

## Nachhaltige Solar-Gebäude: Eine Chance und Herausforderung für die österreichische Wirtschaft

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gerhard Faninger  
Fakultät für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung,  
Abteilung für Weiterbildung und systemische Interventionsforschung  
iff, Universität Klagenfurt  
E-Mail: gerhard.faninger@uni-klu.ac.at

### 1. Einleitung

Der Gebäudesektor ist weltweit mit 45% Anteil am Energieverbrauch (Österreich etwa 40%), mit 40% Anteil am Ressourcenverbrauch und mit über 20% Anteil an dem Ausstoß umweltrelevanter CO<sub>2</sub>-Emissionen (Österreich etwa 21%) ein wesentlicher Bereich für Maßnahmen zur Reduktion des Energie- bzw. Ressourceneinsatzes einerseits und zur Verminderung von Treibhausgasen andererseits. Im Gebäudebereich sind günstige Voraussetzungen für die Umsetzung des *Win-Win-Prinzips* gegeben: Energieeffizienz und Umweltschonung bringen Vorteile für alle im Gebäudesektor Beteiligten, geringere Betriebskosten mit höherer Versorgungssicherheit sind überzeugende Argumente für den Investor (Bauherr, Mieter), geringere Auslandsabhängigkeit bei der Energieaufbringung, höhere Wertschöpfung in der Kommune, verbesserte Umwelt bringen volkswirtschaftliche Vorteile für die Allgemeinheit, und letztlich wird ein Beitrag zum energiepolitischen Ziel gemäß „Kyoto-Protokoll“ zur Reduktion umweltrelevanter Kohlendioxidemissionen geleistet. Für die Wirtschaft ergeben sich Chancen für neue Techniken, verbunden mit dem Aufbau bzw. Ausbau von zukunftsorientierten Arbeitsplätzen.



**Abb. 1: Der Gebäudesektor im Spannungsfeld Energie-Umwelt-Klima**

## 2. Das übergeordnete Ziel für Nachhaltiges Bauen und Heizen

Nachhaltiges Bauen und Heizen sind Beiträge zum „*Nachhaltigen Wirtschaften*“ – eine Forderung zur Sicherstellung der weiteren wirtschaftlichen Entwicklung auf dem Fundament der „Nachhaltigkeit“.

*Nachhaltiges Bauen und Heizen* bedeutet - bezogen auf den Lebenszyklus – die Gebäudeplanung auf eine Minimierung der direkten und indirekten negativen Einflüsse auf die räumliche, lokale, regionale und globale Umwelt auszurichten. Das Gebäudekonzept und die eingesetzten Komponenten sollen den gegenwärtigen Bedürfnissen der Benutzer entsprechen, ohne jedoch künftigen Generationen Entsorgungsprobleme zu hinterlassen oder eine Nachnutzung aufzuzwingen. Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen stellen somit eine wesentliche Grundlage für Nachhaltiges Bauen dar.

Nachhaltiges Bauen wird durch die Ortsentwicklung und örtliche Raumplanung unterstützt. Die wesentlichen Kriterien sind:

- Minimierung des zusätzlichen Individualverkehrs durch neue Wohnprojekte.
- Minimierung des Straßenneubaus durch die Errichtung neuer Wohngebiete.
- Nähe zum bestehenden Ver- und Entsorgungsnetz zur Verringerung des Anschließungs- und Erhaltungsaufwands.
- Immissionsarmut neu gewidmeter Wohnflächen: Lärm, Abgase, sonstige negative Standortaspekte wie Lawinen- und Mureneinzugsgebiete, Bergsenkungsgebiete, hochwassergefährdete Bereiche sind zu vermeiden bzw. zu minimieren.

## 3. Anforderungen an Nachhaltiges Bauen und Sanieren

Zur Realisierung von Nachhaltigen Gebäuden werden an Planung und Ausführung hohe Anforderungen betreffend Ressourcenschonung, Umwelteinflüsse und Benutzerverhalten gestellt. Eine integrierte – gesamtheitliche – Planung von Gebäude (Baukörper) und Haustechnik unter Beachtung standortspezifischer Fakten sowie der Benutzer-Erwartungen sind erforderlich.

Zur Realisierung Nachhaltiger Gebäude sind die maßgebenden Elemente: Wärmeschutz, Nutzung von erneuerbarer Energie und Wärmerückgewinnung; Abb. 2.

## ELEMENTE VON NACHHALTIGEN GEBÄUDEN



**Wärmedämmung**

**Sonnenenergie,  
Umweltwärme  
und Biomasse**

**Wärmerück-  
gewinnung**

Abb. 2: Elemente von Nachhaltigen Gebäuden

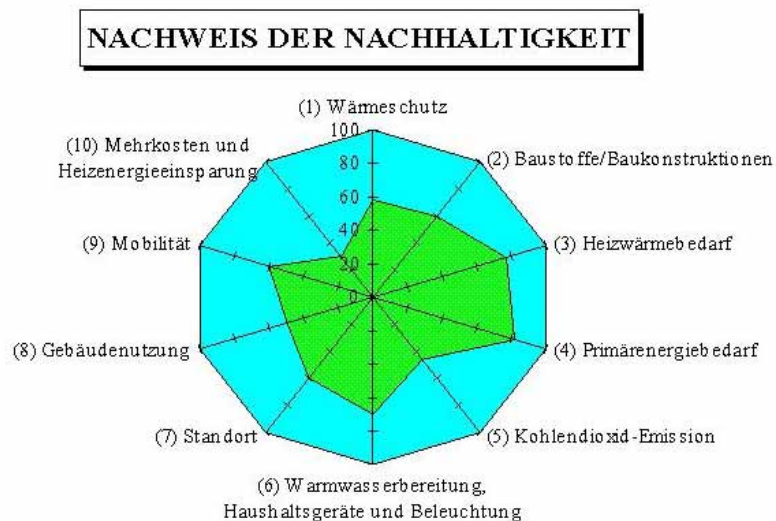
#### 4. Bewertungskriterien für Nachhaltige Gebäude

Vorrangige Zielsetzung für die Planung und Realisierung Nachhaltiger Gebäude sind: Energieeffizienz, Umweltverträglichkeit, ökonomisch, hohe Lebensqualität und Behaglichkeit.

Bewertungskriterien für Nachhaltige Gebäude beziehen sich auf den Baukörper (Baustoffe, Wärmeverluste durch Transmission) und auf die Haustechnik (Heizung, Warmwasser, Haushaltsgeräte, Beleuchtung). Eine gesamtheitliche Bewertung ist erforderlich, um Vergleiche zwischen verschiedenen Lösungen vornehmen zu können. Dazu eignet sich eine Lebensdaueranalyse (Life-Cycle-Analysis – LCA). Die wesentlichen Eingabedaten sind der Energieeinsatz für Errichtung und Betrieb, jeweils bezogen auf den Primärenergie-Einsatz, und die mit der Errichtung und dem Betrieb zusammenhängenden CO<sub>2</sub>- und Schadstoff-Emissionen. Weitere Bewertungskriterien sind Landschaftsbeanspruchung, Kosten/Nutzen-Verhältnis, Anforderungen an Mobilität, Wohn- und Lebensqualität u.a.

Die Ableitung des Primärenergieeinsatzes aus dem Energiebedarf sowie die Ermittlung der umweltrelevanten CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt über Umrechnungsfaktoren, welche auf die Bereitstellung der Endenergie (Strom und Brennstoffe) abgestimmt sind. Tabelle 1 (Abschnitt 8) enthält derzeit ausgewiesene Umrechnungsfaktoren. Da die Erzeugung von Strom lokal unterschiedlich ist, werden für die Umrechnung Werte für den am freien Markt eingekauften Strom maßgebend sein.

Abb. 3 illustriert die energetische und umweltbezogene Bewertung eines Einfamilien-Wohnhauses. Abb. 4 vergleicht Brennstoff/Stromeinsatz, Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen am Beispiel eines Wohnhauses und Einsatz verschiedener Heizungssysteme.



#### KRITERIENKATALOG UND BEWERTUNGSSCHEMA FÜR NACHHALTIGES BAUEN UND HEIZEN

Abb. 4: Bewertung der Nachhaltigkeit eines Wohngebäudes (Beispiel)

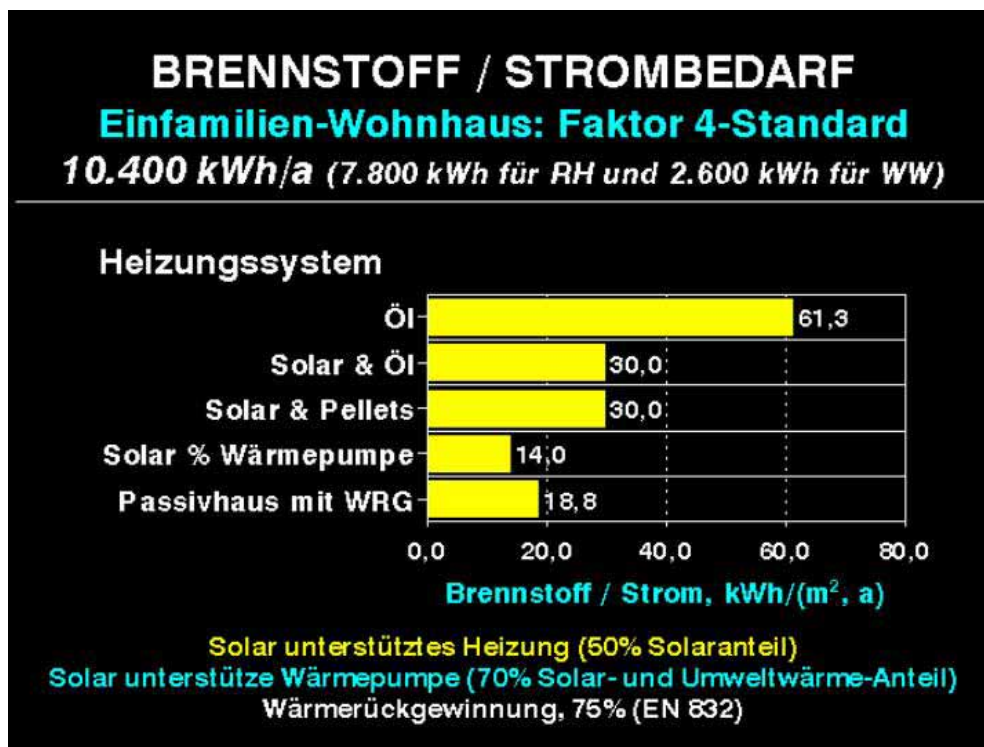


Abb. 4a: Energetische und umweltbezogene Bewertung eines Wohnhauses

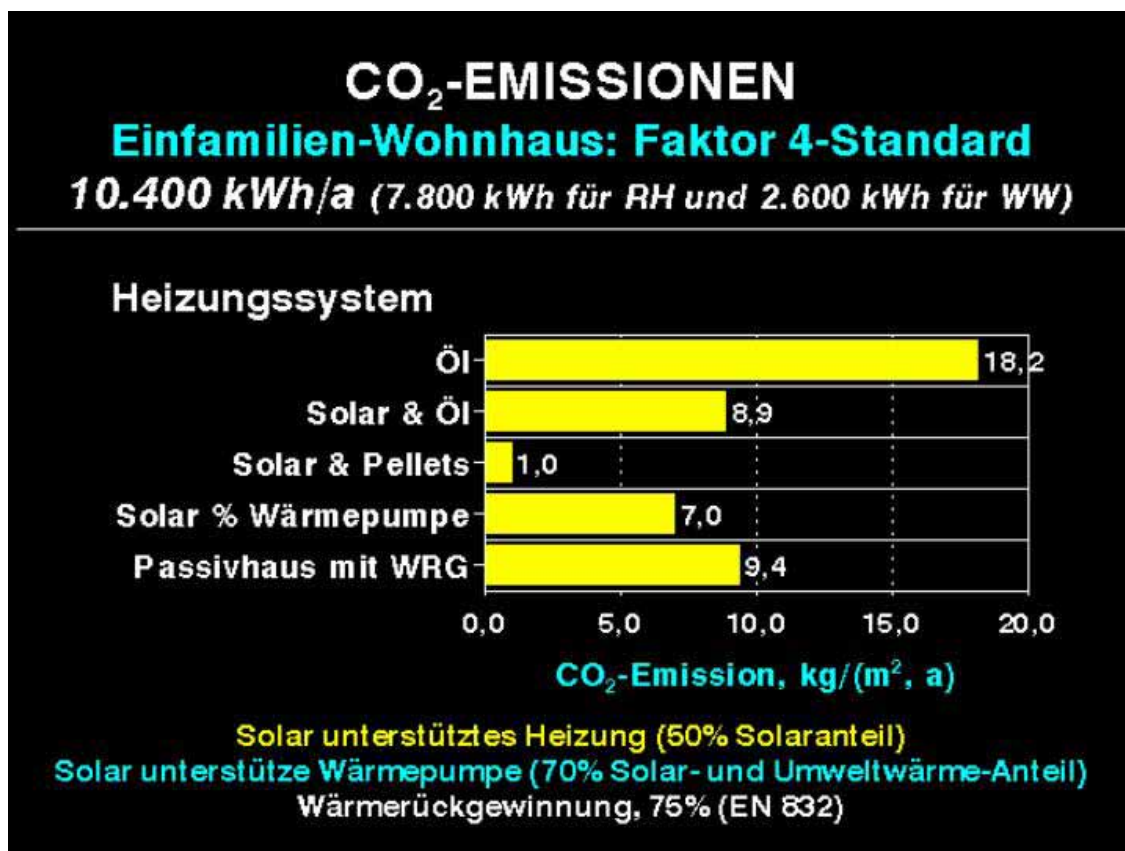
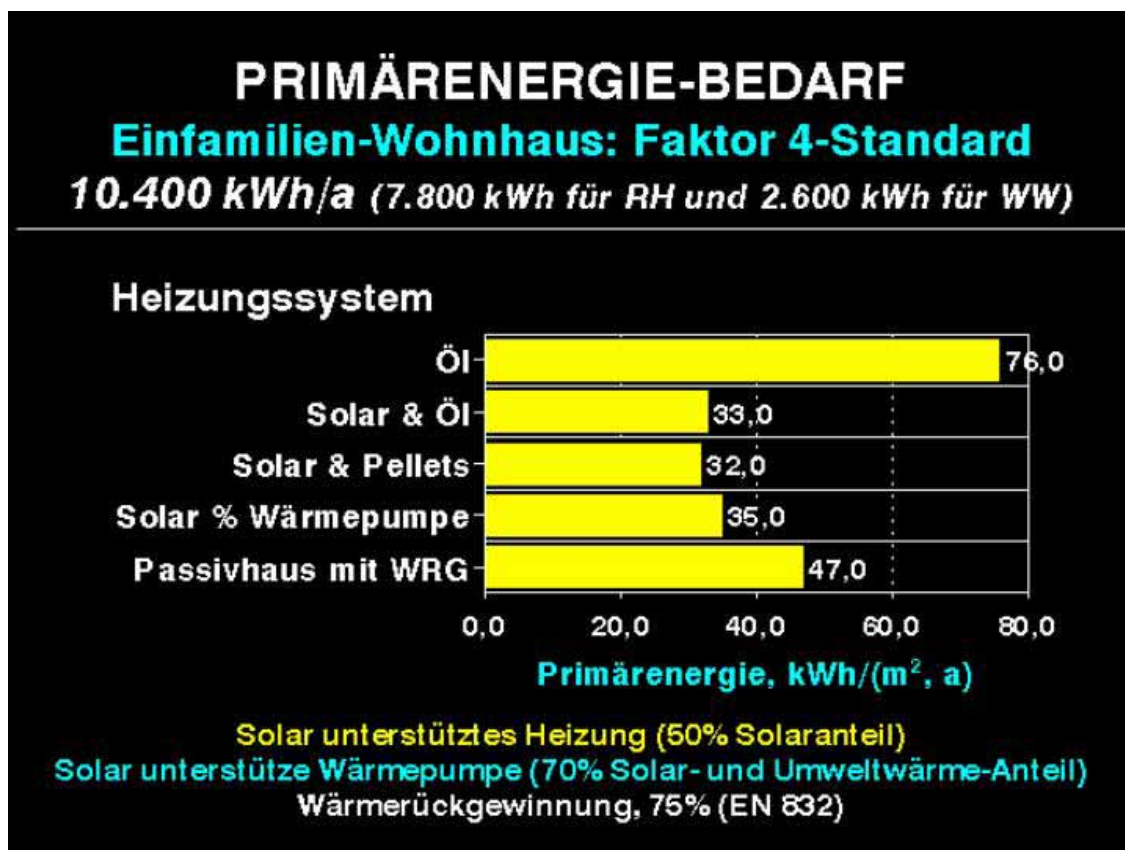


Abb. 4b: Energetische und umweltbezogene Bewertung eines Wohnhauses

## 5. Planungsschritte

Im Sinne der Zielvorgaben, der Benutzeranforderungen und standortspezifischer Faktoren erfolgt die Planung nach dem Prinzip einer integrierten Strategie, beginnend beim Entwurf der Gebäudehülle. Wärmedämmung und passive Sonnenenergienutzung sind aufeinander nach energie-ökonomischen Aspekten abzustimmen. Für die Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser) sind sowohl effiziente Heizungstechniken als auch Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Betracht zu ziehen. Wesentlich ist die Abstimmung der Heizungsanlage an den Wärmebedarf: Angepasstes Heizungssystem. Der Planungsprozess wird durch den Einsatz praxiserprobter EDV-Programme unterstützt. Design-Tools können die innovative/kreative Planungsarbeit aber nicht ersetzen. Beispiele aus der Praxis bestätigen dies.

## 6. Wege zum Nachhaltigen Gebäude: Der Baukörper

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle hat höchste Priorität im Rahmen des Planungsprozesses. Eine energie-ökonomische Gestaltung der Baukonstruktion der Außenbauteile ist anzustreben, wobei auf bereits erprobte Bauweisen zurückgegriffen werden sollte. Da Wohnbauten zum großen Teil im „sozialen Wohnbau“ zu realisieren sein werden, müssen wirtschaftliche Aspekte Berücksichtigung finden. Die folgenden Baustandards bieten sich an: Standard-Haus (gemäß den geltenden Bauvorschriften), Niedrig-Energie-Haus, Hocheffizientes Haus und Passiv-Haus. In Abb. 5 sind die für die Realisierung der genannten Baustandards erforderlichen Wärmedämmwerte (U-Werte) der Außenbauteile angegeben. Die Errichtung aller Baustandards kann mit allen gängigen Baukonstruktionen erfolgen: Leichtbauweise, Massivbauweise und Mischbauweise. Die für den Wärmeschutz maßgebenden U-Werte werden von der Stärke der Wärmedämmung bestimmt. Aus Abb. 6 folgt, dass bei wärmegeämmter Massivbauweise die Stärke des massiven Bauteils reduziert werden kann – z.B. von 38 cm auf 25 cm –, wodurch die Wandstärke des Bauteils mit zunehmender Wärmedämmung (15 cm und darüber) nicht zunimmt. Auch die Kosten der Wandkonstruktion gegenüber monolithischer Bauweise sollten nicht erhöht werden. Mit Kostenerhöhungen ist erst bei Dämmstärken über 15 cm zu rechnen. Bei der Auswahl der Baustoffe, inklusive Wärmedämmmaterialien sollen auch umweltbezogene Aspekte Berücksichtigung finden, allerdings im Rahmen einer Lebensdaueranalyse und Berücksichtigung von Lebensdauer und Wiederverwendbarkeit bzw. Entsorgung. Insbesondere bei hochwärmegeämmten Gebäuden ist auf Vermeidung / Verminderung von Wärmebrücken an Bauteilanschlüssen sowie auf Luftdichtheit der Gebäudehülle besonders zu achten.



## NACHHALTIGES BAUEN UND HEIZEN

### Bauzustand und Wärmeschutz der Gebäudehülle

#### U-Werte in $W/(m^2, K)$

Gebäudeteil	Standard-Bau	NiedrigEnergie-Bau	Faktor 4+ Bau	Passiv-Haus	Passiv-Haus +
Außenwand	$\leq 0,40$	$\leq 0,25$	$\leq 0,20$	$\leq 0,15$	$\leq 0,11$
Oberste Geschossdecke	$\leq 0,25$	$\leq 0,20$	$\leq 0,15$	$\leq 0,10$	$\leq 0,10$
Unterste Geschossdecke	$\leq 0,50$	$\leq 0,30$	$\leq 0,20$	$\leq 0,13$	$\leq 0,10$
Außenfenster (Glas und Rahmen)	$\leq 1,80$	$\leq 1,30$	$\leq 1,10$	$\leq 0,70$	$\leq 0,70$

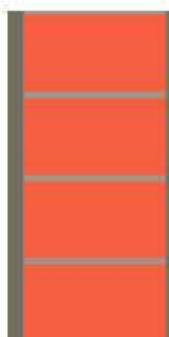
Abb. 5: Anforderungen an die Gebäudehülle

# AUSSENWANDSYSTEME

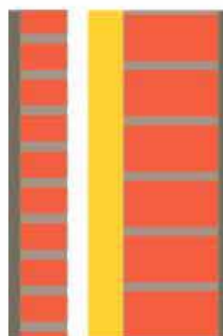
EINSCHALIG  
(Monolithisch)

ZWEISCHALIG  
(mit Kerndämmung)

MEHRSCHICHTIG  
(Wärmedämmverbundsystem)



**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand,  
Außenputz



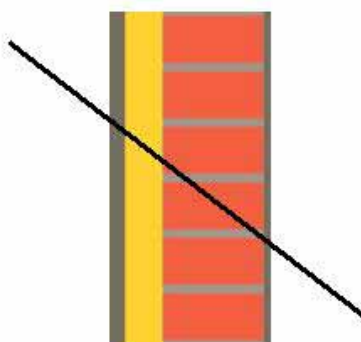
**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand  
(=Innenschale),  
Wärmedämmung  
(ev. Hinterlüftung),  
Außenschale (ev. Außenputz)



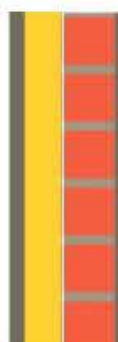
**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand,  
Wärmedämmung,  
Außenputz

Dicke:	38 – 40 cm	40 – 55 cm	50 – 55 cm
U-Wert:	0,40 – 0,50 W/(m <sup>2</sup> , K)	0,15 – 0,35 W/(m <sup>2</sup> , K)	0,15 – 0,40 W/(m <sup>2</sup> , K)
Kosten:	100 – 130 Euro/m <sup>2</sup>	120 – 150 Euro/m <sup>2</sup>	80 – 140 Euro/m <sup>2</sup>

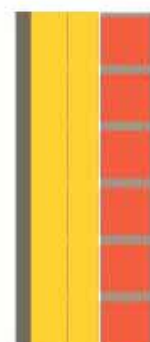
# AUSSENWANDSYSTEME Wärmedämmverbundsysteme



**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand, 38 cm  
Wärmedämmung, 10 cm  
Außenputz



**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand, 25 cm  
Wärmedämmung, 15 cm  
Außenputz



**Aufbau**  
Innenputz,  
tragende Wand, 25 cm  
Wärmedämmung, 30 cm  
Außenputz

Dicke:	ca. 52 cm	ca. 49 cm	59 cm
U-Wert:	ca. 0,25 W/(m <sup>2</sup> , K)	0,15 – 0,20 W/(m <sup>2</sup> , K)	ca. 0,10 W/(m <sup>2</sup> , K)
Kosten:	120 – 150 Euro/m <sup>2</sup>	120 – 130 Euro/m <sup>2</sup>	150 – 160 Euro/m <sup>2</sup>

Abb. 6: Kenndaten für Außenwandsysteme

## 7. Wege zum Nachhaltigen Gebäude: Das Heizungssystem

Nachhaltige Gebäude erfordern auch *Nachhaltige Heizungssysteme* zur Bereitstellung der Wärmeversorgung (Raumheizung, Klimatisierung, Warmwasserbereitung). Favoriten sind solarthermische Anlagen in Verbindung mit Pelletskessel und Wärmepumpen.

Hochwärmegeädämmte Gebäude zeichnen sich durch einen geringen Heizwärmebedarf und eine niedrige Heizlast aus. Heizungsanlagen müssen an diese Randbedingungen angepasst werden: hohe Effizienz auch im Teillastbereich, möglichst kontinuierlicher Heizbetrieb mit Vermeidung häufiger Ein- und Ausschaltperioden (z.B. durch Integration eines Pufferspeichers). Favoriten für die Wärmeversorgung von *nachhaltigen* – und damit hocheffizienten – Gebäuden sind: Solar-unterstützte Pellets- und Wärmepumpen-Heizungen. Letztere als erdgekoppelte Wärmepumpen oder als Mini-Wärmepumpen zur kontrollierten Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung.

Außerhalb der Heizsaison bieten sich Solaranlagen an, welche die Bereitstellung von Warmwasser nahezu vollständig übernehmen können. Damit wird einerseits die Umwelt geschont (Emissionen bei Feuerungsanlagen) und andererseits wird die Lebensdauer von wesentlichen Bestandteilen der Heizungsanlage, wie Brenner und Kessel bei Feuerungsanlagen und Kompressoren bei Wärmepumpen erhöht.

Nach der gängigen Definition („Marktstrategie“) sind bei Passivhäusern keine (konventionellen) Heizungen erforderlich. Dies trifft allerdings – nach wissenschaftlichen Kriterien - nicht zu, da sowohl eine kleine Restenergie von einer Heizung abgedeckt werden muss (beispielsweise der anzustrebende Restwärmebedarf von maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) als auch eine Wärmerückgewinnungsanlage mit Wärmepumpe ein durchaus konventionelles Heizungssystem darstellt. Durch sehr geringe Wärmeverluste über die Gebäudehülle (hochwärmegeädämmte Gebäudehülle) und Rückgewinnung von bis zu 85% der hygienisch bedingten Lüftungswärmeverluste (Zufuhr von Frischluft) wird der Bedarf an Heizenergie in Passivhäusern auf alle Fälle stark reduziert. Dazu kommt auch der Vorteil einer kontrollierten Wohnraumlüftung.

Gerade bei der Bewertung von Passivhäusern ist es wichtig, den Primärenergiebedarf als Kriterium für eine energetische Bewertung und damit auch zum Vergleich mit hocheffizienten Gebäuden ohne Wohnraumlüftung heranzuziehen. Der Energieeinsatz bei Passivhäusern ist vorrangig elektrischer Strom zum Antrieb der Luft/Luft-Wärmepumpe in der Wärmerückgewinnungs-Einheit und zum Antrieb von Ventilatoren. Im allgemeinen wird auch die Nachheizung über eine elektrische Direktheizung (Elektro-Heizstab)vorgenommen. Somit werden aus den 15 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) 30 bis 45 kWh/(m<sup>2</sup>, Jahr) Primärenergie, abhängig von der jeweiligen Stromerzeugung; siehe Abschnitt 8.

## 8. Energetischer und umweltbezogener Vergleich unterschiedlicher Ansätze für Nachhaltige Gebäude

Eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Ansätze von Konzepten für Nachhaltige Gebäude (Baukörper, Heizungssystem für Raumheizung und Warmwasserbereitung) lässt sich nur nach den Bewertungskriterien für Nachhaltige Gebäude vornehmen: Primärenergieeinsatz und energiebedingte umweltrelevante Kohlendioxid-Emissionen. Abb. 7 zeigt Beispiele einer Bewertung. Für die Vergleichbarkeit sind die Annahmen über die Faktoren zur Ableitung von Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen entscheidend und müssen ausgewiesen werden; Tabelle 1. Die Möglichkeit zur *volkswirtschaftlichen Bewertung* von Gebäuden bietet eine Kostenanalyse auf der Basis „Externer Kosten“. Externe Kosten sind Kosten, die nicht vom Verursacher (Produzent, Käufer bzw. Nutzer), sondern von der Allgemeinheit (d.h. aus den Steuer- bzw. Abgabeneinnahmen der öffentlichen Hand) getragen werden müssen. Verursacht werden diese Kosten durch Schäden, die durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten entstehen. Im Hochbau werden Schäden und damit externe Kosten vor allem durch folgende Effekte verursacht:

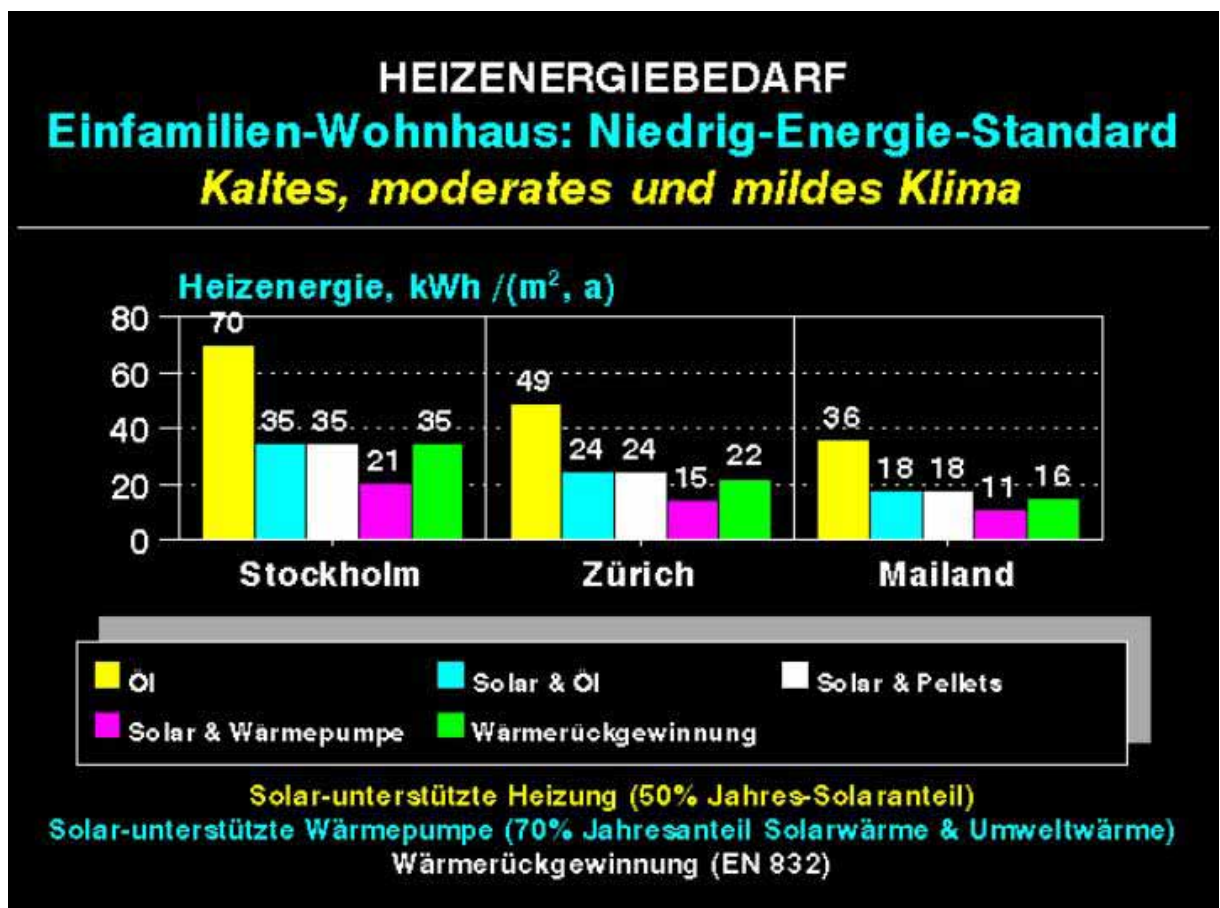
- Versiegelung von Bodenflächen
- atmosphärische Emissionen bei
  - der Produktion der eingesetzten Bau- und Werkstoffe
  - der Errichtung des Gebäudes
  - in der Phase des Betriebs, der Wartung und Instandhaltung des Gebäudes
  - bei Rückbau, Abbruch, (Sonder-)Entsorgung bzw. Recycling.

Die Berücksichtigung externer Kosten im Gebäudebereich bezieht sich - bei einer *gesamtheitlichen* Betrachtung - auf den Standort des Bauwerkes (Flächenverbrauch), auf den Baukörper, auf die Haustechnik bzw. Technische Gebäudeausstattung, auf den Gebäudebetrieb (Energieverbrauch, Instandhaltung) und auf den Abbruch inklusive Entsorgung nach Erreichen der Lebensdauer. Nach vorliegenden Ergebnissen am Markt liegen die Mehrkosten für *Faktor 4+-Gebäude* nur unwesentlich (meist unter 5%) über den Investitionskosten von in *Standard-Bauweise* errichteten Gebäuden; siehe Abschnitt 10. Daraus kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass ein verbesserter Wärmeschutz der Gebäudehülle zu deutlichen Einsparungen an Energiekosten im Laufe der Lebensdauererwartung des Gebäudes führt, selbst unter der äußerst unwahrscheinlichen Annahme, dass keine Preissteigerungen am Heizölmarkt in den nächsten 80 Jahren eintreten werden. Mit der Einsparung von Heizkosten lässt sich damit die Wirtschaftlichkeit von nach ökologischen Kriterien errichteten Gebäuden mit verbessertem Wärmeschutz nachweisen und rechtfertigen. Die externen Kosten der gängigsten Energieträger für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es werden dabei minimale und maximale Kosten entsprechend der möglichen Bandbreite der CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten ausgewiesen. Im Vergleich mit heutigen Marktpreisen (Richtwerte) liegen die externen Kosten bei Heizöl am höchsten, und die externen Kosten von Holzprodukten am niedrigsten (zwischen 11% und 13% der externen Kosten von Heizöl).

Externe Kosten von Außenwandkonstruktionen werden in Tabelle 3 zusammengestellt. Die externen Kosten von Bauweisen bis zur *Faktor 4+*-Außenwand fallen gering aus – wie auch die am Markt angebotenen Preise –, und erst bei den hochgedämmten Außenwandkonstruktionen eines Gebäudes mit *Passivhaus*-Kriterien liegen die externen Kosten für die Errichtung deutlich höher.

Der Kostenanteil externer Kosten am Beispiel eines Mehrfamilien-Wohngebäudes (Objekt Wolfurt, Vorarlberg) geht aus Abb. 8 hervor. Im Lebenszyklus des Gebäudes (80 Jahre) entfallen auf Errichtung 48,4%, auf Betrieb 53,8% (Betriebsenergie und Instandhaltung) und auf Rückbau/Entsorgung –2,2%, ein Bonus aus der Wiederverwertung/Recycling von Baustoffen. Bezogen auf die betriebswirtschaftlichen Kosten der Bauwerkerrichtung (Rohbau, Technik, Ausbau: 1,189.000 Euro) liegen die zugehörigen externen Kosten der Errichtung (Minimum: 19.500 Euro, Maximum: 37.000 Euro) im Bereich von etwa 1,8% bis 3,0%.

Die externen Kosten der Energieversorgung (Heizung, Warmwasser, elektrische Energie) betragen zwischen 4% und 12% der betriebswirtschaftlichen laufenden jährlichen Energiekosten.



**Abb. 7a: Heizenergiebedarf, Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nachhaltigen Gebäuden mit unterschiedlichen Planungsansätzen**

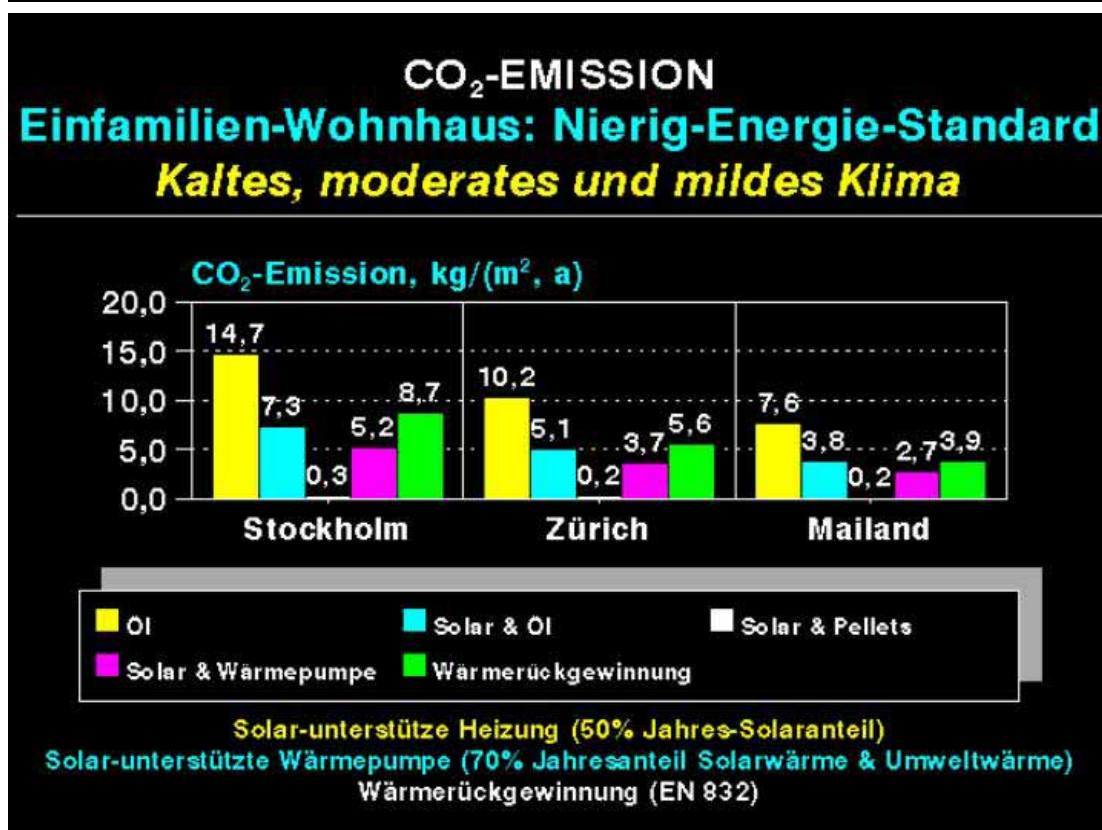
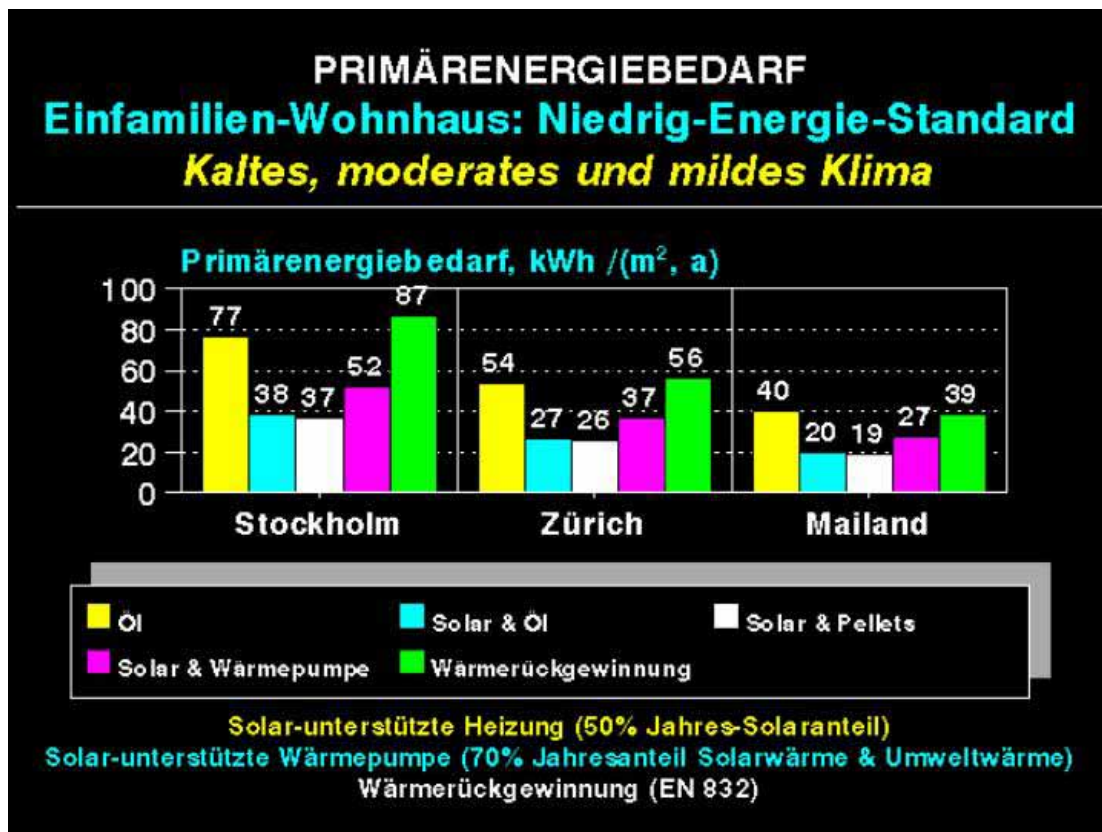


Abb. 7b: Heizenergiebedarf, Primärenergiebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen von Nachhaltigen Gebäuden mit unterschiedlichen Planungsansätzen

<b>Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen Brennstoffe, Strom und Fernwärme</b>		
<b>Energieträger / Energiedienstleistung</b>	<b>Primärenergie- Faktor, PEF</b>	<b>CO<sub>2</sub> equivalent, g/kWh</b>
<b>Öl, Liter</b>	1,13	311
<b>Erdgas, m<sup>3</sup></b>	1,14	247
<b>Steinkohle</b>	1,08	439
<b>Braunkohle</b>	1,21	452
<b>Scheitholz</b>	0,01	6
<b>Holz-Hackgut</b>	0,06	35
<b>Holz-Pellets</b>	0,14	43
<b>Elektrischer Strom</b>		
EU-17, Netz	2,35	430
Stromaufbringung Österreich, Jahresmix	0,83	252
Stromaufbringung Österreich, Heizsaison	1,32	360
PV-Strom	0,40	130
Wind-Strom	0,04	20
<b>Fernwärme</b>		
70% Kohle, 30% Öl	0,77	241
35% Kohle, 65% Öl	1,12	323
100% ÖL	1,48	406
<b>Nahwärme</b>		
35% Kohle, 65 % ÖL	1,10	127
100% Öl	1,47	323
Anteil solar thermisch	0,16	51
<b>Solar thermisch und PV, lokal (gebäudeintegriert)</b>	0	0
<b>Quelle: GEMIS, für Österreich (Strom) G. Faninger</b>		

**Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO<sub>2</sub>-Emissionen  
von Brennstoffen, Strom und Fernwärme**

EXTERNE KOSTEN UND MARKTPREISE IM VERGLEICH Februar 2002							
BRENNSTOFFE							
Minimale externe Kosten							
Brennstoff	Öl	Gas	Pellets	Stückholz	Holzschnitzel	Strom	Fernwärme
Externe Kosten, Euro/kWh	0,0094	0,0072	0,0012	0,0010	0,0012	0,0085	0,0048
Kostenvergleich, %	<b>100,0</b>	76,6	12,8	10,6	12,8	90,4	51,1
Marktpreise, Euro/kWh	0,0363	0,0462	0,0370	0,0234	0,0114	0,1453	0,0727
Kostenvergleich, %	25,0	31,8	25,5	16,1	7,8	<b>100,0</b>	50,0
Gesamtkosten, Euro/kWh	0,0457	0,0534	0,0382	0,0244	0,00126	0,1538	0,0775
Kostenvergleich, %	29,7	34,7	24,8	33,6	15,4	<b>100,0</b>	50,4

EXTERNE KOSTEN UND MARKTPREISE IM VERGLEICH Februar 2002							
BRENNSTOFFE							
Maximale externe Kosten							
Brennstoff	Öl	Gas	Pellets	Stückholz	Holzschnitzel	Strom	Fernwärme
Externe Kosten, Euro/kWh	0,0211	0,0168	0,0017	0,0013	0,0017	0,0184	0,011
Kostenvergleich, %	<b>100,0</b>	79,6	8,1	6,2	8,1	87,2	52,1
Marktpreise, Euro/kWh	0,0363	0,0462	0,0370	0,0234	0,0114	0,1453	0,0727
Kostenvergleich, %	25,0	31,8	25,5	16,1	7,8	<b>100,0</b>	50,0
Gesamtkosten, Euro/kWh	0,0574	0,0630	0,0387	0,0247	0,0131	0,1637	0,0837
Kostenvergleich, %	35,1	38,5	23,6	15,1	8,0	<b>100,0</b>	51,1

**Marktpreise: Durchschnittspreise für Österreich, Februar 2002**

Der Kostenvergleich wird jeweils zum Energieträger mit den höchsten Kosten (= 100%) durchgeführt, je nachdem, ob es sich um höchste externe Kosten bzw. höchsten Markt- bzw. Gesamtpreis handelt.

**Tabelle 2: Externe Kosten und Marktpreise von Brennstoffen im Vergleich**

EXTERNE KOSTEN FÜR ZIEGEL UND WÄRMEDÄMMUNG		
BAUSTOFF	Minimale externe Kosten, Euro/kg	Maximale externe Kosten, Euro/kg
Ziegel	0,011	0,024
Polystyrol	0,166	0,312
Mineralfaser	0,062	0,123
Flachs	0,020	0,028
Kork	-0,032	-0,085

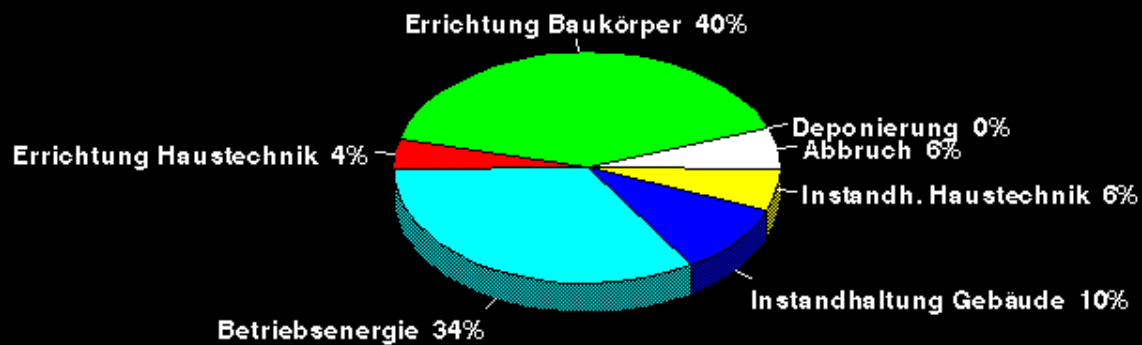
EXTERNE KOSTEN UND MARKTPREISE IM VERGLEICH				
November 2001				
AUSSENWAND				
Ziegel und Polystyrol-Wärmedämmung				
Wandaufbau Ziegel + Isolation, cm	38 + 4 U = 0,40 W/(m <sup>2</sup> , K)	25+ 10 U = 0,30 W/(m <sup>2</sup> , K)	25 + 15 U = 0,20 W/(m <sup>2</sup> , K)	25 + 20 U = 0,12 W/(m <sup>2</sup> , K)
Externe Kosten, Euro/m <sup>2</sup>	13,680	9,936	10,404	19,872
Mehrkosten, Euro/m <sup>2</sup>	-	-3,774	-3,276	+6,192
Marktpreise, Euro/m <sup>2</sup>	138,078	116,277	130,811	152,613
Mehrkosten, Euro/m <sup>2</sup>	-	-21,801	-7,267	+15,535
Gesamtkosten, Euro/m <sup>2</sup>	151,758	126,213	141,215	172,485
Mehrkosten, Euro/m <sup>2</sup>	-	-25,545	-10,543	+20,727

EXTERNE KOSTEN FÜR AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN				
Ziegel (Z) + Wärmedämmung (WD)				
Baukonstruktion	Wärmedämmung: Polystyrol		Wärmedämmung: Mineralfaser	
	Minimale externe Kosten, Euro	Maximale externe Kosten, Euro	Minimale externe Kosten, Euro	Maximale externe Kosten, Euro
38 cm Z	6,270	13,680	6,270	13,680
25 cm Z+ 10 cm WD	4,628	9,936	4,316	9,369
25 cm Z+ 15 cm WD	4,877	10,404	4,409	9,554
25 cm Z+ 20 cm WD	5,126	19,872	4,502	9,738
25 cm Z+ 25 cm WD	5,375	11,340	4,595	9,923
25 cm Z+ 30 cm WD	5,624	11,808	4,688	10,107
17 cm Z+ 30 cm WD	4,299	8,928	3,363	7,227

**Tabelle 3: Externe Kosten und Marktpreise für Außenwandkonstruktionen**

# EXTERNE KOSTEN IM LEBENSZYKLUS EINES MEHRFAMILIEN-WOHNHAUSES

Summe der externen Kosten: 40.434 Euro/Jahr  
Gutschrift durch Wiederverwertung: 3.375 Euro/Jahr



Lebenszyklus: 80 Jahre, Pellets-Zentralkessel

Kostenanteile der externen Kosten:

Errichtung: 48,4%, Betrieb: 53,8%, Rückbau/Entsorgung: -2,2% (Gutschrift)



Abb. 8: Kostenanteile externer Kosten am Beispiel eines Mehrfamilien-Wohnhauses

## 9. Sonnenenergie-Nutzung in Gebäuden

Der Nutzung der Sonnenenergie in Gebäuden kommt bei der Umsetzung der Kriterien für Nachhaltige Gebäude eine Sonderstellung zu: Im Bereich der Gebäudeplanung durch die Integration solararchitektonischer Bauteile in der Gebäudehülle, im Bereich der Wärmeversorgung durch solarthermische Anlagen zur Warmwasserbereitung und Raumzusatzheizung, und im Bereich der elektrischen Versorgung durch Photovoltaikanlagen für Haushaltsgeräte, Beleuchtung, elektrische Antriebsenergie für Heizungs- und Klimatisierungsgeräte.

Die solare Warmwasserbereitung ist heute „Stand der Technik“ und bei Neubauten bereits Standard; Abb. 9. Die Auslegung erfolgt im Sinne einer weitgehenden Abdeckung der Warmwasserbereitung außerhalb der Heizsaison. Durch die Abtrennung der Warmwasserbereitung von der Heizungsanlage wird die Effizienz der Heizungsanlage verbessert, ein Vorteil, welcher sich auch bei Sanierungsmaßnahmen auswirkt. Für dezentrale Solaranlagen zum Einsatz in Einfamilien- und Reihenhäusern existieren praxiserprobte Kompaktsysteme mit Abstimmung der Kollektorfläche und des Speichervolumens auf den täglichen Warmwasserverbrauch. In Abb. 16 werden auch die Wärmeerträge von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in den verschiedenen Klimazonen Europas ausgewiesen. Im Jahresdurchschnitt werden mit einer energie-ökonomisch ausgelegten Solaranlage zwischen 50% und 80% des Wärmeeinsatzes für Warmwasser abgedeckt. Über 80% Solaranteil entfallen auf die Monate außerhalb der Heizsaison.

Bei Mehrfamilien-Wohngebäuden erfolgt die Warmwasserbereitung über ein zentrales Wärmeversorgungssystem, wobei die Auslegung – ebenfalls unter energie-ökonomischen Aspekten – auf etwa 40% bis 60% im Jahresdurchschnitt, entsprechend etwa 70% bis 90% außerhalb der Heizsaison erfolgt; Abb. 10.

Solarthermische Anlagen bieten sich auch für die Einbindung in Wärmenetze an. Neben kommunalen Wärmeversorgungssystemen auf der Basis von Biomasse (Abb. 10), sind insbesondere kleine Wärmenetze (Mikronetze) zur Wärmeversorgung von mehreren Gebäuden bzw. Klein-Siedlungen geeignet. Beispiele aus der Praxis dokumentiert Abb. 11.

Der Einsatz einer solarthermischen Anlage zur Heizungsunterstützung erfordert die Erfüllung von Randbedingungen. Neben dem Vorliegen einer Niedertemperatur-Heizung mit Vorlauftemperaturen unter 40°C auch Standorte mit günstiger Sonneneinstrahlung in den Wintermonaten (keine Nebelzonen) und eine fachgerechte Auslegung und Installation, inklusive ein ausgeklügeltes Wärmeverteilsystem mit einem an die Solaranlage abgestimmten Regelungskonzept. Unter diesen Voraussetzungen lassen sich Solaranteile bei Heizung und Warmwasser von über 50% im Jahresdurchschnitt erreichen. Ebenfalls aus energie-ökonomischen Aspekten ist die Abstimmung von Kollektorfläche und Speichervolumen auf hohe Energieeffizienz auszurichten. Beispiele zeigt Abb. 12.

Die solare Stromerzeugung über Photovoltaikanlagen bezieht sich nicht nur zur Stromaufbringung von Haushaltsgeräten und Beleuchtung, sondern auch zum Antrieb von Wärmepumpen – erdgekoppelt oder zur Wärmerückgewinnung; Abb. 13.

# SOLARANLAGE FÜR WOHNHÄUSER



G. Faninger

Abb. 9a: Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Einfamilien-Wohnhäusern und Reihenhäusern

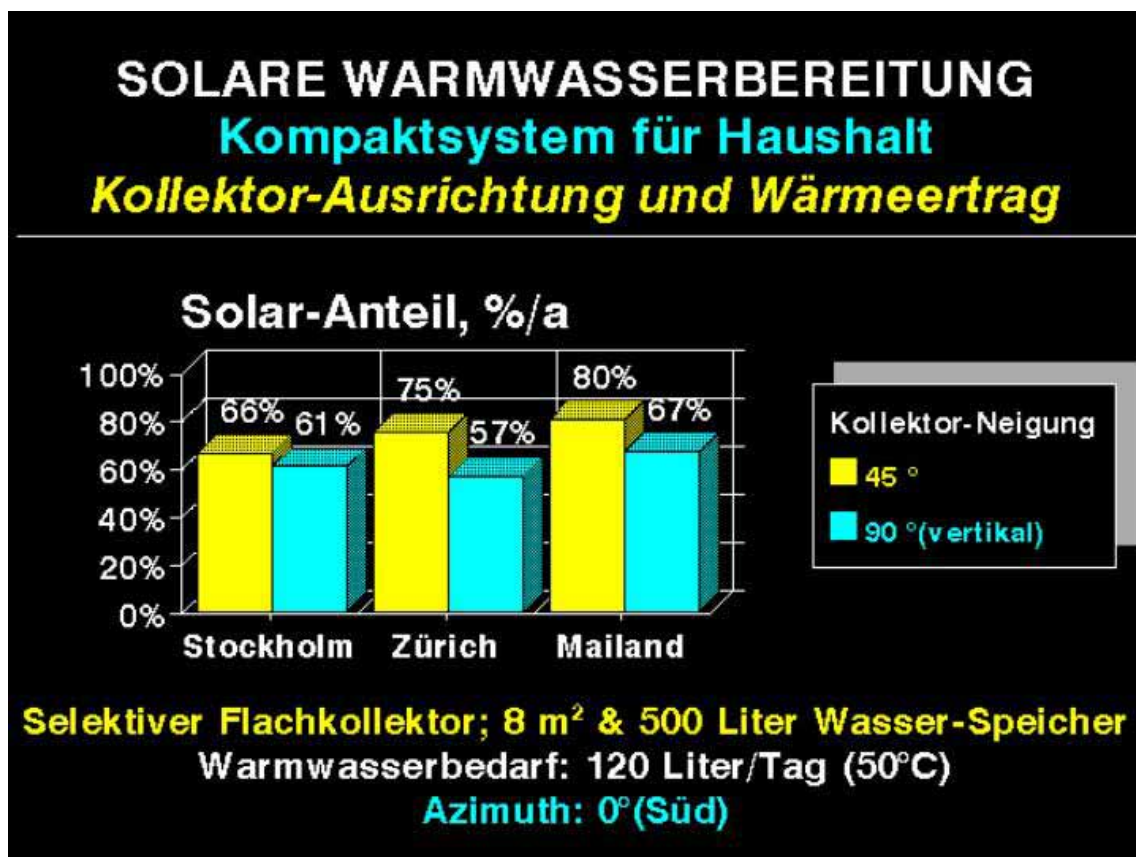


Abb. 9b: Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Einfamilien-Wohnhäusern und Reihenhäusern

# SOLARANLAGE FÜR MEHRFAMILIEN-WOHNHÄUSER



**Warmwasserbereitung**

**Solaranteil bei der  
Wärmeversorgung:  
5% - 8%**

*Gerhard Baninger*

# SOLAR-UNTERSTÜTZTE BIOMASSE-NAHWÄRME



**Warmwasserbereitung**

**Solaranteil bei der  
Wärmeversorgung:  
9% - 13%**

*Gerhard Baninger*

**Abb. 10a: Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Mehrfamilien-Wohnhäusern und zur Unterstützung kommunaler Biomasse-Wärmenetze**

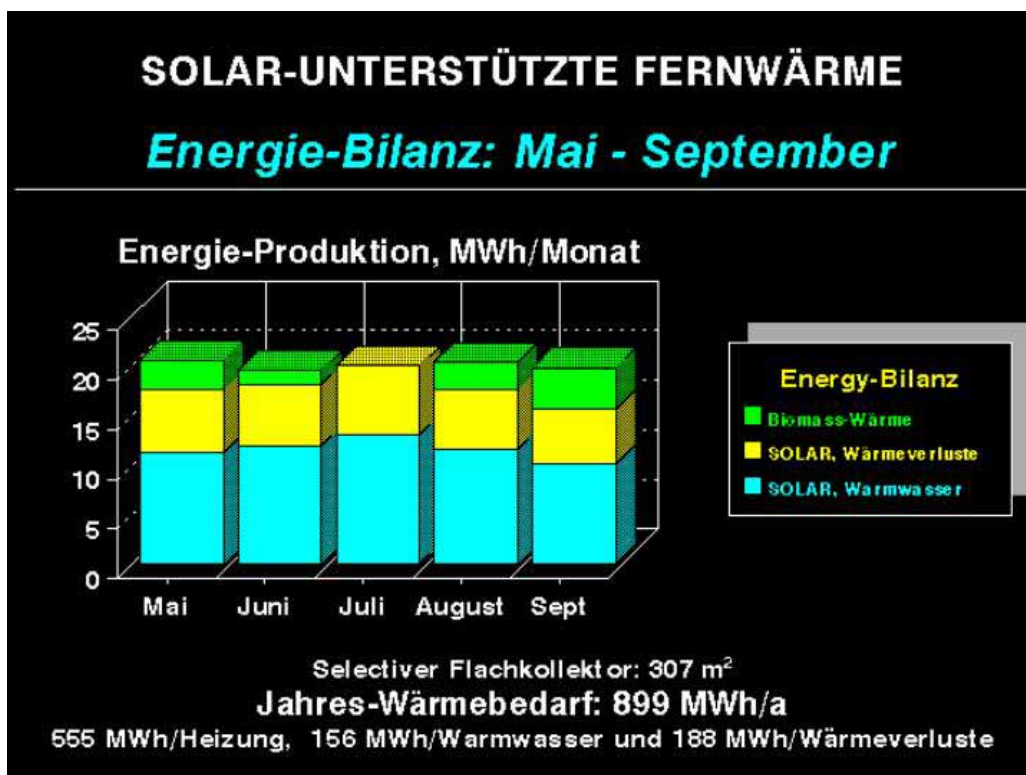
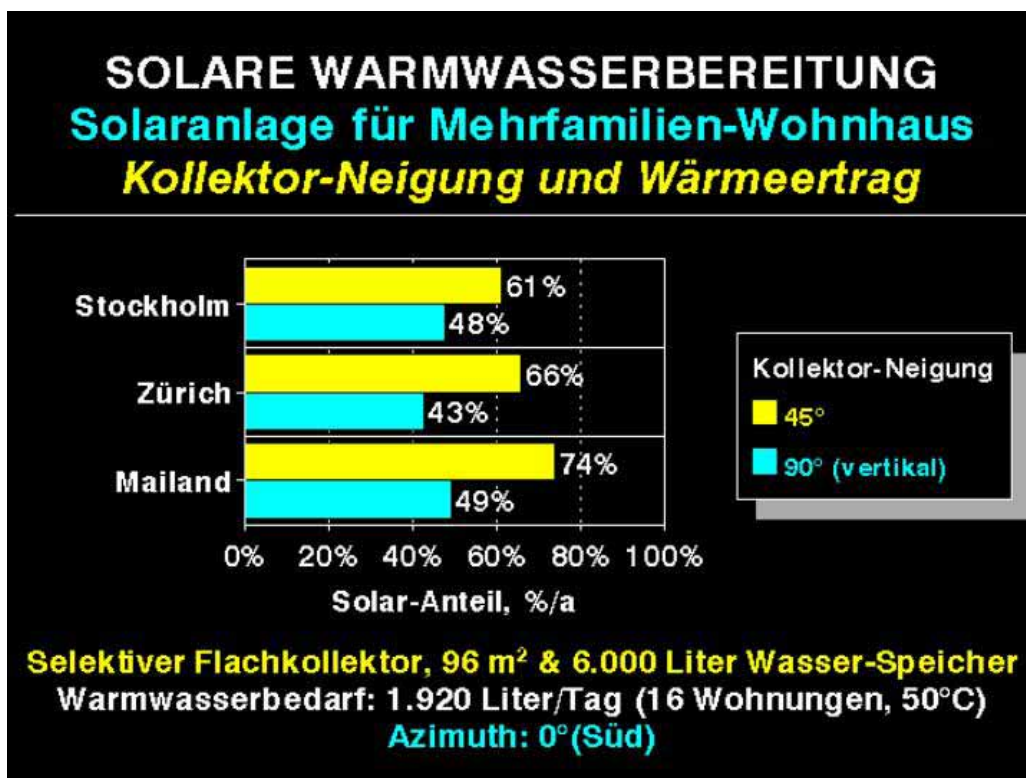


Abb. 10b: Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Mehrfamilien-Wohnhäusern und zur Unterstützung kommunaler Biomasse-Wärmenetze

# SOLARE NAHWÄRME FÜR WOHNANLAGEN



**Solaranteil bei der  
Wärmeversorgung:  
40% - 60%**

**Warmwasserbereitung  
und Heizung**



G. Faninger

# SOLARE NAHWÄRME FÜR WOHNANLAGEN



**Solaranteil bei der  
Wärmeversorgung:  
50% - 60%**

**Warmwasserbereitung  
und Heizung**



G. Faninger

Abb. 11: Solare Nahwärme für Wohnanlagen

## TEILSOLARE HEIZUNG VON EINFAMILIEN-WOHNGEBÄUDEN

**35% bis 50% Solaranteil für Warmwasser und Heizung**



**Niedrigenergie-Bauweise und Niedertemperatur-Wärmeverteilung**

**16 m<sup>2</sup> bis 25 m<sup>2</sup> Kollektorfläche**

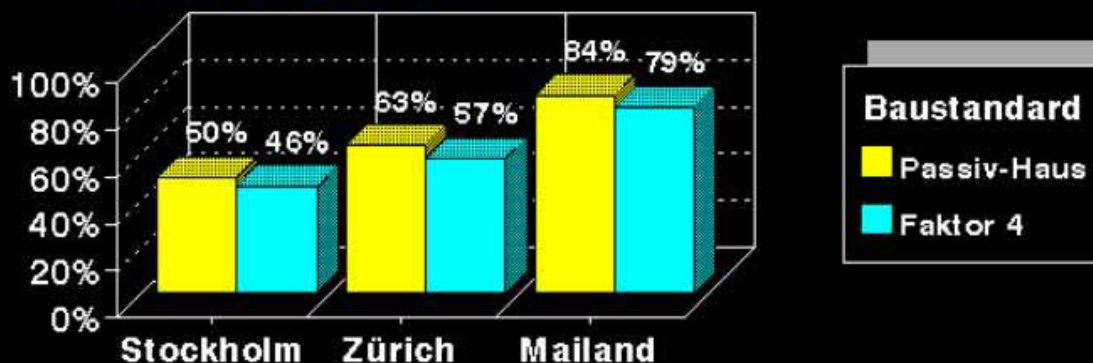
**800 Liter bis 2.000 Liter Wasser-Speicher**



G. Faninger

### SOLAR-UNTERSTÜTZTE HEIZUNG Einfamilien-Wohnhaus Energie-ökonomische Auslegung

**Solar-Anteil, %/a**



**Kollektor: 25 m<sup>2</sup>, 2 m<sup>3</sup> Wasser-Speicher  
Heizung & Warmwasser**

G. Faninger, iff-Universität Klagenfurt

Abb. 12: Solar-unterstützte Heizung



Herwig Ronacher, Hermagor/Kärnten

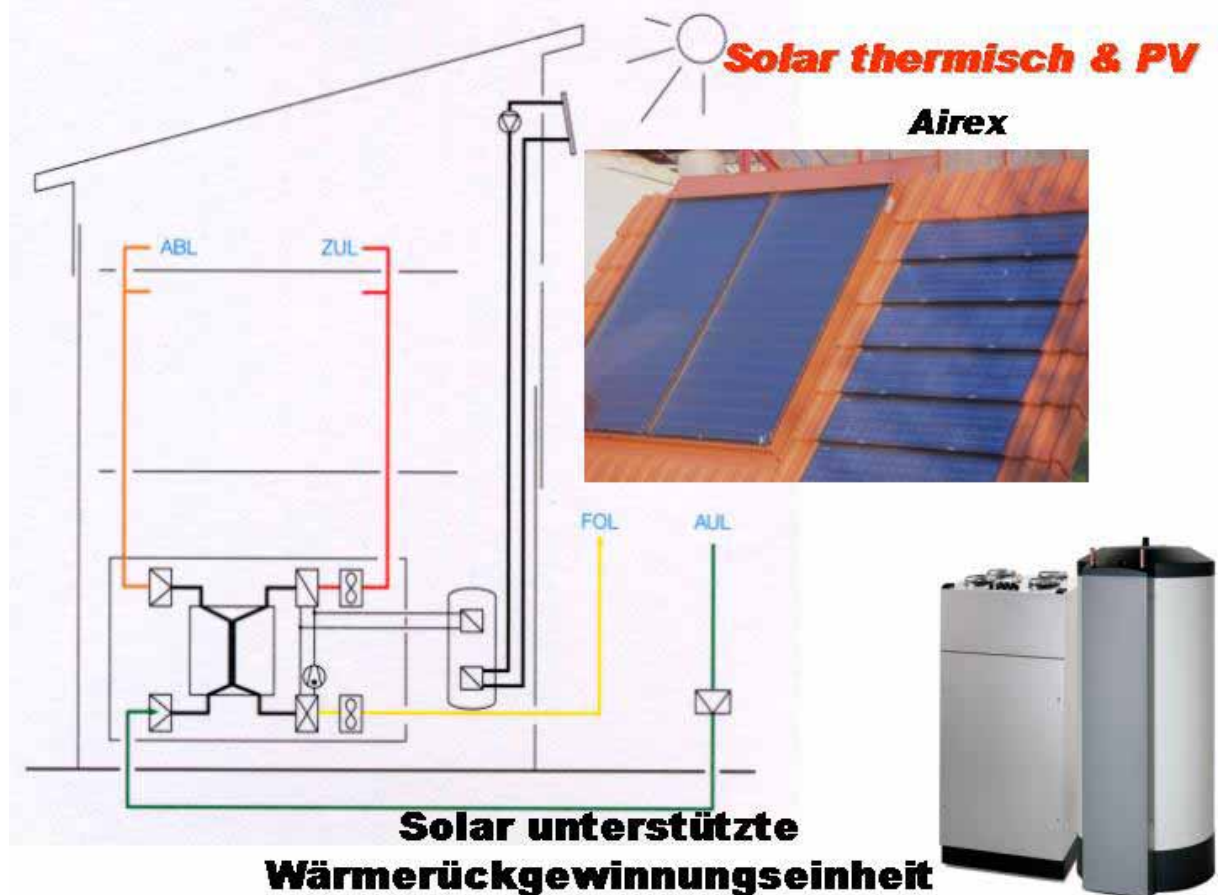


Abb. 13: Gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen

## 10. Kosten/Nutzen-Bewertung von Nachhaltigen Gebäuden

Ein Großteil der Anforderungen an Nachhaltige Gebäude (hockwärmegedämmte Gebäudehülle, angepasstes Heizungssystem) lässt sich auch unter wirtschaftlichen Aspekten realisieren: Höhere Investitionskosten sollten sich in angemessenen Zeitperioden durch geringere Heizungskosten erwirtschaften lassen. Beispiele aus der Praxis zeigen, dass die Mehrkosten bei der Investition von Nachhaltigen Gebäuden (Passivhaus-Standard) 10% der Investitionskosten von vergleichbaren Gebäuden in Standard-Ausführung nicht übersteigen; Abb. 14.



Abb. 14a: Bauwerkskosten für Nachhaltige Gebäude

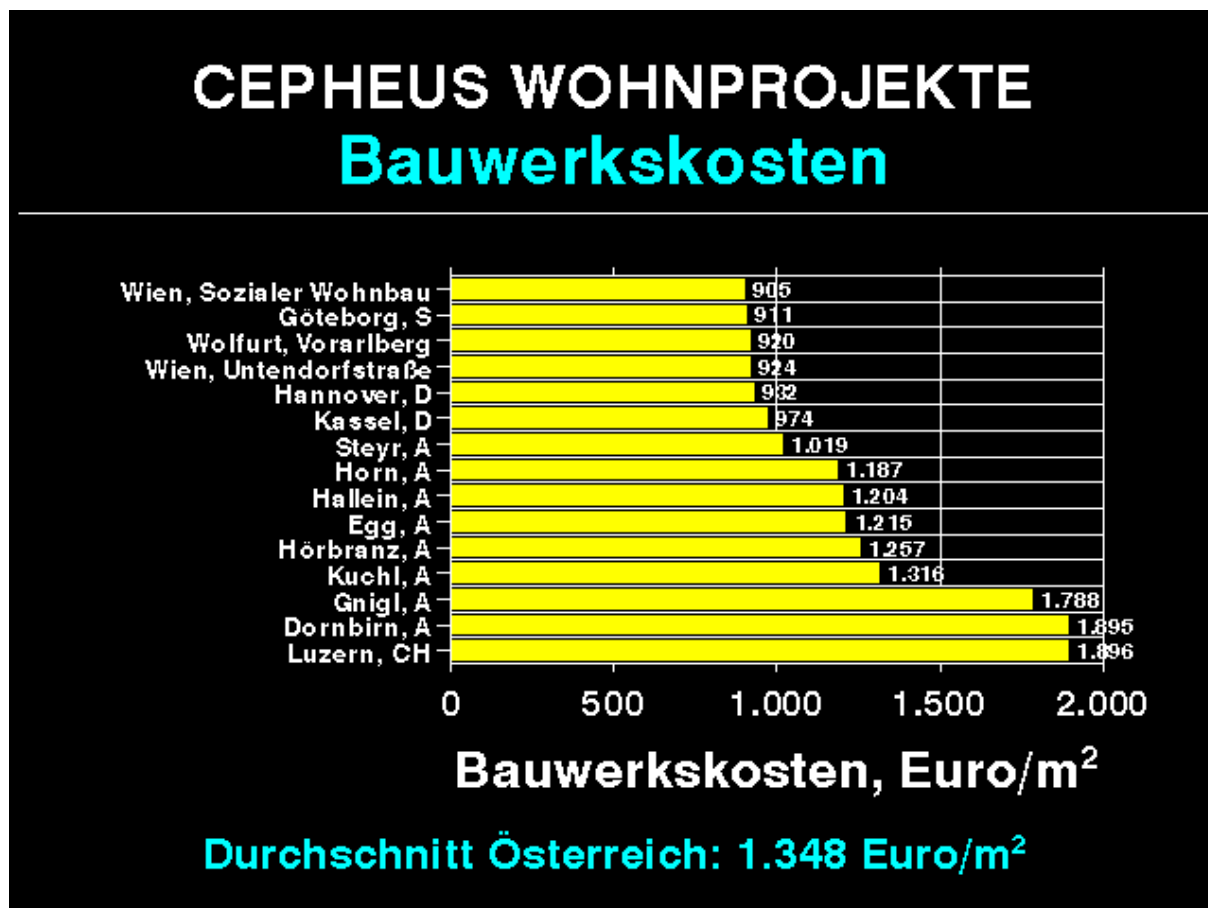


Abb. 14b: Bauwerkskosten für Nachhaltige Gebäude

## 11. Energieeinsatz in Gebäuden

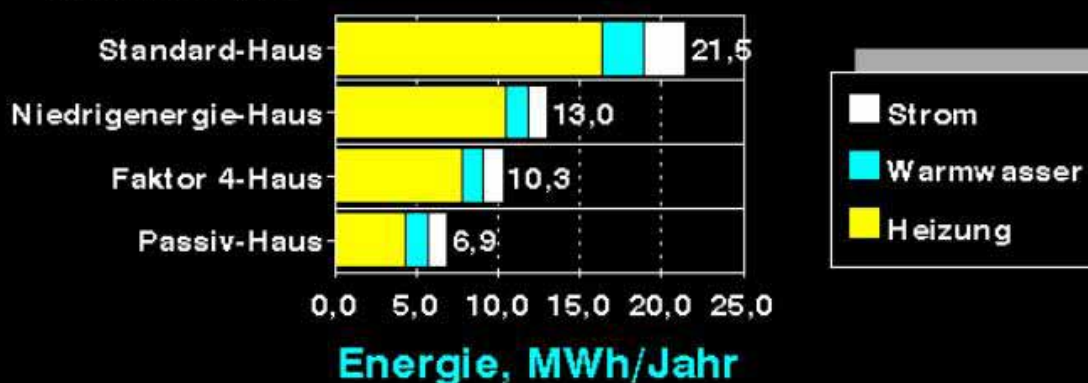
Der Energieeinsatz in Gebäuden bezieht sich auf die Wärmeerzeugung für Heizung / Klimatisierung / Kühlung und Warmwasserbereitung, auf die Stromerzeugung für Haushaltsgeräte, Beleuchtung, Antrieb von Heizungssystemen und Klimageräten sowie auf den Energieeinsatz / Treibstoffeinsatz für die individuelle Mobilität. Für alle Bereiche des Energieeinsatzes besteht ein hohes Potential zur Energieeinsparung und damit zur Reduktion von energiebedingten CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen. Abb. 15 illustriert die mit heutiger Technik auch unter wirtschaftlichen Aspekten möglichen Realisierungspotentialen betreffend Energieeffizienz. Planungsziel für Nachhaltige Gebäude - sowohl im Neubau als auch bei energetischen Sanierungsmaßnahmen - sind die in Abb. 15 angegebenen maximalen Werte für den Energieeinsatz. Abb. 16 enthält Werte für den Strombedarf energieeffizienter Haushaltsgeräte und Beleuchtung.

# ENERGIEEINSPARPOTENTIAL IN GEBÄUDEN

## Heizung, Warmwasser und Strom

Einfamilien-Wohnhaus, 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche

### Bauzustand



**Ab Niedrigenergie-Bauweise:**  
Solaranlage zur Warmwasserbereitung,  
Stromsparende Haushaltsgeräte und Beleuchtung

Abb. 15: Energieeinsparpotential in Gebäuden

# ENERGIEVERBRAUCH VON HAUSHALTSGERÄTEN

## Energieverbrauch in kWh/Jahr

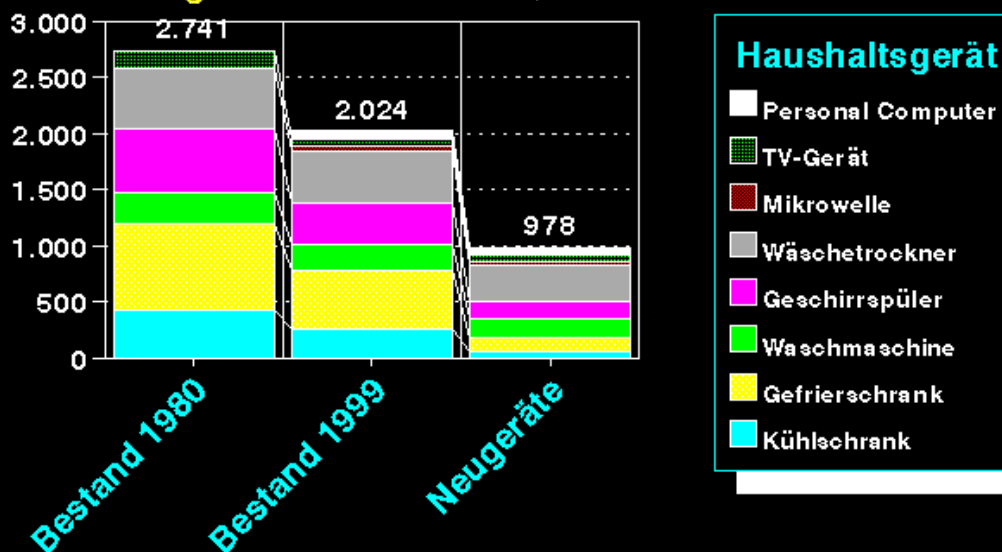


Abb. 16: Strombedarf von Haushaltsgeräten

## 12. Nachhaltige Gebäude: Chancen für die österreichische Wirtschaft

Initiativen im Bereich Nachhaltiger Gebäude bringen für die österreichische Wirtschaft einerseits Chancen für neue Arbeitsbereiche im Bereich der Baustoffe und Baukonstruktionen und andererseits bei der Markteinführung neuer Energietechniken mit Nutzung erneuerbarer Energiequellen. In Abb. 17a und 17b sind die derzeitigen Umsätze bei den neuen Energietechniken und den damit verbundenen Arbeitsplätzen ausgewiesen, welche es gilt weiter auszubauen; Abb. 17c.

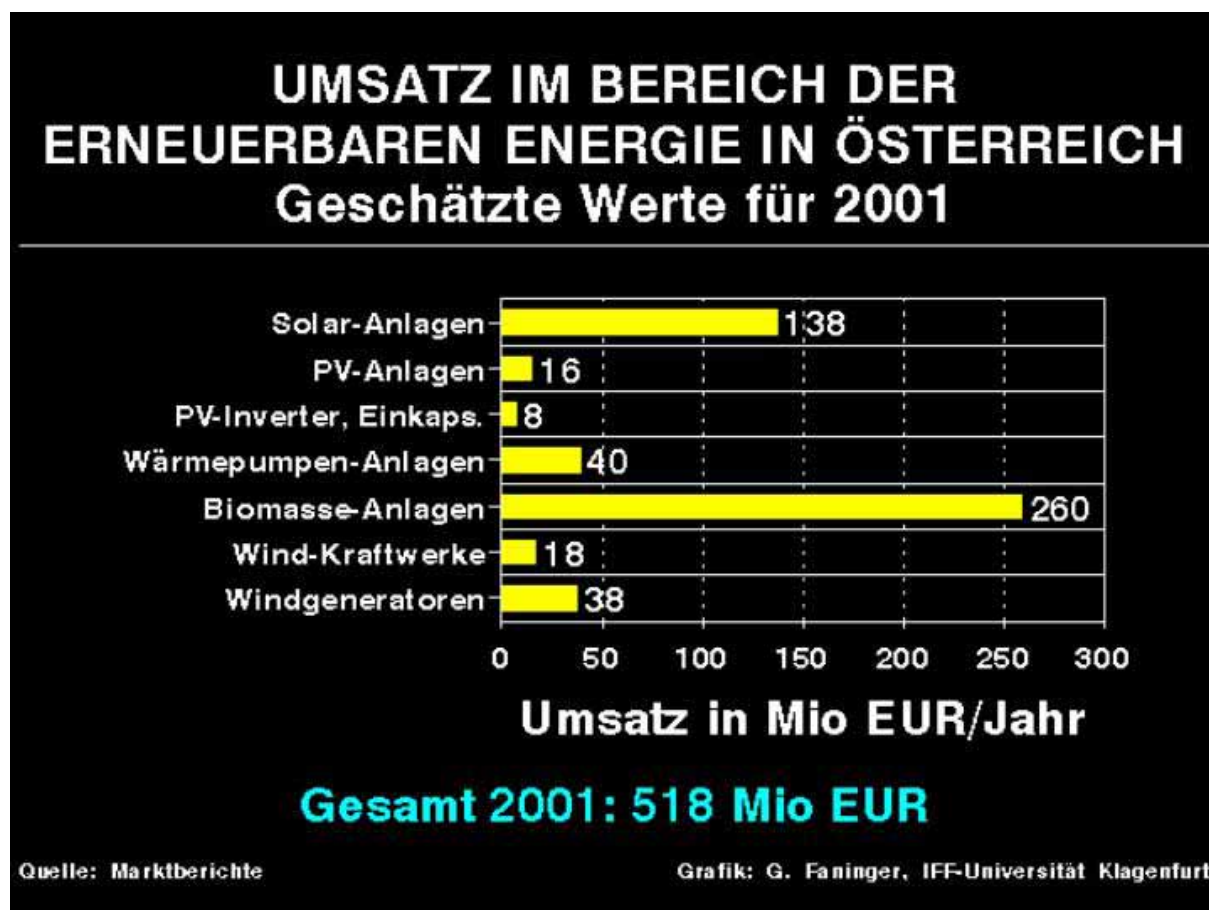


Abb. 17a: Umsatz im Bereich der neuen Energietechniken in Österreich



Abb. 17b: Arbeitsplätze im Bereich der neuen Energietechniken in Österreich



Abb. 17c: Entwicklung der Arbeitsplätze im Bereich der neuen Energietechniken in Österreich

### 13. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Nachhaltige Gebäude mit verschiedenen Ansätzen betreffend Baukörper und Heizungssystem bestimmen mit einem zunehmendem Marktanteil das Baugeschehen. Derzeit vorrangig im Neubau, aber es existieren bereits Ansätze im Bereich der Althausanierung. Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass die Kriterien für Nachhaltige Gebäude mit verfügbarer Technik und erprobten Planungskonzepten zu erfüllen sind, und dies auch unter wirtschaftlichen Kriterien. Um höchste Sicherheit bei der Realisierung der Ansätze für Nachhaltige Gebäude zu gewährleisten, ist eine noch intensivere Zusammenarbeit zwischen Planern und Wirtschaft – mit intensiver Kooperation der Benutzer – wünschenswert.

#### Literatur:

Beiträge zum Forschungsprojekt IEA-SHC-Task 28: Sustainable Solar Housing, IEA Solar Heating and Cooling Programme, Gerhard Faninger

Check-list for the Design of Sustainable Housing, Gerhard Faninger

CEPHEUS Austria: Passivhaus konkret: Helmut Krapmeier, Eva Müller  
Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn, <http://www.energieinstitut.at> und  
<http://www.cepheus.at>

CEPHEUS-Austria: Erfahrungen und Ergebnisse aus der Messbegleitung  
Alexander Thür, AEE INTEC, Gleisdorf, Austria  
Im Tagungsband „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Passiv- und Niedrigenergiehäuser“ am 17.6.2003 Programmlinie „Haus der Zukunft“ – eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

Ermittlung der externen Kosten. Studie im Auftrag des BM für Wirtschaft und Arbeit  
Manfred Bruck, Maria Fellner, Susanne Geißler, Wien, 2001

Berücksichtigung externer Kosten in der Wirtschaftlichkeitsrechnung:  
Ökologisch orientierte wirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach der erweiterten Annuitätenmethode nach ÖNorm M 7140  
Gerhard Faninger. In „Ermittlung der externen Kosten“, Studie im Auftrag des BM für Wirtschaft und Arbeit, Band VI, Wien 2002