

## Zukünftige Gebäude

Wilhelm Stahl

Projektgruppe Energie und Nachhaltigkeit  
der Architektenkammer Baden-Württemberg

Die Energiewirtschaft der Erde ist solar: im Vakuum des Weltalls allein durch die Strahlung der Sonne mit Energie versorgt und im energetischen Gleichgewicht durch die Wärmeabstrahlung ins Weltall. Das heutige fossile Zeitalter ist Teil dieser solaren Energiewirtschaft – fossile Energie = gespeicherte Solarenergie.

Die Verbrennung der fossilen Energieträger<sup>1</sup> in einem erdgeschichtlich extrem kurzen Zeitraum stört das energetische Strahlungsgleichgewicht der Erde durch die Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Erdatmosphäre.

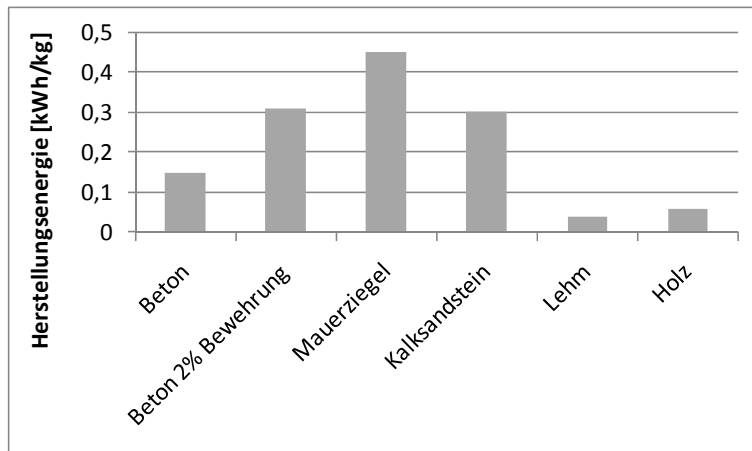
Die Endlichkeit der gespeicherten solaren Energievorräte wird parallel zum Klimawandel sichtbar und bewusst. Verknappung und steigende Nachfrage bewirken steigende Energiepreise. Entsprechend wird weltweit an den solaren Alternativen gearbeitet.

Umweltschädigender Energieverbrauch wird teurer, weil der noch kostenlose Umweltverbrauch nach dem Verursacherprinzip zwingend über kurz oder lang auf den Energiepreis aufgeschlagen werden wird. Der Emissionshandel ist ein diesbezüglicher Anfang.

Der gesamte Energieverbrauch im Lebenszyklus eines Gebäudes setzt sich aus Herstellungsenergie, Betriebsenergie und der Energie zum Rückbau eines Gebäudes zusammen. Heute steht mit den eigentlich irreführenden Begriffen „Nullenergiehaus, CO<sub>2</sub>-neutrales Gebäude, zero emission building, ...“ die Betriebsenergie noch im Vordergrund der Diskussion um die energetische Optimierung. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise muss sich an der Gesamtbilanz orientieren.

---

<sup>1</sup> durch Photosynthese kostenlos umgewandelte und gespeicherte Solarenergie



Herstellungsenergie nicht erneuerbar (Primärenergie) für ausgewählter Baustoffe. Quelle: GEMIS und eigene Untersuchungen

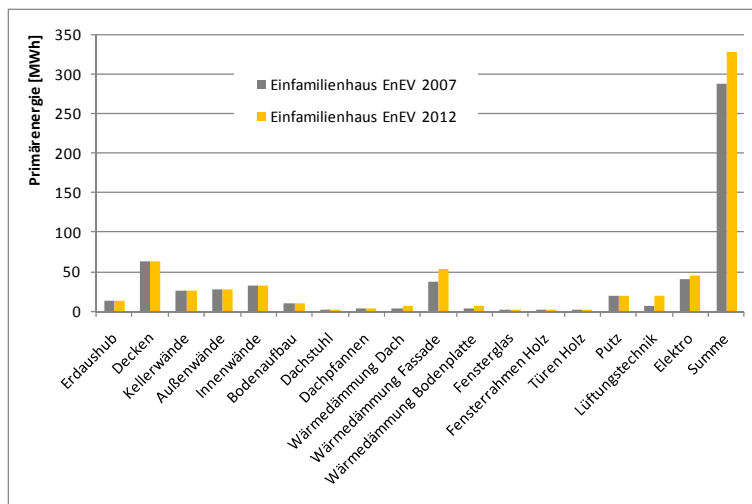
Die Untersuchungen zur Herstellungsenergie von Materialien haben trotz langjähriger Bearbeitung noch immer einen gewissen experimentellen Charakter, im Wesentlichen deshalb, weil die Diskussion über die Systemgrenzen nicht abgeschlossen scheint und eine Vielzahl veränderlicher Variablen großen Einfluss haben. Die Herstellungsenergie für Aluminium mit Bauxit aus Eleusis in Griechenland und Wasserkraftelektrizität in Kanada unterscheidet sich von der Aluminiumherstellung in Russland deutlich und der jeweilige Anteil incl. Recycling hat Einfluss auf den Wert der Herstellungsenergie für Aluminium in Deutschland. Und die Herstellungsenergie ist auch nur ein Teilaspekt des „ökologischen Rucksacks“, der Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung mit beinhalten muss /1/. Naturnahe Materialien und Baustoffe haben sowohl energetische wie ökologische Vorteile.

Nachhaltigkeit beginnt bei Gebäuden bei den ersten architektonischen Überlegungen zu Sanierung oder Neubau. Sanierung ist energetisch betrachtet besser als Neubau. Kompakte Entwürfe mit niedrigem Oberflächen/Volumen-Verhältnis sind energetisch und finanziell weniger kompakten Entwürfen überlegen. Städtebauliche Aspekte wechselwirken mit Gesichtspunkten der Solararchitektur und die Aspekte der passiven Sonnenenergienutzung treten bei verdichteter Bebauung in den Hintergrund.

Aus der Herstellungsenergie und der Betriebsenergie ergeben sich der mit der Bauaufgabe einhergehende Gesamtenergieverbrauch und die entsprechende Umweltbelastung.

Grundlage der hier beispielhaft dargelegten Gedanken bildet ein Einfamilienwohnhaus mit einer Wohnfläche von 150 m<sup>2</sup> in massiver Bauweise.

Aus Wanddicken und Gebäudeflächen ergeben sich die Baustoffmengen, die mit den spezifischen Herstellungsenergien der gewählten Baumaterialien multipliziert werden.



Überschlägige Berechnung der Herstellungsenergie (Primärenergie) für ein Einfamilienhaus mit einer Wohnfläche von 150 m<sup>2</sup> nach EnEV 2007 und mit verbesserter Wärmedämmung und Lüftungsanlage mit Lüftungswärmerückgewinnung für die zu erwartende EnEV 2012.

Die Herstellungsenergie wird nicht grundlegend durch den wärmetechnischen Gebäudestandard verändert. Der überwiegende Anteil ist im Rohbau enthalten. Darin begründet ist der energetische Vorteil der Sanierung des Gebäudebestands anstelle des Abrisses.

Zur Herstellungsenergie des Gebäudes addieren sich die Herstellungsenergien für die technische Gebäudeausrüstung. Politisch gewollt und Image fördernd kann eine Sonnenkollektoranlage zur Brauchwassererwärmung und/oder eine Photovoltaik-Anlage zur solaren Elektrizitätserzeugung

installiert werden. Abluftanlage oder Lüftungsanlage mit Lüftungswärmerückgewinnung können eingebaut werden, zur Wärmeversorgung wird zwischen einer Gasbrennwerttherme und einer Holzpellettheizung gewählt. Grundlage der nachfolgend genannten Werte für die Herstellungenergie sind Literaturrecherchen und die überschlägig aus dem Primärenergieverbrauch und dem Bruttoinlandsprodukt ableitbare Relation 2 kWh Primärenergie pro € BIP. Die in der Literatur genannten Energieamortisationszeiten von 3 Jahre für Photovoltaik und 1,5 Jahre für thermische Solaranlagen sind eine Kontrolle.

Gebäudestandard und Energieversorgungs-komponenten	Herstellungs-energie [MWh PE]	Endenergie Wärme [MWh/a]	Endenergie Elektrizität [MWh/a]
Einfamilienhaus EnEV 2007	-287	14	-2
Einfamilienhaus EnEV 2012	-328	8	-2
Passivhaus	-297	-5	-2
Erdgasbrennwerttherme 15 kW	-10		
Lüftungsanlage mit WRG	-18		
Wärmepumpe mit Erdsonden	-50		
Holzpellettheizung 15 kW	-25		
Photovoltaik-Anlage 30 m <sup>2</sup>	-36		
Sonnenkollektor-Anlage 8 m <sup>2</sup>	-6		

Herstellungenergie (Primärenergie) für ein Einfamilienhaus (Wohnfläche 150 m<sup>2</sup>) mit unterschiedlichem Wärmedämmstandard und für unterschiedliche Energieversorgungssysteme und Endenergieverbrauchswerte für Wärme und Elektrizität

Die Endenergieverbrauchswerte wurden überschlägig berechnet. Für den elektrischen Verbrauch wurden deutsche Mittelwerte unter Berücksichtigung der Verwendung energiesparender Haushaltsgeräte<sup>2</sup> zugrunde gelegt. Weiterhin wurde angenommen, dass der zusätzliche elektrische Verbrauch einer Lüftungsanlage mit Lüftungswärmerückgewinnung durch eine größere Anzahl noch effizienter elektrischer Verbraucher ausgeglichen wird.

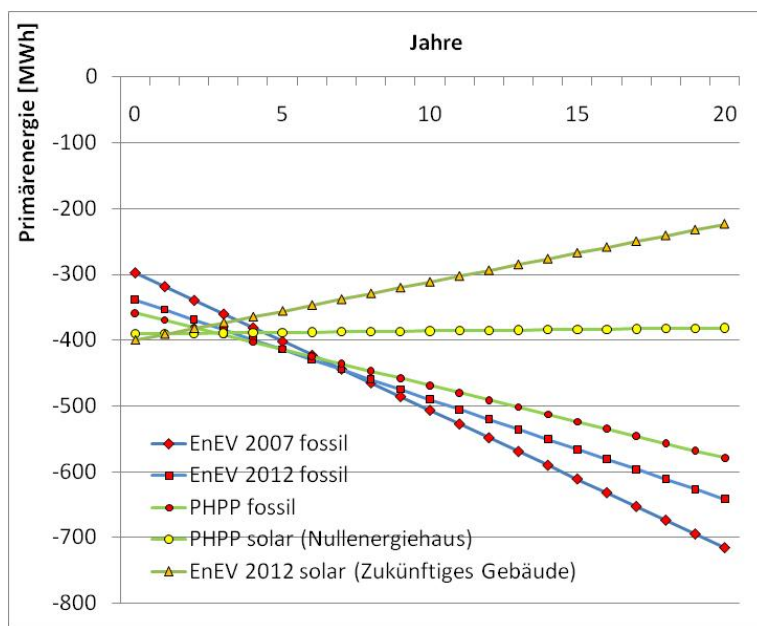
Aus Herstellungenergie und Betriebsenergie kann nur für einen wählbaren Betrachtungszeitraum eine Gesamtenergiebilanz aufgestellt werden. Fossile Herstellungenergie und fossile Betriebsenergie addieren sich

<sup>2</sup> Quelle: [www.energiesparende-geraete.de](http://www.energiesparende-geraete.de)

zu fossiler Gesamtprimärenergie, solare Energiebeiträge reduzieren die Gesamtprimärenergie. Fossile Energieträger belasten die Umwelt durch ihre CO<sub>2</sub>-Emission, regenerative Energiequellen sind CO<sub>2</sub>-neutral.<sup>3</sup>

Ein Gebäude mit fossiler Energieversorgung wird über seine Betriebszeit die Umwelt belasten. Auch eine hohe Energieeffizienz ändert an dieser Tatsache nichts. Erst mit regenerativer Energieversorgung kann fossile Herstellungenergie kompensiert und je nach Höhe der regenerativen Versorgungsbeiträge die Nutzung des Gebäudes sogar die Umwelt entlasten.

Es ergibt sich ein deutlich unterschiedliches Bild, das die Vor- und Nachteile von Energieeffizienz und Energieversorgung deutlich zum Ausdruck bringt.



Primärenergieverbrauch für ein Einfamilienwohnhaus über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren für unterschiedliche Gebäudestandards. Annahme ausschließlich fossile Herstellungenergie im 0.Jahr(fossile Primärenergie negativ).

<sup>3</sup> Diese Aussagen sind so sehr verkürzt präsentiert. Da die fossilen Energieträger auch gespeicherte regenerative Energie sind, sind diese eigentlich auch CO<sub>2</sub>-neutral. Allein die explosionsartige Emission von über Jahrmillion gespeicherter Solarenergie führt zur Klimaveränderung. Die geringfügige CO<sub>2</sub>-Emission regenerativer Energiequellen rührt von der derzeit noch eingesetzten fossilen Herstellungenergie.

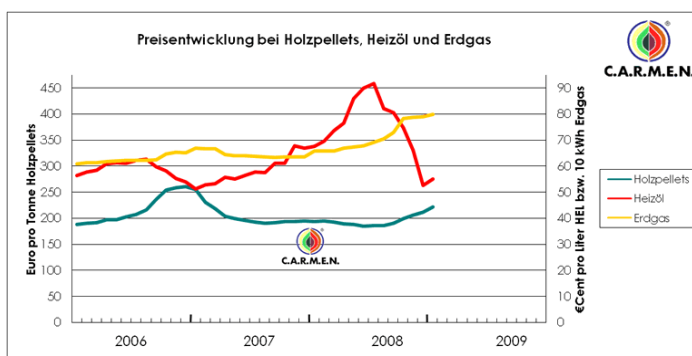
In dieser Berechnung der Herstellungs- und der zu erwartenden Betriebsenergie wird eine positive Steigung nur durch die Nutzung regenerativer Energie erreicht.

Energieeffizienz und fossile Energieversorgung sind nicht so zielführend wie Energieeffizienz und solare Energieversorgung.

Die energetische Amortisationszeit eines höheren Dämmstandards beträgt zwischen 5 und 8 Jahren. Der energetische Mehraufwand für eine solare Energieversorgung amortisiert sich in einem ähnlichen, eher etwas kürzeren Zeitraum.

Über die mittlere  $\text{CO}_2$ -Emission von  $0,22 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$  Primärenergie kann der Primärenergieverbrauch in die Umweltbelastung umgerechnet werden.

Die Wirtschaftlichkeit von Energieeffizienzmaßnahmen hängt mit der Höhe des allgemeinen Energiepreisniveaus zusammen, ein hohes Niveau fördert weiterreichende Energiesparmaßnahmen. Energiepreise unterlagen noch nie der freien Marktwirtschaft, sondern wurden immer politisch korrigiert. Bei den nachwachsenden Rohstoffen könnte sich eine Preisbildung jenseits globaler und politischer Einflüsse wegen der Dezentralität des Marktes unter der Führung mittelständischer Unternehmen ergeben. Natürlich wird der Preis nachwachsender Rohstoffe mit dem Preis fossiler Energieträger ansteigen, aber vielleicht mit geringeren Schwankungen.



Preisentwicklung für Holzpellets, Heizöl und Erdgas. Quelle:  
C.A.R.M.E.N

Bei vielen unserer durchgeführten dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnungen für unterschiedliche Energie-

versorgungsvarianten zeigt sich ein Trend hin zu dem nachwachsenden Rohstoff Holz, mit dem trotz höherer anlagentechnischer Investitionskosten gesamtwirtschaftlich kostengünstiger und umweltfreundlicher Endenergie bereitgestellt werden kann.

Geringe Herstellungsenergie und kleiner ökologischer Rucksack sind sichere Indizien für lokal verfügbare Materialien mit guter Recyclingfähigkeit. Solche ökologisch vorteilhaften Materialien haben darüber hinaus noch raumluftechnische Qualitäten. Holz beispielsweise bindet Geruchsstoffe, puffert Raumluftheuchte und emittiert keine Schadstoffe. Ähnliches gilt für andere Materialien, z.B. Lehm, mineralische Putze und Farben, Linoleum, Naturstein, usw.. Wenn wir berücksichtigen, dass wir den Großteil unseres Lebens in Innenräumen verbringen, dann sollten wir diesen gesundheitlichen Aspekten eine größere Aufmerksamkeit schenken. Eine größere Beachtung der Herstellungsenergie von Baustoffen führt also auch zu Vorteilen in anderen wichtigen nicht energetischen Bereichen.

Auswahl von realisierten „Zukünftigen Gebäuden“ mit vollständig regenerativen Energieversorgungskonzepten entwickelt durch das Büro Stahl + Weiß, Büro für SonnenEnergie, in Freiburg:



Solar-Fabrik Freiburg, erstes vollständig solar versorgtes Fabrikgebäude weltweit. Solare Energieversorgung mit Rapsöl-BHKW, Photovoltaik-Anlagen und passiver Sonnenenergienutzung.  
Architektur Rolf + Hotz, Freiburg



Plusenergiesiedlung Freiburg. Überdimensionierte Photovoltaik-Anlagen und Nahwärme mit regenerativem Wärmeanteil.  
Architektur Rolf Disch, Freiburg



Nullemissionshaus elementar, Tübingen.  
Holzpelletheizung und thermische und photovoltaische Solaranlagen.  
Architektur ARGE Sonnenmoser, Riedel, Schlierf, Tübingen



Zukünftige Gebäude sind architektonisch optimiert, energieeffizient, energetisch regenerativ versorgt und mit gesundheitsverträglichen Materialien gebaut oder saniert. Mit Lebenszyklusanalysen wird versucht, diese ganzheitliche Sicht der Dinge zu qualifizieren und zu quantifizieren. Die Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) entwickelt dafür ein gutes Zertifizierungssystem.

Zukünftige Gebäude	
Städtebau	integriert, verdichtet, Grünflächenausgleich, ÖPNV, Fahrrad
Architektur	kompakt, passivsolar optimiert
Baumaterialien	natürlich, gesund, recyclebar, geringe Herstellungenergie, dauerhaft
Heizwärme	gedämmte Gebäudehülle, Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, minimierter Heizwärmebedarf
Sommerlicher Wärmeschutz	Sonnenschutz, natürliche Klimatisierung
Elektrizität	natürliche Belichtung, effiziente Verbraucher, minimierter Elektrizitätsbedarf
Wasser	Regenwasserrückhaltung, Trinkwassereinsparung
Komfort	schadstoffminimiert, thermisch, akustisch, lichttechnisch optimiert
Wirtschaftlichkeit	höhere Investitionskosten + niedrigere Betriebskosten = kostengünstiger
Umwelt	entlastend
Image	politisch gewollt, Gütesiegel (DGNB, RAL), zukunftssicher
Herstellungenergie	< 0,4 MWh/m <sup>3</sup> BRI
Heizwärmeverbrauch incl. Warmwasser	25 – 35 kWh/(m <sup>2</sup> NGF a)
Kühlenergieverbrauch	regenerativ
gebäudespezifischer Elektrizitätsverbrauch	< 10 kWh/(m <sup>2</sup> NGF a)
nutzerspezifischer Elektrizitätsverbrauch	< 15 kWh/(m <sup>2</sup> NGF a) (Wohnnutzung)
Primärenergieverbrauch	< 0 kWh/(m <sup>2</sup> NGF a) (solare Energieversorgung)

Kriterienkatalog für „Zukünftige Gebäude“.

**Die ganzheitliche Betrachtung von fossiler und solarer Herstellungenergie und Betriebsenergie bietet eine höhere Flexibilität der energetischen Optimierung einer Bauaufgabe als die alleinige Festlegung von Grenzwerten für die Energieeffizienz. Insbesondere im Gebäudebestand sind die Möglichkeiten begrenzt. Auch deshalb ist die kontinuierliche Verschärfung der Anforderungen der EnEV allein der falsche Weg. Das regenerative Wärmegesetz ist ein erster Schritt in die richtige Richtung. Eine positive Primärenergiebilanz wäre**

**eine wesentlich umfassendere Zielvorgabe. Die gestalterischen Freiheiten des architektonischen Entwurfs würden nicht durch Grenzwerte für die Transmissionswärmeverluste oder den Primärenergiebedarf eingeschränkt werden und der zu sanierende Gebäudebestand und Neubauten würden zur Umweltentlastung und Substitution fossiler Energieträger beitragen.**

#### Literatur

/1/ Friedrich Schmidt-Bleek (Hrsg.): Der ökologische Rucksack. 2004, ISBN 3777612898

/2/ Krusche/ Althaus/ Gabriel Ökologisches Bauen Bundesumweltamt Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin 1982. Erstes ausführliches gutes Buch zu den Grundlagen und Ideen des ökologischen Bauens.

/3/ Sieferle, R. Der unterirdische Wald C.H. Beck 1982. Gutes Buch zu den grundlegenden Ideen solarer Energiesysteme!

/4/ Goetzberger, A., Voss, K., Stahl, W., Das Energieautarke Solarhaus, C.F. Müller Verlag, Heidelberg

/5/ BINE – BürgerInformation Neue Energietechniken. Kurze prägnante gute Informationen zu allen Bereichen von Energieeffizienz bis zum energieoptimierten Bauen.

/6/ Daniels, K., Technologie des ökologischen Bauens, Birkhäuser Verlag

/7/ Voss, K. Herausgeber, Bürogebäude mit Zukunft r, TÜV Verlag

/8/ Voss, K., Heinze, M., Ziel Nullenergie, DBZ 1 2009