in Tabelle 30 dargestellt (siehe dazu Kap. 4.4.2).

Es wird angenommen, dass 5% der Steinwolle-Dämmstoffe rezykliert werden und dass die mit der Verwertung verursachten Aufwendungen bzw. Emissionen der Zweitverwendung zugeordnet werden.

### 5.1.3 Lüftung

#### *Materialien für Lüftung*

Die Aufwendungen für Herstellung, Betrieb und Entsorgung von Komfortlüftungen werden aus (Hässig & Primas 2004) entnommen. In dieser Publikation werden Komfortlüftungen für Mehrfamilienhäuser beschrieben. In dieser Studie werden auf Anraten von Alex Primas, Ko-Autor der Studie<sup>11</sup>, folgende Varianten gewählt:

- Einfamilienhäuser, Neubau und Sanierung: dezentrale Variante mit Polyethylen-Röhren und Erdregister
- Mehrfamilienhäuser, Neubau: zentrale Variante mit Polyethylen-Röhren und Erdregister
- Mehrfamilienhäuser, Sanierung: dezentrale Variante mit Stahlröhren ohne Erdregister.

Der Stromverbrauch wird separat berechnet und beträgt für alle Varianten (Minergie, Minergie-P) 9 MJ/m<sup>2</sup>a.



### 5.1.4 Rohbau und Sanierungsaufwendungen

Der Rohbau ist für alle Varianten praktisch identisch, woraus eine identische Sockel-Umweltbelastung resultiert. Die einzige Variation ist die dreifache Verglasung der Fenster für Minergie-P-Gebäude. Die Werte dienen dazu, die Umweltbelastungen des Betriebs und der Mehraufwendungen für wärmetechnische Massnahmen (Isolation, Lüftungssystem) ins Verhältnis zu den Umweltbelastungen der Erstellung des Gebäuderohbaus zu setzen.

*Identischer Rohbau  
für alle Gebäude*

Sanierungsaufwendungen fallen je nach Gebäude sehr unterschiedlich aus und dienen nicht alle der energetischen Sanierung. Die wichtigsten Aufwendungen zu energetischen Zwecken sind die Wärmedämmung, die Entfernung von Wärmebrücken sowie der eventuelle Ersatz von Fenstern. Die Wärmedämmung ist in den Berechnungen und in den Auswertungen unter "Betrieb und wärmetechnische Massnahmen" zugeordnet. Die Entfernung von Wärmebrücken und der frühzeitige Ersatz von Fenstern werden vernachlässigt, da diese schwer quantifizierbar sind. Der „normale“ Ersatz von Fenstern wird schon beim Rohbau mit einer Lebensdauer von 30 Jahren berücksichtigt.

*Sanierungsaufwen-  
dungen*

## 5.2 SIA 380/1 Grenzwerte

### 5.2.1 Übersicht

Die Bilanz der Gebäude, die gemäss SIA 380/1 Grenzwerten gebaut, betrieben und entsorgt werden, umfasst neben dem Rohbau die Wärmedämmung, die Bereitstellung der Betriebsenergie sowie den Rückbau. Das Gebäude weist keine Lüftungsanlage auf. Die Betriebsenergiebedarfe für EFH und MFH sind in Tabelle 3 aufgeführt.

### 5.2.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der kumulierte Energieaufwand beträgt zwischen 500 MJ-eq/m<sup>2</sup>a und 680 MJ-eq/m<sup>2</sup>a (Abbildung 14 und Abbildung 15). Der Rohbau hat einen Anteil von 13% (EFH) bzw. 16% (MFH) am Total. Die Betriebsphase ist also dominant.

### Kumulierter Energieaufwand

Der Grenzwert erlaubt einen höheren Heizenergiebedarf bei renovierten Häusern. Dementsprechend ist der KEA für die Sanierungen höher als für den Neubau, trotz der Tatsache, dass bei der Sanierung kein Rohbau nötig ist. Der kumulierte Energieaufwand besteht hauptsächlich aus fossilen Energieträgern, da die Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung mit einem Ölkessel erfolgt. Der kleine Anteil an nuklearem Energieaufwand wird durch den Hilfsstromverbrauch des Heizkessels verursacht.

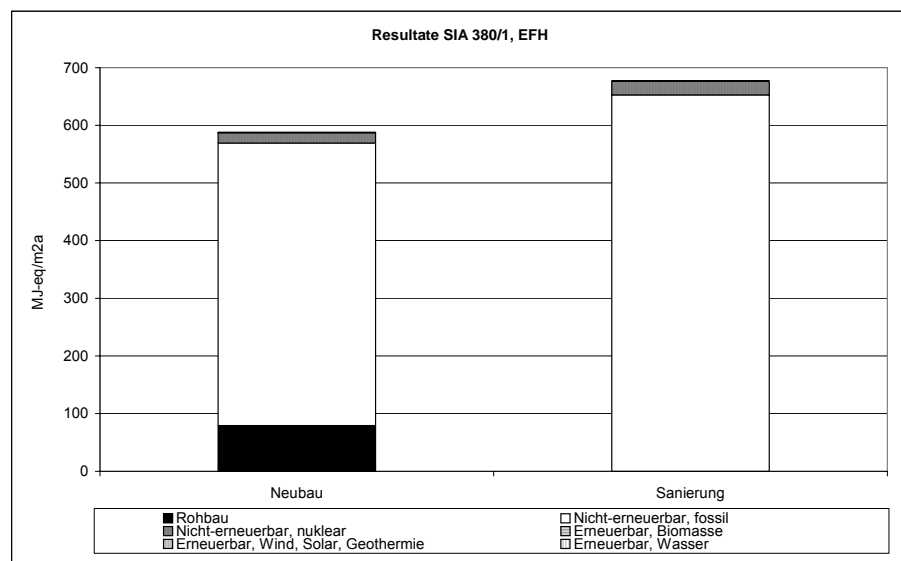


Abbildung 14: Kumulierter Energieaufwand (in MJ-eq/m<sup>2</sup>a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

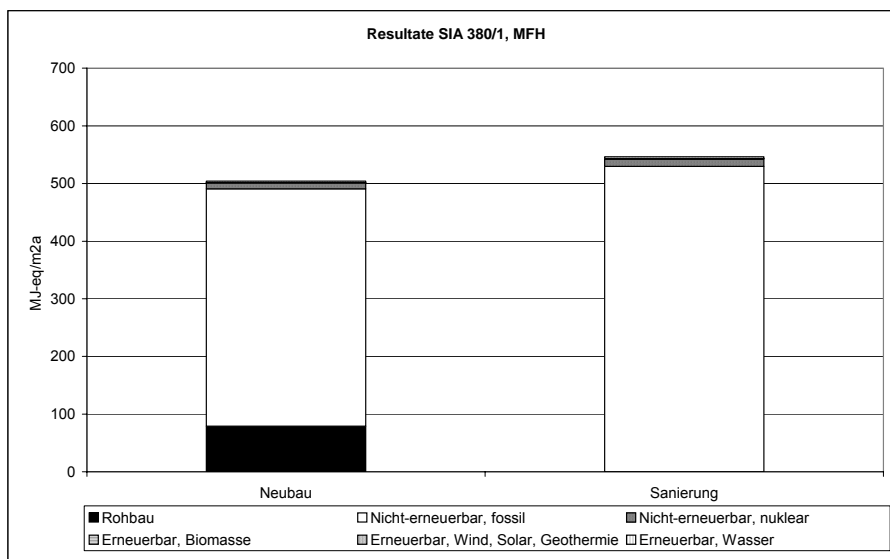


Abbildung 15: Kumulierter Energieaufwand (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Tabelle 33 fasst den kumulierten Energieaufwand, nicht-erneuerbar, für die vier Varianten zusammen. Da der Anteil erneuerbarer Energiequellen sehr klein ist, sind diese Werte nur wenig tiefer als die Gesamtzahlen.

	EFH MJ-eq/m²a	MFH MJ-eq/m²a
Neubau	570	480
Sanierung	680	540

Tabelle 33: Kumulierter Energieaufwand, nicht-erneuerbar (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Ein- und Mehrfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung

### 5.2.3 Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential (Abbildung 16 und Abbildung 17) beträgt zwischen 34 kg CO<sub>2</sub>-eq/m²a (Mehrfamilienhaus, Neubau) und 45 kg CO<sub>2</sub>-eq/m²a (Einfamilienhaus, Renovation). Wie beim kumulierten Energieaufwand hat der Rohbau einen Anteil von nur 14% (EFH) bzw. 16% (MFH) am gesamten Treibhauspotential.

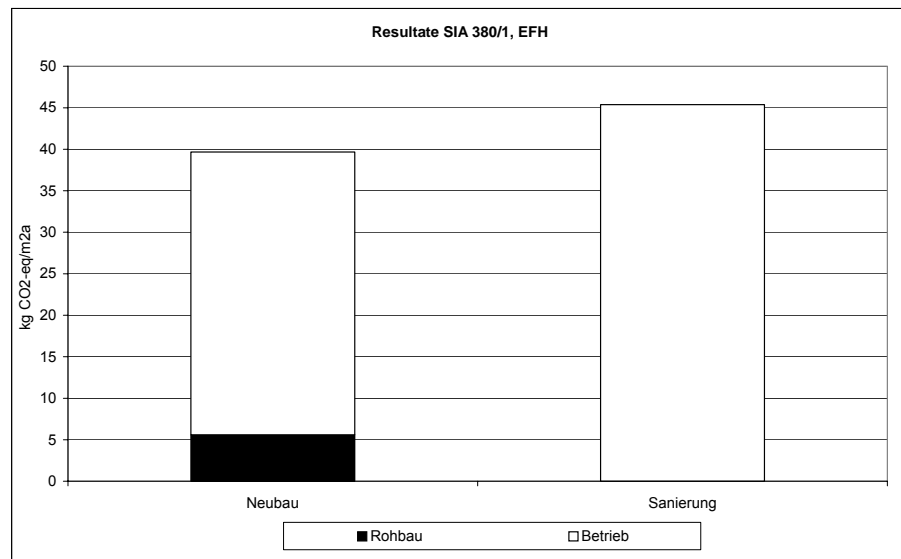


Abbildung 16: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

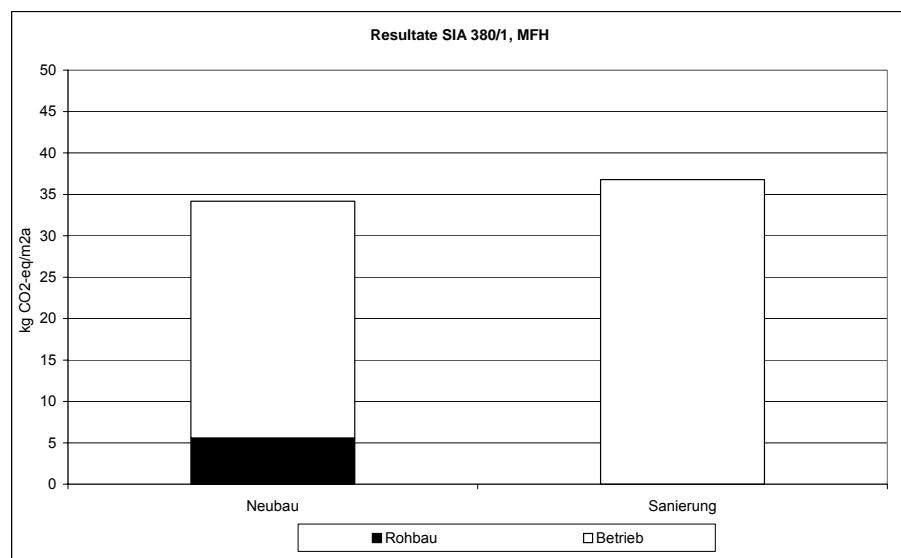


Abbildung 17: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 18 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau aber mit wärmetechnischen Massnahmen) verdeutlicht.

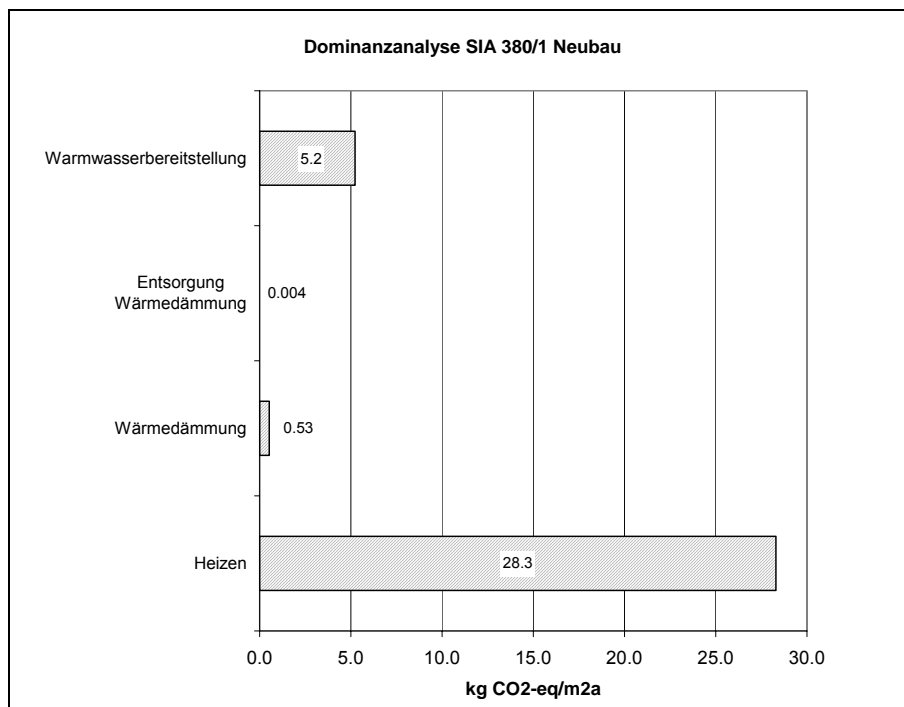


Abbildung 18: Dominanzanalyse des Betriebs der Variante EFH, Neubau mit der Bewertungsmethode Treibhauspotential 100a.

Die Raumwärmebereitstellung hat die grösste Bedeutung mit 83% des Gesamtergebnisses, gefolgt von der Warmwasserbereitstellung mit 15%. Die Herstellung der Wärmedämmung und deren Entsorgung spielen fast keine Rolle (2% des Totals).

#### 5.2.4 Eco-indicator '99 (H, A)

Die Bewertung mit Eco-indicator '99 (H, A) (Abbildung 19 und Abbildung 20) ergibt Werte zwischen 2.0 EI'99 Punkte/m<sup>2</sup>a (Mehrfamilienhaus, Neubau) und 2.7 EI'99 Punkte/m<sup>2</sup>a (Einfamilienhaus, Renovation). Der Rohbau (ohne Wärmedämmung) hat einen Anteil

von 15% (EFH) bzw. 17% (MFH) an der gesamten Belastung. Die Betriebsphase ist auch hier dominant.

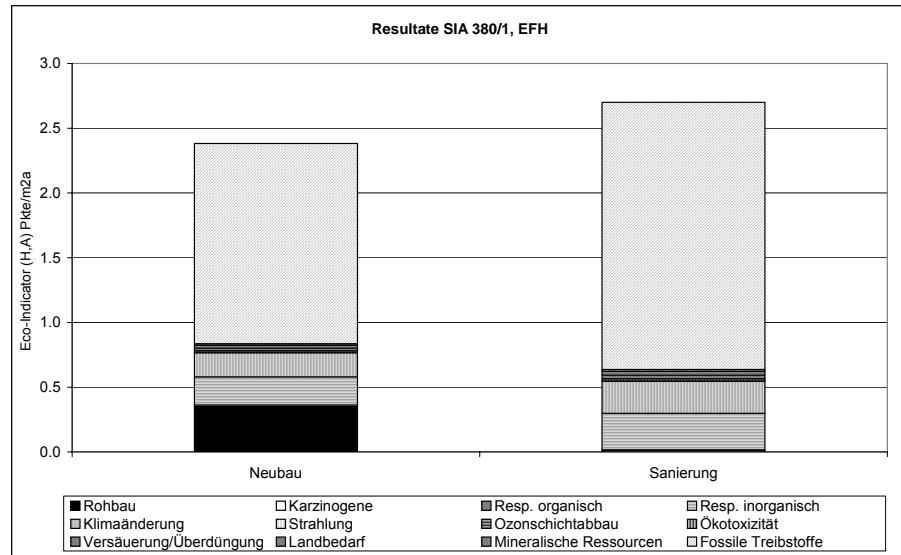


Abbildung 19: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

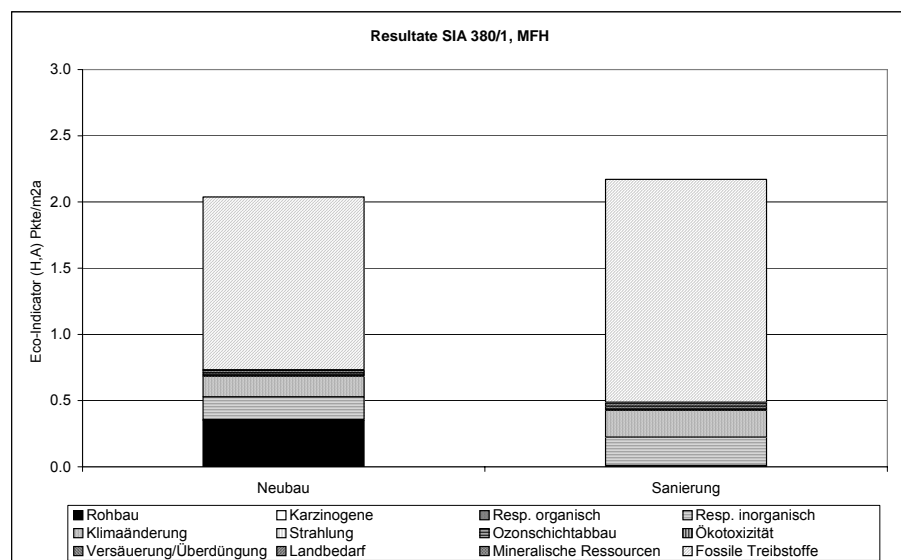


Abbildung 20: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Wichtigste Kategorie bei der Bewertung sind die fossilen Energieresourcen, dann folgen Klimaänderung und Atemwegserkrankungen durch anorganische Luftschadstoffe (beispielsweise Partikel). Diese Kategorien spiegeln hauptsächlich die Verbrennung von fossilen Brenn- und Treibstoffen wieder.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 21 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau aber mit wärmetechnischen Massnahmen) verdeutlicht.

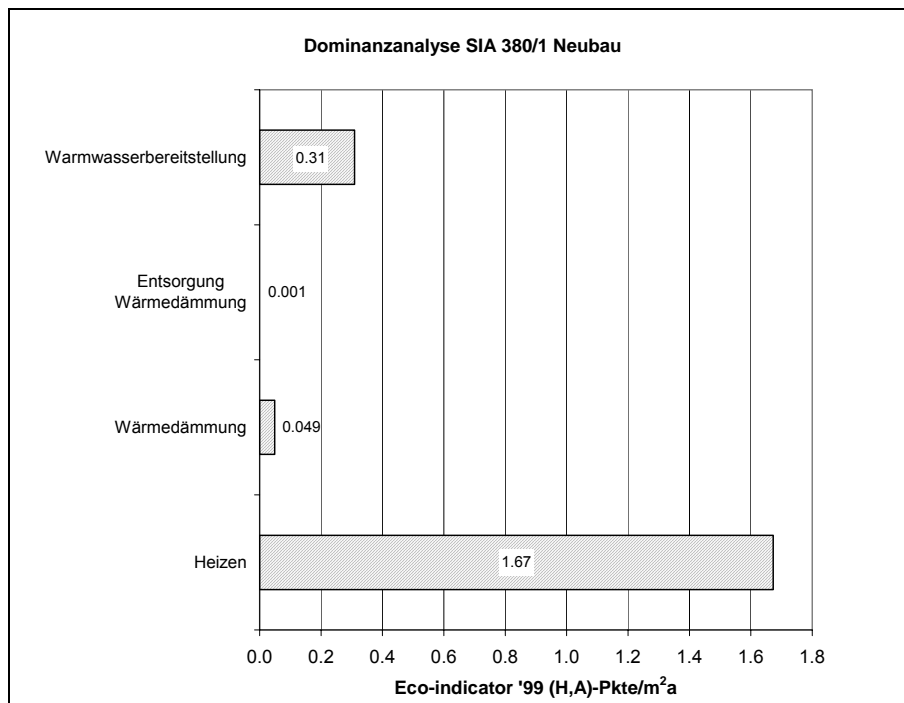


Abbildung 21: Dominanzanalyse der Variante EFH, Neubau mit der Bewertungsmethode Eco-indicator '99 (H, A).

Auch in dieser Bewertungsmethode dominiert die Raumwärmebereitstellung, gefolgt von der Warmwasserbereitstellung, während die Herstellung und Entsorgung der Wärmedämmung eine sehr kleine Rolle spielt (ca. 3%)

### 5.2.5 Methode der ökologischen Knappheit 2006

Der Rohbau hat bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 einen höheren Anteil (25% bzw. 29%) am gesamten Resultat als mit den anderen Bewertungsmethoden (Abbildung 22 und Abbildung 23).

Wichtigste Kategorie sind die Luftemissionen (75% der Belastungen des Betriebs). Davon machen die Kohlendioxidemissionen über 60%, Schwefeldioxid- und Stickoxidemissionen je fast 10% aus. Die Wasseremissionen werden hauptsächlich bei der Erdölgewinnung verursacht.

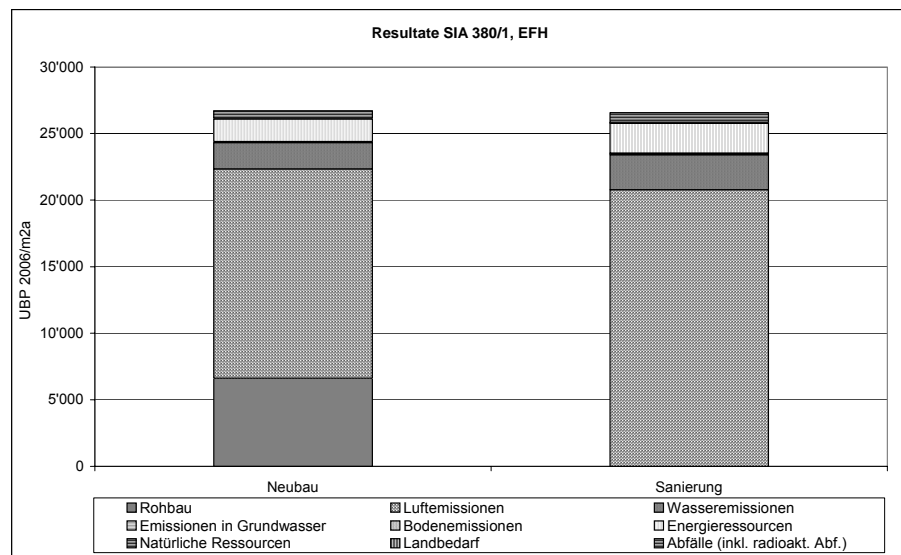


Abbildung 22: Umweltbelastungspunkte 2006/m²a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



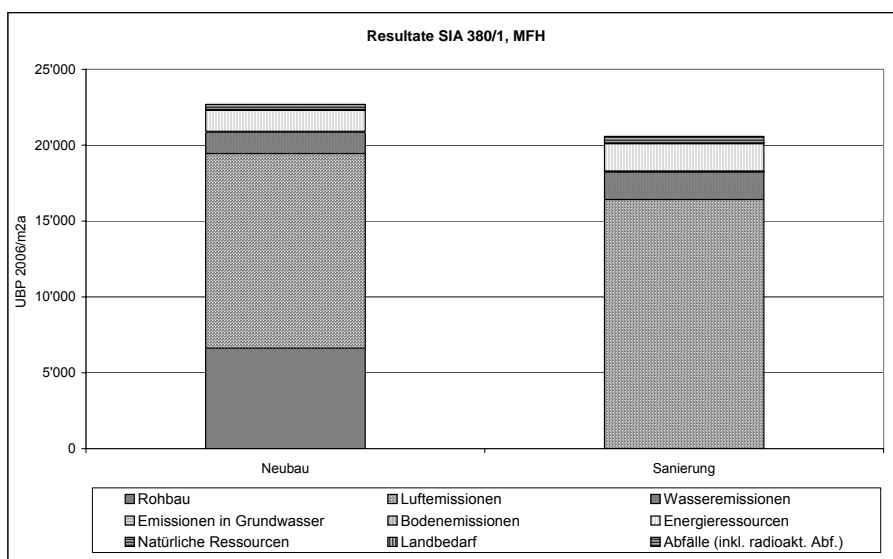
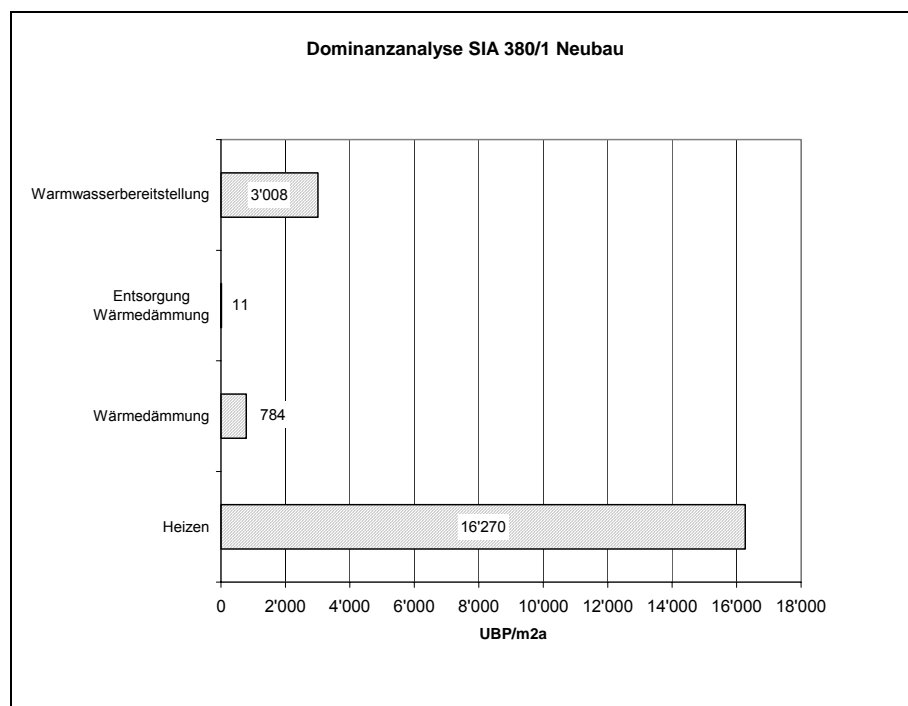


Abbildung 23: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach SIA 380/1 Grenzwert für Neubau bzw. Sanierung. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 24 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau aber mit wärmetechnischen Massnahmen) verdeutlicht.



*Abbildung 24: Dominanzanalyse der Variante EFH, Neubau mit der Bewertungsmethode der ökologischen Knappheit.*

Die Raumwärmebereitstellung hat die grösste Bedeutung mit 80% des Gesamtergebnisses, gefolgt von der Warmwasserbereitstellung mit 15%. Die Herstellung der Wärmedämmung und deren Entsorgung spielen fast keine Rolle (5% des Totals).

### 5.2.6 Zusammenfassung

Aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs sind für alle Bewertungsmethoden die Umweltbelastungen für Einfamilienhäuser höher als für Mehrfamilienhäuser. Trotz der Tatsache, dass bei der Sanierung kein Rohbau berücksichtigt werden muss, ist die Sanierungsvariante wegen dem höheren Heizwärmebedarf weniger günstig als die Neubauvariante (mit der Ausnahme der Mehrfamilienhäuser bei der Bewertung mit UBP 2006). Der Betrieb ist bei allen Bewertungsmethoden die wichtigste Phase, allerdings hat der Rohbau bei der Methode der ökologischen Knappheit eine relativ hohe Bedeutung.

## 5.3 MuKE n Modul 2

### 5.3.1 Übersicht

Wie bei den anderen Baustandards umfasst die Bilanz der Gebäude, die gemäss MuKE n Modul 2 gebaut, betrieben und entsorgt werden, neben dem Rohbau die Bereitstellung der Betriebsenergie und den Rückbau. Diejenigen Gebäudevarianten, die mit fossilen Energieträgern beheizt werden, weisen eine stärkere Isolation auf, jedoch keine Lüftungsanlage. Für die Varianten Wärmepumpe und Holzheizung entsprechen die Betriebsenergiebedarfe für EFH und MFH dem SIA 380/1 Grenzwert. Für die Varianten Erdgas/Solar und Heizöl/Solar sind sie gegenüber dem SIA Grenzwert um 15% tiefer.

### 5.3.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Den höchsten kumulierten Energieaufwand (erneuerbar und nicht erneuerbar) haben die Varianten mit Holzheizungen, gefolgt von derjenigen mit Wärmepumpe (Abbildung 25 und Abbildung 26). Bei diesen drei Varianten ist der Heizwärmebedarf höher als bei den zwei Varianten mit fossiler Heizenergie. Der Anteil erneuerbarer Energieressourcen liegt bei den Holzfeuerungen bei 81% (Holzpellets) bzw. 94% (Stückholz/Solar), bei der Wärmepumpe bei 58%, und bei den fossilen Varianten zwischen 18 und 22%.

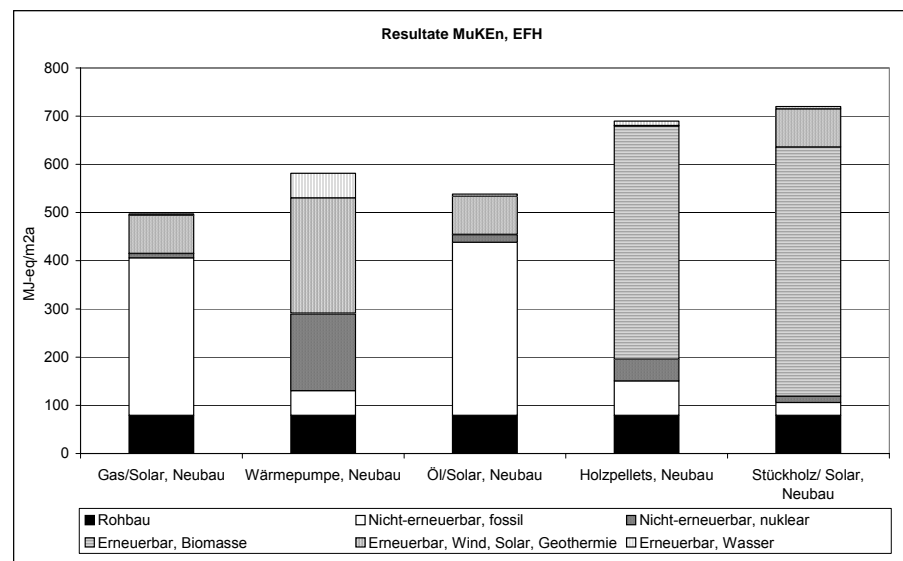


Abbildung 25: Kumulierter Energieaufwand, total (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach MuKE Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

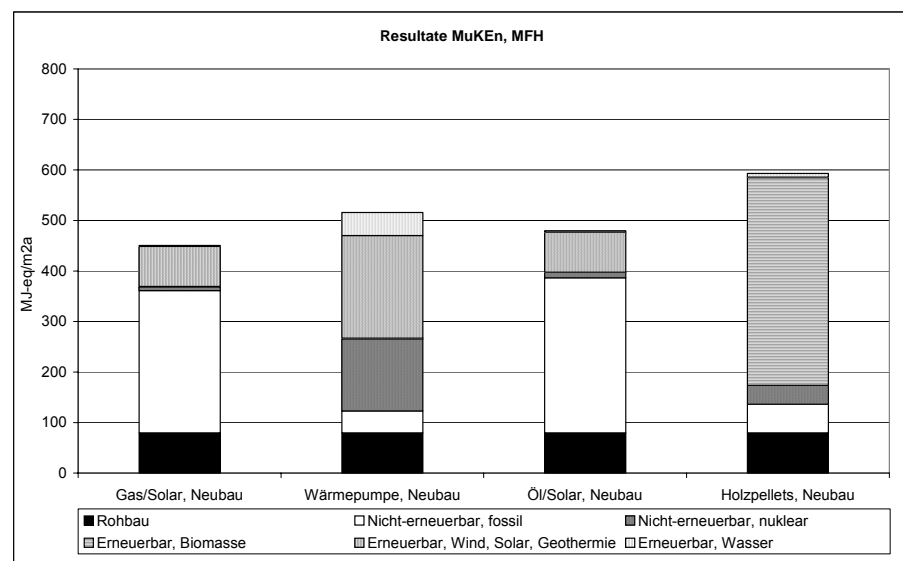


Abbildung 26: Kumulierter Energieaufwand, total (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach MuKE Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Bezüglich nicht erneuerbarem KEA liegt der Betrieb der Häuser mit Wärmepumpe und Holzheizung unter dem KEA der fossilen Varianten sowohl für EFH wie für MFH (s. Tabelle 34).

Energiesystem	EFH	MFH
	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MJ-eq/m <sup>2</sup> a
Öl/Solar	430	380
Gas/Solar	390	350
Wärmepumpe (CH-Mix)	270	240
Holzpelletsfeuerung	170	160
Stückholz/Solar	100	-

*Tabelle 34: Kumulierter Energieaufwand nicht-erneuerbar (inkl. Rohbau) für die EFH- und MFH-Varianten des Standards MuKE n Modul 2.*

Der Anteil nuklearer Energie bei der Holzheizung wird durch den Strombedarf der Pellets-Heizung verursacht.

### 5.3.3 Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential variiert stark, je nachdem, ob der Betrieb der Gebäude mit fossilen Brennstoffen erfolgt oder nicht (Abbildung 27 und Abbildung 28). Es beträgt demnach zwischen 23 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a und 31 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a für die Varianten mit Erdgas- oder Heizöl-Feuerungen und nur 8 bis 12 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a für die Varianten mit Holzfeuerungen bzw. Wärmepumpe. Entsprechend hat der Rohbau einen Anteil von 18% bis 25% bei den fossilen Varianten und 48% bis 69% bei den Varianten mit erneuerbaren Energieträgern.

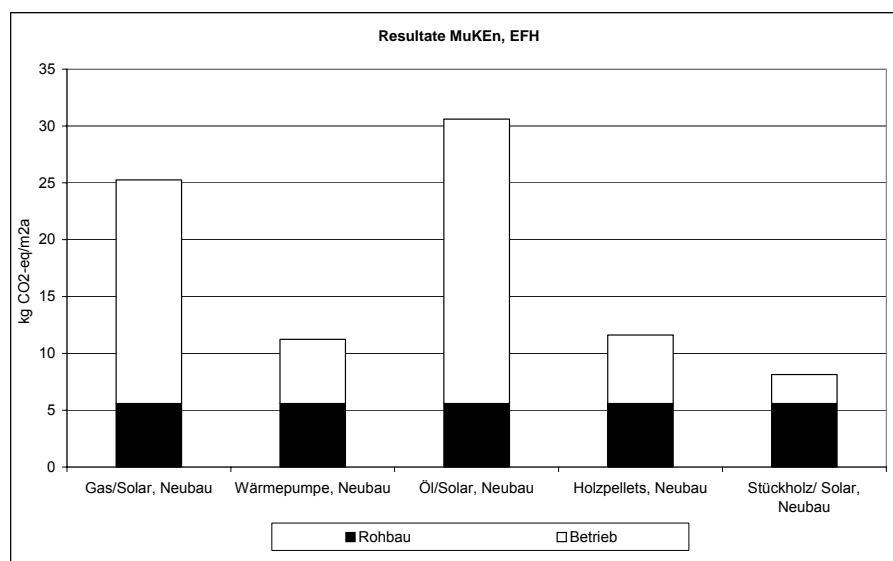


Abbildung 27: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach MuKEn Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

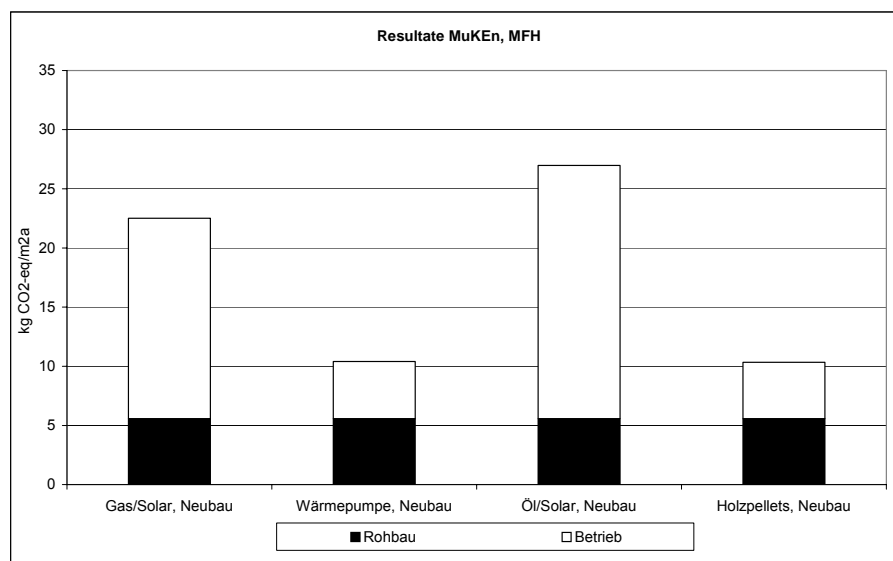


Abbildung 28: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach MuKEn Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen

und entsorgen) wird in Abbildung 29 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.

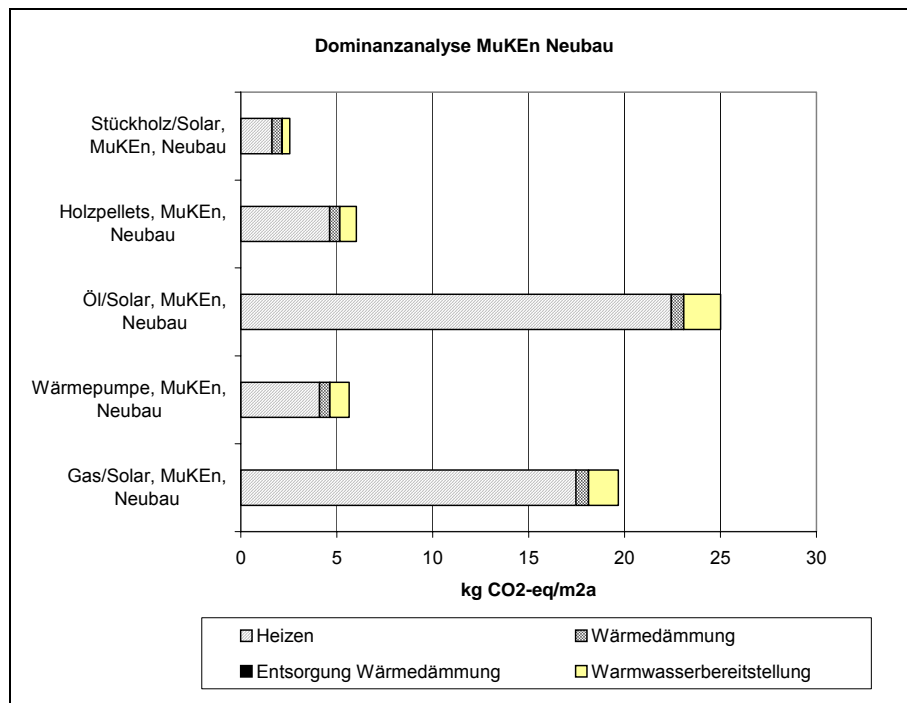


Abbildung 29: Dominanzanalyse der Variante EFH, Neubau mit der Bewertungsmethode Treibhauspotential 100a.

Für die fossilen Varianten sieht die Dominanzanalyse sehr ähnlich wie beim Standard SIA 380/1 mit einer klaren Dominanz der Raumwärmebereitstellung mit 90% des Totals. Bei den Wärmepumpen- und Holzpellets-Heizsystemen sinkt die Bedeutung der Raumwärme auf 73-77%, für die Variante Stückholz/Solar beträgt sie nur noch 64%. Im Gegenzug steigt der Anteil der Wärmedämmung auf 15% für letztgenannte Variante.

### 5.3.4 Eco-indicator '99 (H, A)

Die höchsten Werte zeigen wiederum die Varianten mit fossilen Brennstoffen (1.4 bis 1.9 EI'99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a). Die Varianten mit Holzfeuerungen liegen mit 1.0 bis 1.4 EI'99 Punkte/m<sup>2</sup>a zwischen denjenigen mit Wärmepumpe (0.6 EI'99 Punkte/m<sup>2</sup>a) und den fossilen Varianten. Der Rohbau hat einen Anteil von nur 19% bis 25% bei den

fossilen Varianten, 25% bzw. 35% bei den Varianten mit Holzfeuerung und 57% bzw. 62% für die Wärmepumpe.

Die wichtigsten Kategorien bei den Varianten mit Heizöl- bzw. Erdgasfeuerungen sind die fossilen Energieressourcen. Bei der Holzfeuerung spielen die Partikel- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen eine wichtige Rolle. Für die Stückholzvariante fällt weiter der Landbedarf ins Gewicht. Die Wärmepumpe schneidet am besten ab. Dieses Resultat ist stark vom gewählten Strommix abhängig. Hier wird der Schweizer Strommix (inklusive Importanteil) benutzt, der wegen seinem hohen Anteil an Wasserkraft tiefe spezifische Eco-indicator '99 Werte aufweist.

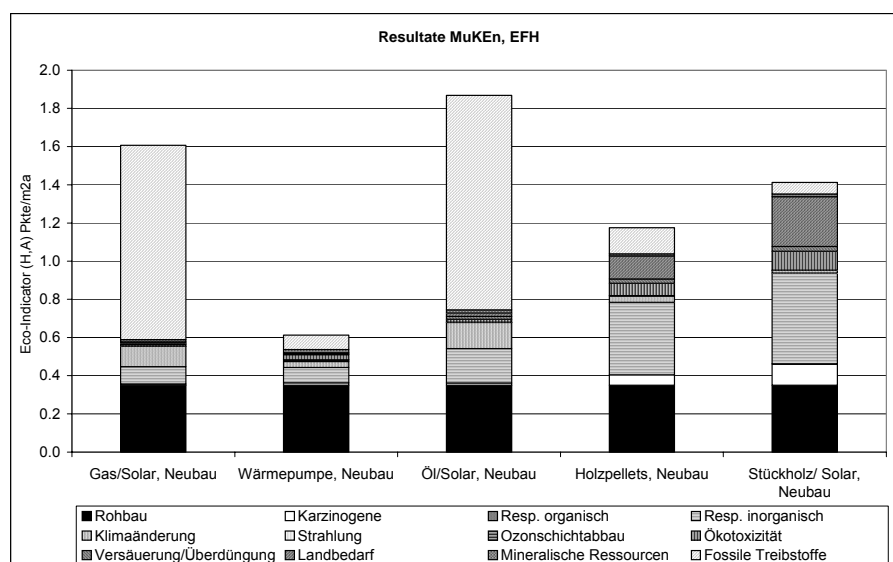


Abbildung 30: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m²a für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach MuKEN Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



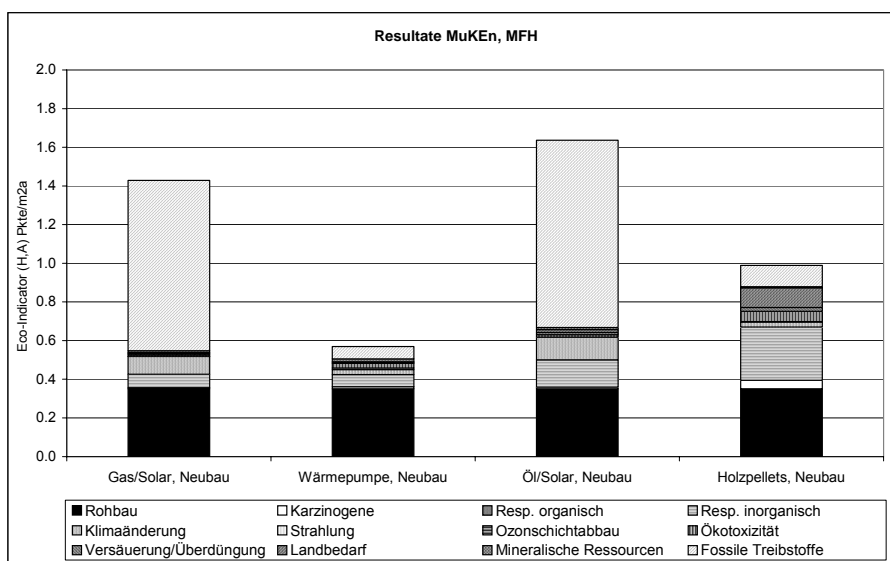
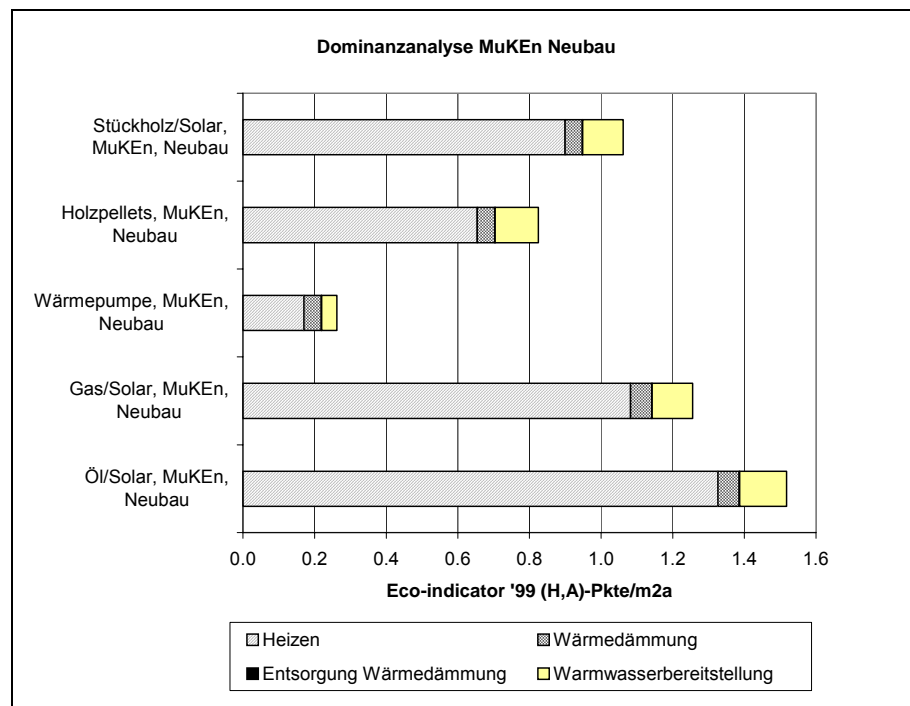


Abbildung 31: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach MuEn Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 32 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.



*Abbildung 32: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante MuKEn-M2, Einfamilienhaus, Neubauten; bewertet mit Eco-indicator 99 (H, A).*

In diesen Varianten ist wiederum das Heizen am wichtigsten. Allerdings hat die Wärmedämmung bei der Wärmepumpe-Variante einen Anteil von fast 20%.

Das schlechtere Abschneiden der Variante Stückholz/Solar im Vergleich zur Pellet-Heizung kann man damit erklären, dass einerseits die Stückholz-Heizung einen tieferen Wirkungsgrad hat (75% statt 85%). Andererseits emittiert diese Heizung höhere  $\text{NO}_x$ - und Staubemissionen pro produzierte MJ. Zudem fällt bei der Stückholzheizung der Landbedarf ins Gewicht.

### 5.3.5 Methode der ökologischen Knappheit 2006

Der Rohbau hat bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 einen Anteil von 30% bis 37% am gesamten Resultat. Die Werte der unterschiedlichen Varianten liegen entsprechend in einer relativ engen Spannbreite.

Wichtigste Kategorie bei allen Varianten ausser der Wärmepumpe sind die Luftemissionen. Dabei fallen vor allem Kohlendioxid- und Partikelemissionen ins Gewicht. Bei der Wärmepumpe machen die radioaktiven Abfälle, die durch den Strombedarf verursacht werden, ca. 35% der Umweltbelastungen des Betriebs, die Wiederaufarbeitung der abgebrannten Brennstoffen weitere 13% aus. Diese stärkere Bewertung des nuklearen Stroms als bei den anderen Methoden führt zum schlechteren Abschneiden der Variante mit Wärmepumpe. Die Variante mit Gasfeuerung weist den tiefsten Wert auf. Die Holzfeuerungen erreichen aufgrund ihrer Partikel- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen eine relativ hohe Umweltbelastung und sind nur knapp besser als das Öl/Solar-Heizsystem. Diese zwei Luftemissionen machen bei der Bewertung des Betriebs (Variante Stückholz/Solar) ca. 30% der Umweltbelastungen aus.

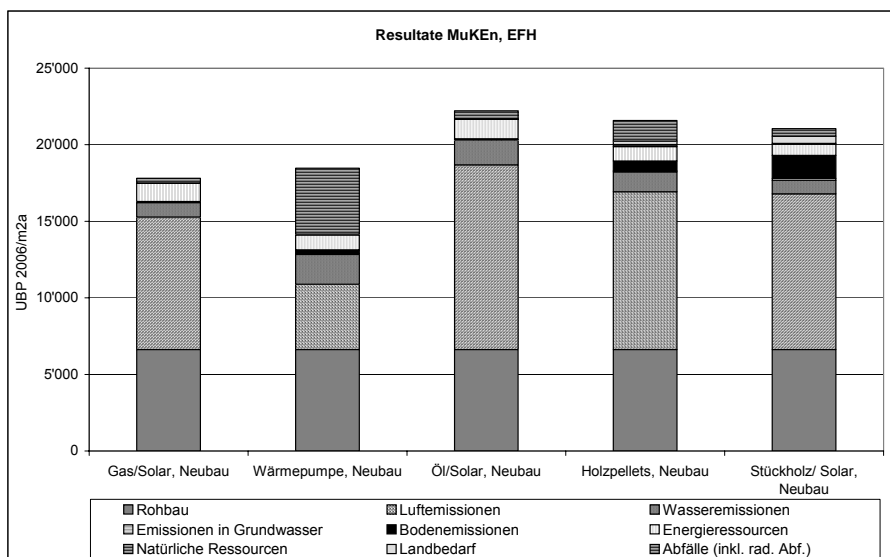
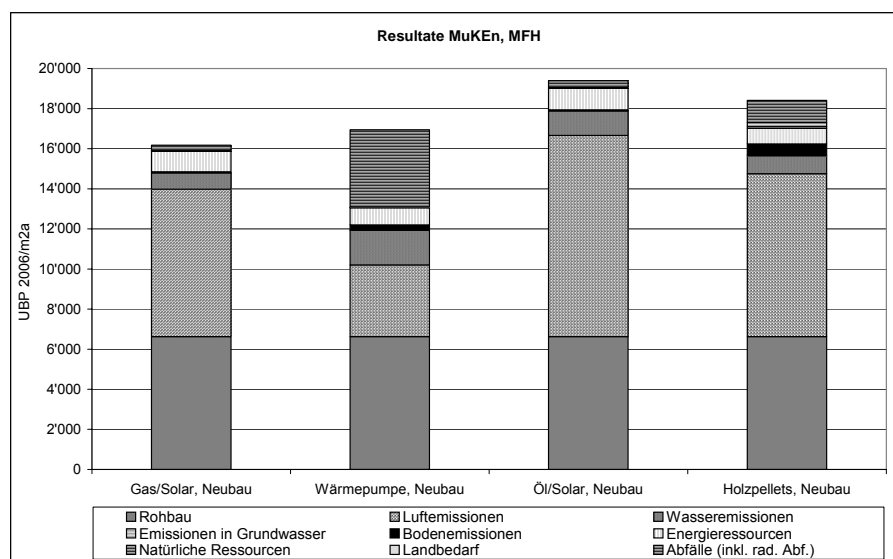
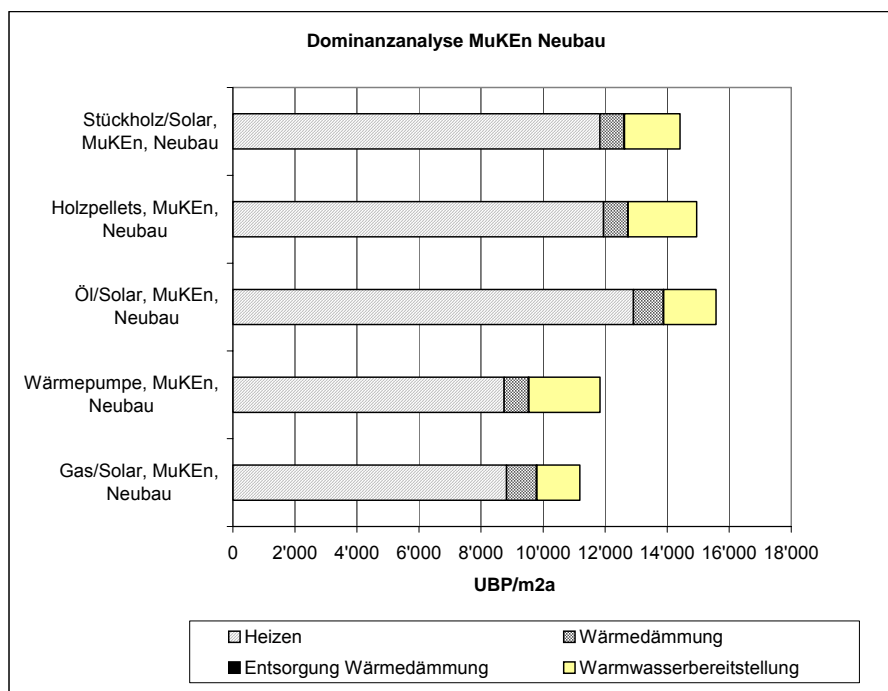


Abbildung 33: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach MuKEn Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



*Abbildung 34: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach MuKE Modul 2 für Neubauten. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.*

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 35 für den Betrieb der Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.



*Abbildung 35: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante MuKEn-M2, Einfamilienhaus, Neubauten; bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Ökofaktoren).*

Da die fossilen Varianten besser gedämmt sind als die anderen Varianten, hat die Wärmedämmung bei den fossilen Varianten eine etwas grössere Bedeutung. Die Warmwasserbereitstellung hat bei der Wärmepumpe-Variante einen höheren Anteil am Gesamtergebnis als bei den fossilen Varianten, weil das Warmwasser bei den fossilen Varianten teilweise aus Sonnenenergie bereitgestellt wird.

### 5.3.6 Zusammenfassung

Bei den drei Methoden kumulierter Energieaufwand (nicht erneuerbar), Treibhauspotential und Eco-indicator '99 ist die Betriebsphase wichtiger als der Rohbau und die Lösungen mit erneuerbaren Energieträgern (Holz und Umweltwärme) günstiger als diejenigen mit fossilen Energieträgern.

Höchster Wert bei der Methode der ökologischen Knappheit zeigt die Variante Öl/Solar. Etwas tiefere Werte zeigen die Varianten mit Holzheizung. Dies liegt einerseits an den höheren möglichen End-

energiebedarf dieser Heizsysteme bei diesem Standards, andererseits an den hohen  $\text{NO}_x$ - und Partikelemissionen. Die Wärmepumpe zeigt einen etwas höheren Wert als das Heizsystem Gas/Solar, das die tiefste Umweltwirkung hat. Der Strom aus Atomkraft wird bei der Methode der ökologischen Knappheit stärker als mit Eco-indicator 99 bewertet und führt dazu, dass diese Variante Umweltwirkungen im Bereich des Gas/Solar-Systems aufweist.

## 5.4 Minergie

### 5.4.1 Übersicht

Wie bei den anderen Baustandards umfasst die Bilanz der Gebäude, die gemäss Minergie gebaut, betrieben und entsorgt werden, neben dem Rohbau die Bereitstellung der Betriebsenergie und den Rückbau. Alle Gebäudevarianten weisen im Vergleich zu den SIA 380/1 Gebäuden eine zusätzliche Isolation auf und sind mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet.

### 5.4.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Bei Sanierungen entspricht der Heizwärmebedarf bei den Varianten Wärmepumpe und Holzfeuerung ca. 80% des Grenzwerts nach SIA 380/1. Hingegen beträgt der Heizwärmebedarf bei Neubauten zwischen 40% und 70% des Standards SIA 380/1. Entsprechend variiert der kumulierte Energieaufwand stark (bis zu einem Faktor 2, siehe Abbildung 36 und Abbildung 37). Die Werte liegen zwischen 400 MJ-eq/m<sup>2</sup>a (Einfamilienhaus, Neubau, Gas/Solar) und 680 MJ-eq/m<sup>2</sup>a (Einfamilienhaus, Renovation, Holzpelletsfeuerung). Der Anteil an erneuerbaren Energieträgern liegt bei 30 bis 40% bei den fossilen Varianten, bei der Variante mit Wärmepumpe ist dieser Anteil 53% und bei den Holzfeuerungen 75%-90%.

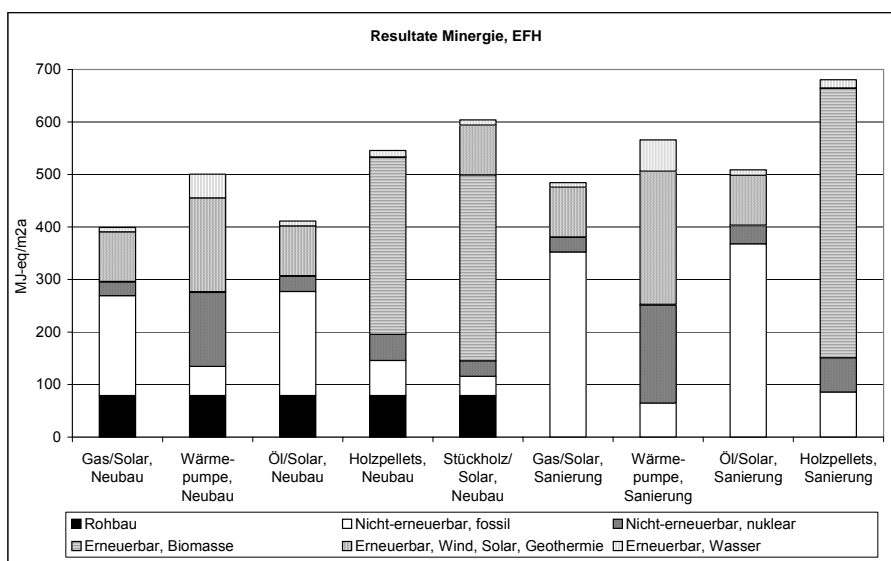


Abbildung 36: Kumulierter Energieaufwand (in MJ-eq) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

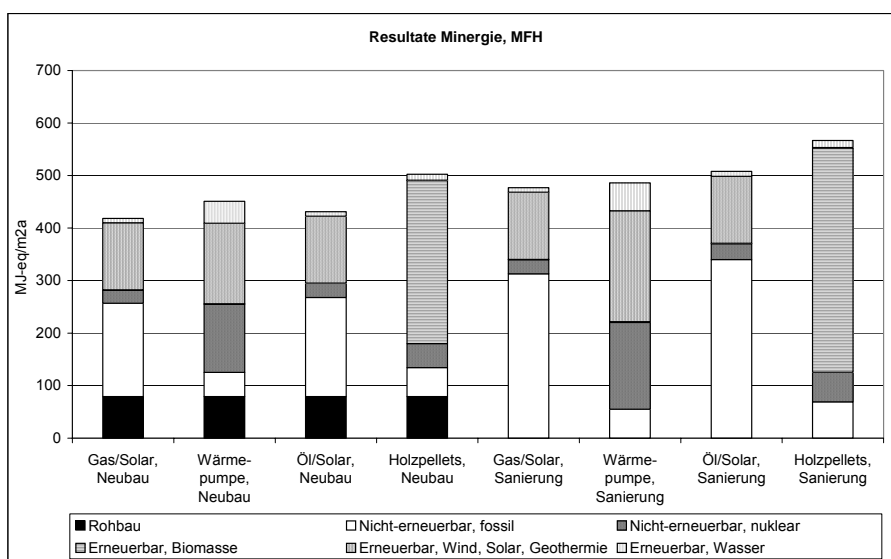


Abbildung 37: Kumulierter Energieaufwand (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Bezüglich nicht erneuerbarem KEA (inkl. Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung sowie baulichen Zusatzaufwendungen) der Neubau-Varianten liegen Wärmepumpe und Holzheizungen deutlich tiefer als fossilen Varianten (s. Tabelle 35).

Energiesystem	Neubauten		Sanierungen	
	EFH	MFH	EFH	MFH
	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MJ-eq/m <sup>2</sup> a
Öl/Solar	290	270	400	370
Gas/Solar	270	260	380	340
Wärmepumpe (CH-Mix)	250	230	250	220
Holzpellets-feuerung	170	160	150	130
Stückholz/Solar	120	-	-	-

*Tabelle 35: Kumulierter Energieaufwand nicht-erneuerbar (inkl. Rohbau) für die EFH- und MFH-Varianten des Standards Minergie.*

### 5.4.3 Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential variiert hier wie bei den MuKE-M2 stark, je nachdem, ob die Beheizung der Gebäude mit fossilen Brennstoffen erfolgt oder nicht (Abbildung 38 und Abbildung 39). Es beträgt 6 bis 11 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a für die Varianten mit erneuerbaren Energieträgern, während der höchste Wert (25.8 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) bei der Variante Öl/Solar, Sanierung auftritt.



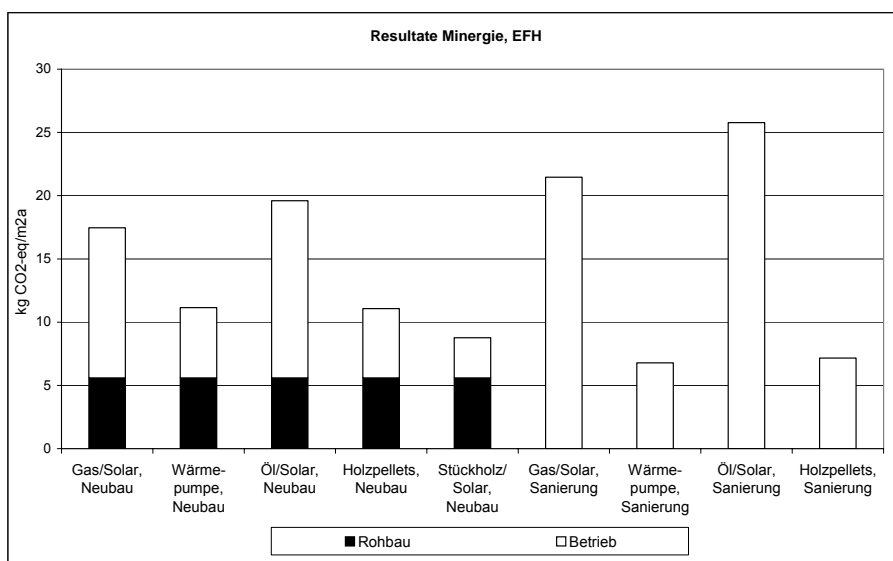


Abbildung 38: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten bzw. Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

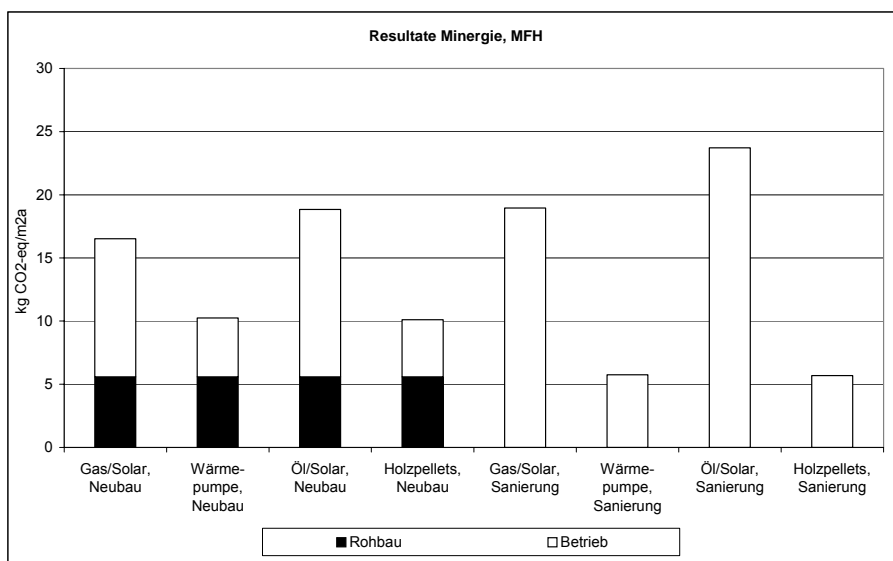
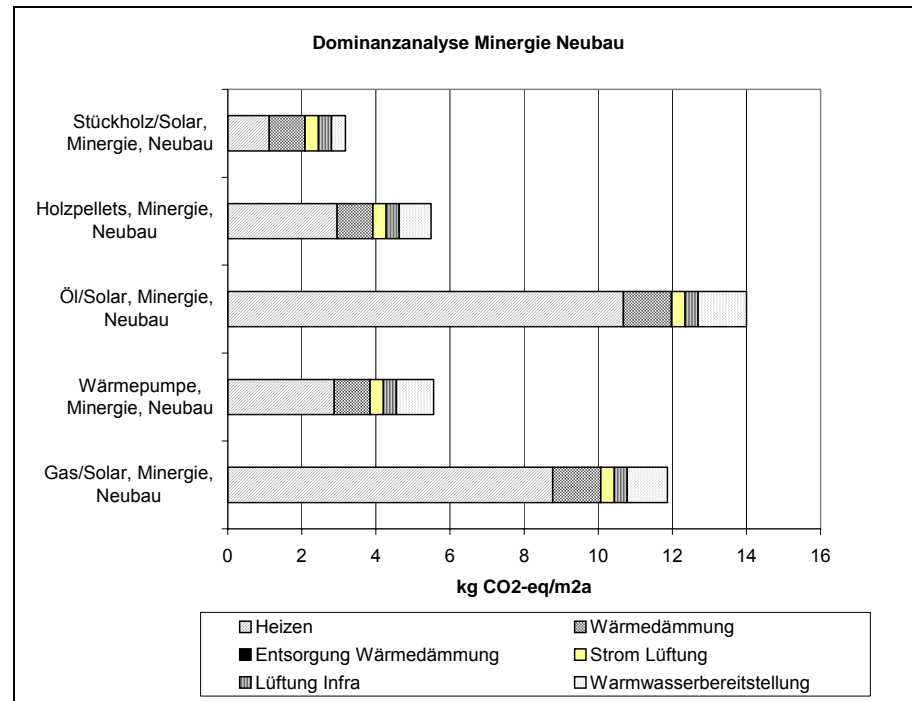


Abbildung 39: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten bzw. Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen

und entsorgen) wird in Abbildung 40 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.



*Abbildung 40: Dominanzanalyse der Variante EFH, Neubau mit der Bewertungsmethode Treibhauspotential 100a.*

Die Raumwärmebereitstellung bleibt auch in dieser Bewertung am wichtigsten, ausser bei der Variante Stückholz/Solar, wo sie nur noch 35% beiträgt. Entsprechend ist in dieser Variante die Wärmedämmung mit 30% fast gleich wichtig, während sie in den anderen Varianten einen Anteil von 9% bis 18% aufweist. Insgesamt steuert die Lüftung (Herstellung und Betrieb) einen Anteil von 5% bis 22% zum Gesamtergebnis bei.

#### 5.4.4 Eco-indicator '99 (H, A)

Auch bei der Bewertung mit Eco-indicator '99 (H, A) zeigt sich eine grosse Spanne zwischen dem tiefsten und dem höchsten Wert aller Varianten (fast ein Faktor 4). Die Varianten mit Wärmepumpe weisen die tiefsten Werte auf, während die Varianten mit Ölheizungen die höchsten Werte erreichen. Der Anteil des Rohbaus am gesamten Resultat variiert entsprechend stark (30% bis 60%).

Bei allen Varianten mit Ausnahme der Holzfeuerungen sind die fossilen Energieressourcen und die anorganischen Luftschadstoffe die wichtigsten Kategorien. Bei den Holzfeuerungen sind die Partikelemissionen (Kategorie anorganische Luftschadstoffe) und der Landbedarf die wichtigsten Kategorien.

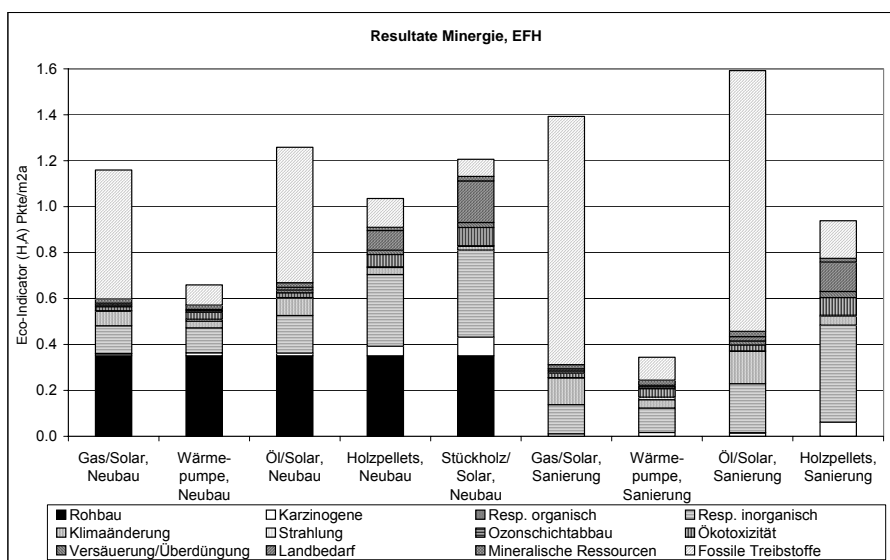
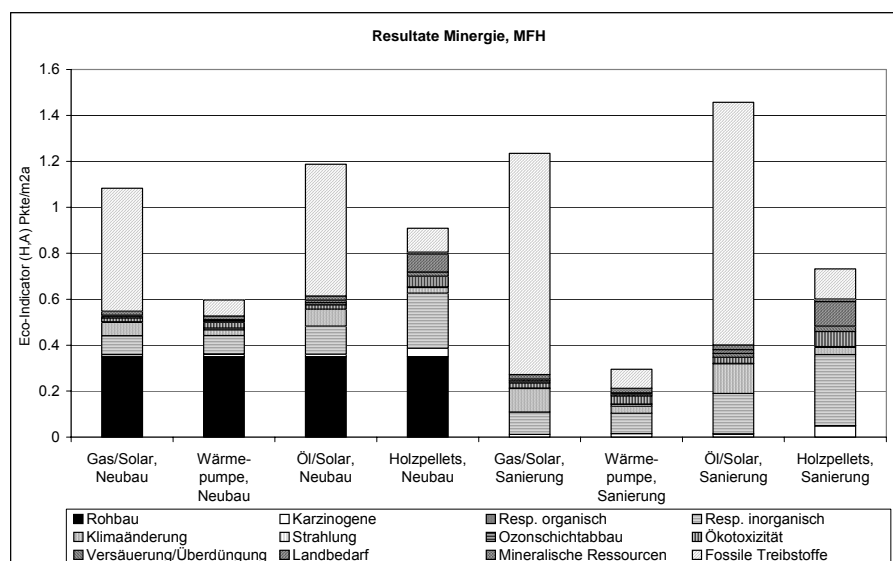


Abbildung 41: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



*Abbildung 42: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.*

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 43 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.

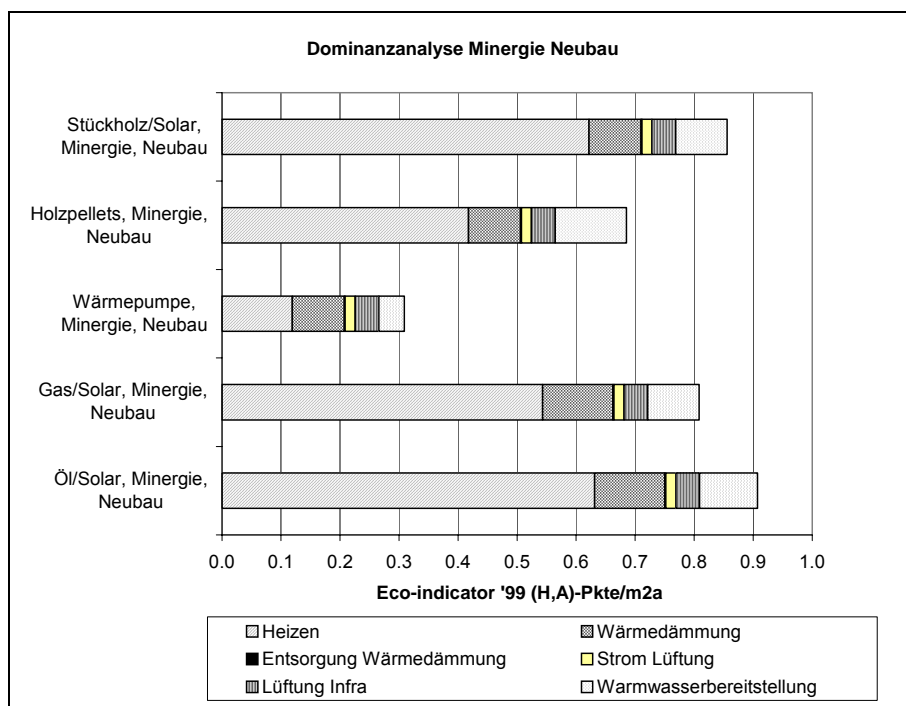


Abbildung 43: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante Minergie, Einfamilienhaus, Neubau, bewertet mit Eco-indicator '99 (H, A).

Je nach Brennstoff hat die Bereitstellung der Raumwärme einen Anteil von 39% (Wärmepumpe) bis 73% (Stückholz/Solar). Zweitwichtigste Kategorie ist die Wärmedämmung mit einem Anteil von 10% (Stückholz/Solar) bis 29% (Wärmepumpe). Der Strom für den Betrieb der Lüftung hat weniger Bedeutung als deren Herstellung. Insgesamt steuert die Lüftung einen Anteil von 6% zu 19% zum Gesamtergebnis bei. Die Warmwasserbereitung verursacht 10% bis 18% der Umweltbelastungen.

#### 5.4.5 Methode der ökologischen Knappheit 2006

Wie bei MuKE Modul 2 ist der Rohbau bei der Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit bedeutender als bei der Bewertung mit den anderen Methoden (siehe Abbildung 44 und Abbildung 45). Da der Unterschied zwischen den Varianten weniger stark ausfällt als bei den anderen Bewertungsmethoden, variiert die Bedeutung des Rohbaus entsprechend weniger. Die Holzheizungen weisen

jeweils den höchsten Wert der verschiedenen Heizwärmebereitstellungs-Varianten auf.

Die Luftemissionen sind auch hier die wichtigste Kategorie. Dafür sind hauptsächlich die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Heizungen bei den fossilen Varianten verantwortlich. Bei den Pellet-Heizungen sind Partikel- und NO<sub>x</sub>-Emissionen der Heizung sowie die Luftemissionen des Strombedarfs für die Pellet-Herstellung verantwortlich. Die Wasseremissionen werden v.a. in Hintergrundprozessen (Metallherstellung, Wiederaufarbeitung nuklearer Brennstoffe) verursacht.

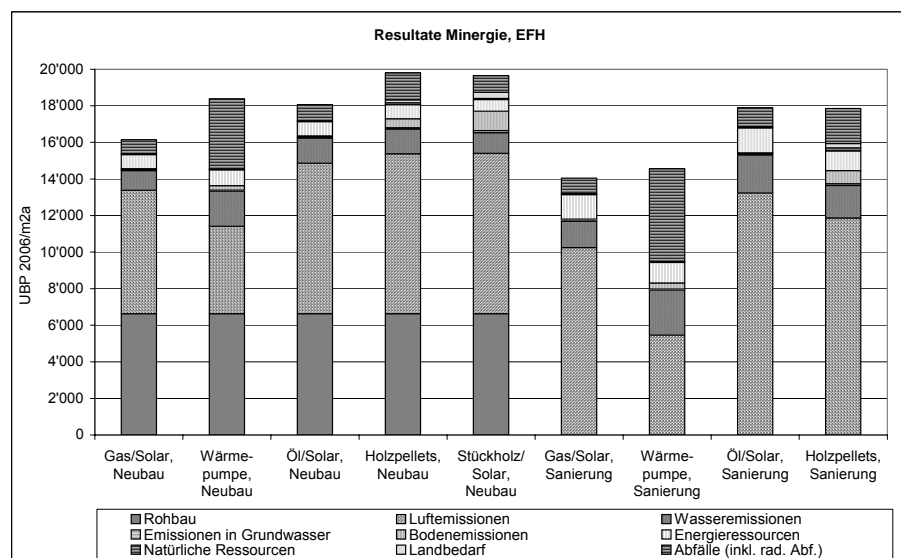
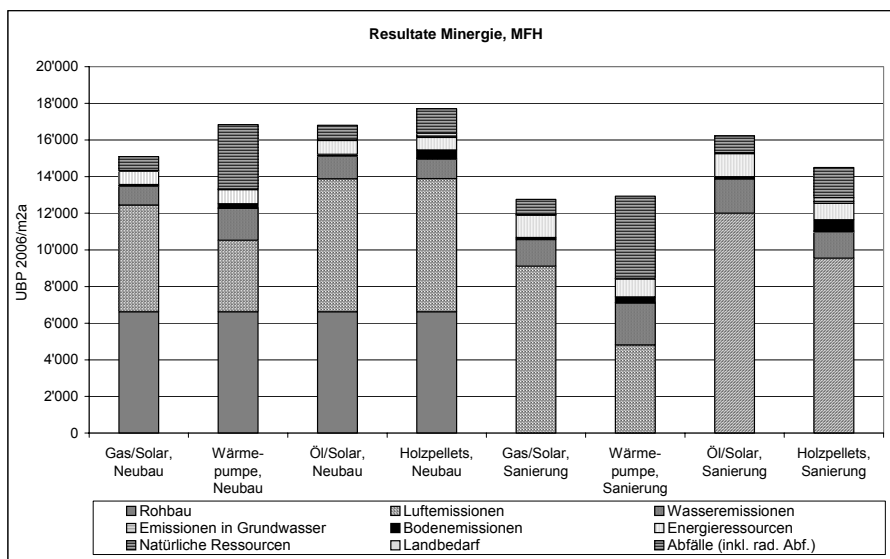
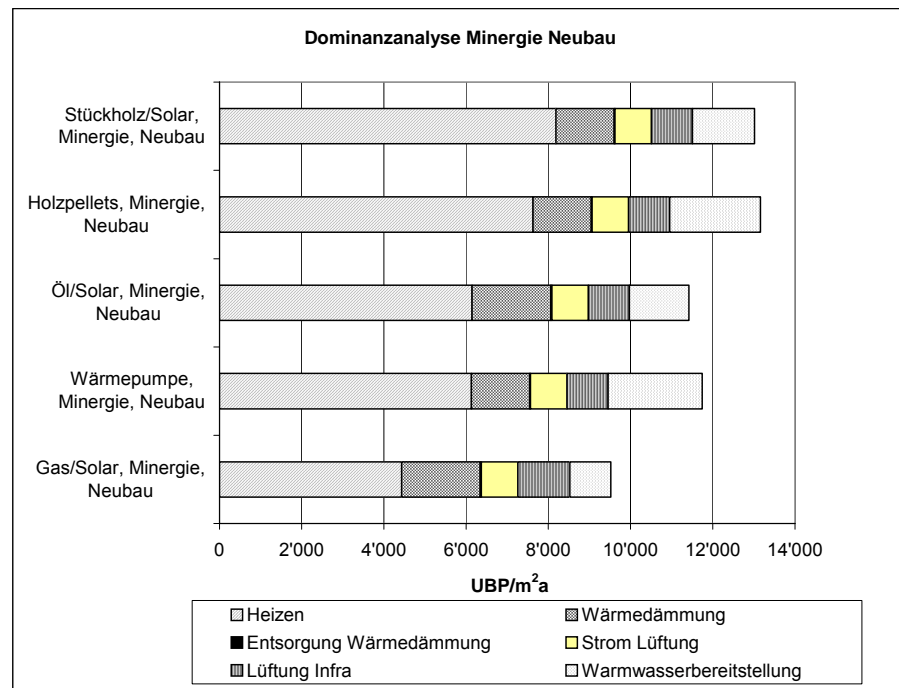


Abbildung 44: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



*Abbildung 45: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.*

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 46 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.



*Abbildung 46: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante Minergie, Einfamilienhaus, Neubau; bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Ökofaktoren).*

Je nach Heizsystem hat die Raumwärmebereitstellung einen Anteil von 47% (Gas/Solar) bis 63% (Stückholz/Solar). Insgesamt hat die Lüftung (Herstellung und Betrieb) einen Anteil von 14% bis 20%. Wärmedämmung und Warmwasserbereitstellung machen zusammen je nach Brennstoff 20% bis 30% des Gesamtergebnisses aus.

### 5.4.6 Zusammenfassung

*Umweltbelastung EFH höher als MFH*

Aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs sind für alle Bewertungsmethoden die Umweltbelastungen für die EFH höher als für die MFH. Wegen des höheren Heizwärmebedarfs sind die Sanierungsvarianten nur bei den erneuerbaren Varianten und bei den UBPs günstiger als ein Neubau.

*Bedeutung der Betriebsphase*

Bei den drei Methoden kumulierter Energieaufwand (nicht erneuerbar), Treibhauspotential und Eco-indicator '99 ist die Betriebsphase (inkl. energietechnische Massnahmen) für die fossilen Lösungen wichtiger als der Rohbau. Bei diesen Methoden sind wiederum die



Lösungen mit erneuerbaren Energieträgern (Holz und Umweltwärme) günstiger als diejenigen mit fossilen Energieträgern. Die Bedeutung des Rohbaus ist bei diesen Methoden für die Lösungen mit erneuerbaren Energieträgern (Holz und Umweltwärme) höher. Bei der Methode der ökologischen Knappheit ist die Betriebsphase (inkl. energietechnische Massnahmen) in allen Varianten die wichtigste.

Die Varianten mit Holzheizungen schneiden bezüglich kumuliertem Energieaufwand nicht-erneuerbar und Treibhauspotential am besten ab. Hingegen sind sie mit der Bewertungsmethode Eco-indicator 99 (H, A) nur knapp besser als die Öl/Solar-Variante, mit der Methode der ökologischen Knappheit aufgrund des im Vergleich zu den fossilen Varianten höheren Betriebsenergiebedarfs und der hohen spezifischen  $\text{NO}_x$ - und Partikelemissionen sogar schlechter. Die Variante mit der Wärmepumpe schneidet bei der Methode der ökologischen Knappheit aufgrund des hohen Stromverbrauchs etwa gleich wie die Öl/Solar-Variante ab.

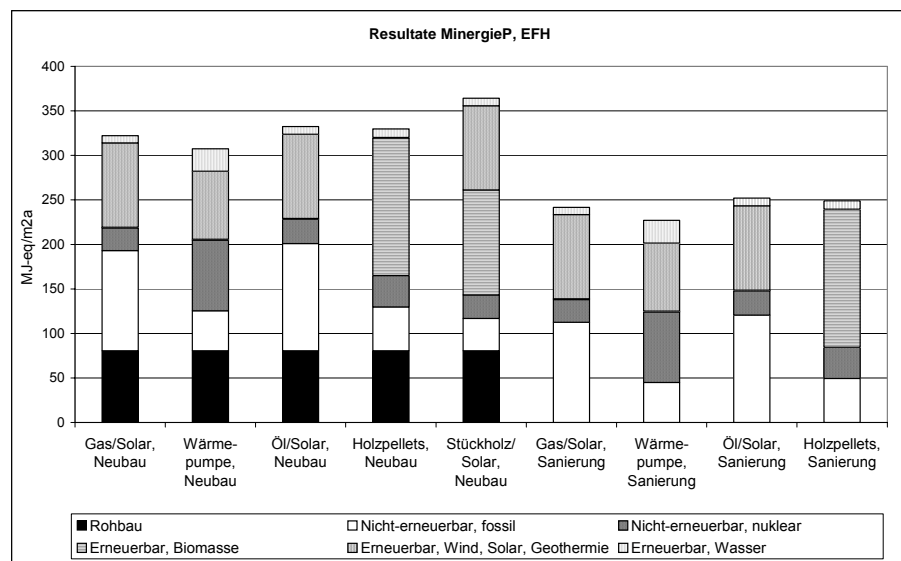
## 5.5 Minergie-P

### 5.5.1 Übersicht

Wie bei den anderen Baustandards umfasst die Bilanz der Gebäude, die gemäss Minergie-P gebaut, betrieben und entsorgt werden, neben dem Rohbau die Bereitstellung der Betriebsenergie und den Rückbau. Alle Gebäudevarianten weisen eine gegenüber den Minergie-Gebäuden nochmals erhöhte Wärmedämmung auf und sind - wie die Minergie-Gebäude - mit einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ausgerüstet.

### 5.5.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Beim Standard Minergie-P beträgt der Heizenergiebedarf der verschiedenen Varianten etwa 20% des SIA Grenzwerts (Abbildung 47 und Abbildung 48). Der kumulierte Energieaufwand (total) liegt zwischen  $230 \text{ MJ-eq/m}^2\text{a}$  und  $360 \text{ MJ-eq/m}^2\text{a}$ . Alle Varianten zeigen einen hohen Anteil (zwischen 35% und 70%) an erneuerbaren Energieträgern, sei es solare Energie oder Energie aus Biomasse.



*Abbildung 47: Kumulierter Energieaufwand, total (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.*

Bezüglich nicht erneuerbarem KEA des Betriebs (Tabelle 36) liegen die Holzheizungen deutlich unter dem KEA der fossilen Varianten, die Wärmepumpe aber in der gleichen Höhe.

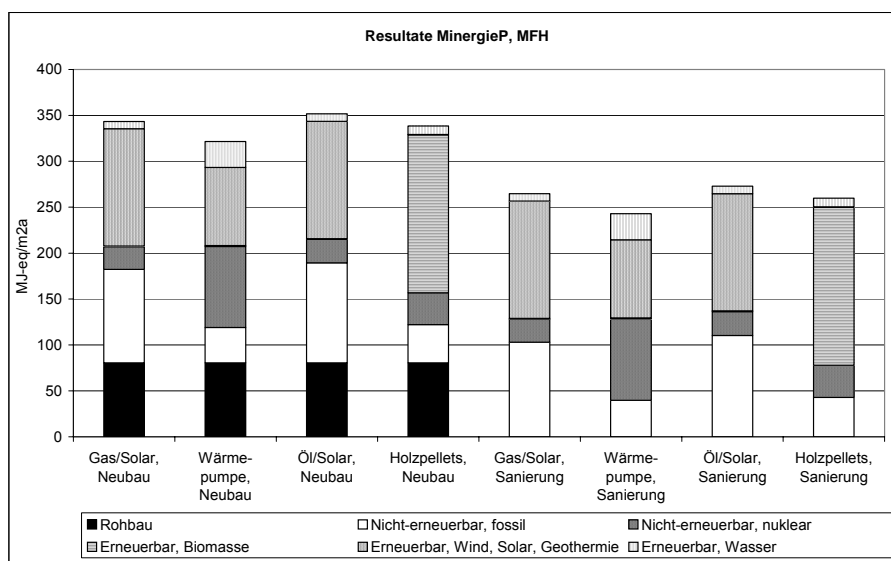


Abbildung 48: Kumulierter Energieaufwand, total (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Energiesystem	Neubauten		Sanierungen	
	EFH	MFH	EFH	MFH
	MJ-eq/m²a	MJ-eq/m²a	MJ-eq/m²a	MJ-eq/m²a
Öl/Solar	210	190	150	140
Gas/Solar	200	190	140	130
Wärmepumpe (CH-Mix)	180	190	120	130
Holzpellets-feuerung	140	140	80	80
Stückholz/Solar	120	-	-	-

Tabelle 36: Kumulierter Energieaufwand nicht-erneuerbar (inkl. Rohbau) für die EFH- und MFH-Varianten des Standards Minergie-P.

### 5.5.3 Treibhauspotential (GWP)

Das Treibhauspotential variiert hier wie beim MuKE-M2- oder beim Minergie-Standard stark, je nachdem, ob die Raumwärmebereitstel-

lung der Gebäude mit fossilen Brennstoffen erfolgt oder nicht (Abbildung 49 und Abbildung 50). Es beträgt nur 3.5 bis 4.0 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a (Sanierung) bzw. 8 bis 10 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a für die Neubauvarianten mit erneuerbaren Energieträgern, während der höchste Wert von 14 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a bei der Variante Öl/Solar, Neubau auftritt.

Da der Heizenergiebedarf nur ca. 20% des SIA 380/1 Grenzwertes beträgt, nimmt der Rohbau im Verhältnis zum gesamten Resultat an Bedeutung zu (zwischen 40% und 65%).

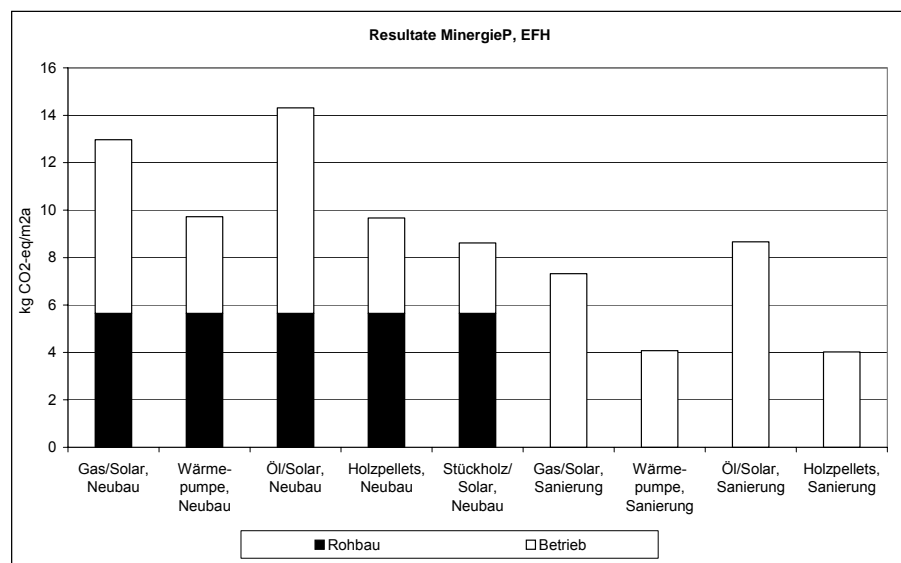


Abbildung 49: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

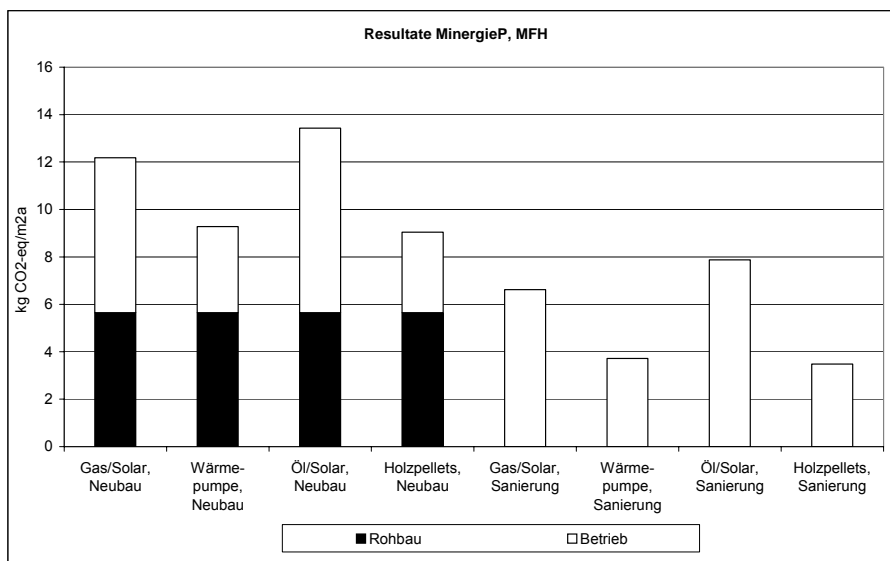
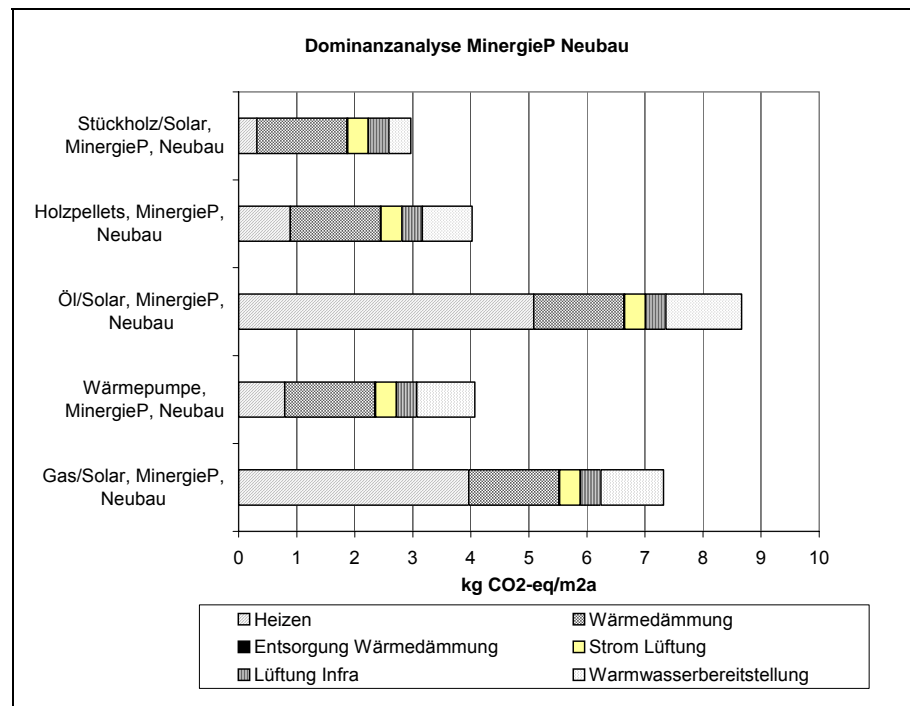


Abbildung 50: Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 51 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.



*Abbildung 51: Dominanzanalyse der Variante EFH, Neubau; bewertet mit Treibhauspotential 100a.*

Die Raumwärmebereitstellung ist am wichtigsten für die fossilen Varianten, während sie bei den Varianten mit Wärmepumpe und Holzheizungen nur noch 11% bis 22% zum Gesamtergebnis beiträgt. Entsprechend sind in diesen Varianten die Wärmedämmung (Herstellung und Entsorgung) mit 38% bis 52% wichtig, während sie bei den fossilen Varianten einen Anteil von 18% bis 21% hat. Insgesamt hat die Lüftung (Herstellung und Betrieb) einen Anteil von 9% bis 22%.

#### 5.5.4 Eco-indicator '99

Im Vergleich zu den Resultaten des Minergie-Standards reduziert sich die Spanne zwischen dem tiefsten und dem höchsten Wert aller Varianten und entspricht nur noch einem Faktor 3. Dies liegt daran, dass die Betriebsphase (inkl. energietechnischen Massnahmen) gegenüber dem Rohbau an Bedeutung verliert. Am besten schneiden wiederum die Varianten mit Wärmepumpe (Schweizer Strommix) ab, während die Varianten mit Ölheizungen die grösste Anzahl Punkte erreichen. Der Anteil des Rohbaus am gesamten Resultat variiert zwischen 37% und 61%.

Wichtigste Kategorie bei allen Varianten ausser der Holzfeuerung sind die fossilen Energieressourcen, gefolgt von Atemwegserkrankungen durch anorganische Luftschadstoffe. Bei der Holzfeuerung sind die Partikelemissionen und der Landbedarf die wichtigsten Kategorien. Die Varianten mit Holzheizung weisen für das Einfamilienhaus eine tiefere Umweltbelastung auf als diejenigen mit einer Gasheizung mit solarer Unterstützung.

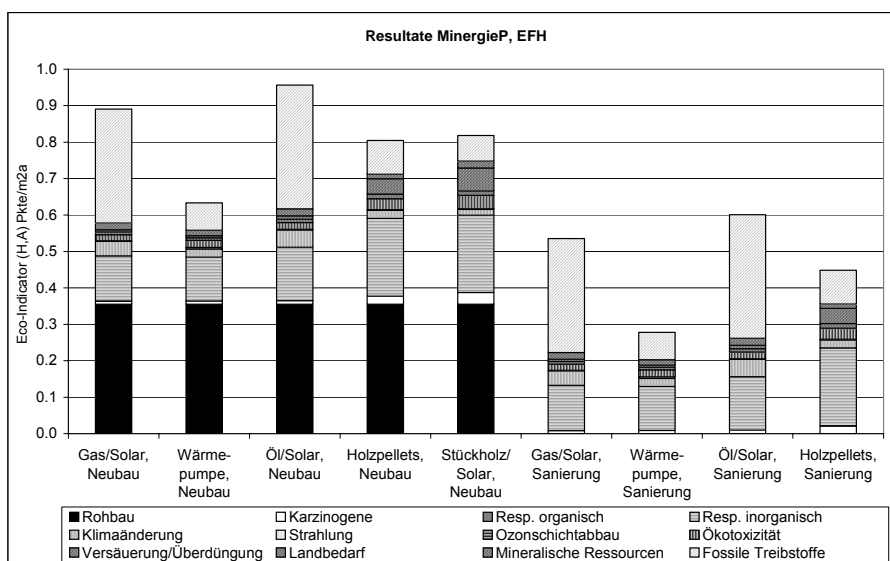
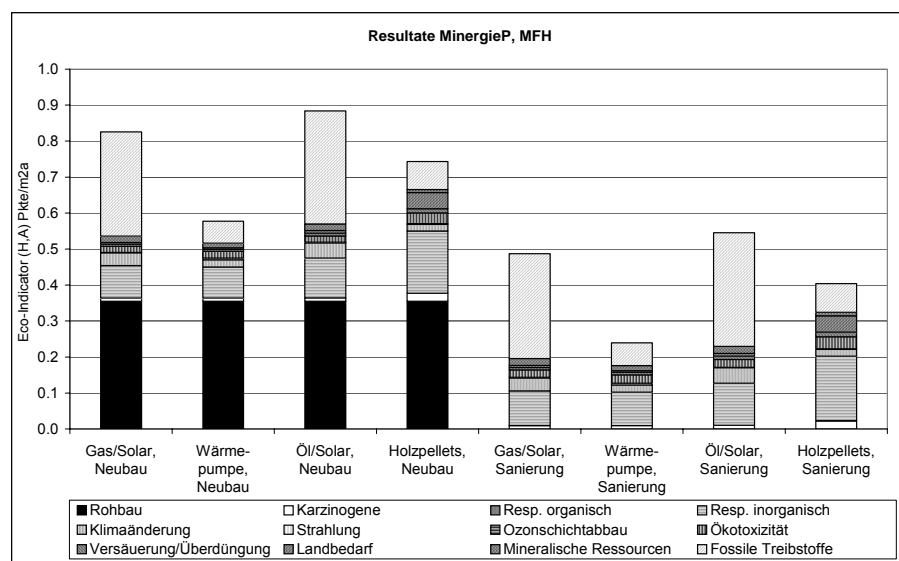


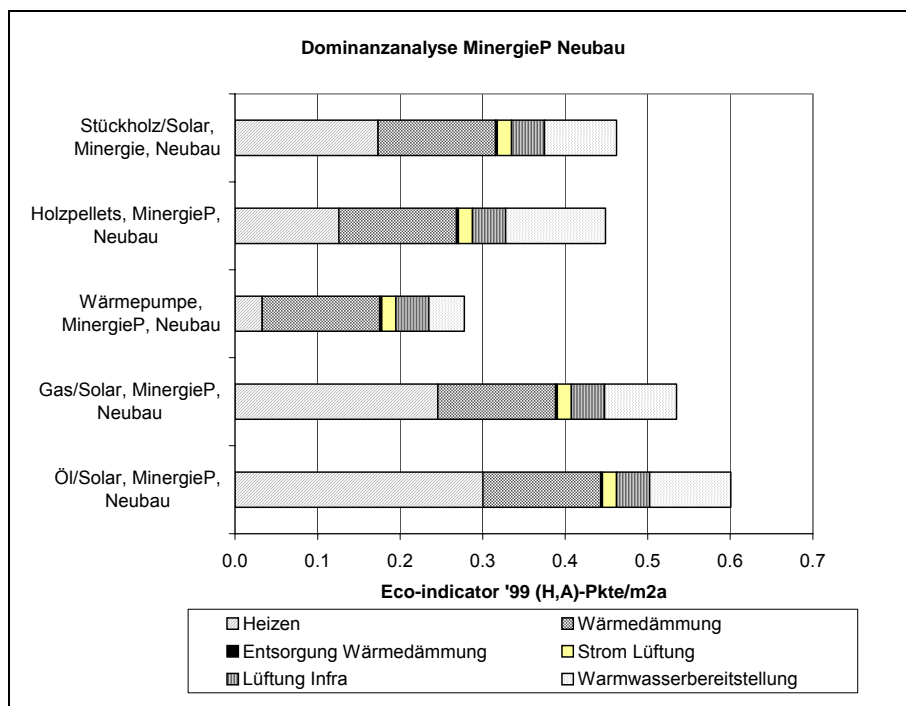
Abbildung 52: Eco-indicator '99 (H,A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.



*Abbildung 53: Eco-indicator '99 (H,A) Punkte/m<sup>2</sup>a für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.*

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 54 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.





*Abbildung 54: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante Minergie-P, Einfamilienhaus, Neubau mit Eco-indicator '99 (H,A) Punkten.*

Die Raumwärmebereitstellung ist am wichtigsten für die fossilen Varianten, während sie bei den Varianten mit Wärmepumpe und Holzheizungen nur noch 12% bis 31% zum Gesamtergebnis beiträgt. Entsprechend ist in diesen Varianten die Wärmedämmung wichtig mit 31% bis 51%, während sie bei den fossilen Varianten einen Anteil von 24% bis 27% hat. Insgesamt hat die Lüftung (Strom plus Infrastruktur) einen Anteil von 10% bis 18%.

### 5.5.5 Methode der ökologischen Knappheit 2006

Bei der Bewertung mit Umweltbelastungspunkten ist der Anteil des Rohbaus am gesamten Resultat noch ausgeprägter (Abbildung 55 und Abbildung 56) und beträgt analog zum Minergie Standard zwischen 40% und 50% der Gesamtbelastung. Die Umweltbelastungen des Betriebs sind entsprechend weniger ausgeprägt, haben aber die gleichen Verhältnisse und Ursachen wie bei den vorher beschriebenen Standards.

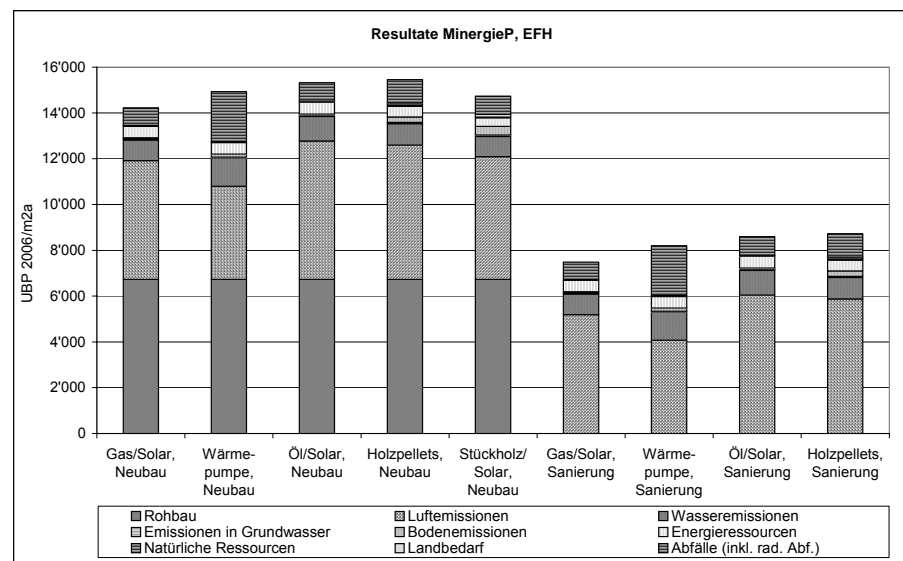


Abbildung 55: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Einfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

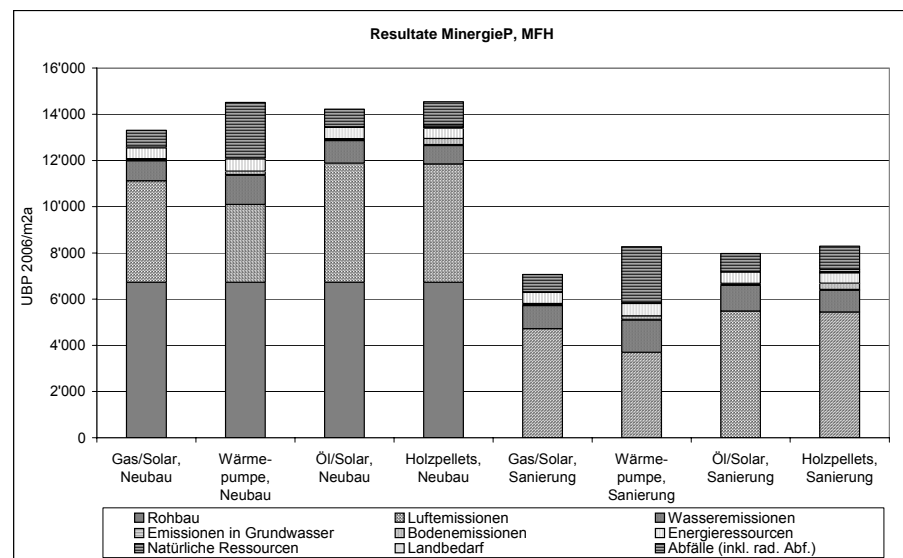


Abbildung 56: Umweltbelastungspunkte 2006/m<sup>2</sup>a (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau von Mehrfamilienhäusern nach Minergie-P für Neubauten und Sanierungen. Der Anteil Rohbau (ohne Wärmedämmung) ist separat ausgewiesen.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften, Wärmedämmung herstellen und entsorgen) wird in Abbildung 57 für die Variante Einfamilienhaus, Neubau (ohne Rohbau) verdeutlicht.

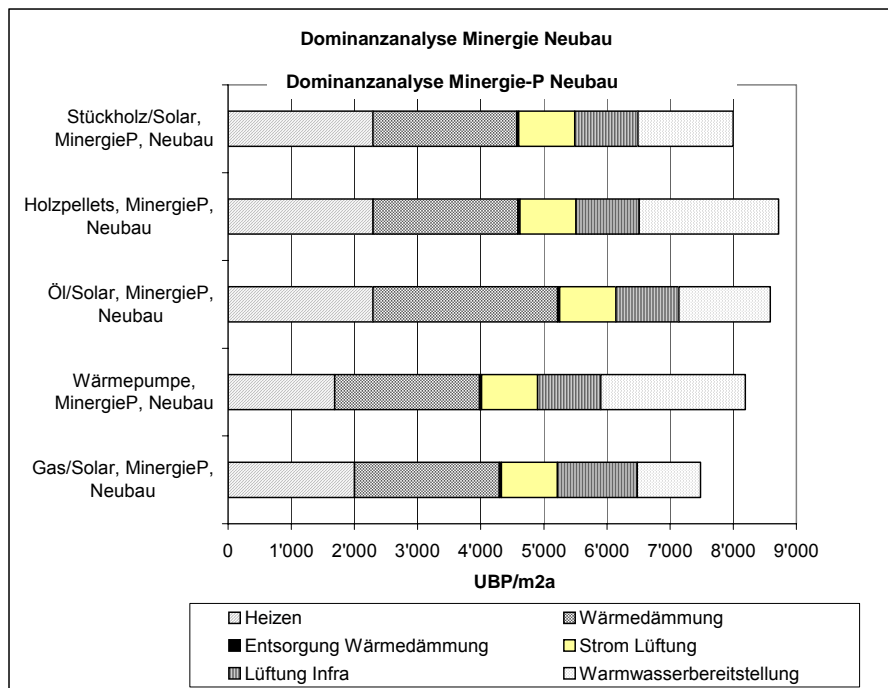


Abbildung 57: Bedeutung der verschiedenen Prozesse der Variante Minergie-P, Einfamilienhaus, Neubau; bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Ökofaktoren).

In dieser Bewertung macht die Raumwärmebereitstellung nur noch 21% (Wärmepumpe) bis 34% (Öl/Solar) des Gesamtergebnisses aus. Die Warmwasserbereitstellung ist fast gleich bedeutend mit 17% bis 25%. Die Wärmedämmung (Herstellung und Entsorgung) hat einen Anteil von 26% bis 31%, die Lüftung (Herstellung und Betrieb) insgesamt 22% bis 25%.

### 5.5.6 Zusammenfassung

Aufgrund des höheren Heizwärmebedarfs sind für alle Bewertungsmethoden die Umweltbelastungen für die EFH höher als für MFH. Da der Anteil der Umweltbelastung des Rohbaus bei diesem Standard

hoch ist, sind die Sanierungsvarianten bei allen Bewertungsmethoden günstiger als die zugehörigen Neubau-Varianten.

*Bedeutung der Betriebsphase*

Bei der Methode der ökologischen Knappheit und für die fossilen Lösungen ist die Betriebsphase (inkl. energietechnische Massnahmen) wichtiger als der Rohbau. Bei den Methoden Treibhauspotential und Eco-indicator '99 sind die Lösungen mit erneuerbaren Energieträgern (Holz und Umweltwärme) günstiger als diejenigen mit fossilen Energieträgern. Beim KEA (nicht erneuerbar) ist die Lösung mit Wärmepumpe etwa gleich hoch wie bei den fossilen Varianten, die Varianten mit Holzheizungen deutlich tiefer. Die Varianten mit den Holzheizungen verursachen bei der Methode der ökologischen Knappheit aufgrund des höheren Endenergiebedarfs und der hohen spezifischen NO<sub>x</sub>- und Partikelemissionen die höchsten Umweltbelastungen, während die Wärmepumpe aufgrund des hohen Stromverbrauchs etwa gleich hohe Werte erreicht wie die Variante Öl/Solar.

Bei der Methode der ökologischen Knappheit trägt der Rohbau zu 40% bis 50% der Gesamtbelastung bei. Die Bedeutung des Rohbaus nimmt bei den anderen Methoden für die Lösungen mit erneuerbaren Energieträgern (Holz und Umweltwärme) zu.

## 5.6 Synthese

*Tabellarische Übersicht*

Im Folgenden werden für jede Bewertungsmethode die Ergebnisse der Ökobilanzen für die Baustandards tabellarisch gegenüber gestellt. Eine graphische Darstellung der Ergebnisse befindet sich in Kapitel 7.

### 5.6.1 Einfamilienhäuser

Die Resultate der verschiedenen Bewertungsmethoden für die Umweltstandards der Variante Einfamilienhaus und für die Varianten der Energiebereitstellung werden in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Der höchste und der tiefste Wert (jeweils für Neubau und Sanierung) werden dunkelgrau bzw. hellgrau unterlegt. Unabhängig von der Bewertungsmethode ist in praktisch allen Fällen eine Abnahme der spezifischen Umweltbelastung von MuKE-M2 nach Minergie-P zu beobachten. Insbesondere bei den beiden Varianten

mit fossilen Heizsystemen sind Reduktionen von bis zu 60 % erreichbar. Es zeigt sich aber auch, dass die Umweltauswirkungen der baulichen und betrieblichen Zusatzaufwendungen der energietechnischen Massnahmen von Minergie- und Minergie-P-Gebäuden die Reduktion der Umweltbelastung infolge eines tieferen Betriebsenergiebedarfes teilweise kompensieren. In einzelnen Fällen führen diese Mehraufwendungen sogar zu einer leichten Erhöhung der Umweltbelastung (Wärmepumpe bezüglich Eco-indicator '99 (H,A), Stückholz/Solar-Heizung bezüglich Kumuliertem Energieaufwand (nicht erneuerbar) und Treibhauspotential 100 Jahre).

	SIA 380/1 MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MuKE n-M2 MJ-eq/m <sup>2</sup> a	Minergie MJ-eq/m <sup>2</sup> a	Minergie-P MJ-eq/m <sup>2</sup> a
<b>EFH Neubau</b>				
Öl/Solar	570	430	290	210
Gas/Solar		390	270	200
Wärmepumpe (CH-Mix)		270	250	180
Holzpellets		170	170	140
Stückholz/Solar		100	120	120
<b>EFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	680		400	150
Gas/Solar			380	140
Wärmepumpe (CH-Mix)			250	120
Holzpellets			150	80

*Tabelle 37: Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Einfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*

	SIA 380/1	MuKE n-M2	Minergie	Minergie-P
	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
<b>EFH Neubau</b>				
Öl/Solar	39.7	30.6	19.6	14.3
Gas/Solar		25.3	17.5	13.0
Wärmepumpe (CH-Mix)		11.2	11.1	9.7
Holzpellets		11.6	11.1	9.7
Stückholz/Solar		8.1	8.8	8.6
<b>EFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	45.4		25.8	8.7
Gas/Solar			21.5	7.3
Wärmepumpe (CH-Mix)			6.8	4.1
Holzpellets			7.2	4.0

*Tabelle 38: Treibhauspotential 100 Jahre der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Einfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*

	SIA 380/1	MuKE n-M2	Minergie	Minergie-P
	El'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	El'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	El'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	El'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a
<b>EFH Neubau</b>				
Öl/Solar	2.38	1.87	1.26	0.96
Gas/Solar		1.61	1.16	0.89
Wärmepumpe (CH-Mix)		0.61	0.66	0.63
Holzpellets		1.18	1.04	0.80
Stückholz/Solar		1.41	1.21	0.82
<b>EFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	2.70		1.59	0.60
Gas/Solar			1.39	0.54
Wärmepumpe (CH-Mix)			0.34	0.28
Holzpellets			0.94	0.45

*Tabelle 39: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Einfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*

	SIA 380/1 UBP/m <sup>2</sup> a	MuKE-M2 UBP/m <sup>2</sup> a	Minergie UBP/m <sup>2</sup> a	Minergie-P UBP/m <sup>2</sup> a
<b>EFH Neubau</b>				
Öl/Solar	26'700	22'200	18'100	15'300
Gas/Solar		17'800	16'200	14'200
Wärmepumpe (CH-Mix)		18'500	18'400	14'900
Holzpellets		21'600	19'800	15'500
Stückholz/Solar		21'000	19'600	14'700
<b>EFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	26'600		17'900	8'600
Gas/Solar			14'000	7'500
Wärmepumpe (CH-Mix)			14'600	8'200
Holzpellets			17'900	8'700

*Tabelle 40: Umweltbelastungspunkte 2006 (provisorische Ökofaktoren) der verschiedenen Energiebereitstellungsvarianten (Einfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*

## 5.6.2 Mehrfamilienhäuser

Die Resultate der verschiedenen Bewertungsmethoden für die Umweltstandards der Variante Mehrfamilienhaus und für die Varianten der Energiebereitstellung werden in den folgenden Tabellen zusammengefasst. Der höchste und der tiefste Wert (jeweils für Neubau und Sanierung) werden dunkelgrau bzw. hellgrau unterlegt.

Wie bei den Einfamilienhäusern ist unabhängig von der Bewertungsmethode in praktisch allen Fällen eine Abnahme der spezifischen Umweltbelastung von MuKE-M2 nach Minergie-P zu beobachten. Insbesondere bei den beiden Varianten mit fossilen Heizsystemen sind Reduktionen von bis zu 50 % erreichbar.

	SIA 380/1 MJ-eq/m <sup>2</sup> a	MuKE-M2 MJ-eq/m <sup>2</sup> a	Minergie MJ-eq/m <sup>2</sup> a	Minergie-P MJ-eq/m <sup>2</sup> a
<b>MFH Neubau</b>				
Öl/Solar	480	380	270	190
Gas/Solar		350	260	190
Wärmepumpe (CH-Mix)		240	230	190
Holzpellets		150	160	140
<b>MFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	540		370	140
Gas/Solar			340	130
Wärmepumpe (CH-Mix)			220	130
Holzpellets			130	80

*Tabelle 41: Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar für verschiedene Energiebereitstellungs-Varianten (Mehrfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*

	SIA 380/1 kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	MuKE-M2 kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	Minergie kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a	Minergie-P kg CO <sub>2</sub> -eq/m <sup>2</sup> a
<b>MFH Neubau</b>				
Öl/Solar	34.2	27.0	18.8	13.4
Gas/Solar		22.5	16.5	12.2
Wärmepumpe (CH-Mix)		10.4	10.3	9.3
Holzpellets		10.3	10.1	9.0
<b>MFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	36.8		23.7	7.9
Gas/Solar			19.0	6.6
Wärmepumpe (CH-Mix)			5.7	3.7
Holzpellets			5.7	3.5

*Tabelle 42: Treibhauspotential 100 Jahre der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Mehrfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).*



	SIA 380/1 EI'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	MuKEEn-M2 EI'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	Minergie EI'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a	Minergie-P EI'99 (H,A) Pkte/m <sup>2</sup> a
<b>MFH Neubau</b>				
Öl/Solar	2.04	1.64	1.19	0.88
Gas/Solar		1.43	1.08	0.83
Wärmepumpe (CH-Mix)		0.57	0.60	0.58
Holzpellets		0.99	0.91	0.74
<b>MFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	2.17		1.46	0.55
Gas/Solar			1.24	0.49
Wärmepumpe (CH-Mix)			0.30	0.24
Holzpellets			0.73	0.40

Tabelle 43: Eco-indicator '99 (H, A) Punkte der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Mehrfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).

	SIA 380/1 UBP/m <sup>2</sup> a	MuKEEn-M2 UBP/m <sup>2</sup> a	Minergie UBP/m <sup>2</sup> a	Minergie-P UBP/m <sup>2</sup> a
<b>MFH Neubau</b>				
Öl/Solar	22'700	19'400	16'800	14'200
Gas/Solar		16'200	15'100	13'300
Wärmepumpe (CH-Mix)		16'900	16'800	14'500
Holzpellets		18'400	17'700	14'500
<b>MFH Sanierung</b>				
Öl/Solar	20'600		16'200	8'000
Gas/Solar			12'800	7'100
Wärmepumpe (CH-Mix)			12'900	8'300
Holzpellets			14'500	8'300

Tabelle 44: Umweltbelastungspunkte 2006 (provisorische Ökofaktoren) der verschiedenen Energiebereitstellungs-Varianten (Mehrfamilienhäuser, Bau, Betrieb und Rückbau, inkl. Rohbau).



## 6 Vertiefung ausgewählter Fragestellungen

### 6.1 Einfluss unterschiedlicher Wirkungsgrade von Wärmepumpen

#### 6.1.1 Ausgangslage

In diesem Kapitel wird die Frage untersucht, inwiefern der Wirkungsgrad der Wärmepumpe sich auf die Resultate der Ökobilanz auswirkt. Die Berechnungen erfolgen für die Variante Mehrfamilienhaus, Neubau, da die Mehrfamilienhäuser das grösste Potential für den Einsatz von Wärmepumpen aufweisen. Als Jahresarbeitszahl werden im Sinne eines Bestwerts 5.5 für die Heizung (statt 4.0) und 3.5 für die Warmwasserbereitstellung (statt 2.7) eingesetzt.

*Auswirkung unterschiedlicher Wirkungsgrad*

#### 6.1.2 Resultate

Abbildung 58 zeigt den kumulierten Energieaufwand, nicht-erneuerbar (in MJ-eq/m<sup>2</sup>a) für die drei Standards MuKEn-M2, Minergie, Minergie-P und als Vergleich für die Variante SIA 380/1 mit Ölheizung. Durch die höhere Jahresarbeitszahl verringern sich der Stromverbrauch und damit die entsprechenden Energieaufwendungen im Vergleich zur tieferen Jahresarbeitszahl.

*Kumulierter Energieaufwand*

Mit der besseren Jahresarbeitszahl lässt sich der kumulierte Energieaufwand, nicht-erneuerbar um 13% bis 17% verringern.

Abbildung 59 zeigt das Treibhauspotential (in kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>2</sup>a) für die drei Standards MuKEn-M2, Minergie, Minergie-P und als Vergleich für die Variante SIA 380/1 mit Ölheizung. Durch die höhere Jahresarbeitszahl lassen sich die Treibhausgas-Emissionen um 4% bis 8% reduzieren.

*Treibhausgaspotential*

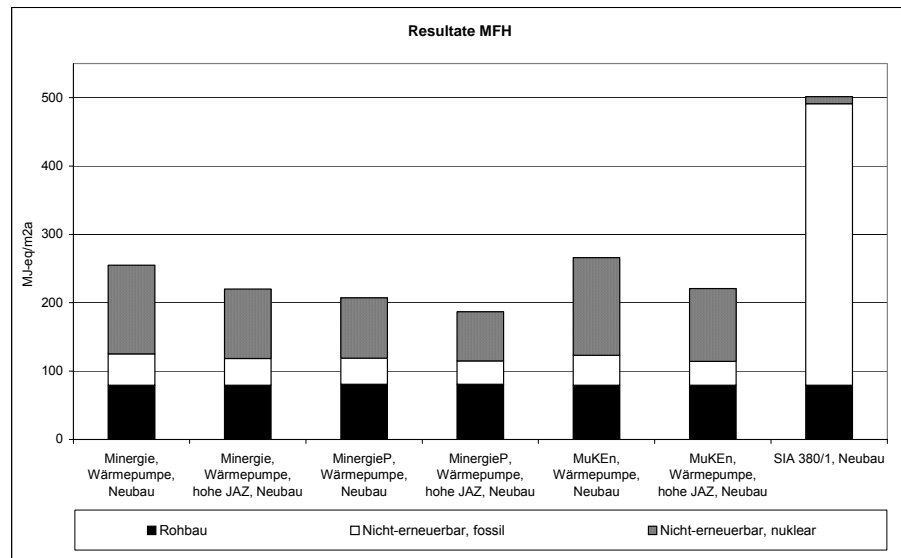


Abbildung 58: Vergleich der Wärmepumpen-Varianten mit dem kumulierten Energieaufwand, nicht erneuerbar (in MJ-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau eines Mehrfamilienhauses, Neubau.

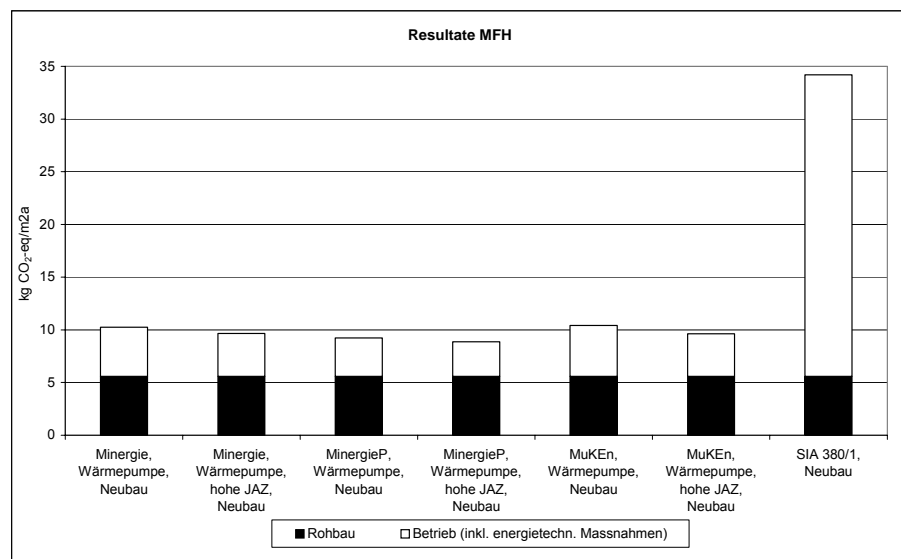


Abbildung 59: Vergleich der Wärmepumpen-Varianten mit dem Treibhauspotential (in kg CO₂-eq/m²a) für Bau, Betrieb und Rückbau eines Mehrfamilienhauses, Neubau.

Eco-indicator'99

Abbildung 60 zeigt die Bewertung mit der Methode der Eco-indicator '99 (H, A) für die drei Standards MuKEn-M2, Minergie, Minergie-P

und als Vergleich für die Variante SIA 380/1 mit Ölheizung. Durch den sehr kleinen Einfluss der Betriebsphase in dieser Bewertung sind die Unterschiede zwischen den Wärmepumpen-Varianten sehr klein (3% bis 7%).

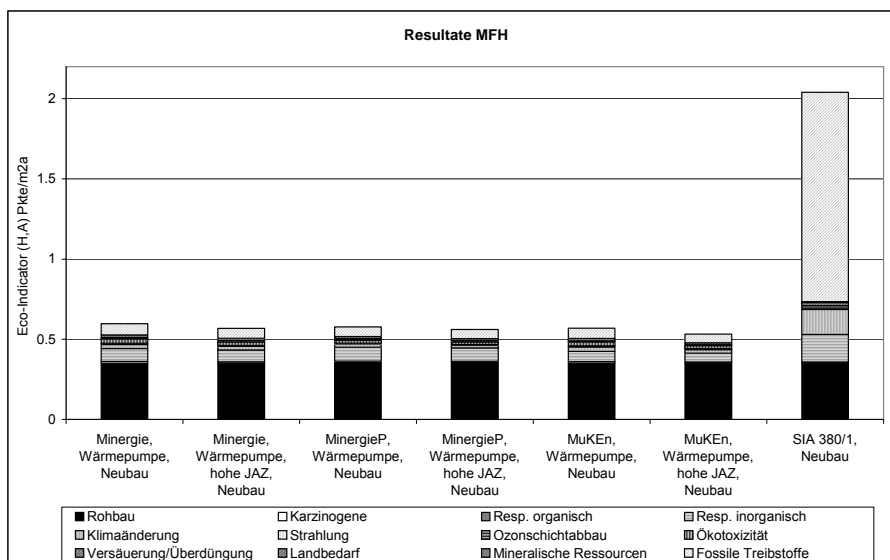


Abbildung 60: Vergleich der Wärmepumpen-Varianten mit dem Eco-indicator 99 (H,A) für Bau, Betrieb und Rückbau eines Mehrfamilienhauses, Neubau.

Abbildung 61 zeigt die Bewertung mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Faktoren) für die drei Standards MuKEN-M2, Minergie, Minergie-P und als Vergleich für die Variante SIA 380/1 mit Ölheizung. Die Verringerung der Gesamtbelastung bewegt sich zwischen 7% bis 13%.

Umweltbelastungs-  
punkte

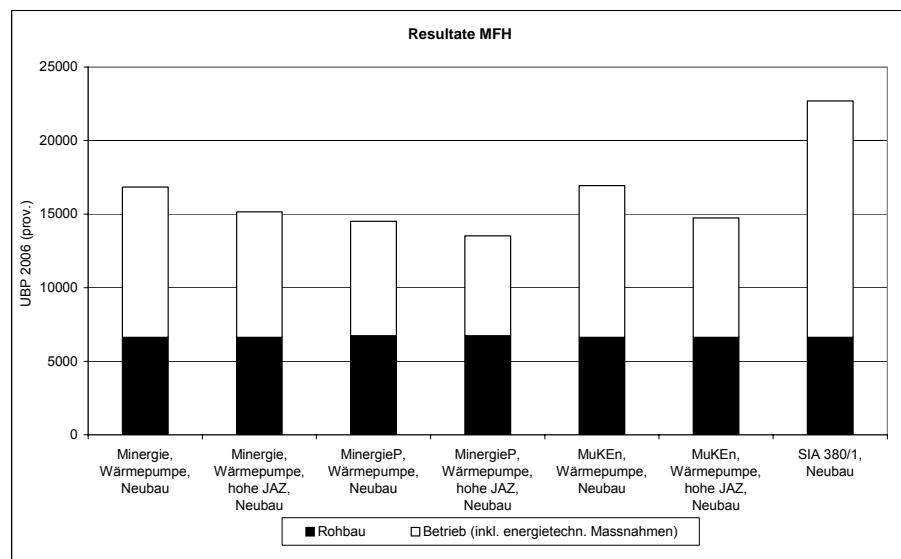


Abbildung 61: Vergleich der Wärmepumpen-Varianten mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Ökofaktoren) für Bau, Betrieb und Rückbau eines Mehrfamilienhauses, Neubau.

### 6.1.3 Fazit

Je nach Indikator erlaubt eine höhere Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe dank der Verringerung des Stromverbrauchs eine Reduktion der Umweltbelastungen von bis zu 17%. Die Einsparungen sind grösser bei den Bewertungsmethoden, die der Betriebsphase eine höhere Bedeutung geben (KEA nicht erneuerbar, UBP 2006).

## 6.2 Einfluss des Strommixes

### 6.2.1 Ausgangslage

#### *Einfluss Strommix*

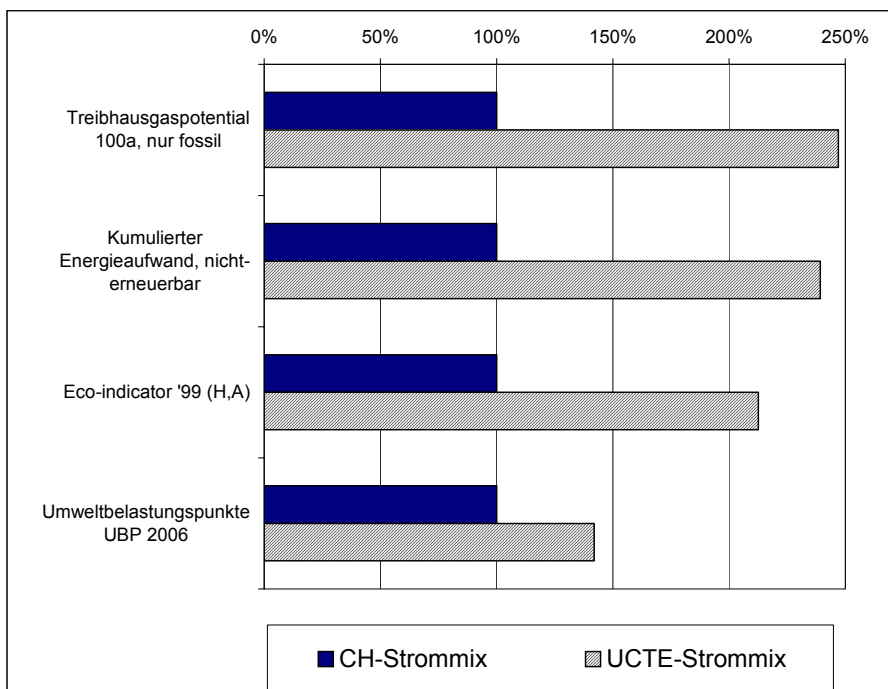
Im Folgenden wird der Einfluss des Strommixes auf die Resultate der LCA untersucht. Der Schweizer Strommix (v.a. Wasser- und Atomkraft, sowie Importe aus Frankreich und Deutschland) wird in den Berechnungen durch den UCTE-Strommix, der einen hohen Anteil an fossilen Energiequellen hat und durch den Strom aus einem Erdgas befeuerten Gas- und Dampfturbinen-Kraftwerk (GuD) ersetzt. Der

Vergleich mit GuD-Strom wird hier gezogen, da der steigende Stromverbrauch in der Schweiz in Zukunft sehr wahrscheinlich mit Strom aus einem solchen Kraftwerk gedeckt werden wird.

## 6.2.2 Resultate

Die Resultate werden exemplarisch mit dem Indikator Treibhauspotential (GWP 100a) dargestellt, der am stärksten durch eine Änderung des fossilen Anteils im Strommix beeinflusst wird. Die Bewertung mit den anderen Indikatoren zeigen ähnliche Resultate mit teilweise etwas kleineren Ausprägungen (Abbildung 62).

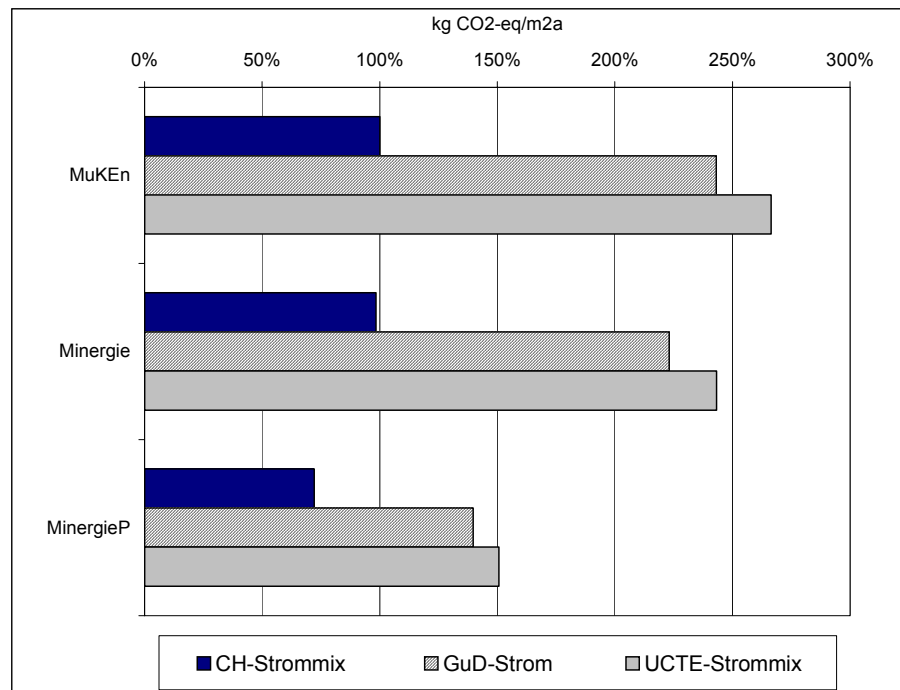
*Exemplarische  
Resultate Treib-  
hausgaspotential*



*Abbildung 62: Einfluss des Strommixes bei der Variante Wärmepumpe, Minergie, Einfamilienhaus Neubau. Die Variante Schweizer Strommix wird jeweils für alle Indikatoren zu 1 gesetzt*

Der Einfluss des Strommixes ist in derjenigen Variante am grössten, die den höchsten Betriebsstrombedarf aufweist. Der Unterschied zur Wärmepumpe mit Schweizer Strommix variiert zwischen einem Faktor 1.3 bis 2.7. Die Variante mit GuD-Strom schneidet dank des hohen Wirkungsgrades von GuD-Kraftwerken leicht besser ab als diejenige mit UCTE-Strommix (siehe Abbildung 63).

*Abhängigkeit  
Umfang Betriebs-  
energie*



*Abbildung 63: Einfluss des Strommixes bei der Variante Wärmepumpe, Einfamilienhaus Neubau für den Indikator Treibhauspotential 100a. Die Variante MuKEEn-M2, Schweizer Strommix wird zu 1 und das Treibhauspotential der anderen Varianten und Standards dazu ins Verhältnis gesetzt.*

Ein Vergleich eines Neubaus EFH mit Wärmepumpe mit der Variante Gas/Solar zeigt, dass eine Erhöhung des fossilen Anteils im Strommix die Vorteile der Wärmepumpe schwinden lässt. In Abbildung 64 wird ersichtlich, dass die Wärmepumpe beim Betrieb mit GuD-Strom nur beim Standard MuKEEn-M2 geringere Treibhausgas-Emissionen verursacht.



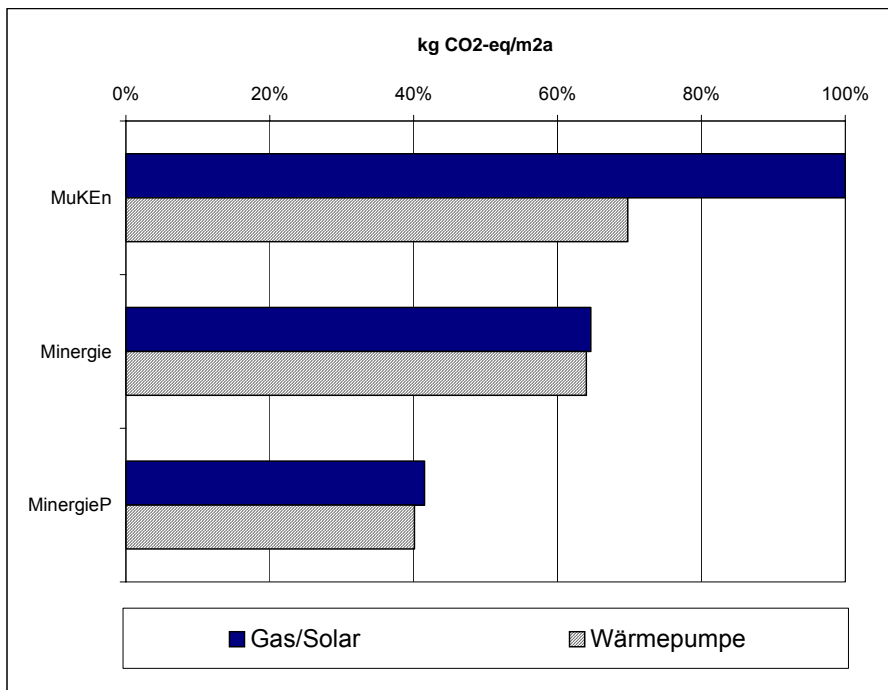


Abbildung 64: Vergleich des Treibhauspotentials 100a der Varianten Gas/Solar und Wärmepumpe (Einfamilienhaus, Neubau) beim Betrieb mit GuD-Strom. Die Variante MuKEEn-M2, Gas/Solar wird zu 100% gesetzt und das Treibhauspotenzial der anderen Varianten und Standards dazu ins Verhältnis gesetzt.

### 6.2.3 Fazit

Eine Erhöhung des fossilen Anteils im Strommix führt zu einer Erhöhung der Umweltwirkungen aller Varianten und ist am stärksten für die Variante Wärmepumpe, da sie den grössten Stromverbrauch aller Varianten aufweist.

*Mehr fossile Energien erhöhen Umweltwirkungen*

Die zukünftige Erhöhung des Stromverbrauchs in der Schweiz, die durch eine steigende Zahl von Wärmepumpen noch verstärkt würde, wird vermutlich zu einem erhöhten fossilen Anteil im Schweizer Strommix führen, da die Versorgungslücke mit dem Zubau eines fossilen Kraftwerks gedeckt werden wird. Dadurch würden die Treibhausgas-Emissionen des Heizsystems Wärmepumpe ungefähr gleich hoch sein wie diejenigen einer modernen Gasheizung kombiniert mit Solarkollektoren zur Warmwasseraufbereitung.

*Mit GuD-Strom WP bei Minergie analog Gas/Solar*

## 6.3 Bauten mit Heizölfeuerungen

### 6.3.1 Ausgangslage

Reine Heizölfeuerung

Um abschätzen zu können, welchen Einfluss der Solaranteil der Heizung am Gesamtergebn hat, werden hier Varianten mit einer reinen Ölheizung für die Variante Einfamilienhaus Neubau modelliert und bewertet. Mit den gewählten Parametern des Energiesystems nur die Grenzwerte der Standards MuKEn-M2 und Minergie erreicht werden.

### 6.3.2 Resultate

Abbildung 65 zeigt den Vergleich der zwei Heizsysteme (Öl und Öl/Solar) für ein Einfamilienhaus, Neubau mit den Standards MuKEn-M2 und Minergie. Der kumulierte Energieaufwand ist bei der Öl/Solar-Variante insgesamt grösser als bei der reinen Ölvariante, da der Heizwärmebedarf der Ölvariante kleiner als derjenige der Öl/Solar-Variante ist, um den jeweiligen Grenzwert des Standards zu erreichen. Betrachtet man hingegen nur den nicht-erneuerbaren kumulierten Energieaufwand, so zeigt sich ein anderes Bild: die Öl/Solar-Variante weist gleich hohe (Minergie) bzw. leicht tiefere (MuKEn-M2) Werte auf als die reine Ölvariante.

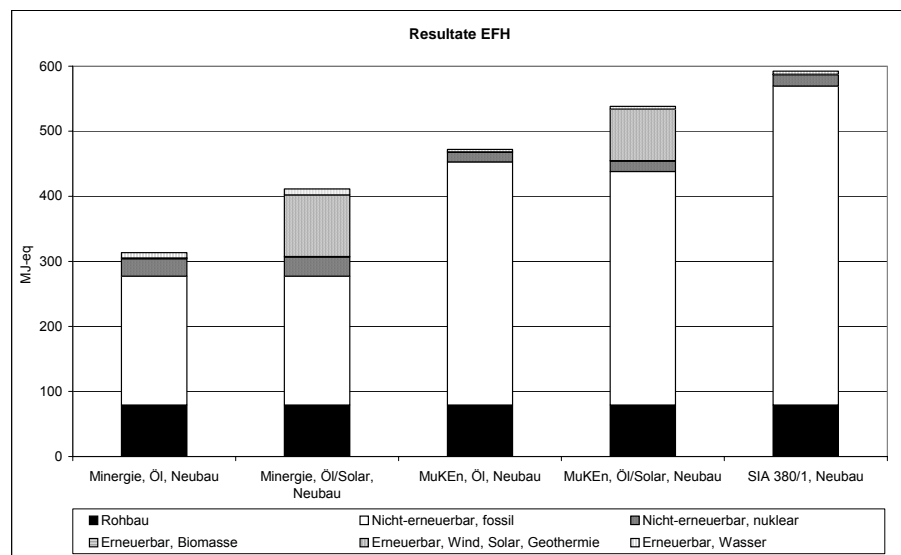


Abbildung 65: Vergleich der reinen Ölheizung-Varianten mit den Öl/Solar-Varianten auf der Basis des kumulierten Energieaufwands in MJ-eq/m<sup>2</sup>a.

Die Bedeutung der verschiedenen Prozesse (Raumwärme bereitstellen, Warmwasser bereitstellen, Lüften) wird in Abbildung 66 für den Indikator Treibhauspotential verdeutlicht.

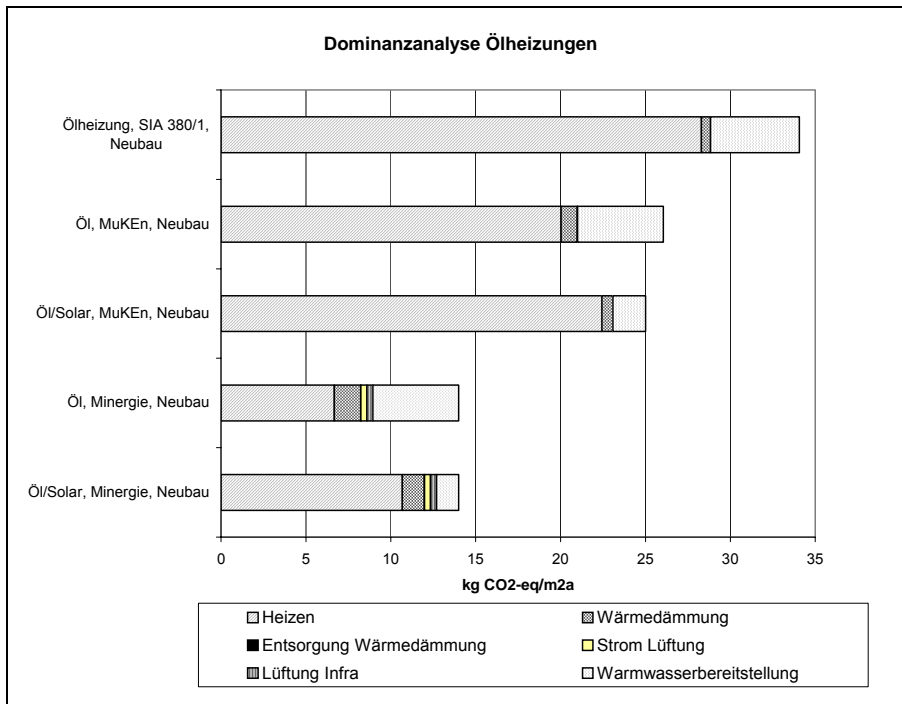


Abbildung 66: Dominanzanalyse der reinen Ölheizungsvarianten und der Öl/Solar-Varianten für ein Einfamilienhaus, Neubau, bewertet mit dem Treibhauspotential 100a.

Da die Solarenergie ausschliesslich der Warmwasserbereitstellung dient, hat dieser Prozess eine viel höhere Bedeutung bei der reinen Ölvariante. Hingegen ist der Beitrag der Raumwärmebereitstellung kleiner, da die Häuser mit reiner Ölheizung besser gedämmt sind (sein müssen). Diese Einsparungen bei der Raumwärme reichen allerdings beim MuKEn-M2 Standard nicht aus, um den höheren Bedarf bei der Warmwasserbereitstellung zu kompensieren. Bei einem Gebäude im Minergie-Standard sind die beiden Varianten aber äquivalent. Die Wärmedämmung (Herstellung und Entsorgung) ist bei der reinen Ölvariante etwas wichtiger. Da sie bezüglich des Treibhauseffekts aber nur 3% (MuKEn-M2) bzw. 9% (Minergie) des Gesamtergebnisses ausmacht, fällt die höhere Dämmstoffmenge bei der Ölvariante aber kaum ins Gewicht.

*Einfluss Solarenergie*

Abbildung 67 zeigt die Bedeutung der verschiedenen Prozesse in der Bewertung mit dem Eco-indicator 99 (H, A).

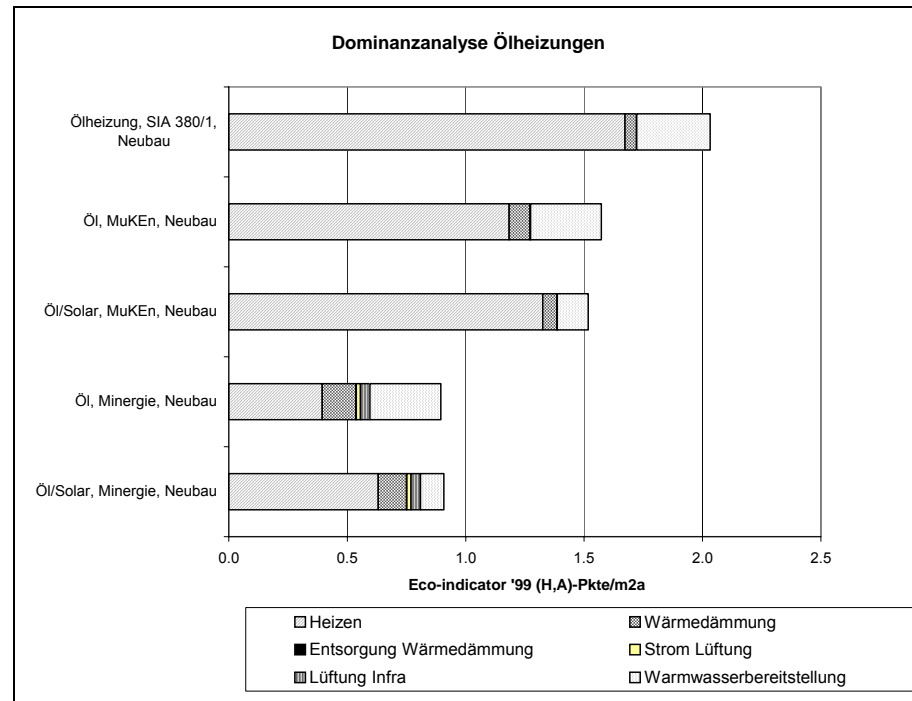


Abbildung 67: Dominanzanalyse der reinen Ölheizungsvarianten und der Öl/Solar-Varianten für ein Einfamilienhaus, Neubau, bewertet mit dem Eco-indicator 99 (H, A).

*Eco-indicator analog  
GWP*

Bewertung mit Eco-indicator ergibt ein ähnliches Bild wie mit dem Treibhauspotential. Durch die etwas höhere Bedeutung der Wärmedämmung werden die grössere Dämmstoffmenge und die dadurch höheren Umweltbelastungen vor allem beim Minergie-Standard besser sichtbar. Auch hier können die Einsparungen bei der Raumwärmebereitstellung den höheren fossilen Energiebedarf für die Warmwasserbereitstellung nicht kompensieren (MuKEn-M2 Standard).

Ein etwas anderes Bild zeigt sich mit der Methode der ökologischen Knappheit (Abbildung 68). Hier ist die reine Heizölvariante beim Minergie Standard leicht günstiger als die Öl/Solar-Variante. Die stärkere Dämmung bzw. die Energieeinsparungen wirken sich auf das Gesamtergebnis günstig aus. Beim Gebäude nach MuKEn-M2-Standard bestätigen sich die mit den anderen Bewertungsmethoden gewonnenen Erkenntnisse.

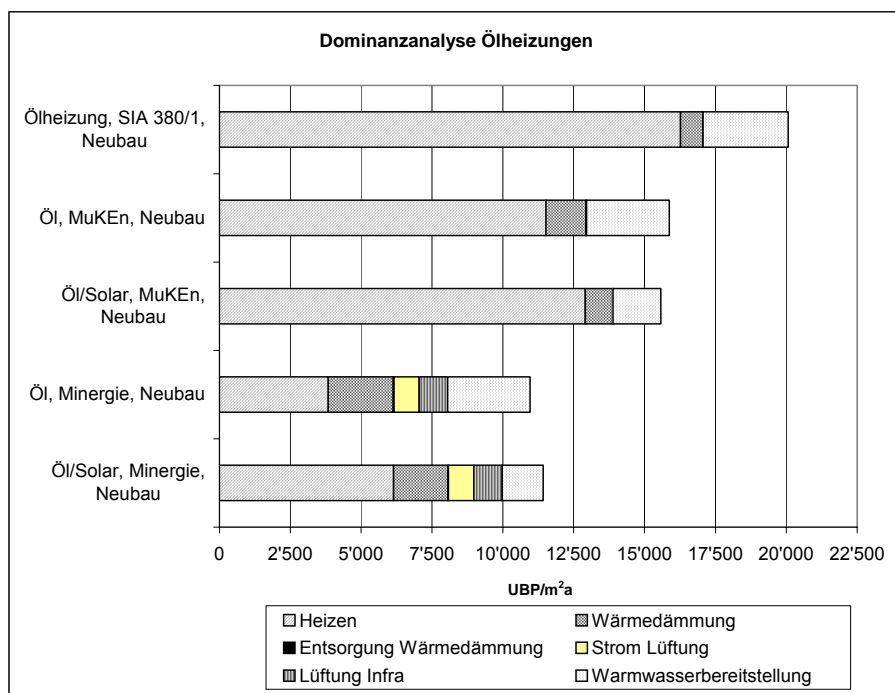


Abbildung 68: Dominanzanalyse der Ölheizungsvarianten für ein Einfamilienhaus, Neubau; bewertet mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (provisorische Ökofaktoren).

### 6.3.3 Fazit

Um die Grenzwerte der Standards zu erreichen, müssen Gebäude mit einer reinen Ölheizung einen tieferen Heizenergiebedarf haben und damit besser gedämmt sein. Allerdings reichen diese Einsparungen nicht bei allen Indikatoren, um die höheren Umweltbelastungen zu kompensieren. Bei ölbeheizten Gebäuden sind in beiden Standards die Unterschiede zwischen einer reinen Ölvariante und einer Variante mit Sonnenkollektoren wenig ausgeprägt



## 7 Vergleichende Analyse der Ergebnisse

### 7.1 Neubauten

In Abbildung 69 werden am Beispiel EFH Neubau die Veränderung der Umweltwirkungen der einzelnen untersuchten Varianten verglichen. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

*Übersicht für den EFH Neubau*

Die Energiestandards unterscheiden sich bezüglich der Kennzahl KEA (nicht erneuerbare Energien) sehr stark. Die Niedrigenergiestandards weisen mit abnehmendem Energiebedarf auch abnehmende Umweltwirkungen auf. Beim Indikator UBP beträgt die Reduktion für Minergie-P Bauten jedoch nur 40% - 55% bezogen auf den Wert der Referenzvariante. Das bedeutet, dass bezüglich der provisorischen Umweltbelastungspunkte 2006 (UBP 06) ein Minergie-P-Gebäude nur unwesentlich besser ist als ein Gebäude nach MuKE-M2. Dies ist auf die Umweltbelastung der zusätzlichen energietechnischen Massnahmen (vor allem Wärmedämmung, Materialaufwand Lüftung sowie Elektrizitätsbedarf Lüftung) zurückzuführen.

*Niedrigenergiestandards haben teilweise nur in geringem Masse abnehmende Umweltwirkungen*

Der Minergie-P Standard wird unabhängig des Heizsystems innerhalb einer Bewertungsmethode ähnlich gut bewertet. Die Wahl des Heizsystems bei einem Minergie-P-Gebäude ist demnach von untergeordneter Bedeutung für dessen Umweltwirkungen. Dies ist auf die geringen Umweltbelastungen des Energieverbrauchs im Vergleich zu denen der energietechnischen Massnahmen (inkl. Betriebsstrom für die Lüftung) zurückzuführen. Es ist zu beachten, dass die Verbesserung bei den UBP deutlich geringer ist als bei den anderen Bewertungsmethoden.

*Bei Minergie-P ist die Wahl des Heizsystems sekundär*

Bei den fossilen Varianten führt die Bewertung der Umweltwirkungen mit KEA, GWP und EI'99 zu relativ ähnlichen Aussagen. Unterschiedliche Bewertungen ergeben sich bei den Versorgungsvarianten Wärmepumpen (CH-Mix) und Holz. Bei der Variante "Wärmepumpe mit GuD Strom" liegen die Umweltwirkungen zwischen den Varianten Fossil/Solar und Holz.

*Fossile Varianten werden ähnlich bewertet*

*Strom aus regenerativen Quellen führt zu guten Werten von Bauten mit Wärmepumpen*

Bei der Auswahl der Energiesysteme schneidet die Wärmepumpe mit Schweizer Strommix bezüglich Umweltwirkungen bei allen Energie-standards vergleichsweise gut bis sehr gut ab (ausser bei der Bewertung mit UBP 2006). Der hohe nukleare Anteil beim Schweizer Strommix (mit Import) führt zum schlechteren Abschneiden der Wärmepumpe bei den UBP. Wird der nukleare Anteil aus dem Strommix eliminiert (beispielsweise durch Bezug von zertifiziertem Ökostrom) sinkt die Umweltbelastung auch gemäss UBP 2006 deutlich. In Kombination mit Ökostrom weist die Wärmepumpen-Variante umweltlich durchwegs gute Werte auf.

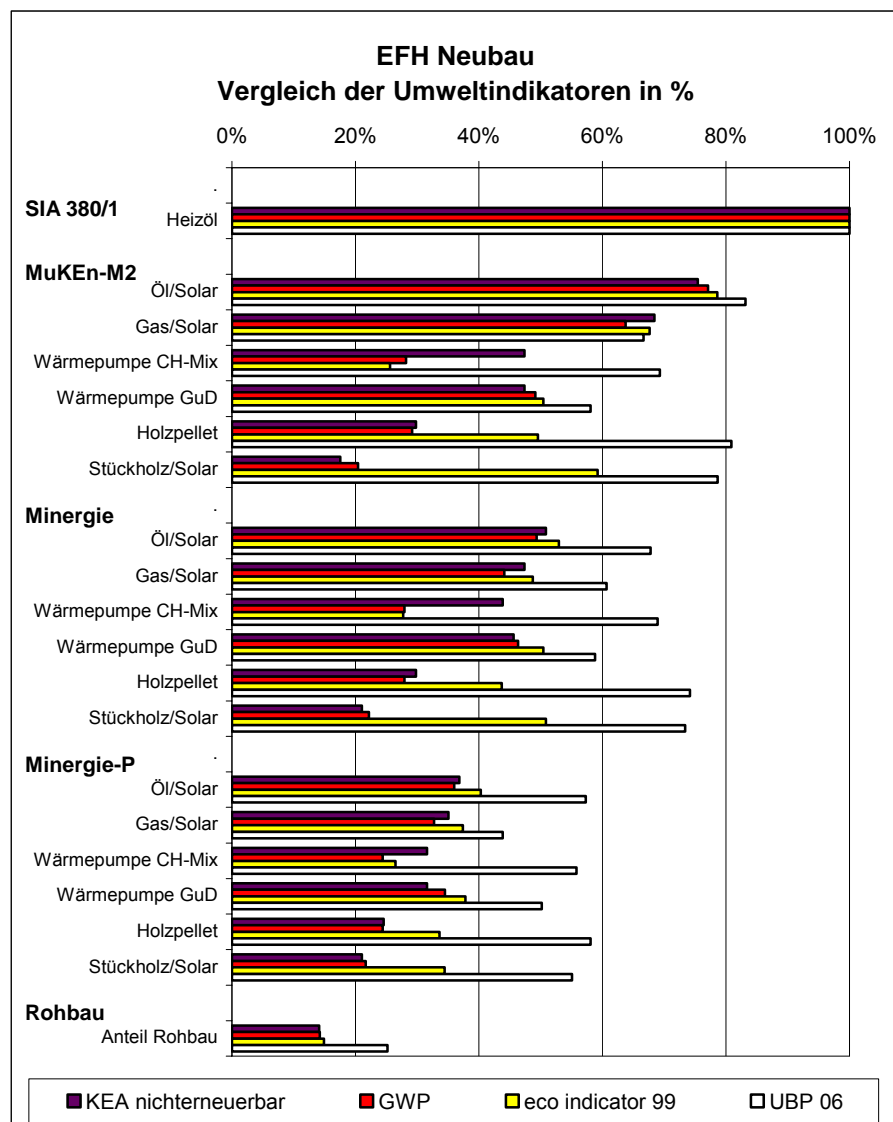


Abbildung 69: Relativer Vergleich der Resultate der unterschiedlichen Bewertungsmethoden für EFH Neubau



Die relativ hohen Umweltbelastungen von Holzfeuerungen in Gebäuden mit MuKE-M2 Standard sind auf den vergleichsweise tieferen Wirkungsgrad von Holzfeuerungen gegenüber fossilen Feuerungen kombiniert mit deren höheren Schadstoffausstoss zurückzuführen. Die heute bestehenden tieferen wärmetechnischen Anforderungen bei MuKE-M2- und Minergie-Bauten mit Energieholz führen zu einem kontraproduktiven Effekt im Umweltbereich (UBP).

*Holzfeuerungen:  
tiefere wärmetechnische Anforderungen  
nicht gerechtfertigt.*

Beim Einsatz von erneuerbaren Energien (Holz oder Wärmepumpen CH-Mix) hat der gewählte Energiestandard des Gebäudes nur sehr wenig Einfluss auf den Umweltindikator GWP (Treibhauspotential). Der Wert liegt in der Grössenordnung von 30% der Referenzvariante.

*GWP von Bauten mit  
erneuerbaren  
Energien unabhän-  
gig vom Energie-  
standard*

## 7.2 Sanierungen

Bei den EFH-Sanierungen ergibt sich ein ähnliches Bild. Es ist zu beachten, dass der Minergie Standard zu höheren prozentualen Verbesserungen gegenüber der Referenzvariante führt als ein vergleichbarer Neubau.

*Sanierungen*

Bei den Sanierungen führen die Minergie(-P)-Varianten mit Wärmepumpen (CH-Mix) und Holzfeuerungen zu sehr deutlichen Verbesserungen. Diese Verbesserungen sind bei den UBPs im Allgemeinen geringer als bei den anderen Bewertungsmethoden. Auch unter Berücksichtigung von GuD Strom werden die Umweltwirkungen um deutlich mehr als die Hälfte gegenüber einer Sanierung gemäss SIA 380/1 mit Heizöl reduziert. Die Reduktionen mit Minergie(-P)-Standard gegenüber SIA 380/1 sind prozentual gegenüber den Neubauten stärker. Dies unterstreicht die Bedeutung von Minergie(-P) bei Sanierungen.

*Minergie mit Wär-  
mepumpen gute  
Sanierungsvariante*

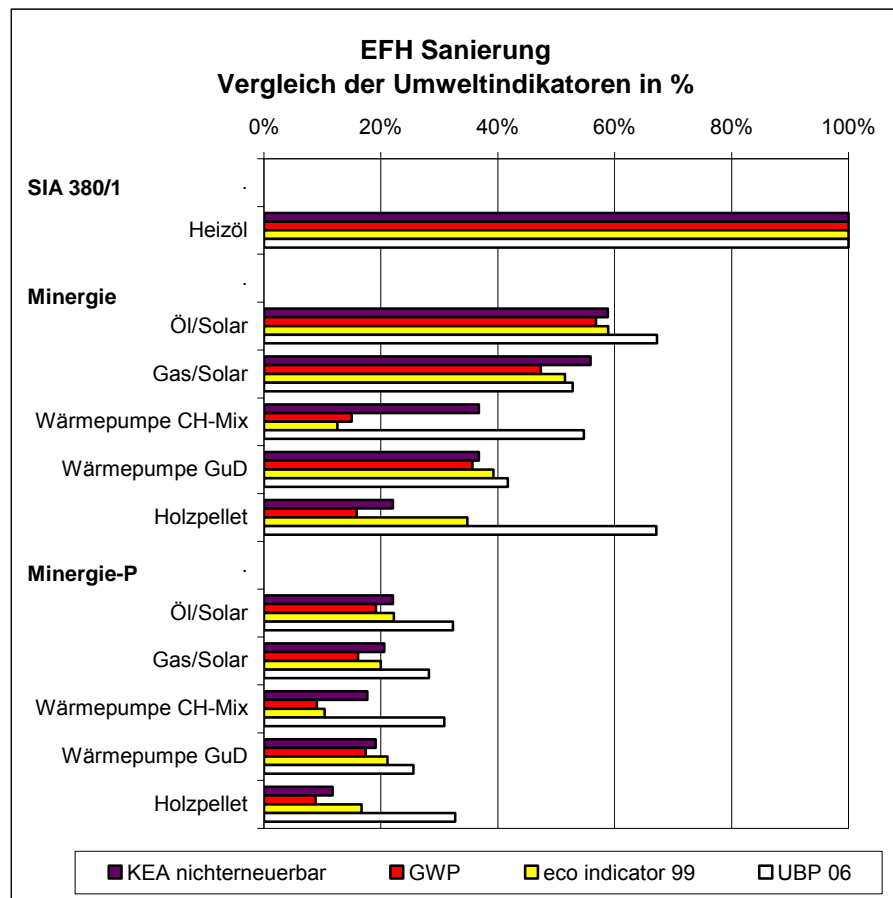


Abbildung 70: Relativer Vergleich der Resultate der unterschiedlichen Bewertungsmethoden für EFH Sanierung.

### 7.3 Zielgrösse Klimaschutz

Betrachtet man die CO<sub>2</sub>-eq-Emissionen (GWP) bei der Sanierung unseres Gebäudeparks als langfristig wichtigste Zielgrösse ergibt sich folgendes Bild:

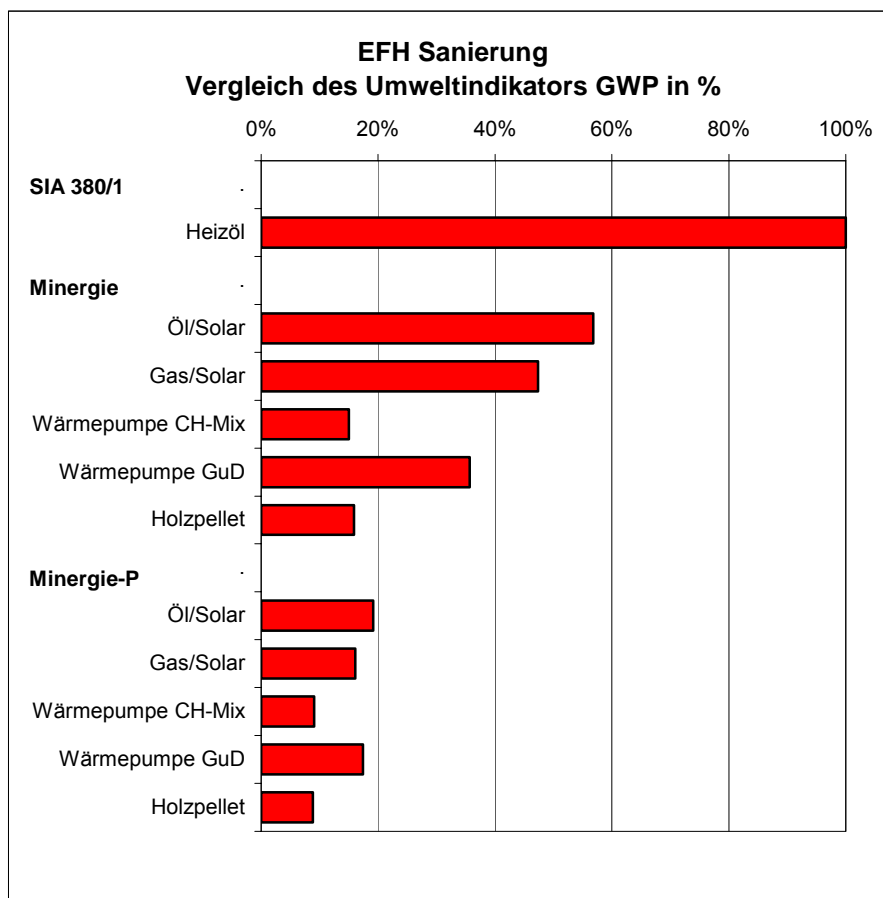


Abbildung 71: Relativer Vergleich der Resultate für Klimagasemissionen (GWP) bei Gebäudesanierungen (EFH).

Die Klimagas-Emissionen können am effizientesten mit drei unterschiedlichen Stossrichtungen reduziert werden:

1. Einsatz von erneuerbaren Energien in Gebäuden.
2. Realisierung von Bauten mit möglichst geringem Energiebedarf (Minergie-P)
3. Verbesserung des Wirkungsgrades von Wärmepumpen (auch beim Einsatz von Elektrizität aus GuD)

Diese Erkenntnisse sollten bei der Festlegung der zukünftigen Anforderungen an Energiestandards von Bauten berücksichtigt werden.



## 8 Die zukünftige Entwicklung des Schweizerischen Wohngebäudeparks

Im vorliegenden Kapitel wird eine Prognose der Energiebezugsfläche der Schweizer Wohngebäude bis ins Jahr 2050 erstellt. Die Prognose wird für die Modellierung der Umweltwirkungen des Schweizer Wohngebäudeparks verwendet, deren Ergebnisse im Kapitel 9 beschrieben werden.

### 8.1 Methodisches Vorgehen

Für die Prognose wird eine Arbeit von Hofer et al. (Stand 2005) verwendet, die im Rahmen der Energieperspektiven des Bundesamts für Energie (BFE) gegenwärtig erstellt wird und die den Energieverbrauch der privaten Haushalte bis 2035 untersucht. Den hier verwendeten Untersuchungen von Hofer et al. liegen die Szenarien Ia Trend und Ib Trend aus den Energieperspektiven des BFE mit den Sensitivitäten „Preise hoch“, „BIP hoch“ und „Klima wärmer“ zugrunde. Für die Prognose bis 2050 werden zusätzliche eigene Abschätzungen vorgenommen.

*Aufbau auf Energieperspektiven BFE*

Um den gesamten Wohngebäudepark modellieren zu können, wird neben den Entwicklungen der Energiebezugsflächen (EBF) für Ein- und Mehrfamilienhäuser auch die EBF „sonstiger“ Wohngebäude berücksichtigt<sup>12</sup>. Die Prognose wird weiter in die Entwicklung von Neubauten, von vollsanierten Flächen und der gesamten EBF unterteilt.

*Berücksichtigung des ganzen Wohngebäudeparks*

Für die Prognose bis 2035 werden Angaben aus Hofer et al. zu den jährlichen Sanierungsraten, zum Neubauvolumen, zur gesamten EBF in Wohngebäuden und zum Gebäudealtbestand verwendet. Anhand der Ergebnisse für 2005 - 2035 wird die Entwicklung der EBF bis 2050 projiziert. Es werden keine demographischen oder volkswirtschaftlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt, wie sie den Prognosen bis 2035 zugrunde liegen. Es handelt sich um eine einfache Abschätzung, die den Anforderungen des vorliegenden Berichtes

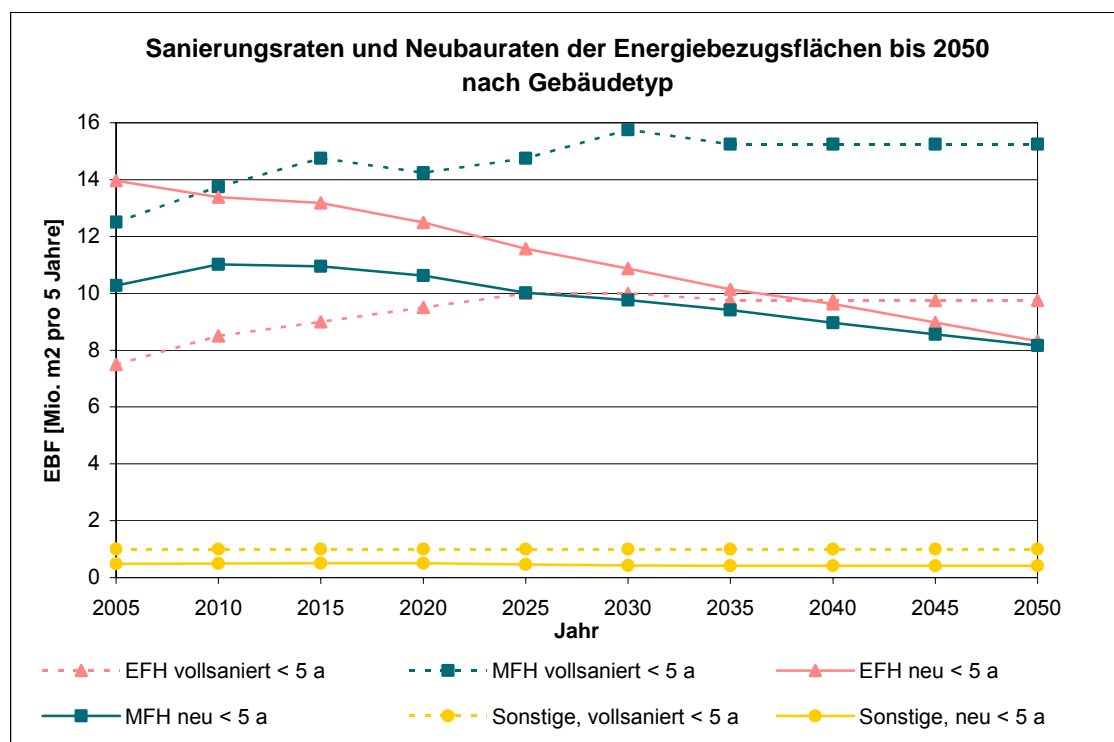
*Aufbau und Berechnung der Prognose*

gerecht wird. Analog der Arbeit von Hofer et al. wird die Prognose in 5-Jahres-Schritten erstellt.

## 8.2 Prognose der Energiebezugsflächen

*MFH bei Sanierungen bedeutend*

Beim Vergleich der Sanierungs- und Neubauraten in Abbildung 72 wird deutlich, dass die sanierte EBF von Mehrfamilienhäusern in Zukunft an Bedeutung gewinnt. Hier muss mit ca. 15 Mio. m<sup>2</sup> erneuerter EBF pro 5 Jahre gerechnet werden, während die restlichen Raten der MFH und EFH unter 10 Mio. m<sup>2</sup> pro 5 Jahre zu liegen kommen werden. Die Änderungsraten der „sonstigen“ Gebäude sind mit total 2 Mio. m<sup>2</sup> pro 5 Jahre unbedeutend.



**Abbildung 72** Prognose der Sanierungs- und Neubauraten von Energiebezugsfläche in Schweizer Wohngebäuden bis 2050 (in Mio. m<sup>2</sup> pro 5 Jahre). Einteilung in EFH, MFH und sonstige Wohngebäude (Hofer et al. 2005 und eigene Berechnungen)

Abbildung 73 lässt sich entnehmen, dass die EBF des Schweizer Wohngebäudeparks von 2005 bis 2050 deutlich steigen wird (von 444 Mio. m<sup>2</sup> um ca. 38% auf 611 Mio. m<sup>2</sup>), wobei die EBF der Einfamilienhäuser die der Mehrfamilienhäuser im Jahr 2050 bei ca. 300 Mio. m<sup>2</sup> treffen wird. Die EBF „sonstiger“ Gebäude ist mit ca. 20 Mio. m<sup>2</sup> relativ unbedeutend.

*Gesamtflächen von MFH entsprechen denjenigen von EFH*

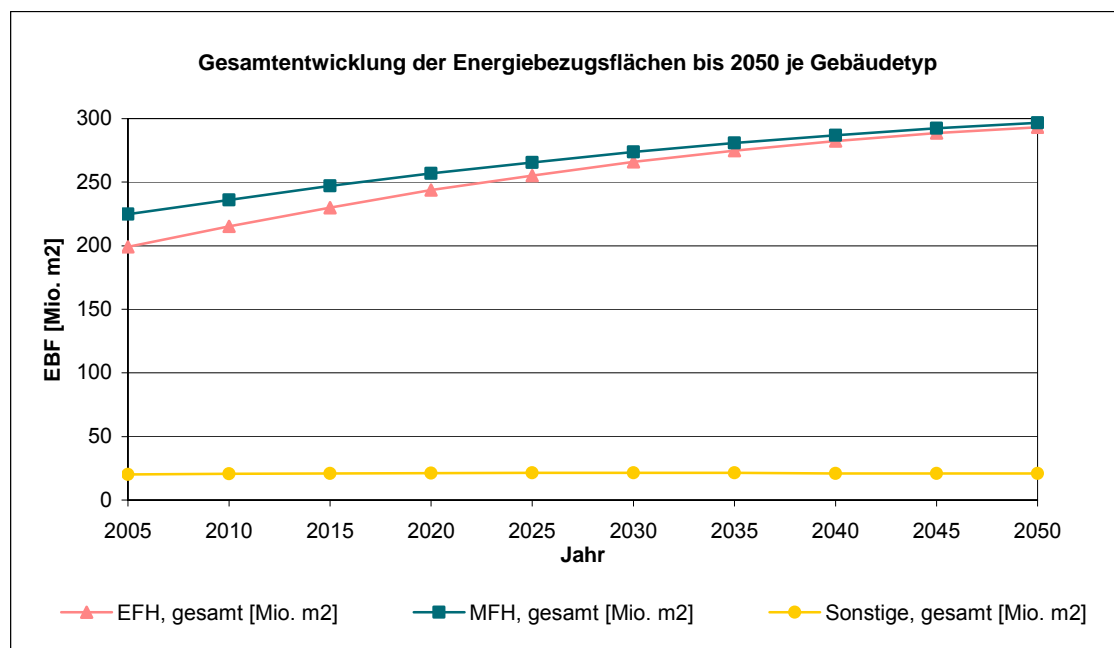


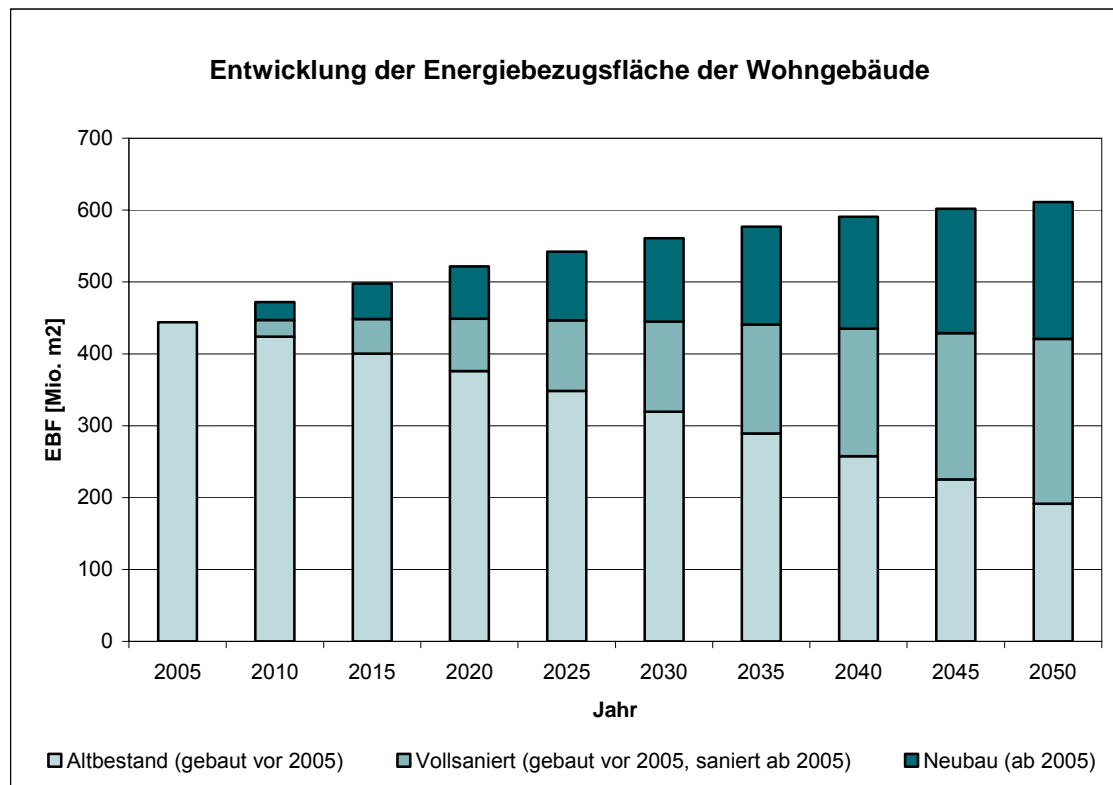
Abbildung 73 Prognose des Bestands an Energiebezugsfläche in Schweizer Wohngebäuden bis 2050 (in Mio. m<sup>2</sup>). Einteilung in EFH, MFH und sonstige Wohngebäude (Hofer et al. 2005 und eigene Berechnungen)

In Abbildung 74 ist die zeitliche Entwicklung der ab 2005 neu erstellten und vollsanierten EBF und die EBF des Gebäudealtbestandes dargestellt. Neubauten sind die nach 2005 erstellten Bauten, vollsanierte Bauten wurden vor 2005 erstellt und nach 2005 (energetisch) vollsaniert, Altbauten wurden vor 2005 erstellt und werden bis 2050 nicht saniert

Bis ins Jahr 2050 wird die EBF des Altbestandes (vereinfachte Annahme im Modell: die gesamte im Jahr 2005 bestehende EBF ist 2005 Altbestand) um ca. 60% auf 190 Mio. m<sup>2</sup> abnehmen, hat dann aber immer noch einen Anteil von ca. 30% an der gesamten EBF im Jahr 2050. Noch im Jahr 2035 besteht die Hälfte der EBF aus unsa-

*Abnahme Altbestand*

nierter Altbaufäche. Die neu erstellte EBF und die sanierte EBF haben etwa gleich grosse Anteile am Gesamtbestand. Im Jahr 2050 hat die neue EBF einen Anteil von 30% an der gesamten EBF, die vollsanierte EBF einen Anteil von ca. 40%.



**Abbildung 74** Prognose der Energiebezugsflächen der Schweizer Wohngebäude bis 2050 basierend auf den Energieperspektiven des BFE (Hofer et al., Stand 2005); Einteilung in Altbestand, vollsanierter und neu erstellter EBF in Mio. m<sup>2</sup>.

Die vorliegende Prognose muss bezüglich des Gesamtbestandes als etwas zu niedrig angesehen werden, da die zugrunde gelegten Berechnungen von Hofer et al. (2005) auf einer Studie des BFS basieren, die eine zu moderate Entwicklung der Schweizer Wohnbevölkerung prognostiziert hat (BFS 2001). Eine neuere Studie des BFS von 2006 (BFS 2006: mittleres Szenario A-00-2005, 1991-2050) geht von einer dynamischeren Entwicklung aus. Die aktuellen Zahlen des BFS liegen zwischen 1% (2010) bis 9% (2050) über den von Hofer et al. angegebenen Werten für die Wohnbevölkerung. Da in der Unter-



suchung von Hofer et al. keine Grössen pro Einwohner angegeben werden, ist eine Anpassung der EBF-Prognosen mit den Werten des BFS von 2006 nicht möglich.

Der Vergleich mit älteren EBF-Prognosen in Koschenz & Pfeiffer (2005) ergibt wiederum ein anderes Bild: Im Vergleich ist die in diesem Kapitel prognostizierte totale EBF hoch. Koschenz & Pfeiffer geben für 2050 eine gesamte EBF von 540 Mio. m<sup>2</sup> an, während sich aus den Prognosen von Hofer et al. (2005) für 2050 eine EBF von 610 Mio. m<sup>2</sup> ergeben (+ 13%, Abbildung 74). Eine Ursache für den Unterschied in der gesamten EBF ist wohl, dass die Arbeit von Koschenz & Pfeiffer auf einem älteren, mit Zahlen von 2000 angepassten Perspektivmodell von Wüest & Partner (1994) aufbaut, das von moderateren Neubautätigkeiten ausgeht. Der Altbestand in den Untersuchungen von Koschenz & Pfeiffer ist je nach dort zugrunde gelegter Neubaurate deutlich kleiner als in der vorliegenden Prognose. Rechnet man jedoch in Koschenz & Pfeiffer beim Szenario „Neubauanteil 29%“ die teilsanierte EBF dem Altbestand hinzu, ergibt sich für die Relationen von Altbestand, neu gebauter und vollsanierter EBF ein ähnliches Bild wie in Abbildung 74.

*Begründung Differenzen zu anderen Untersuchungen*



## 9 Prognosen der Umweltwirkungen des Wohngebäudeparks

Basierend auf den Ergebnissen der Ökobilanzen aus Kapitel 5.6 und den Prognosen der Energiebezugsflächen für die verschiedenen Wohnungstypen aus Kapitel 8, werden im Folgenden die Umweltauswirkungen der verschiedenen Gebäudestandards bis ins Jahr 2050 modelliert und verglichen.

### 9.1 Methodisches Vorgehen

#### 9.1.1 Zusätzliche Grössen für die Prognosen

Um die Umweltwirkungen des gesamten Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 prognostizieren zu können, müssen einige zusätzliche Grössen bekannt sein, die nicht Untersuchungsgegenstand der vorausgehenden Ökobilanzen sind. Dies sind die Bewertungen der „sonstigen Wohngebäude“ aus Kapitel 8 und des Gebäudealtbestandes.

*Weitere Grössen benötigt*

Da in der LCA ausschliesslich EFH und MFH betrachtet werden, muss der Gebäudetyp „sonstige Wohngebäude“ einer dieser Wohngebäudetypen zugeordnet werden. Für die folgenden Betrachtungen werden diese „sonstigen Wohngebäude“ den MFH zugeordnet.

*Gebäudetyp „sonstige Wohngebäude“*

Auch die Umweltwirkungen des Altbestandes der Wohngebäude gehen nicht aus der LCA hervor, müssen aber für die Modellierung bekannt sein. Der KEA des Altbestandes kann mit Werten aus eigenen Berechnungen aus der vorliegenden Studie und mit Werten aus der Literatur bestimmt werden (siehe Kapitel 9.2.1). Aus dem errechneten KEA für den Altbestand und dem KEA für EFH-Sanierung gemäss SIA 380/1 (als dem höchsten Wert aus dem LCA) wird ein Quotient gebildet. Mit diesem Quotienten werden die Werte für den Altbestand der anderen Bewertungsmethoden (GWP, UBP, EI'99) berechnet (Multiplikation der Werte für EFH-Sanierungen (als höchste Werte aus der LCA) mit dem Quotienten).

*Umweltwirkung des Altbestands*

### 9.1.2 Aufbau der Prognosen

Für die Erstellung der Prognosen wird das folgende Vorgehen gewählt:

#### *Einbezug vorheriger Ergebnisse*

Die im Jahr 2005 bestehenden Energiebezugsflächen für EFH, MFH und sonstige Gebäude werden als Altbestand definiert. Ab dem Jahr 2005 wird EBF entsprechend den Änderungsraten aus Kapitel 8 neu erstellt bzw. saniert, welche je nach ihrer Art (EFH/MFH) verschiedene Umwelteinwirkungen verursacht (gemäss Tabellen aus Kapitel 5.6).

#### *Aufbau der Prognose*

Je Prognose wird jeweils eine Kombination eines Baustandards und eines Energiesystems verwendet (SIA 380/1, MuKE-M2, Minergie oder Minergie-P kombiniert mit Öl (nur SIA 380/1), Öl/Solar, Wärmepumpe oder Holzpellets). Mit solch einem Vorgehen zeigen die Prognosen, wie sich die Umweltwirkung des Schweizer Wohngebäudeparks entwickelt, wenn ausschliesslich mit einem Baustandard in Kombination mit einem Energiesystem gebaut und saniert wird. Die Energieversorgung mit Stückholz und Solarenergie (Stückholz/Solar) geht nicht in die Prognosen ein, da sie nur für EFH-Neubauten als Standard formuliert ist. Da für den MuKE-M2-Standard keine Vorgaben für Sanierungen existieren, wird für die Modellierung davon ausgegangen, dass MuKE-M2-Sanierungen nach SIA-380/1-Standard ausgeführt werden.

#### *Feste Bewertungen der Umweltwirkungen*

Die Ergebnisse des LCA gehen für die Jahre 2005 bis 2050 unverändert ein. Den vorliegenden Prognosen ist also zugrunde gelegt, dass die verschiedenen Baustandards, die Energiesysteme und die Bewertungen von Umwelteinwirkungen bis 2050 nicht ändern.

#### *Aussagekraft der Prognosen*

Da bei den Prognosen die Bewertungen der Ökobilanz mit gleichen Faktoren für jeden Baustandard bis ins Jahr 2050 hochgerechnet werden, bringt der Vergleich der Baustandards in den Prognosen keine neuen Rangfolgen in der Bewertung. Es kann aber abgeschätzt werden, ob Zielwerte für die Umweltwirkung des Wohngebäudepark mit den heutigen Baustandards und Energiesystemen erreicht werden können. Mit Hilfe der Prognosen und mit den Zielwerten als Massstab können die Baustandards und Energiesysteme nicht nur relativ (Rangfolge), sondern auch absolut (Erreichen der Ziele) bewertet werden.

### 9.1.3 Zielwerte

Die möglichen Entwicklungen von KEA und GWP des Gebäudeparks bis 2050 werden mit Zielwerten für diese Grössen verglichen. Hierfür werden die GWP-Werte der unterschiedlichen Gebäudestandards denjenigen des IPCC gegenübergestellt (Bezug Kyoto-Protokoll) und die KEA-Werte den Zielen der 2000-Watt-Gesellschaft. Für die Bewertungsmethoden EI'99 und UBP 06 sind in der Literatur keine Ziele formuliert.

*Zielwerte für KEA und GWP*

Da die Zielwerte der 2000-Watt-Gesellschaft und des IPCC für die gesamte Umweltwirkung pro Person angegeben werden, müssen sie für die vorliegende Untersuchung auf die Umweltwirkung pro Person für Wohnen (inkl. verknüpfter Prozesse) umgerechnet werden. Für die Umrechnung werden Angaben aus Koschenz & Pfeiffer (2005, Abb. 7) zum gesamten Primärenergieverbrauch für das Jahr 2000 verwendet. Es ergibt sich für Wohnen (Betrieb Wohnbauten + Industrie und Mobilität für Wohnbauwesen) ein Anteil am gesamten Energieverbrauch von 32%. Da für den zukünftigen Anteil des Wohnsektors am gesamten Energieverbrauch keine Abschätzungen existieren, werden als Wert für die Prognosen bis 2050 diese 32% aus dem Jahr 2000 verwendet.

*Umrechnung auf Leistung „Wohnen“*

Für das GWP des Wohngebäudeparks wurden Ziele vom IPCC übernommen. Um einen langfristigen Temperaturanstieg weltweit auf 2 °C begrenzen zu können, fordert der IPCC-Report eine jährliche CO<sub>2</sub>-Emission von maximal 10 Gt weltweit. Bei einer angenommenen zukünftigen Weltbevölkerung von 10 Mrd. Menschen ergibt sich so 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Emission pro Kopf und Jahr, was einer ständigen fossilen Leistung von 500 W entspricht (IPCC aus: Zimmermann et al. 2005). Als Zielgrösse für das GWP wird in der vorliegenden Prognose folglich 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Emission pro Person verwendet, was für den Wohnsektor mit einem Anteil von 32% am Energieverbrauch 0.32 t CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr ergibt.

*Ziele GWP aus IPCC-Report*

Die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft sind zum einen, dass, wie vom IPCC gefordert, maximal 500 W Leistung durch fossile Energieträger erzeugt werden und zum anderen, dass aus Gründen der rationellen Ressourcennutzung nicht mehr als 2000 W pro Person an Leistung benötigt werden sollen. Um realistische Wege hin zur 2000-Watt-Gesellschaft aufzuzeigen, entwerfen viele Autoren abgeschwächte Zielvorgaben für das Jahr 2050 und sehen die Realisierung einer 2000-Watt-Gesellschaft für die Jahre 2150 - 2200 als möglich an<sup>13</sup>.

*Ziele KEA von 2000-Watt-Gesellschaft*

### Zeitlich abgestufte Zielwerte für KEA

In der Literatur finden sich zahlreiche Zielwerte für verschiedene Zeithorizonte, weswegen in der vorliegende Studie für das Jahr 2050 ein Wertebereich angegeben wird, in dem die Umweltwirkungen des Gebäudeparks zu liegen kommen sollten. Zusätzlich wird der endgültige Zielwert für 2150 - 2200 angegeben. Da im KEA der vorliegenden Studie auch Nuklearenergie berücksichtigt wird, werden aus der Literatur Zielwerte übernommen, in die auch diese Form der Primärenergie eingegangen ist. Die Zielwerte sind einer Zusammenstellung aus Koschenz & Pfeiffer (2005) entnommen. Für das Jahr 2050 wird ein Bereich von 2360 W (Nakicenovic et al. 1998) und 2850 W (Wokaun 2003) gewählt und für das Jahr 2200 ein Wert von 575 W (Wokaun 2003). Umgerechnet auf den Wohnsektor mit seinem Anteil von 32% am Energieverbrauch ergibt sich ein Zielbereich für das Jahr 2050 von 750 - 910 W pro Person und Jahr und ein Zielwert für das Jahr 2200 von 180 W/(P a).

## 9.2 Ergebnisse der Prognosen

### 9.2.1 KEA nicht erneuerbar

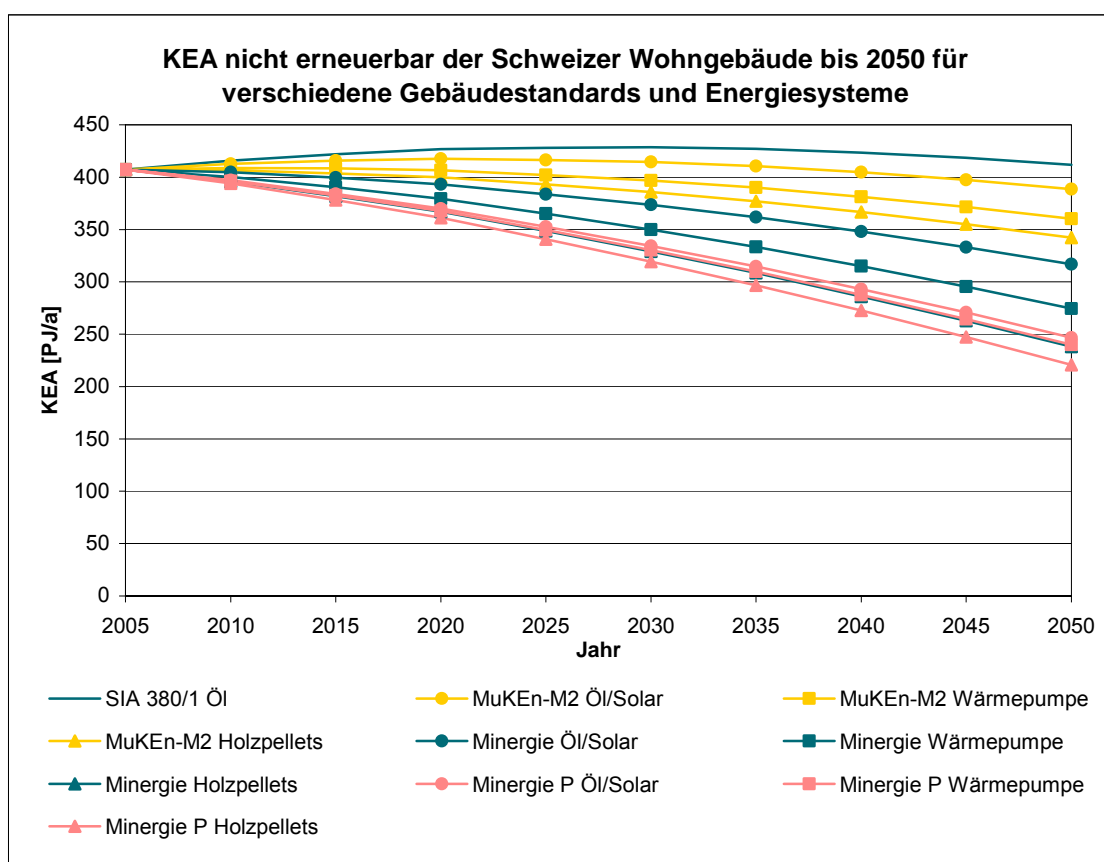
Der für die Erstellung der Prognosen benötigte Wert für den KEA nicht erneuerbar des Altbestandes setzt sich wie in Tabelle 45 beschrieben zusammen. Aus dem KEA von 917 MJ<sub>eq</sub>/(m<sup>2</sup> EBF a) und dem KEA für EFH-Sanierung nach SIA 380/1 (680 MJ<sub>eq</sub>/(m<sup>2</sup> EBF a) aus Tabelle 37) ergibt sich ein Quotient von 1.35, der für die Berechnung der Umweltauswirkung des Altbestandes bei GWP, UBP und EI'99 verwendet wird.

Energetische Grösse	Einheit	Wert
Energiekennzahl <sup>a)</sup>	MJ/(m <sup>2</sup> EBF a)	635
KEA ohne Rohbau <sup>b)</sup>	MJ/(m <sup>2</sup> EBF a)	857
KEA Rohbau <sup>b)</sup>	MJ/(m <sup>2</sup> EBF a)	60
KEA (= KEA o. Rohbau + KEA Rohbau)	MJ/(m <sup>2</sup> EBF a)	917

Quelle: (a) Eckerle & Masuhr 1996 aus: Koschenz & Pfeiffer 2005 und (b) eigene Berechnungen

**Tabelle 45**    *Energiekennzahl und KEA nicht erneuerbar des Gebäudealtbestandes*

Der KEA nicht erneuerbar des Schweizer Wohngebäudeparks liegt im Jahr 2005 bei ca. 400 PJ pro Jahr (Abbildung 75). Würde ausschliesslich mit dem SIA-380/1-Standard gebaut, käme der KEA nach einer zwischenzeitlichen Verschlechterung im Jahr 2050 wieder bei diesem Startwert zu liegen. Mit MuKEN-M2 wird maximal eine Reduktion von 16% (bezogen auf den Startwert 2005) erreicht. Die stärkste Reduktion des KEA nicht erneuerbar von 45% wird mit der Kombination Minergie-P Holzpellets erreicht. Eine ähnlich gute Reduktion wird mit den anderen Minergie-P Kombinationen und mit Minergie Holzpellets erreicht.



**Abbildung 75** Prognose des Kumulierten Energieaufwandes nicht erneuerbar (KEA) des Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen (je Kurve alle Neubauten und Sanierungen ausschliesslich gemäss einer Kombination).

Die Darstellung des KEA pro Person in Abbildung 76 gibt einen ähnlichen Kurvenverlauf wie für den gesamten KEA. Die Leistung, die

2005 pro Person für Wohnen aufgewendet wird, beträgt 1730 Watt. Keiner der untersuchten Kombinationen erreicht den Zielbereich von 2050, wobei Minergie-P Holzpellets mit 950 W nahe an die obere Grenze von 910 W herankommt. Auch die anderen Minergie-P Kombinationen entwickeln sich deutlich in Richtung Zielbereich. Bei Minergie ist dies nur zusammen mit Holzpellets der Fall. Alle anderen Standards ergeben wenig Verringerung der Umweltwirkung bis hin zu einer Verschlechterung. Zur Erreichung des Zielwertes von 180 W ab den Jahren 2150 - 2200 ist eine weitere massive Reduktion des KEA nicht erneuerbar notwendig.

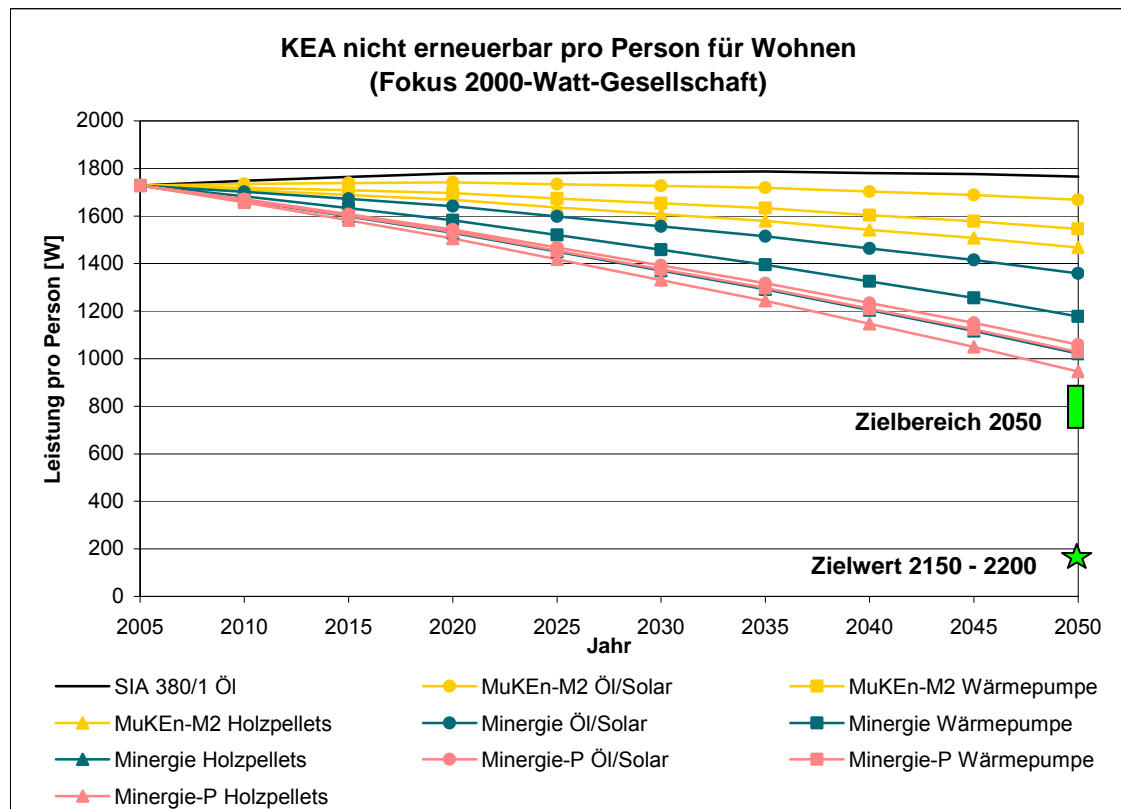


Abbildung 76 Prognose des Kumulierten Energieaufwandes nicht erneuerbar (KEA) pro Kopf für den Schweizer Wohngebäudepark bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen. Ziele für die 2000-Watt-Gesellschaft gemäss verschiedener Autoren (siehe Kapitel 9.1.3).



### 9.2.2 GWP 100 a

In der Prognose des GWP 100 a (Abbildung 77) kommen die Kurven der Energiesysteme Holzpellets und Wärmepumpe für jeden Baustandard aufeinander zu liegen. Das Treibhauspotential des Wohngebäudeparks liegt im Jahr 2005 bei 27 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr. Beim SIA-380/1-Standard zeigt sich wieder eine leichte Verstärkung der Umweltwirkung bis 2050. Mit MuKEN-M2 kann maximal eine Reduktion des GWP von 15% gegenüber 2005 erreicht werden, mit Minergie 44% (Holz und Wärmepumpe) und mit Minergie-P 47% (Holz und Wärmepumpe) auf 14 Mio. t CO<sub>2</sub>-eq/a.

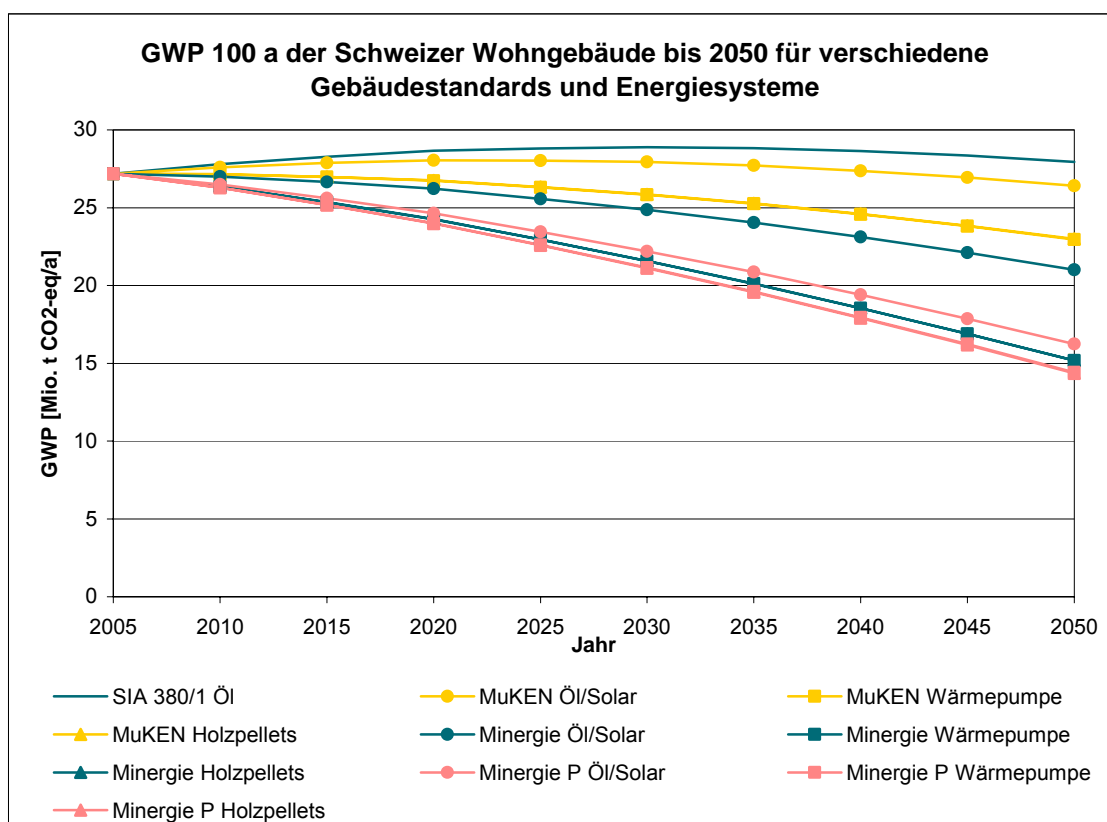
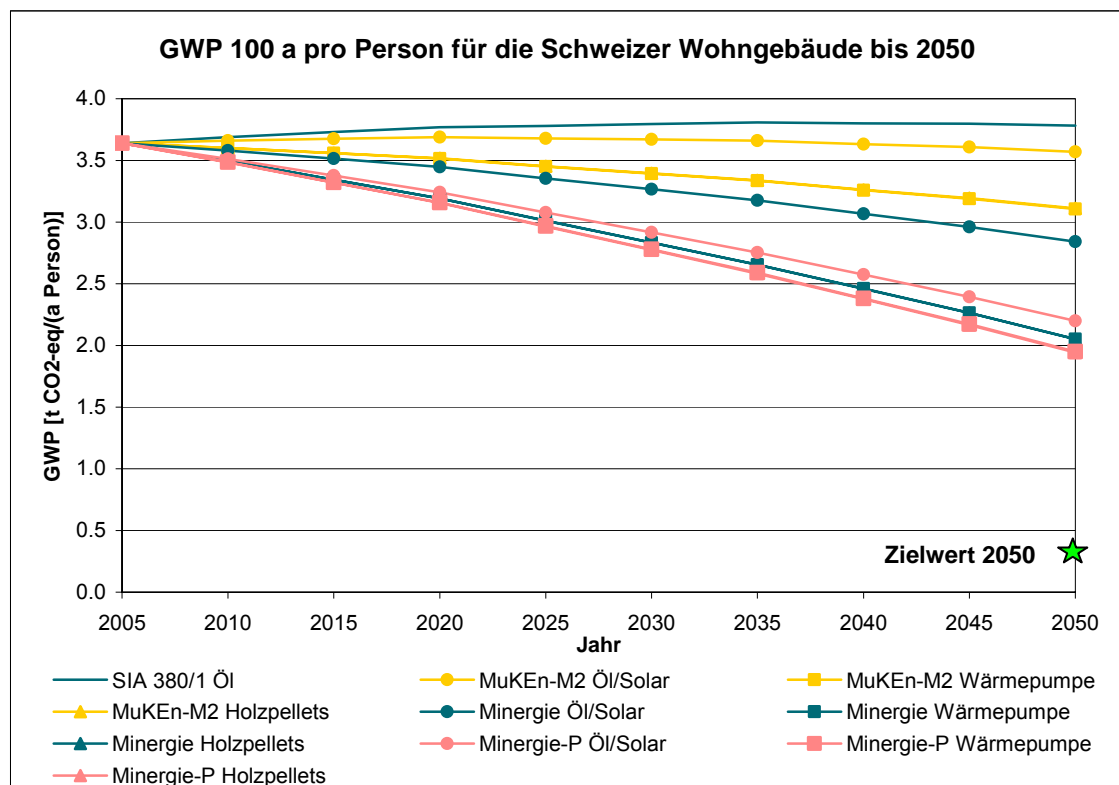


Abbildung 77 Prognose des Treibhauspotentials 100 a (Global Warming Potential, GWP) des Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen (je Kurve alle Neubauten und Sanierungen ausschliesslich gemäss einer Kombination)

Aus der Darstellung des GWP pro Person (Abbildung 78) lässt sich entnehmen, dass 2005 pro Person 3.6 t CO<sub>2</sub>-eq für Wohnen emittiert wurde. Die relativen Reduktionen der Umweltwirkung durch die einzelnen Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen sind gleich denen in Abbildung 77. Die Gegenüberstellung mit dem Ziel des IPCC von 0.32 t CO<sub>2</sub>-eq pro Person für Wohnen zeigt, dass diese Zielvorgabe bei weitem nicht erreicht wird.

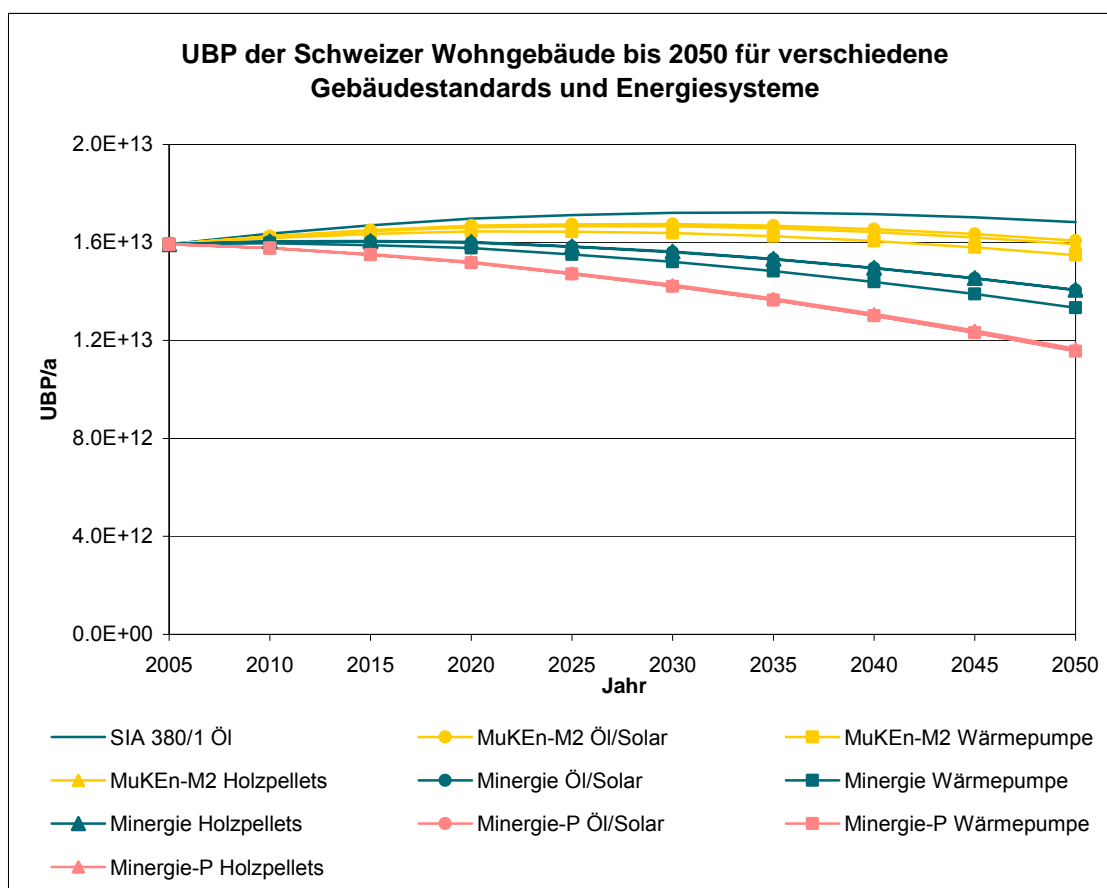


**Abbildung 78** Prognose des Global Warming Potential 100 a (GWP) pro Kopf für den Schweizer Wohngebäudepark bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen. Zielwert für 2050 gemäss IPCC (siehe Kapitel 9.1.3).

### 9.2.3 UBP 2006

Abbildung 79 zeigt die Bewertung des Wohngebäudeparks mit der Methode der ökologischen Knappheit 2006 (UBP 06). Im Jahr 2005 werden 16 Billionen UBP durch den Wohngebäudepark verursacht.

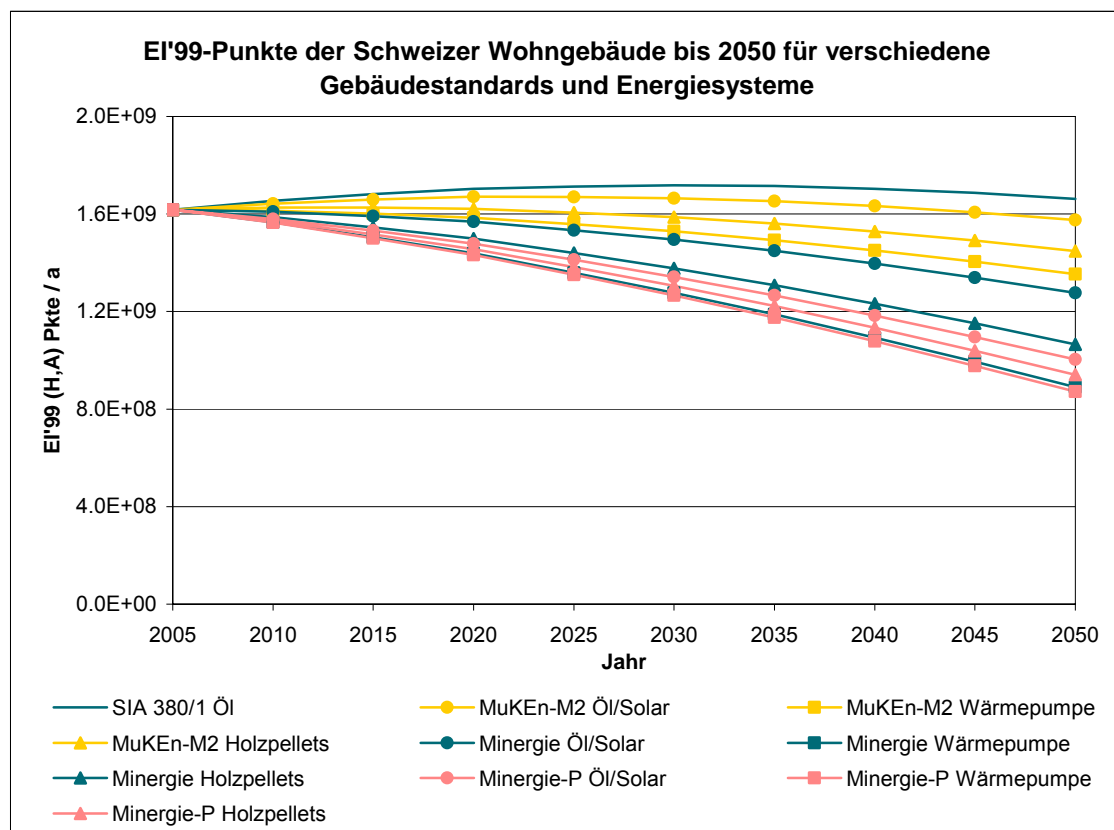
Die Baustandards SIA 380/1 und MuKEn-M2 bewirken zwischenzeitlich eine Verstärkung der Belastung und liegen 2050 über oder nur knapp unter dem Startwert von 2005. Mit Minergie kann in Kombination mit einer Wärmepumpe eine maximale Reduktion um 16% bezogen auf 2005 bewirkt werden. Die Kombinationen von Minergie-P mit den Energiesystemen erreichen alle eine Reduktion um 26%.



**Abbildung 79** Prognose der Umweltbelastungspunkte 2006 (Methode der ökologischen Knappheit) des Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen (je Kurve alle Neubauten und Sanierungen ausschliesslich gemäss einer Kombination)

### 9.2.4 Eco-indicator 99

Der Schweizer Wohngebäudepark erzeugt 2005 eine Umweltbelastung von 1.6 Milliarden EI'99-Punkten (H, A) (Abbildung 80). Auch bei dieser Bewertungsmethode führt die Verwendung des SIA 380/1-Standards zu einer Verstärkung der Umwelteinwirkung bis 2050. Mit maximal 16% Reduktion bezogen auf den Startwert 2005 erwirkt MuKEn-M2 wenige Verbesserungen. Die stärkste Reduktion wird mit der Verwendung von Wärmepumpen bei Minergie-P und Minergie erreicht, mit 46 respektive 45% Reduktion, was zu einer Belastung von circa 0.9 Mrd. EI'99-Punkten führt. Ein ähnlicher Wert wird von der Kombination Minergie-P mit Holzpellets erreicht.



**Abbildung 80** Prognose der Eco-indicator-99-Punkte (EI'99 H, A) des Schweizer Wohngebäudeparks bis 2050 für verschiedene Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen (je Kurve alle Neubauten und Sanierungen ausschliesslich gemäss einer Kombination)

### 9.2.5 Prinzipielle Erreichbarkeit des IPCC-Ziels

Um zu testen, ob der Schweizer Wohngebäudepark mit den heutigen Standards bis ins Jahr 2050 prinzipiell die Vorgaben des Kyoto-Protokolls erreichen könnte, wird in einer weiteren Modellierung die Umweltwirkungen unter der Annahme berechnet, dass der gesamte Wohngebäudepark im Jahr 2050 auf die gemäss Treibhauspotential beste Kombination aus Gebäudestandard und Energiesystem umgestellt wird. Für diese Modellierung wird also - im Widerspruch zu der Prognose der Energiekennzahlen (Kapitel 8) - davon ausgegangen, dass 2050 kein Altbestand mehr besteht.

*Ziel der Modellierung*

Die Berechnung wurde gemäss der Ergebnisse des GWP mit der Kombination Minergie-P Holzpellets durchgeführt. Weiter wurde angenommen, dass jeweils die Hälfte der Energiebezugsfläche des Altbestandes im Jahr 2050 (Abbildung 74) vollsanziert wurde respektive durch Neubaufläche ersetzt wurde.

*Vorgehen*

Die Berechnung ergibt, dass mit 0.53 t CO<sub>2</sub>-eq/(a P) die Zielvorgabe des IPCC von 0.32 t CO<sub>2</sub>-eq/(a P) um 65% überschritten werden. Das heisst, selbst mit der besten der untersuchten Kombinationen kann das Ziel des IPCC bis ins Jahr 2050 prinzipiell nicht erreicht werden. Verglichen mit der heutigen CO<sub>2</sub>-eq-Emission pro Kopf und Jahr für den Wohngebäudepark (3.6 t) ist die Differenz zwischen den 0.53 und den 0.32 t CO<sub>2</sub>-eq/(a P) jedoch sehr gering.

*Ziel des IPCC nicht erreichbar*

Die Bewertung des gleichen Modells mit KEA nicht erneuerbar ergibt, dass mit berechneten 280 W/(a P) das generelle Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft von 180 W für Wohnen um etwa 55% überschritten wird. Auch hier ergibt sich durch den Vergleich mit dem Startwert 2005, dass die Überschreitung des Zielwertes als nicht sehr relevant angesehen werden kann.

*Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft nicht erreichbar*

Die Bewertung mit UBP 06 und EI'99 ist hier nicht sinnvoll, da die betrachtete Umstellung auf lediglich ein Energiesystem (Holzpellets) fiktiv ist und sehr einseitige Umweltbelastungen mit sich bringen würde. Realistisch ist vielmehr, dass die zukünftigen Energieversorgung des Wohngebäudeparks auf mehrere Energieträger abgestützt wird. Da die Berechnungen in diesem Kapitel auf einem sehr vereinfachten Modell basieren, sind die vorangehenden Aussagen zur prinzipiellen Erreichbarkeit der Ziele mit grösserer Ungenauigkeit behaftet.

*Aussagekraft der vorherigen Betrachtungen*

### 9.3 Vergleich der Prognosen und Schlussfolgerungen

*Was leisten die Prognosen?*

Die Prognosen verdeutlichen die Unterschiede zwischen den Ökobilanzen der verschiedenen Kombinationen von Energiesystemen und Baustandards. Zusätzlich werden die Unterschiede in Relation zur gesamten Umweltwirkung des Schweizer Wohngebäudeparks und zu Zielwerten gestellt, was eine weitere Beurteilung ermöglicht.

*Reduktion der Umweltwirkung*

Gemäss den Methoden KEA, GWP und EI'99 lässt sich zwischen 2005 und 2050 eine maximale Reduktion der Umweltbelastung von 45 bis 47% erreichen. Die Bewertungsmethoden liefern also sehr ähnliche Ergebnisse (auch ähnlich bezüglich der Rangfolgen der Baustandards und Energiesysteme). Anders die Methode der ökologischen Knappheit: hier ergibt die Prognose bis 2050 lediglich eine maximale Reduktion von 26%. Die Kombinationen von Baustandards und Energiesystemen ergeben bei den UBP 06 wiederum ähnliche Rangfolgen wie bei den anderen Bewertungsmethoden.

*Zielwerte nicht erreicht*

Durch die Gegenüberstellung der Umweltwirkungen mit Zielwerten für die Methoden KEA und GWP kann gezeigt werden, dass in keiner der Prognosen die anvisierten Ziele erreicht werden. Beim KEA wird der Etappenziel der 2000-Watt-Gesellschaft für das Jahr 2050 durch die beste Prognose (Minergie-P Holzpellets) knapp verfehlt. Beim GWP wird das Ziel des IPCC für das Jahr 2050 weit verfehlt.

*Heutige Baustandards verfehlen IPCC-Ziel prinzipiell*

Die Modellierung des gesamten Schweizer Wohngebäudeparks ausschliesslich mit Minergie-P Holzpellets (als der umweltverträglichsten Kombination gemäss GWP) zeigt, dass mit den untersuchten Baustandards die Ziele des IPCC für den Wohngebäudepark prinzipiell nicht erreicht werden können. Allerdings würden die Ziele relativ knapp verfehlt werden.

*Vergleich mit Literaturquelle*

Der Vergleich der vorliegenden Prognosen mit Koschenz & Pfeiffer (2005) - als einer aktuellen Untersuchung des Schweizer Wohngebäudeparks - zeigt, dass die günstigen Prognosen dieser Autoren nicht reproduziert werden können. Laut Koschenz & Pfeiffer können mit dem Minergie-P-Standard die Ziele der 2000-Watt-Gesellschaft erreicht werden, was laut der vorliegenden Studie nicht der Fall ist. Eine Ursache für die Differenzen in den beiden Studien kann die Tatsache sein, dass in der vorliegenden Studie von einem grösseren

EBF-Bestand und von einem grösseren Altbestand bis 2050 ausgegangen wird.

Die folgenden Betrachtungen sind für die Energiesysteme nur für die in den heutigen Baustandards festgelegten Energiekennzahlen gültig. Da pro Baustandard für die Energiesysteme verschiedene Energiekennzahlen festgelegt sind (Kapitel 3.2), sind die Rangfolgen der Energiesysteme nicht fix. Falls die energetischen Vorgaben für die Energiesysteme angeglichen werden, können sich andere Umweltwirkungen und Rangfolgen ergeben.

*Ergebnisse bei  
Energiesystemen  
abhängig von EKZ*

In den Prognosen wird der Baustandard Minergie-P jeweils am besten bewertet (Reduktion von 45 - 47% bzw. 26%), wobei die Kombinationen von Minergie-P mit Holzpellets und Wärmepumpe (CH-Mix) die geringsten Umweltwirkungen verursachen.

*Minergie-P*

Der Baustandard Minergie in Kombination mit Holzpellets oder Wärmepumpe liegt teils sehr nahe an den besten Ergebnissen von Minergie-P. Minergie mit Öl/Solar wiederum schneidet deutlich schlechter ab. Die Streuung der Ergebnisse zeigt, dass die Wahl des Energiesystems bei Minergie, anders als bei Minergie-P, einen grossen Einfluss auf die Umweltwirkung des Gebäudes hat.

*Minergie*

MuKEN Modul 2 bringt unabhängig vom gewählten Energiesystem minimale bis geringe Verbesserungen. SIA 380/1 bringt meist leichte Verschlechterung gegenüber 2005, d.h. die Umweltwirkungen der neu erbauten Flächen können nicht durch die Sanierungen beim bestehenden Gebäudepark kompensiert werden.

*MuKEN Modul 2 /  
SIA 380/1*

Mit den heute in den Baustandards festgelegten Energiekennzahlen schneiden Wärmepumpe und Holzpellets am besten ab. Bei Wärmepumpen ist zu beachten, dass sie nur mit Schweizer Strommix (Kapitel 6.2) so positiv bewertet werden. Mit Erhöhung des Anteils fossiler Energieträger bei der Stromproduktion, erzeugen Wärmepumpen bei GWP, EI'99 und UBP deutlich grössere Umweltbelastungen.

*Rangfolge Energie-  
systeme*

Das Energiesystem Stückholz/Solar ging nicht in die Prognosen ein, da dieser Standard nur für EFH Neubau formuliert ist. Bei den Bewertungsmethoden KEA und GWP schneidet dieses Energiesystem teils deutlich besser ab, als das beste, das in die Prognosen eingegangen ist (Wärmepumpe oder Holzpellets). Bei EI'99 und UBP 06 wiederum schneidet Stückholz/Solar teils deutlich schlechter ab, als das beste in die Prognose eingegangene Energiesystem.

*Einfluss  
Sanierungsrate*

Die geringe Abnahme der Umweltwirkungen in den Prognosen bis 2050 hat auch eine Ursache in der geringen Sanierungsrate. Durch eine verstärkte Sanierungstätigkeit (nach Minergie-P und mit den besten Energiesystemen) kann der Einfluss des energetisch problematischen Altbestandes verringert und eine beschleunigte Abnahme der Umweltwirkung des Wohngebäudeparks erreicht werden.



## 10 Welche Anforderungen lassen sich an zukünftige Energiestandards formulieren?

Die aus den Untersuchungen ableitbaren Anforderungen an die zukünftigen Energiestandards hängen stark von den anvisierten Zielsetzungen im energiepolitischen Gesamtkontext der Schweiz ab.

*Zielsetzungen entscheidend*

Es können drei sich teilweise widersprechende Zielsetzungen unterschieden werden:

- a) Erreichen der Anforderungen an die 2000-Watt-Gesellschaft (Zielgrösse KEA)
- b) Minimierung der Umweltbelastungen (Zielgrösse UBP 06, EI'99)
- c) Reduktion der Treibhausgasemissionen (Zielgrösse GWP)

Die Anforderungen an zukünftige Energiestandards sollten so definiert werden, dass ein möglichst grosses Spektrum dieser Ziele abgedeckt werden kann.

Aus den Zielsetzungen der 2000-Watt-Gesellschaft folgt, dass die Energiestandards Anforderungen an den einzusetzenden Primärenergieträger beinhalten sollten. Dabei erreichen Gebäude/Energiesysteme mit Holzenergie sowie Minergie-P-Bauten die besten Werte. Es sollten auch für Gebäude mit Holzenergie hohe Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt werden. Beim Strommix führt ein Wechsel hin zu zertifiziertem Ökostrom zu deutlich tieferen KEA-Werten (KEA nicht erneuerbar).

*Zielgrösse 2000-Watt-Gesellschaft*

Das Ziel einer Reduktion der Umweltbelastungen (UBP) ist mit den heutigen Energiestandards schwierig zu erreichen, wenn keine Anforderungen an die Herstellung und die Wahl der Baumaterialien gemacht erfolgen. Bei den Neubauten resultieren bei Minergie-P-Bauten, unabhängig von den Energiesystemen, Reduktionen gegenüber dem Standard SIA 380/1 von rund 50%. Dass keine grösseren Reduktionen erreicht werden können, ist auf den hohen Anteil der baulichen Massnahmen (Rohbau sowie zusätzliche wärmetechnische Massnahmen) an der gesamten Umweltbelastung zurückzuführen. Bei den Sanierungen hingegen führt der Minergie-P-Standard zu

*Zielgrösse Umweltbelastung*

einer Reduktion der Umweltbelastungen von rund 70%, da der Rohbau bereits besteht.

Eine Reduktion der Umweltbelastungen kann deshalb über die Wahl der Baumaterialien, eine Verbesserung der Prozesse zu deren Herstellung, über die Verbesserung ausgewählter Energiesysteme (beispielsweise eine Reduktion der Partikelemissionen bei Holzfeuerungen) und durch die Wahl umweltfreundlicher Stromprodukte (zertifizierter Ökostrom) zusätzlich zu einer Verschärfung der Anforderungen der Energiestandards erfolgen.

*Zielgrösse Klimaschutz*

Eine möglichst deutliche Reduktion der Klimagasemissionen bedingt den Einbezug des GWP der Energiesysteme in die energetischen Anforderungen an Bauten. Vor allem im Sanierungsbereich zeigt sich, dass das Energiesystem den grössten Einfluss auf die Treibhausgasemissionen hat. Auch wenn als Strommix GuD-Strom angenommen wird, liegen die resultierenden Emissionen von Wärmepumpen bei Minergie-Sanierungen deutlich unter den Treibhausgas-Emissionen der fossilen Varianten.

Die Minergie-Anforderungen könnten bei Sanierungen noch deutlich gesenkt werden und liessen sich trotzdem mit beschränktem Aufwand mittels Wärmepumpen erreichen. Dies auch im Hinblick auf zukünftig zu erwartende bessere Wirkungsgrade der Wärmepumpen.

*Mehr Klimaschutz durch deutlich tiefere Grenzwerte bei Minergie-Sanierungen.*

Die grössten Einsparungen an Treibhausgasemissionen lassen sich also durch den Einbezug des Kriteriums GWP bei den Sanierungen erreichen. Der Einbezug des Kriteriums GWP kann durch tiefere Grenzwerte bei Minergie-Sanierungen erreicht werden. Diese tieferen Grenzwerte führen zu mehr Wärmepumpen und damit tieferen CO<sub>2</sub>-Emissionen im Sanierungsbereich - auch unter Einbezug der Erzeugung der zusätzlichen Elektrizität mittels GuD-Kraftwerken.

*Reduzierte Anforderungen bei WP und Holzheizungen aus Umweltsicht nicht gerechtfertigt.*

Die heute bei Minergie-Bauten bestehenden, vergleichsweise moderaten Anforderungen an den Heizenergiebedarf der Gebäude mit WP- und Holzheizungen, sind aus Umweltsicht nicht gerechtfertigt und sollten angepasst werden. Eine Verbesserung kann durch eine Anpassung der Gewichtung von Elektrizität und Holz im energetischen Nachweis erreicht werden.

# Anhang

## A-1 Abkürzungsverzeichnis

A	Aussenfläche des Gebäudes
EBF	Energiebezugsfläche
CO <sub>2</sub> -eq	CO <sub>2</sub> -Äquivalente
A / EBF	Gebäudehüllziffer
EFH	Einfamilienhaus
EI'99	Eco-indicator '99
EPS	Expandierter Poly-Styrol-Hartschaum
F	Fläche
GuD	Gas- und Dampfturbinenkraftwerk
GWP	Treibhauspotential
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KEA	Kumulierter Energieaufwand
n <sub>L50</sub>	Luftdichtigkeit der Gebäudehülle
MFH	Mehrfamilienhaus
MuKE n	Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich
UBA	
UBP	Umweltbelastungspunkte
q <sub>H-MP*max</sub>	Spezifischer, maximaler Wärmeleistungsbedarf (für Minergie-P)
Q <sub>h</sub>	Heizwärmebedarf
Q <sub>T</sub>	Transmissionswärmeverlust
Q <sub>ug</sub>	Wärmegewinne
Q <sub>v</sub>	Lüftungswärmeverlust

## A-2 Tabellarische Übersichten

## A-2.1 Übersicht der Kennziffern und Endenergieverbräuche der einzelnen Energiestandards

### A-2.1.1 EFH Neubauten

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert		Nutzenergie				Nutzungsgrade		Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfsenergien
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT-Qug	Qv	Kennziffer (Qt-Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar (Nutz-energie)	Biomasse	Strom	Strom Lüftung
EFH NEUBAU														
Alle Werte in MJ/m² a														
SIA 380/1														
Heizöl	100% fossil	320		270	204	66	100%	85%	85%	376				
MuKen Modul2														
Heizöl/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmedämmung (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	320		229	163	66	80%	91%	88%	271	33	0	0	0
Wärmepumpe	100% Sole Wasser Wärmepumpen	320		270	204	66	100%	400%	270%	0	0	0	86	0
Holzfeuerung (Pellets)	100% Holzfeuerung, Pellets	320		270	204	66	100%	85%	85%	0	0	376	0	0
Stückholz/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 100 % gegenüber SIA 380/1	320		270	204	66	100%	75%	75%	0	33	382	0	0
Erdgas/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	320		229	163	66	80%	95%	92%	259	33	0	0	0
Minergie														
Heizöl/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 34 % gegenüber SIA 380/1	266	151	109	69	40	34%	91%	88%	131	40	0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	266	151	189	149	40	73%	400%	270%	0	0	0	66	9
Holzfeuerung (Pellets)	100% Holzfeuerung, Pellets	266	151	172	133	40	65%	85%	85%	0	0	261	0	9

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert		Nutzenergie				Nutzungsgrade		Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfs- energien
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT- Qug	Qv	Kennziffer (Qt-Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar (Nutz- energie)	Biomasse	Strom	Strom Lüftung
Stückholz/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 72 % gegenüber SIA 380/1	266	151	186	147	40	72%	75%	75%	0	40	262	0	9
Erdgas/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 37 % gegenüber SIA 380/1	266	151	115	75	40	37%	95%	92%	132	40	0	0	9
<b>Minergie-P</b>														
Heizöl/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 13 % gegenüber SIA 380/1	104	108	52	27	25	13%	91%	88%	68	40	0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	104	108	52	27	25	13%	400%	270%	0	0	0	32	9
Holzfeuerung (Pellets)	100% Holzfeuerung, Pellets	104	108	52	27	25	13%	85%	85%	0	0	120	0	9
Stückholz/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 13 % gegenüber SIA 380/1	104	108	52	27	25	13%	75%	75%	0	40	83	0	9
Erdgas/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 13 % gegenüber SIA 380/1	104	108	52	27	25	13%	95%	92%	66	40	0	0	9

## A-2.1.2 MFH Neubauten

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert		Nutzenergie			Nutzungsgrade			Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfs- energien Strom Lüftung
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT- Qug	Qv	Kennziffer (Qt-Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar	Biomasse	Strom	
MFH NEUBAU		Alle Werte in MJ/m² a												
SIA 380/1														
Heizöl	100% fossil	272		197	131	66	100%	85%	85%	320				
MuKen Modul2														
Heizöl/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 80 % gegenüber SIA 380/1	272		171	105	66	80%	91%	88%	235	33	0	0	0
Wärmepumpe	100% Sole Wasser Wärmepumpen	272		197	131	66	100%	400%	270%	0	0	0	77	0
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung, Pellets	272		197	131	66	100%	85%	85%	0	0	320	0	0
Holz/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 100 % gegenüber SIA 380/1	272		197	131	66	100%	75%	75%	0	33	318	0	0
Erdgas/Solar	3% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 80 % gegenüber SIA 380/1	272		171	105	66	80%	95%	92%	225	33	0	0	0
Minergie														
Heizöl/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 45 % gegenüber SIA 380/1	233	151	99	59	40	45%	91%	88%	132	54	0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	233	151	130	90	40	69%	400%	270%	0	0	0	60	9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung, Pellets	233	151	130	90	40	69%	85%	85%	0	0	241	0	9
Holz/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 69 % gegenüber SIA 380/1	233	151	130	90	40	69%	75%	75%	0	54	201	0	9
Erdgas/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 47 % gegenüber SIA 380/1	233	151	101	62	40	47%	95%	92%	129	54	0	0	9
Minergie-P														

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert		Nutzenergie			Nutzungsgrade			Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfs- energien Strom Lüftung
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT- Qug	Qv	Kennziffer (Qt-Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar	Biomasse	Strom	
Heizöl/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 10 % Qh nach SIA	114	108	39	13	25	10%	91%	88%	66	54	0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	114	108	39	13	25	10%	400%	270%	0	0	0	37	9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung	114	108	39	13	25	10%	85%	85%	0	0	134	0	9
Holz/Solar	Stückholz, Sonnenkollektor	114	108	39	13	25	10%	75%	75%	0	54	79	0	9
Erdgas/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 10 % Qh nach SIA	114	108	39	13	25	10%	95%	92%	63	54	0	0	9

## A-2.1.3 EFH Sanierungen

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert I	Grenzwert	Nutzenergie				Nutzungsgrade		Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfs- energien Strom Lüftung	
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT- Qug	Qv	Kennzif- fer (Qt- Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar	Biomasse	Strom		
EFH Sanierung		Alle Werte in MJ/m <sup>2</sup> a													
SIA 380/1															
Heizöl	100% fossil	428		378	312	66	100%	85%	85%	504					
Minergie															
Heizöl/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 62 % gegenüber SIA 380/1	374	288	233	193	40	62%	91%	88%	267	40		0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	374	288	289	250	40	80%	400%	270%	0	0		0	91	9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung, Pellets	374	288	289	250	40	80%	85%	85%	0	0		399	0	9
Holz/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	374	288	289	250	40	80%	75%	75%	0	40		399	0	9
Erdgas/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 66 % gegenüber SIA 380/1	374	288	246	206	40	66%	95%	92%	269	40		0	0	9
Minergie-P															
Heizöl/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 14 % Qh nach SIA	104	108	52	44	25	13%	91%	88%	68	40		0	0	9
Wärmepumpe	100% WP	104	108	52	47	25	13%	400%	270%	0	0		0	32	9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung	104	108	52	47	25	13%	85%	85%	0	0		120	0	9
Holz/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz (Qt-Qug) 15 % gegenüber SIA 380/1	104	108	52	47	25	13%	75%	75%	0	40		83	0	9
Erdgas/Solar	4% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärme- schutz 15 % Qh nach SIA	104	108	52	47	25	13%	95%	92%	66	40		0	0	9



## A-2.1.4 MFH Sanierungen

Gebäude und Energiesystem	Beschreibung	Grenzwert		Nutzenergie				Nutzungsgrade		Energiebereitstellung Heizung und Warmwasser				Hilfs-energien Strom Lüftung	
		Nutzenergie total	Endenergie gewichtet	Qh	QT-Qug	Qv	Kennziffer(Qt-Qug)	eta H	eta WW	Fossil	Solar (Nutz-energie)	Bio-masse	Strom		
MFH SANIERUNGEN															
Alle Werte in MJ/m² a															
SIA 380/1															
Heizöl	100% fossil	351		276	210	66	100%	85%	85%	413					
Minergie															
Heizöl/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	311	288	207	168	40	80%	91%	88%	252	54	0	0		9
Wärmepumpe	100% WP	311	288	207	168	40	80%	400%	270%	0	0	0	80		9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung, Pellets	311	288	207	168	40	80%	85%	85%	0	0	332	0		9
Holz/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	311	288	207	168	40	80%	75%	75%	0	54	305	0		9
Erdgas/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 80 % gegenüber SIA 380/1	311	288	207	168	40	80%	95%	92%	241	54	0	0		9
Minergie-P															
Heizöl/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz 13 % Qh nach SIA	114	108	39	13	25	10%	91%	88%	66	54	0	0		9
Wärmepumpe	100% WP	114	108	39	13	25	10%	400%	270%	0	0	0	37		9
Holzfeuerung	100% Holzfeuerung	114	108	39	13	25	10%	85%	85%	0	0	134	0		9
Holz/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz (Qt-Qug) 13 % gegenüber SIA 380/1	114	108	39	13	25	10%	75%	75%	0	54	79	0		9
Erdgas/Solar	5% Kollektorfläche bezogen auf EBF; Wärmeschutz 13 % Qh nach SIA	114	108	39	13	25	10%	95%	92%	63	54	0	0		9



## A-2.2 Inputdaten des Referenzgebäudes

	Name	Location	Infrastructure	Process	Unit	building shell, row one-family house, massive	Uncertainty Type	Standard Deviation 95%	General Comment
product	Location Infrastructure Process Unit					CH 1 m2a			
technosphere	building shell, row one-family house, massive	CH	1	m2a	1				
	diesel, burned in building machine	GLO	0	MJ	3.82E+0	1	1.33	(2,3,3,2,3,5); literature	
	electricity, medium voltage, at grid	CH	0	kWh	6.08E-1	1	1.33	(2,3,3,2,3,5); literature	
	cement, unspecified, at plant	CH	0	kg	2.92E+0	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 40 a	
	concrete, normal, at plant	CH	0	m3	2.65E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, concrete 2200 kg /m3, life span 80 a	
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	1.55E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, 3 weight-% in concrete, life span 80a	
	bitumen sealing, at plant	RER	0	kg	1.93E-2	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 80 a	
	polyethylene, LDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	6.77E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, PE sealing, life span 40a	
	rock wool, at plant	CH	0	kg	1.66E-2	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 40 a	
	brick, at plant	RER	0	kg	3.26E+0	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 80 a	
	fleece, polyethylene, at plant	RER	0	kg	1.88E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 40 a (roof)	
	foam glass, at plant	CH	0	kg	5.64E-2	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 80 a	
	gypsum fibre board, at plant	CH	0	kg	2.02E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 80 a	
	roof tile, at plant	RER	0	kg	6.17E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 80 a	
	particle board, indoor use, at plant	RER	0	m3	2.35E-4	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 40 a (roof)	
	cover coat, mineral, at plant	CH	0	kg	8.12E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span indoor/outdoor plaster 30 a	
	bronze, at plant	CH	0	kg	1.23E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	steel, low-alloyed, at plant	RER	0	kg	4.38E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	drawing of pipes, steel	RER	0	kg	4.38E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	tube insulation, elastomere, at plant	DE	0	kg	3.42E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	pump 40W, at plant	CH	1	unit	6.06E-4	1	3.05	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	hot water tank 600l, at plant	CH	1	unit	1.62E-4	1	3.05	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 20 a	
	sawn timber, hardwood, planed, air / kiln dried, u=10%, at plant	RER	0	m3	8.61E-4	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span parquet 20 a, roof 80a, door 5 cm, 40 a life span	
	window, wooden frame, double glazing, at plant	RER	0	m2	3.10E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature, life span 30 a	
	transport, lorry 28t	CH	0	tkm	4.58E-1	1	2.09	(4,5,na,na,na,na); standard distances	
	transport, freight, rail	CH	0	tkm	1.51E+0	1	2.09	(4,5,na,na,na,na); standard distances	
	disposal, building, reinforcement steel, to sorting plant	CH	0	kg	1.55E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	CH	0	kg	2.92E+0	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, concrete, not reinforced, to final disposal	CH	0	kg	5.84E+0	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, mineral wool, to final disposal	CH	0	kg	1.66E-2	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, brick, to final disposal	CH	0	kg	3.26E+0	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, bitumen sheet, 1.5% water, to municipal incineration	CH	0	kg	1.93E-2	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, PE sealing sheet, to final disposal	CH	0	kg	6.77E-3	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, mineral plaster, to final disposal	CH	0	kg	8.12E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, waste wood, untreated, to final disposal	CH	0	kg	5.40E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
	disposal, building, reinforced plaster board, to final disposal	CH	0	kg	2.02E-1	1	1.22	(2,1,1,1,1,5); literature+own calculation	
Heat, waste	-	-	MJ	2.19E+0	1	1.33	(2,3,3,2,3,5); literature		

Tabelle 46: Eingabedaten des Referenzhauses nach (Lalive d'Epinay 2004)

## A-3 Bewertungsmethoden in Ökobilanzen

In den folgenden Unterabschnitten werden einige ausgewählte Bewertungsmethoden für Ökobilanzen kurz beschrieben und charakterisiert. Die Auswahl beinhaltet möglichst unterschiedliche Ansätze und stellt nicht den Anspruch, nur „Best practice“- Methoden zu enthalten. Für eine detailliertere Beschreibung der Methoden sei auf die jeweiligen Originalquellen verwiesen. Neben den Unterschieden in den Konzepten unterscheiden sich Bewertungsmethoden auch darin, welche Umwelteffekte überhaupt berücksichtigt werden (siehe Tab. A-1).

	<b>Umweltauswirkung</b> (nach Udo de Haes 1996:19)	<b>Treibhauseffekt</b> (GWP 2001, 100a)	<b>Ökologische Knappheit, 1997</b>	<b>Kumulierter Energieaufwand</b>	<b>Eco-indicator '99</b>
Ressourcen	Abiotische Ressourcen	Ø	√ <sup>1)</sup>	√ <sup>1)</sup>	√ <sup>6)</sup>
	Biotische Ressourcen	Ø	Ø	Ø	Ø
	Lebensräume/ Land	Ø	Ø	Ø	√
Emissionen	Klimaveränderung	√	√	Ø	√
	Ozonschichtabbau	Ø	√	Ø	√
	Humantoxische Wirkungen	Ø	√	Ø	√
	Ökotoxische Wirkungen	Ø	√	Ø	√
	Photooxidantenbildung	Ø	√	Ø	√
	Versäuerung <sup>3)</sup>	Ø	√	Ø	√
	Überdüngung <sup>2)</sup>	Ø	√	Ø	√
	Geruch	Ø	Ø	Ø	Ø
	Lärm	Ø	Ø	Ø	Ø <sup>9)</sup>
	Radioaktive Emissionen	Ø	Ø	Ø	√
	Unfallopfer	Ø	Ø	Ø	Ø
	Abfälle <sup>4)</sup>	Ø	√ <sup>5)</sup>	Ø	Ø

<sup>1)</sup>: Berücksichtigt werden nichterneuerbare Energieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle und Uran) sowie Wasserkraft bei der ökologischen Knappheit.

<sup>3)</sup>: Luft- und Wasseremissionen.

<sup>4)</sup>: Die mit der Entsorgung von Abfällen verursachte Energiebedarf resp. die verursachten Emissionen sind unter Luft- und Wasserverschmutzung berücksichtigt.

<sup>5)</sup>: Inklusive schwach-, mittel- und hochaktive Abfälle aus der Kernenergiekette.

<sup>6)</sup>: Inkl. nichterneuerbare Energieträger (aber ohne Uran).

<sup>9)</sup>: Müller-Wenk (1999) hat einen kompatiblen Vorschlag zur Lärmbewertung gemacht.

**Tab. A-1:**      *Übersicht über die in ausgewählten Ökobilanz-Bewertungsmethoden explizit berücksichtigten Umweltauswirkungen.*

Der geographische Geltungsbereich, der der Bestimmung der Gewichtungsfaktoren zugrunde liegt, variiert ebenfalls. So orientiert sich die Methode der ökologischen

Knappheit an schweizerischen, schwedischen, norwegischen, holländischen oder belgischen Umweltzielen, wogegen die Eco-indicator '99 Bewertungsmethode sich auf durchschnittlich europäische Verhältnisse bezieht. Der Bedarf nicht erneuerbarer Energie ausgedrückt als Kumulierter Energieaufwand (KEA) ist vom geographischen Anwendungsbereich unabhängig. Die Darstellung der Resultate erfolgt bei den meisten Methoden vollaggregierend, d.h. das Endergebnis wird durch eine Zahl ausgedrückt, kann aber bei den beiden Eco-indicator Methoden auch auf der Stufe Wirkungsbilanz erfolgen (Ergebnis der Charakterisierung). Einzig die wirkungsorientierte Klassifizierung gemäss CML/UBA sieht keine Vollaggregation vor, sondern zeigt die kumulierten Umweltwirkungen pro Umwelteffekt als Endergebnis.

### A-3.1 Berechnung des Primärenergieverbrauchs

In dieser Studie werden Umweltbelastungen zunächst anhand des Primärenergiebedarfs bewertet. Einige Auswertungen zeigen Bewertungen mit anderen Methoden. Diese Methoden werden im Anhang erläutert.

Die Definition von Primärenergie ist ein wichtiger normativer Schritt. Unterschiedliche Studien verwenden hierzu unterschiedliche Ansätze:

**Primärenergie** gemäss Energiestatistik (BFE 1999): Berücksichtigung fossiler Brennstoffe mit dem unteren Heizwert ohne vollständige Bereitstellungskette, Kernkraft 33% Effizienz bei der Erzeugung aus Uran, Wasserkraft 80% Effizienz bei der Umsetzung von potentieller Energie.

**Graue Energie** (Kasser & Pöll 1999): Nicht-erneuerbare Primärenergie wird berechnet mit dem unteren Heizwert fossiler Primärenergieträger, einem relativ tiefen Wert für Uran von 460 000 MJ-eq/kg, plus dem Energiewert der Wasserkraft (mechanische Energie auf der Turbinenschaufel, 82% bei Lauf- und 78% bei Speicherkraftwerken).

**Kumulierter Primärenergieaufwand:** In nachfolgender Tabelle werden die Umrechnungsfaktoren der ecoinvent Datenbank für den kumulierten Energieaufwand gezeigt die in dieser Studie verwendet werden. Für Module aus dieser Datenbank wird der Energiebedarf immer einschliesslich des gesamten Bereitstellungsaufwandes ausgewiesen. In unserer Studie für Holzprodukte wird im Folgenden nur der Verbrauch von fossiler und nuklearer Primärenergie addiert. Erneuerbare Energiequellen werden nicht weiter betrachtet.

Name	Category	SubCategory	Unit	cumulative energy demand fossil	cumulative energy demand nuclear	cumulative energy demand biomass	cumulative energy demand wind, solar, geothermal	cumulative energy demand water
SubCategory				non-renewable energy resources, fossil	non-renewable energy resources, nuclear	renewable energy resources, biomass	renewable energy resources, wind, solar, geothermal	renewable energy resources, water
Name				GLO	GLO	GLO	GLO	GLO
Location								
Unit				MJ-Eq	MJ-Eq	MJ-Eq	MJ-Eq	MJ-Eq
Coal, brown, in ground	resource	in ground	kg	9.90				
Coal, hard, unspecified, in ground	resource	in ground	kg	19.10				
Energy, geothermal	resource	in ground	MJ				1.00	
Energy, gross calorific value, in biomass	resource	biotic	MJ			1.00		
Energy, kinetic, flow, in wind	resource	in air	MJ				1.00	
Energy, potential, stock, in barrage water	resource	in water	MJ					1.00
Energy, solar	resource	in air	MJ				1.00	
Gas, mine, off-gas, process, coal mining	resource	in ground	Nm3	39.80				
Gas, natural, in ground	resource	in ground	Nm3	40.30				
Uranium, in ground	resource	in ground	kg		560'000.00			
Oil, crude, in ground	resource	in ground	kg	45.80				
Peat, in ground	resource	biotic	kg	9.90				

**Tabelle 47:** Umrechnungsfaktoren für die Bestimmung des Primärenergieverbrauchs bei Verwendung von Daten aus der Datenbank ecoinvent

## A-3.2 Klimaänderungspotential

Für diejenigen Substanzen, welche zur Verstärkung des Treibhauseffekts beitragen, wird das „global warming potential“ (GWP) nach IPCC (Albritton & Meira-Filho 2001; Houghton et al. 1996) als Wirkungsparameter beigezogen. Dabei werden Absorptionskoeffizienten für infrarote Wärmestrahlung, die Verweildauer der Gase in der Atmosphäre und die erwartete Immissionsentwicklung berücksichtigt. Für verschiedene Zeithorizonte (20, 100 oder 500 Jahre) wird dann die potentielle Wirkung eines Kilogramms eines Treibhausgases im Vergleich zu derjenigen eines Kilogramms CO<sub>2</sub> bestimmt. Somit können atmosphärische Emissionen in äquivalente Emissionsmengen CO<sub>2</sub> umgerechnet werden. Der kürzere Integrationszeitraum von 20 Jahren ist relevant, da dieser die Temperaturveränderungsrate massgeblich bestimmt, welche wiederum die erforderliche Adaptionfähigkeit für terrestrische Ökosysteme vorgibt. Die Verwendung der längeren Integrationszeiten von 500 Jahren entspricht auch etwa der Integration über einen unendlichen Zeithorizont und lässt Aussagen über das Potential der absoluten Veränderung zu (Meeresspiegelerhöhung, Veränderung der Durchschnittstemperatur). In Tab. A-2 sind die Treibhauspotentiale verschiedener Substanzen aufgeführt.

Explanation	Name SubCategory Name Location Unit	Cat enno	SubCategory	Unit	IPCC 2001 climate change GWP 20a GLO kg CO <sub>2</sub> -Eq	IPCC 2001 climate change GWP 100a GLO kg CO <sub>2</sub> -Eq	IPCC 2001 climate change GWP 500a GLO kg CO <sub>2</sub> -Eq
CO2	Carbon dioxide, biogenic	air	unspecified	kg	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0
CO2	Carbon dioxide, fossil	air	unspecified	kg	1.00E+0	1.00E+0	1.00E+0
CO	Carbon monoxide, biogenic	air	unspecified	kg	1.57E+0	1.57E+0	1.57E+0
CO	Carbon monoxide, fossil	air	unspecified	kg	1.57E+0	1.57E+0	1.57E+0
CHCl3	Chloroform	air	unspecified	kg	1.00E+2	3.00E+1	9.00E+0
N2O	Dinitrogen monoxide	air	unspecified	kg	2.75E+2	2.96E+2	1.56E+2
C2H2F4	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	air	unspecified	kg	3.30E+3	1.30E+3	4.00E+2
C2H3F3	Ethane, 1,1,1-trifluoro-, CFC-143a	air	unspecified	kg	5.50E+3	4.30E+3	1.60E+3
C2Cl3F3	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	air	unspecified	kg	6.10E+3	6.00E+3	2.70E+3
C2H3Cl2F	Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	air	unspecified	kg	2.10E+3	7.00E+2	2.20E+2
C2H4F2	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	air	unspecified	kg	4.10E+2	1.20E+2	3.70E+1
C2Cl2F4	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	air	unspecified	kg	7.50E+3	9.80E+3	8.70E+3
C2H3ClF2	Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142	air	unspecified	kg	5.20E+3	2.40E+3	7.40E+2
C2HCl2F3	Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-tri-fluoro-, HCFC-123	air	unspecified	kg	3.90E+2	1.20E+2	3.60E+1
C2HClF4	Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetra-fluoro-, HCFC-124	air	unspecified	kg	2.00E+3	6.20E+2	1.90E+2
C2ClF5	Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	air	unspecified	kg	4.90E+3	7.20E+3	9.90E+3
C2F6	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	air	unspecified	kg	8.00E+3	1.19E+4	1.80E+4
C2HF5	Ethane, pentafluoro-, HFC-125	air	unspecified	kg	5.90E+3	3.40E+3	1.10E+3
CH4	Methane, biogenic	air	unspecified	kg	6.20E+1	2.30E+1	7.00E+0
CH3Br	Methane, bromo-, Halon 1001	air	unspecified	kg	1.60E+1	5.00E+0	1.00E+0
CBrClF2	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	air	unspecified	kg	3.60E+3	1.30E+3	3.90E+2
CBrF3	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	air	unspecified	kg	7.90E+3	6.90E+3	2.70E+3
CHClF2	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	air	unspecified	kg	4.80E+3	1.70E+3	5.40E+2
CClF3	Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	air	unspecified	kg	1.00E+4	1.40E+4	1.63E+4
CH2Cl2	Methane, dichloro-, HCC-30	air	unspecified	kg	3.50E+1	1.00E+1	3.00E+0
CCl2F2	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	air	unspecified	kg	1.02E+4	1.06E+4	5.20E+3
CHCl2F	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	air	unspecified	kg	7.00E+2	2.10E+2	6.50E+1
CH2F2	Methane, difluoro-, HFC-32	air	unspecified	kg	1.80E+3	5.50E+2	1.70E+2
CH4	Methane, fossil	air	unspecified	kg	6.20E+1	2.30E+1	7.00E+0
CH3Cl	Methane, monochloro-, R-40	air	unspecified	kg	5.50E+1	1.60E+1	5.00E+0
CCl4	Methane, tetrachloro-, CFC-10	air	unspecified	kg	2.70E+3	1.80E+3	5.80E+2
CF4	Methane, tetrafluoro-, FC-14	air	unspecified	kg	3.90E+3	5.70E+3	8.90E+3
CCl3F	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	air	unspecified	kg	6.30E+3	4.60E+3	1.60E+3
CHF3	Methane, trifluoro-, HFC-23	air	unspecified	kg	9.40E+3	1.20E+4	1.00E+4
SF6	Sulfur hexafluoride	air	unspecified	kg	1.51E+4	2.22E+4	3.24E+4
CO2	Carbon dioxide, in air	resol	in air	kg	-1.00E+0	-1.00E+0	-1.00E+0

Tab. A-2: Treibhauspotentiale für verschiedene Integrationszeiträume infolge der Emission von 1 kg ausgewählter Gase, bezogen auf Kohlendioxid (Albritton & Meira-Filho 2001; Frischknecht et al. 2004).

### A-3.3 Eco-indicator '99

Die Methode Eco-indicator '99 (Goedkoop & Spriensma 2000a; b) ist aus der Methode Eco-indicator 95 (Goedkoop 1995) heraus weiterentwickelt worden. Das Konzept der Schadensmodellierung wurde weiterentwickelt und verfeinert. Zudem konnten im Vergleich zum Eco-indicator 95 weitere Umwelteffekte berücksichtigt werden (insbesondere Ressourcenentwertung und Flächeninanspruchnahme).

Ausgangspunkt dieser Methode ist der Bewertungsschritt, d.h. sie wurde Top-down entwickelt (und nicht Bottom-up ausgehend vom Ergebnis der Sachbilanz). Als Schutz-

güter, deren Beeinträchtigungen mit Hilfe einer Ökobilanz zu quantifizieren sind, werden

- Menschliche Gesundheit,
- Ökosystem Qualität, und
- Ressourcenentwertung

berücksichtigt. Ausgehend von diesen drei Schutzgütern werden Umweltschadensmodelle für die als wichtig erachteten Umweltwirkungen entwickelt um damit eine Anbindung an die Sachbilanzergebnisse zu ermöglichen. Im Folgenden werden die Schadensmodelle vorgestellt.

### **A-3.3.1 Menschliche Gesundheit**

Schäden an der menschlichen Gesundheit werden in DALYs (disability adjusted life years) gemessen, ein Indikator welcher von der Weltgesundheitsorganisation und der Weltbank entwickelt wurde und sowohl vorzeitige Todesfälle als auch Krankheiten unterschiedlicher Schweregrade einschliesst. Schäden an der menschlichen Gesundheit werden für respiratorische und karzinogene Effekte, Effekte infolge der Klimaänderung, des Ozonschichtabbaus und radioaktiver Strahlung quantifiziert. Die verwendeten Modelle bestehen aus den fünf folgenden Teilschritten:

1. Analyse der Stoffverteilung nach der Emission: Damit wird eine Emission (in Masseinheiten oder als Zerfälle pro Sekunde) mit der vorübergehenden Änderung der Konzentration in Luft, Wasser und/oder Boden verknüpft.
2. Expositionsanalyse: Die modellierte Änderung der Konzentration wird in eine Dosis für die dadurch geschädigte Bevölkerung resp. des dadurch geschädigten Ökosystems überführt.
3. Effektanalyse: Mit der ermittelten Dosis werden die damit verbundenen Gesundheitseffekte (z.B. die Häufigkeit und Arten von Krebs) bestimmt.
4. Schadensanalyse: Die Gesundheitseffekte werden mit Hilfe des DALY-Konzeptes gewichtet. Dabei werden die Gesamtdauer (in Jahren), während der Personen mit einer Krankheit leben müssen (Years Lived Disabled, YLD), resp. die durch vorzeitigen Tod verlorenen Lebensjahre (Years of Life Lost, YLL) abgeschätzt.
5. Schadensbewertung: Die abgeschätzten beeinträchtigten und verlorenen Lebensjahre werden gewichtet und addiert. Dazu sind Werturteile nötig.



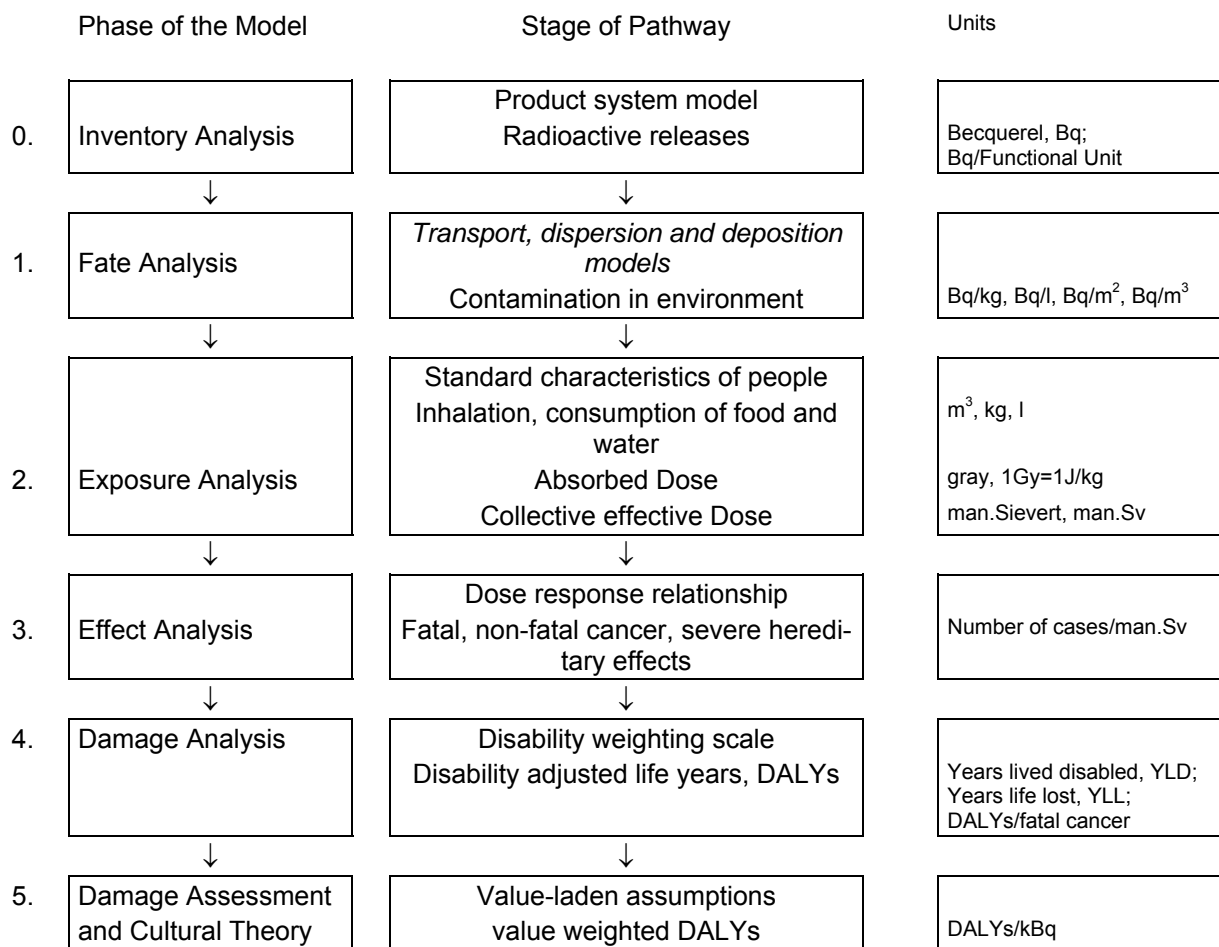


Abbildung 81: Überblick über die Schritte der Schadensmodellierung ausgehend von Sachbilanzergebnissen (Inventory Analysis) bis zur Schadensbewertung (Damage Assessment) am Beispiel der Emission radioaktiver Isotope und den dadurch zusätzlich verursachten Krebserkrankungen (Frischknecht et al. 2000).

### A-3.3.2 Ökosystem Qualität

Schäden an der Ökosystemqualität werden in Abhängigkeit des Prozentsatzes der durch die Umweltbelastung verschwundenen Arten ausgedrückt. Die Schadensmodellierung ist hier nicht so homogen wie beim Schutzgut „Menschliche Gesundheit“.

- Ökotoxizität wird durch den Anteil Arten quantifiziert, der in der Umwelt unter toxischem Stress leben muss (Potentially Affected Fraction, PAF). Da dieser Schaden nicht real beobachtbar ist, muss ein grober Umrechnungsfaktor verwendet werden, um toxischen Stress in tatsächlich beobachtbare Schäden überzuführen.

- Versäuerung und Überdüngung werden in einer gemeinsamen Umweltwirkungskategorie modelliert. Die Schadensmodellierung erfolgt über die Schäden an Gefässpflanzen.
- Schäden durch Landbedarf und Landveränderungen werden basierend auf empirischen Daten über das Auftreten von Gefässpflanzen in Abhängigkeit des Landtyps und der Flächengrösse modelliert. Sowohl der lokale Schaden auf dem besetzten oder veränderten Gebiet als auch der regionale Schaden am Ökosystem werden berücksichtigt.
- Schäden an Ökosystemen infolge von Klimaänderungen, des Ozonschichtabbaus oder der Photooxidantenbildung werden in der Methode (noch) nicht berücksichtigt.

### **A-3.3.3 Ressourcenentwertung**

Der Ressourcenverbrauch wird durch einen Indikator gewichtet, der die Qualität der verbleibenden mineralischen und fossilen Ressourcen beschreibt. Der Indikator drückt den Qualitätsverlust mit Hilfe erhöhter Energieverbräuche des zukünftigen Ressourcenabbaus aus.

### **A-3.3.4 Zusammenfassung der Methode**

In Abbildung 82 werden die verschiedenen Teilschritte (weiss) und (Zwischen-)Resultate (grau hinterlegt) für die Modellierung des Eco-indicator '99 gezeigt.

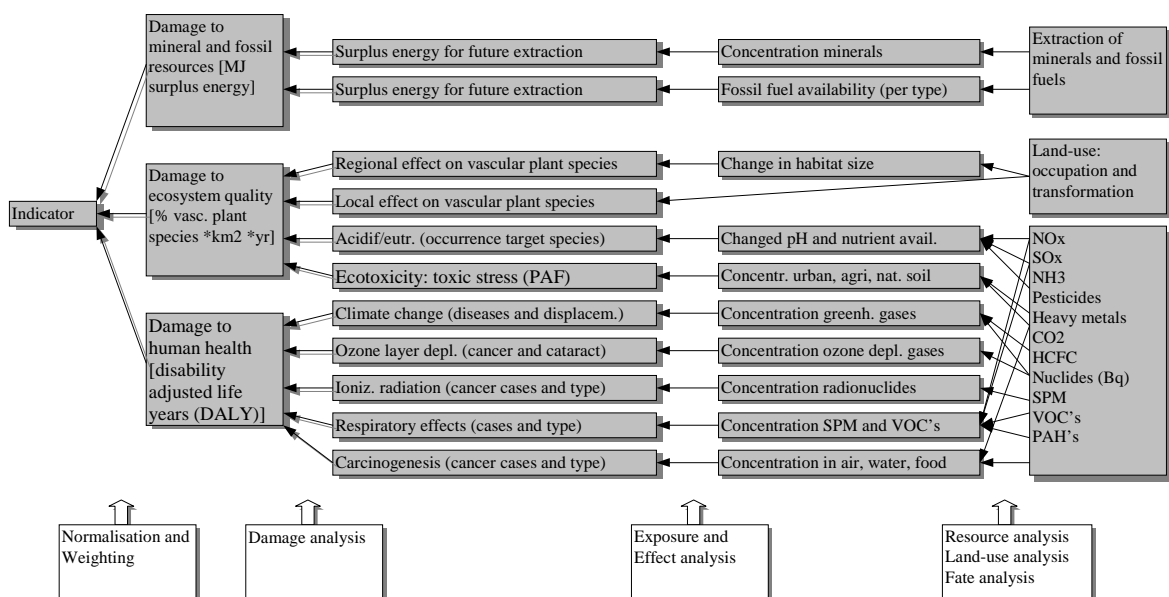


Abbildung 82: Vereinfachendes Schema der Vorgehensweise beim Eco-indicator '99.  
 Grau: (Zwischen-) Ergebnisse; Weiss: Modellierungen; GOEDKOOP & SPRIENSMA (2000a:11).

Alle Emissionen, Landinanspruchnahmen und -transformationen werden als in Europa auftretend angenommen. Gleiches gilt für die damit verbundenen Schäden, was eine einschränkende Annahme darstellt. Diese Einschränkung wurde aber für Schäden durch Ressourcenverbrauch, und infolge der Emission von Treibhausgasen, ozon-schichtabbauenden Stoffen, persistenten karzinogenen Substanzen, anorganischen Luftschadstoffen mit einer weiträumigen Verfrachtung und einigen langlebigen radioaktiven Isotopen nicht gemacht.

Die Methode berücksichtigt zwei Arten von Unsicherheiten:

- Datenunsicherheiten, die mit technischen Problemen der Messung und der Bestimmung von Expositions-, Effekt- und Schadensfaktoren zusammenhängen und
- Unsicherheiten in den Modellen.

Datenunsicherheiten werden unter Annahme einer lognormalen Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Hilfe der quadratischen geometrischen Standardabweichung quantifiziert. Die Unsicherheiten sind in einzelnen Bereichen beträchtlich und können zwei bis über drei Größenordnungen betragen.

Modellunsicherheiten können nicht wie Datenunsicherheiten behandelt werden. Modelle sind entweder korrekt oder nicht. Bei der Modellbildung sind Annahmen des Anwenders über Parameter und Modellgrenzen notwendig, die Werturteile beinhalten und die die Ergebnisse beeinflussen können. Drei verschiedene Wertemuster für diese Ent-

scheidungen werden in der Methode benutzt, was zu drei in sich konsistenten Schadensmodellen führt. Die Ausgestaltung der Wertemuster erfolgt auf der Basis der Kulturtheorie (siehe dazu auch Hofstetter 1998:41-79) und umfasst die folgenden drei Typen von Entscheidern (stark vereinfacht):

- E (Egalitarian): Zukünftige Generationen ebenso wichtig wie heutige (Langzeitperspektive); weit entfernt lebende Menschen ebenso wichtig wie die eigene Familie; minimale wissenschaftliche Indizien der Umweltschädlichkeit eines Schadstoffes reichen aus, um ihn in einer Ökobilanz zu bewerten (vorsichtige Grundhaltung).
- I (Individualist): Hier und heute sind sehr wichtig (Kurzzeitperspektive, eigene Familie und nähere Umgebung sind wichtiger als Menschen anderer Regionen); nur wissenschaftlich klar beweisbare Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potentiellen Schadstoffen werden anerkannt (risikofreudige Grundhaltung).
- H (Hierarchist): Wägt jeweils zwischen der Gegenwart und der Zukunft, zwischen dem Hier und der Welt und zwischen Risiken und den Nutzen ab. Ein Konsens der Wissenschaftler/-innen über Zusammenhänge zwischen Umweltschäden und potentiellen Schadstoffen rechtfertigt deren Einbeziehen in Ökobilanzen.

Mit diesen drei Perspektiven umfassen die Ergebnisse einer Bewertung mit dem Eco-indicator '99 somit je drei Datensets für Humangesundheit, Ökosystemqualität und Ressourcen.

Die abschliessende Gewichtung zwischen diesen drei Dimensionen erfolgt auf der Basis der Ergebnisse eines an der ETH Zürich unter Ökobilanz-Experten durchgeführten schriftlichen Panels. Die dort eruierten Gewichtungsfaktoren, die nicht einem europäischen Durchschnitt entsprechen, können als Default-Werte verwendet werden. Andere, z.B. firmen- oder vereinspezifische Gewichtungstripel sind jedoch denkbar resp. erwünscht. Die Methode wird in der Datenbank gemäss den Angaben in (Frischknecht et al. 2004) verwendet.

### **A-3.4 Methode der ökologischen Knappheit 2006**

Die Methode der ökologischen Knappheit erlaubt die Gewichtung der in einer Sachbilanz erfassten Grundlagendaten. Die Umweltbelastung wird zu so genannten Umweltbelastungspunkten (UBP) zusammengefasst. Die Grundlagen der Methode wurden erstmals 1978 (Müller-Wenk 1978), die aktuellste Version wird 2006 publiziert.

Die Methode der ökologischen Knappheit beruht auf dem Prinzip „Distance-to-target“. Dabei werden einerseits die gesamten gegenwärtigen Flüsse einer Umwelteinwirkung (z.B. Stickoxide) und andererseits die im Rahmen der umweltpolitischen Ziele als maxi-

mal zulässig erachteten (kritischen) Flüsse derselben Umwelteinwirkung verwendet. Sowohl kritische wie auch aktuelle Flüsse sind in Bezug auf schweizerische Verhältnisse definiert.



## Literatur

- Aebischer B., Catenazzi G., Dones R., Faist M., Frischknecht R., Gantner U., Hirschberg S., Jakob M., Jochem E., Jungbluth N., Kumbaroglu G., Kypreos S., Lienin S., Madlener R., Röder A., Schwarz J. (2002). CO<sub>2</sub> Reduktionspotential Erdgas. Projektphase 1: Referenzszenario. Schlussbericht, Studie im Auftrag und in Kooperation mit der Schweizer Gaswirtschaft, CEPE/PSI/ESU services /schwarz&partners, Zurich/Villigen, April 2002.
- Albritton & Meira-Filho 2001 Albritton D. L. and Meira-Filho L. G. (2001) Technical Summary. In: *Climate Change 2001: The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* (ed. Houghton J. T., Ding Y., Griggs D. J., Noguer M., van der Linden P. J. and Xiaosu D.). IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, The Edinburgh Building Shaftesbury Road, Cambridge, UK, retrieved from: [www.ipcc.ch/pub/reports.htm](http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm).
- AWEL: Energieplanungsbericht 2002 für den Kanton Zürich, Zürich 2003.
- Bättig, I.: Passivhäuser unter Strom, in: faktor Nr. 4, 2005, S. 36-37.
- BFE 1999 BFE (1999) Schweizerische Gesamtenergiestatistik 1998. Bundesamt für Energie, Bern, CH, retrieved from: <http://www.energie-schweiz.ch/bfe/de/statistik/gesamtenergie/>.
- Brand et al. 1998 Brand G., Scheidegger A., Schwank O. and Braunschweig A. (1998) Bewertung in Ökobilanzen mit der Methode der ökologischen Knappheit - Ökofaktoren 1997. Schriftenreihe Umwelt 297. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Dettli, R., Baur, M., Signer, B., Renaud, P., Wermeille, C.: Optimierung Energievollzug und Anwendung der SIA-Normen Gebäude, Energiewirtschaftliche Grundlagen, BFE, Bern 2003.
- Dettli, R., Gsponer, G., Kaufmann, Y.: Erklärung von kantonalen Unterschieden von Energiekennzahlen bei Neubauten, Energiewirtschaftliche Grundlagen, BFE, Bern 2003.
- ecoinvent Centre 2005 ecoinvent Centre (2005) ecoinvent data v1.2, Final reports ecoinvent 2000 No. 1-16. CD-ROM ISBN 3-905594-38-2. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).

- Fachhochschule St. Gallen: Praxistest Minergie, i.A. der Energiefachstellenkonferenz der Ostschweizer Kantone und des Fürstentums Liechtenstein, St. Gallen 2003.
- Frauenfelder, S., Baumgartner, A., Jaboyedoff, P.: Harmonisierung kantonaler Energievorschriften im Baubereich, Energiewirtschaftliche Grundlagen, BFE, Bern 1999.
- Frei, B., Reichmuth, F., Huber, H.: Vergleichende Auswertung schweizerischer Passivhäuser, in: Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, 13. Schweizerisches Statusseminar, ZEN, Dübendorf, S. 141-148.
- Frischknecht et al. 2000 Frischknecht R., Braunschweig A., Hofstetter P. and Suter P. (2000) Human Health Damages due to Ionising Radiation in Life Cycle Impact Assessment. In: *Review Environmental Impact Assessment*, **20**(2), pp. 159-189.
- Frischknecht et al. 2004 Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H.-J., Doka G., Dones R., Hellweg S., Hirschler R., Humbert S., Margni M., Nemecek T. and Spielmann M. (2004) Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. CD-ROM Final report ecoinvent 2000 No. 3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from: [www.ecoinvent.ch](http://www.ecoinvent.ch).
- Goedkoop 1995 Goedkoop M. (1995) The Eco-indicator 95 - Weighting method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale. Final Report. Novem, rivm, Amersfoort.
- Goedkoop & Spriensma 2000a Goedkoop M. and Spriensma R. (2000a) The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Methodology Report, 2nd revised ed. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from: [www.pre.nl/eco-indicator99/](http://www.pre.nl/eco-indicator99/).
- Goedkoop & Spriensma 2000b Goedkoop M. and Spriensma R. (2000b) Methodology Annex: The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. 2nd revised ed. PRé Consultants, Amersfoort, The Netherlands, retrieved from: [www.pre.nl/eco-indicator99/](http://www.pre.nl/eco-indicator99/).
- Hässig & Primas 2004 Hässig W. H. and Primas A. (2004) Ökologische Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich. Eine Praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen zu Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Bundesamt für Energie BFE, Bern.
- Hastings, R., Hoffmann, C., Voss, K.: Wohnbauten mit geringem Energieverbrauch: 12 Gebäude: Planung, Umsetzung und Realität, Heidelberg 2005.



- Hofer et al., Stand 2005 Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 1990 - 2035, Ergebnisse der Szenarien I a Trend und I b Trend und der Sensitivitäten Preise hoch, BIP hoch und Klima wärmer; prognos, Bundesamt für Energie BFE, Energieperspektiven, Stand 8.8.2005, URL: <http://www.bfe.admin.ch/> [Stand 29.06.2006]
- Hofstetter 1998 Hofstetter P. (1998) Perspectives in Life Cycle Impact Assessment: A structured approach to combine models of the technosphere, ecosphere and valuesphere. Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-8377-X, Boston, Dordrecht, London.
- Houghton et al. 1996 Houghton J. T., Meira-Filho L. G., Callander B. A., Harris N., Kattenberg A. and Maskell K. (1996) Climate Change 1995 - The Science of Climate Change. (ed. Lakeman J. A.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- International Organization for Standardization (ISO) 1997 International Organization for Standardization (ISO) (1997) Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. European standard EN ISO 14040, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 1998 International Organization for Standardization (ISO) (1998) Environmental management - Life cycle assessment - Goal and scope definition and inventory analysis. European standard EN ISO 14041, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2000a International Organization for Standardization (ISO) (2000a) Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment. European standard EN ISO 14042, Geneva.
- International Organization for Standardization (ISO) 2000b International Organization for Standardization (ISO) (2000b) Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle interpretation. European standard EN ISO 14043, Geneva.
- Jakob et al. 2002 Jakob M., Jochem E. and Christen K. (2002) Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienzmassnahmen in Wohngebäuden. Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen EWG 805.054 d. CEPE for Bundesamt für Energie, Zürich, retrieved from: [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch).
- Kanton Thurgau: Höchstanteil an nicht-erneuerbaren Energien für Neubauten, Energieverordnung des Kantons Thurgau §15, 1998.

- Kasser & Pöll 1999 Kasser U. and Pöll M. (1999) Ökologische Bewertung mit Hilfe der Grauen Energie. Schriftenreihe Umwelt 307. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Konferenz kantonaler Energiedirektoren: Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE), Ausgabe 2000.
- Koschenz, M., Pfeiffer, A.: Potential Wohngebäude. Energie- und Gebäudetechnik für die 2000-Watt-Gesellschaft, EMPA, Zürich 2005.
- Lalive d'Epinay 2004 Lalive d'Epinay A., Primas, A., Wille B. (2004) Ökologische Optimierung von Solargebäuden über deren Lebenszyklus, Schlussbericht, IEA SHC Task 28 / EC BCS Annex 38 Sustainable Solar Housing, Basler & Hofmann AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie. IEA SHC Task 28 / EC BCS Annex 38. BFE, Bern.
- Müller-Wenk 1978 Müller-Wenk R. (1978) Die ökologische Buchhaltung: Ein Informations- und Steuerungsinstrument für umweltkonforme Unternehmenspolitik. Campus Verlag Frankfurt.
- Müller-Wenk 1999 Müller-Wenk R. (1999) Life-Cycle Impact Assessment of Road Transport Noise. IWÖ - Diskussionsbeitrag 77, ISBN Nr. 3-906502-80-5. Hochschule St. Gallen, Switzerland, retrieved from: <http://www.iwoe.unisg.ch/service/Veroeff/db77.htm>.
- Novatlantis 2005 Leichter Leben, Ein neues Verständnis für unsere Ressourcen als Schlüssel zu einer nachhaltigen Entwicklung - die 2000-Watt-Gesellschaft, Novatlantis, 2005
- Preisig, H., Pfäffli, K.: SIA Effizienzpfad Energie, Ein Projekt von Swiss Energycodes der KHE des SIA, Dokumentation D 0216, Zürich 2006.
- Rieder, S., Balthasar, A., Eichhammer, W., Reichert, J.: Internationaler Vergleich von Energiestandards im Baubereich, Energiewirtschaftliche Grundlagen, BFE, Bern 2005.
- Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein: Thermische Energie im Hochbau - SIA Empfehlung 380/1, Ausgabe 2001, Zürich 2001.
- S-E-E.ch & Carbotech AG 2000 S-E-E.ch and Carbotech AG (2000) Ökologische Beurteilung von EPS-Dämmstoffen. S-E-E.ch / Carbotech AG / EPS-Verband Schweiz, Basel/St Gallen.

Verein Minergie: Reglement zur Nutzung der Qualitätsmarke Minergie, Stand Januar 2005.

Zimmermann M., Althaus H.-J., Haas A. (2005), Benchmarks for sustainable construction, a contribution to develop a standard, Energy and Buildings 37 (2005) 1147-1157