

Energieeffizienz

Autor:
Dr. Wolfgang Feist
Passivhaus Institut
Rheinstr. 44/46
64283 Darmstadt

Dieser Beitrag erschien auch im Buch:

Rebhan (Hrsg):
"Handbuch Energie",
Heidelberg, 2001

Energieeffizienz

Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Rheinstr. 44/46, 64283 Darmstadt, www.passiv.de
Dieser Beitrag erschien auch im Buch: Rebhan (Hrsg.) "Handbuch Energie", Heidelberg, 2001

1 Energie im Haushalt

Die Haushalte beanspruchen in Deutschland etwa ein Drittel des gesamten Endenergieverbrauchs, wenn die Treibstoffverbräuche im Verkehr nicht mitgerechnet werden. Der Haushaltssektor eignet sich sehr gut dazu, die weitgehenden Möglichkeiten einer erheblich effizienteren Energienutzung zu illustrieren.

2 Energiedienstleistungen im Haushalt

Die im Haushalt nachgefragten Energiedienstleistungen sind physikalisch quantifizierbare Größen, die jedoch nicht die Dimension einer Energie haben; einige Beispiele zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Energiedienstleistungen (Beispiele)		Quantifizierung
Heizen	Bereitstellung thermisch komfortabler Wohnräume in den kälteren Jahreszeiten	Wohnfläche · Zeitintegral der Temperaturdifferenz
warmes Trinkwasser	warmes Wasser zum Duschen, Baden, Waschen, ...	Wassermenge · Temperaturdifferenz
Wäsche-waschen	saubere, hygienisch einwandfreie Wäsche	Masse der Wäsche, evtl. mit Verschmutzungsgrad
Wäsche-trocknen	schrantrockene Wäsche	Masse der Wäsche, evtl. mit Restfeuchte
Kühlen	Kühlen von Speisen u.a.; Verlängerung der Haltbarkeit.	Masse des Kühlgutes · Zeitintegral der Temperaturdifferenz
Gefrieren	Langzeitlagerung von Speisen u.a.	Masse des Gefriergutes · Zeitintegral der Temperaturdifferenz
Geschirr-spülen	Reinigung des Ess- und Kochgeschirrs mit wenig manuellem Aufwand; hygienisch einwandfreies Geschirr	Zahl der Maßgedecke, evtl. mit Verschmutzungsgrad
Beleuchtung	komfortable Lichtverhältnisse	Wohnfläche · Zeitintegral der Beleuchtungsstärke
Kommuni-kation	Übertragung von Nachrichten	Byte/s

Unter Idealbedingungen gibt es bei den wenigsten der im Haushalt nachgefragten Energiedienstleistungen eine Notwendigkeit, zu ihrer Bereitstellung Energieströme aufzuwenden. Vielmehr kommt "Energie" jeweils nur dadurch ins Spiel, dass die bei den Dienstleistungen verwendeten Energieströme die Systemgrenze "Haus" nach außen überschreiten und sich dort als Umweltwärme (Anergie) wiederfinden. In der

gebräuchlichen Terminologie werden diese austretenden Energieströme "Verluste" genannt. Letztendlich verlassen alle dem System Haus zugeführten Energieströme dieses als Anergie. Beweis: würde z.B. innerhalb eines Jahres regelmäßig Energie im System Haus verbleiben, so würde die innere Energie des Hauses kontinuierlich zunehmen, das Haus sich somit aufheizen. (Eine Zunahme von potentieller Energie kann, wie eine Überschlagsrechnung zeigt, nur in sehr geringem Umfang stattfinden). Im Idealfall muss es daher möglich sein, die überwiegende Zahl der im Haushalt nachgefragten Energiedienstleistungen zwar nicht mit dem Energieeinsatz Null (verlustfrei), jedoch mit einem beliebig kleinen von außen bereitgestellten Energiestrom zu erbringen.

Bei einer genaueren Analyse der Dienstleistungen stellt sich heraus, dass diese in der Regel in einem Aufrechterhalten eines Nichtgleichgewichtszustandes bestehen. Insbesondere bei den meisten der Dienstleistungen in Tabelle 1 ist dies der Fall. Nichtgleichgewichtszustände können auf zwei grundsätzlich verschiedene Arten aufrecht erhalten werden:

- entweder, indem man ein dynamisches Fließgleichgewicht schafft - d.h. unter Aufwand von Energie dem Gleichgewichtsbestreben **aktiv** entgegen wirkt;
- oder, indem man stationäre Barrieren errichtet, die **passiv** der Zustandsänderung entgegenwirken und damit den gewünschten Zustand als neues Gleichgewicht etablieren.

Die erste Alternative führt zu einem mehr oder minder großen aktiv bereit zu stellenden Energiestrom, der dann aber, wie oben ausgeführt, die Systemgrenze als Anergie wieder verlässt. Die zweite Alternative ist bei konsequenter Umsetzung im Idealfall ohne jede aktive Energiezufuhr möglich.

Dies ist der zentrale Gedankengang, der die prinzipielle Bedeutung der effizienten Energienutzung erklärt: Durch konsequentes Vermeiden und Reduzieren von Verlusten ist es möglich, den spezifischen Energiebedarf je erwünschter Energiedienstleistung auf sehr kleine Werte zu verringern. Diese Erkenntnis ist inzwischen durch praktische Erfolge bei der Effizienzverbesserung belegt. Einige Beispiele werden in den folgenden Abschnitten behandelt.

3 Übersicht: Aufteilung des Energieverbrauchs im Haushalt - heute und morgen

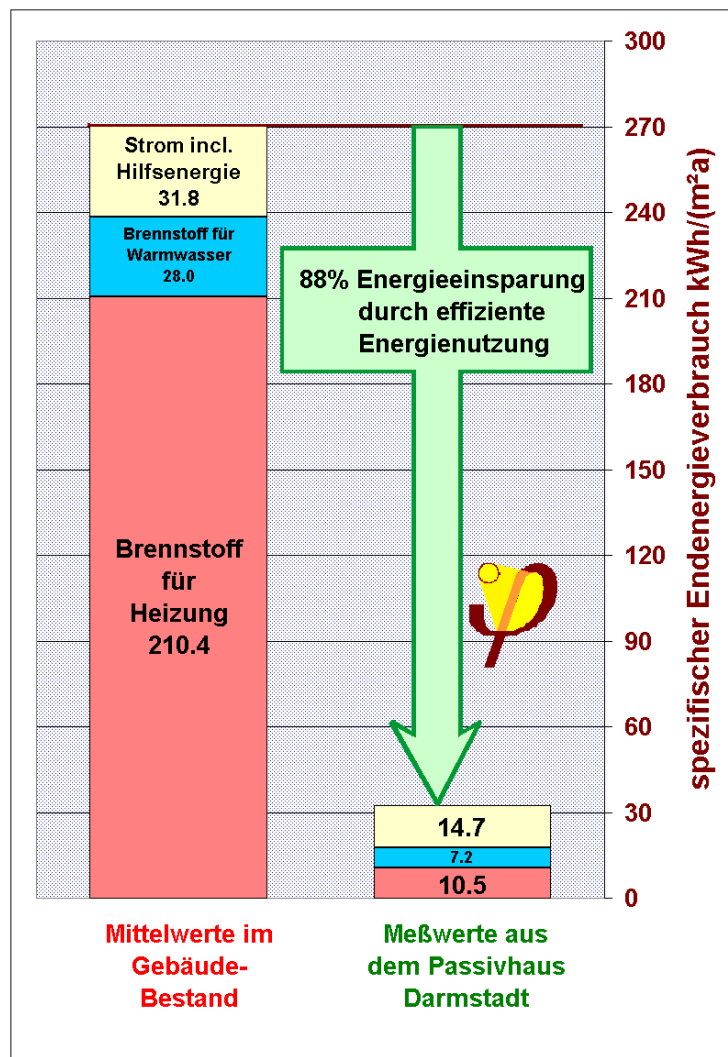
Abb. 1 zeigt auf der linken Seite die typische Aufteilung des Endenergieverbrauchs im durchschnittlichen Haushalt für den Gebäudebestand in Deutschland: Danach geht heute der überwiegende Anteil (78% bzw. 210 kWh/(m²a) bezogen auf die Wohnfläche) in die Gebäudeheizung. Der Energiebedarf für Raumheizung kann sowohl im Bestand [Feist 1998a] als auch bei Neubauten beträchtlich verringert werden. Den heutigen Stand der Technik bei hocheffizienten Gebäuden geben die sogenannten "Passivhäuser" vor. Bei diesen ist der Jahresheizwärmebedarf typischerweise auf 10 bis 15 kWh/(m²a) begrenzt. Dies ist weniger als ein Zehntel der noch üblichen Verbräuche im Bestand. Bei einer derart effizienten Energienutzung zur Raumwärmebereitstellung verliert diese ihren dominanten Stellenwert, und andere Energieanwendungen treten in den Vordergrund.

Der Brennstoffeinsatz für die Warmwasserbereitung macht heute etwa 10% bzw. 28 kWh/(m²a) am Verbrauch eines typischen Haushaltes aus. Auch hier sind bedeutende Effizienzverbesserungen möglich, wobei darüber hinausgehend in diesem Bereich schon heute der Einsatz von thermischen Solaranlagen attraktiv ist. Durch eine Kombination von Solaranlage und effizienter Haustechnik kann der restliche Endenergiebedarf bei hohem Komfort auf etwa 7 kWh/(m²a) gesenkt werden (Messwerte aus dem Passivhaus Darmstadt).

Der Stromverbrauch für Haushaltsgeräte, Hilfsenergie und Beleuchtung trägt im durchschnittlichen Haushalt mit 31,8 kWh/(m²a) zu etwa 12% zur Endenergie-nachfrage bei. Allerdings muss bei der Bewertung des Stromverbrauchs der höherer Primärenergieeinsatz von 2,97 kWh_{Primär}/kWh_{End} im Auge behalten werden. Bezogen auf die erforderliche Primärenergie schlägt der Stromeinsatz im Haushalt denn auch mit etwa 27% schon heute deutlich zu Buche. Auch bei der Stromanwendung ist eine bessere Energieeffizienz möglich; im Bestand sind heute überwiegend Altgeräte im Einsatz, die eine weit geringere Effizienz besitzen als heute marktübliche effiziente Hausgeräte. Feldmessungen in Musterhaushalten haben gezeigt, dass ein vollständig mit Elektrogeräten ausgestatteter Haushalt bei Auswahl heute verfügbarer effizientester am Markt verfügbarer Geräte mit weniger als 15 kWh/(m²a) auskommt.

Abb. 1 Vergleich des durchschnittlichen Energieverbrauchs in einem deutschen Haushalt (1996) mit dem gemessenen Verbrauch im Vierfamilienhaus "Passivhaus Darmstadt Kranichstein". Durch konsequente Anwendung von Effizienztechniken ist es gelungen, 88% des üblichen Energieeinsatzes einzusparen. Die Geräteausstattung und der Komfort sind dabei noch besser als im Durchschnitt.

Auf der rechten Seite von Abb. 1 ist die resultierende Aufteilung des Endenergieverbrauchs in einem Haushalt mit sehr hoher Energieeffizienz wiedergegeben. Es handelt sich dabei um durchschnittliche Messergebnisse bei den vier Haushalten (insg. 14 Personen) im Passivhaus Darmstadt für den Zeitraum 1992-1996. Der spezifische Endenergieverbrauch ist hier gegenüber dem Durchschnitt



im Bestand ausschließlich durch den Einsatz hocheffizienter Technik (inkl. einer

solaren Brauchwarmwasserbereitung) um 88% verringert. Der praktische Erfolg der Effizienztechnik illustriert eindrucksvoll, dass die prinzipiellen Überlegungen zur Thermodynamik des Energieeinsatzes im Haushalt korrekt sind: Der noch erforderliche Energieeinsatz zur Bereitstellung der Energiedienstleistungen lässt sich auf einen beinahe verschwindenden Bruchteil der heute üblichen Energieströme reduzieren.

4 Effiziente Raumheizung: Prinzip des Passivhauses

Bei der Verringerung des Energiebedarfs zur Raumheizung sind in den vergangenen Jahrzehnten erhebliche Fortschritte zu verzeichnen. Waren in den siebziger Jahren noch Heizölverbräuche von 3000 bis 4000 Liter im Jahr (mehr als 270 kWh/(m²a)) für ein Einfamilienhaus üblich, so wurden Mitte der neunziger Jahre durch verbesserte Heiztechnik und durch Wärmeschutzmaßnahmen im Bestand mit ca. 210 kWh/(m²a) bereits um 20 bis 30% niedrigere Verbräuche erreicht, obwohl der Komfort inzwischen deutlich verbessert worden ist. Bei Neubauten sind die spezifischen Heizenergieverbrauchswerte noch stärker gesunken: Bei Häusern, die der Wärmeschutzverordnung von 1995 genügen, reichen weniger als 100 kWh/(m²a) aus. Mit der angekündigten Novelle zur Energieeinsparverordnung (EnEV) wird der Bedarf noch einmal um 25 bis 30% gesenkt werden. Damit wird für Neubauten generell der Standard des "Niedrigenergiehauses" verbindlich. Niedrigenergiehäuser hatten sich in zahlreichen Programmen von Bund und Ländern bereits seit Mitte der achtziger Jahre bewährt. Felduntersuchungen zeigen, dass die niedrigen Energieverbräuche durch besseren Wärmeschutz, effiziente Heiztechnik und moderne Lüftungstechnik reproduzierbar erreicht werden können [Feist 1989][Eicke 1997].

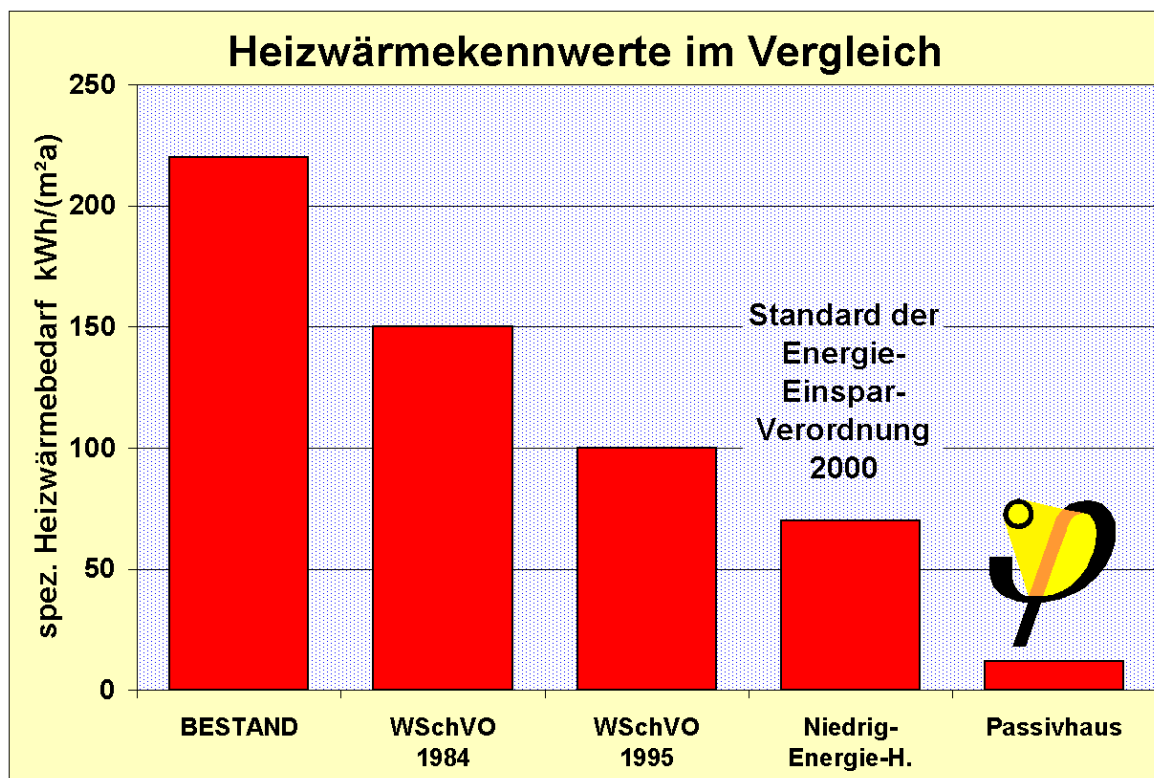


Abb. 2 Die Entwicklung des Energieverbrauchs für Raumwärme: Durch immer besseren Wärmeschutz ist es gelungen, dass künftig bei durchschnittlichen Neubauten (Niedrigenergiehäuser) nur noch etwa ein Drittel der Heizwärme

gegenüber dem Altbaubestand benötigt wird. Mit dem Passivhaus wird eine neue Qualitätsstufe erreicht: Der Restheizenergiebedarf wird vernachlässigbar gering; ein separates Heizsystem wird gar nicht mehr benötigt.

Das Passivhaus ist eine konsequente Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses zu noch höherer Energieeffizienz. Dabei kommen überwiegend passive Techniken zum Einsatz, um die Wärmeverluste eines Gebäudes noch weiter zu reduzieren (Abb. 3): sehr gute Wärmedämmung, wärmebrückenfreies Konstruieren, hohe Luftdichtheit, Fenster mit im Zeitmittel des Kernwinters positiven Netto-Wärmebilanzen und eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung aus der Abluft. Die sehr gute Wärmebewahrung im Passivhaus sorgt dafür, dass die maximal auftretenden Heizlasten im Winter so gering sind, dass ein separates Wärmeverteilungssystem nicht mehr erforderlich ist [Feist 1998a]. Liegen die Heizlasten nämlich unter 10 W/m^2 Wohnfläche, so kann die noch erforderliche Restheizung bequem über das Zuluftsystem erfolgen (Kasten). Das gesamte haustechnische Konzept des Gebäudes vereinfacht sich dadurch erheblich.

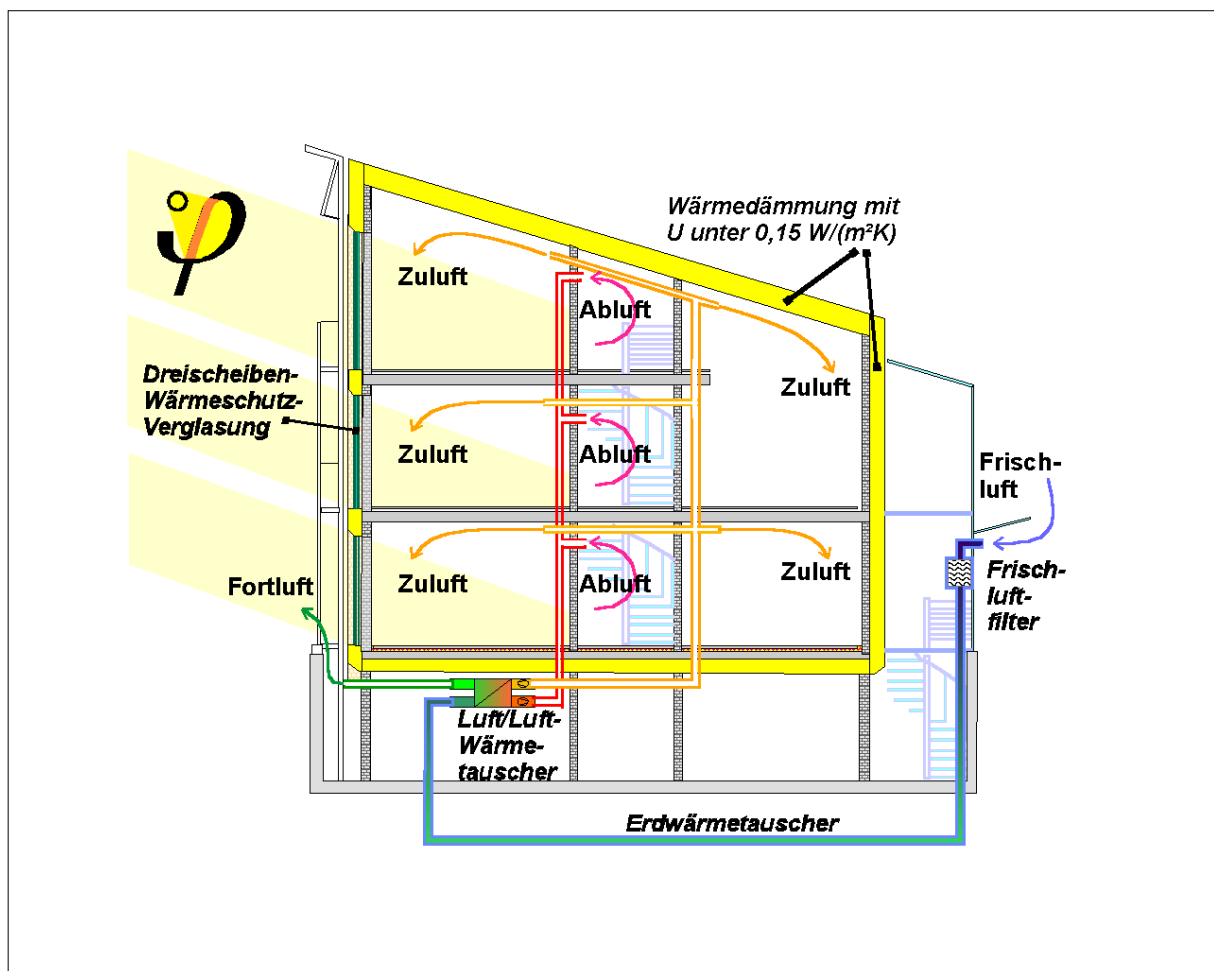


Abb. 3: Schnitt durch ein Passivhaus: Hohe Wärmedämmung die wärmebrückenfrei und luftdicht ausgeführt ist, Superfenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen und Lüftungswärmerückgewinnung mit über 80% Rückgewinnungsgraden machen den Verzicht auf eine konventionelle Heizung möglich.

Abb. 4 zeigt die Heizwärmebilanzen eines Hauses nach der Wärmeschutzverordnung von 1995. Entscheidend für das Verständnis der Funktion von

Passivhäusern ist das Denken in Energiebilanzen. Die entscheidende Bilanzgleichung für die Gebäudehülle aus Abb. 3 lautet:

$$Q_H = Q_T + Q_V - \eta(Q_S + Q_I),$$

in Worten: die Summe der austretenden Wärmeströme gleicht der Summe der eintretenden Wärmeströme.

Dabei bezeichnet Q_T den Transmissionswärmeverlust infolge Wärmeleitung ($UA\Delta\vartheta$ mit dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten U in $W/(m^2K)$, der Oberfläche des Hauses A in m^2 , der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Außentemperatur $\Delta\vartheta$ in K) während der Heizzeit t , Q_V den Lüftungswärmestrom ($nVc_p\rho\Delta\vartheta$ mit dem Luftwechsel n in h^{-1} , dem Innenluftvolumen V , der spezifischen Wärmekapazität c_p und der Dichte ρ der Luft), Q_S die solaren Wärmegewinne und Q_I die inneren Wärmequellen durch Personen und Hausgeräte; η ist der Ausnutzungsgrad der solaren und inneren Wärmegewinne. Als Bilanzrest ergibt sich der Heizwärmebedarf Q_H , das ist die vom Heizsystem bereitzustellende Wärme.

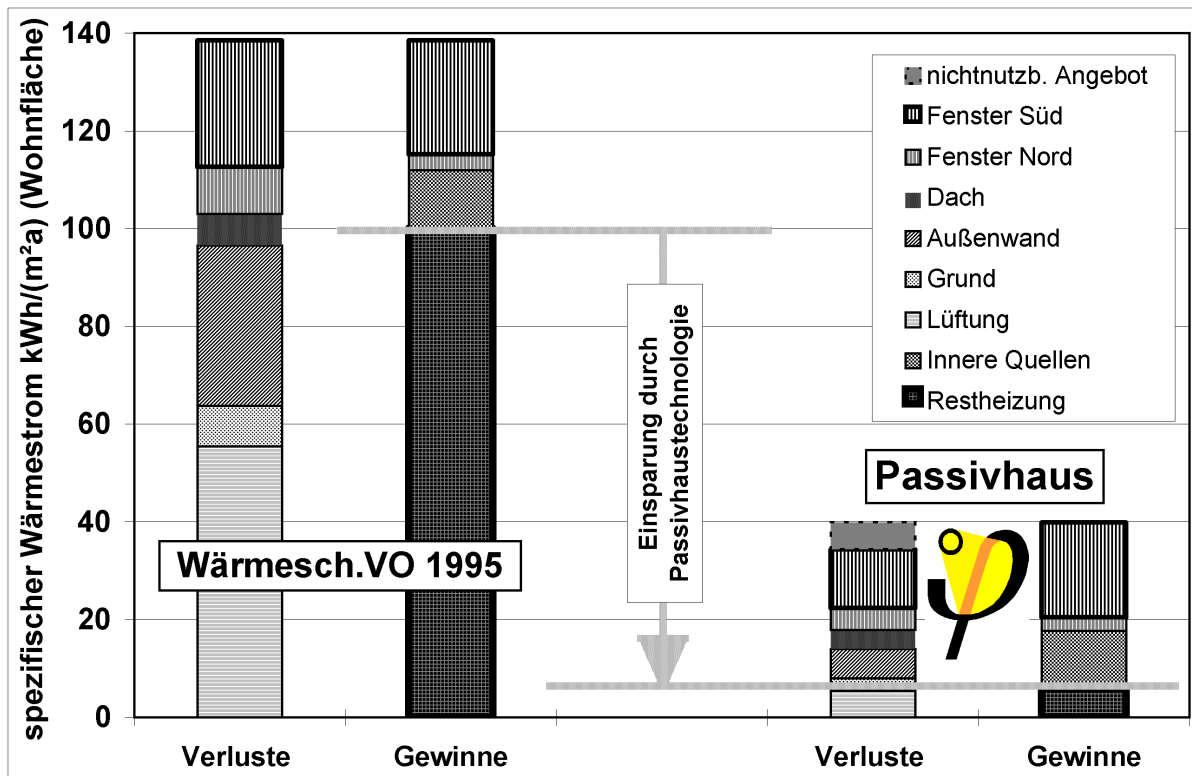


Abb. 4: Vergleich der Heizwärmebilanzen eines Hauses, das gerade der Wärmeschutzverordnung von 1995 entspricht (linke Seite) mit der eines Passivhauses (rechte Seite). Wegen der Verfügbarkeit von freier Wärme, die sich aus den solaren und den inneren Wärmegewinnen zusammensetzt, kann der durch die Restheizung aufzubringende Wärmestrom extrem gering werden. In einem Passivhaus lässt er sich allein über die Zuluftnacherwärmung decken.

Zwar werden die Wärmeverluste des Passivhauses in Abb. 4 im Vergleich zum Referenzgebäude "nur" um ca. 2/3 abgesenkt. Da jedoch die inneren und die passiv solaren Gewinne fast auf gleicher Höhe verbleiben, beträgt der Wärmebedarf des Hauses nur etwa ein Siebtel. Dadurch wird der Verzicht auf ein separates Heizwärmeverteilssystem möglich; der verbleibende Bedarf an Heizwärme ist so

gering, dass er auch auf lange Sicht nachhaltig bereitgestellt werden kann, z.B. aus Biomasse oder aus Windenergie.

Das Besondere an der Passivhaus-Technologie ist, dass die höhere Effizienz allein durch eine Verbesserung der Qualität von ohnehin in jedem Neubau erforderlichen Komponenten erreicht wird: Geschosdecken, Außenwände, Fenster und Dächer werden in jedem Haus benötigt. Die Verbesserung der Qualität dieser Bauteile muss noch nicht einmal mit höheren Baukosten verbunden sein. Neben der Energieeinsparung bringt die Qualitätsverbesserung allerdings noch weiteren Nutzen: Die Innenluft ist durch die kontinuierliche Lüftung spürbar verbessert; hohe Wärmedämmung und Wärmebrückenfreiheit bieten einen hervorragenden Schutz gegen feuchtebedingte Bauschäden und heben zugleich die Behaglichkeit.

Positive Zusatzwirkungen der eben genannten Art sind im übrigen typisch für den Einsatz von Energie-Effizienz-Technologien. Dies hat eine verallgemeinerungsfähige Ursache: Effizienz-Technologien beruhen darauf, Energieströme zu begrenzen, die das Nutzungssystem ungewollt verlassen (sog. "Energieverluste"). Hohe ungewollte Energieströme haben aber in aller Regel Nebenwirkungen, die an verschiedener Stelle unangenehm auffallen: Hohe Reibungswärme führt zum Verschleiß, hohe Wärmeverlustströme führen zu kälteren Innenoberflächen, Abwärmen müssen abgeführt werden. Diese Nachteile verringern sich um so mehr, je effizienter die Nutzungssysteme ausgelegt werden.

Was ist ein Passivhaus?

Ein Passivhaus ist ein Gebäude mit derart geringem Heizwärmebedarf, dass eine separate Heizung überflüssig wird: Die Wärme kann über das ohnehin vorhandene Zuluftsystem zugeführt werden.

Herleitung der „Passivhaus-Bedingung“:

Eine kontrollierte Wohnungslüftung ist aus hygienischen Gründen erforderlich. **Hygienebedingung Zuluft: $V \approx 30 \text{ m}^3/(\text{h und Person})$**

macht bei 30 m^2 Wohnfläche pro Person $\approx 1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$

Temperaturbegrenzung: $\vartheta < 50^\circ\text{C}$ im Nacherhitzer.

$$\Rightarrow \Delta\vartheta = 30 \text{ K; max. Heizleistung } P_{\text{Hz}} = 1 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2) \cdot 0,33 \text{ Wh}/(\text{Km}^3) \cdot 30 \text{ K} \\ = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Wohnfläche}).$$

5 Effiziente Warmwasserbereitung

Weil sich der Heizenergieverbrauch von Wohngebäuden wegen des besser werdenden Wärmeschutzes immer mehr verringert, stellt der Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung einen immer höheren Einzelposten. Der Nutzwärmebedarf für warmes Wasser liegt je nach Ansprüchen bei einer vierköpfigen Familie zwischen 1 500 und 5 000 kWh/a. Hierzu kommen leicht noch einmal 1 000 bis 3 000 kWh/a an Wärmeverlusten von Speichern, Versorgungs- und Zirkulationsleitungen sowie

Stichleitungen. Wenn der Energiebedarf für die Raumheizung, wie etwa in einem Passivhaus, so gut wie Null ist, lohnt es sich, die Brauchwarmwasserbereitung sorgfältig zu projektieren (vgl. auch [Stärz 1997]).

Im Vordergrund stehen auch hier zunächst Maßnahmen zur Reduzierung von Wärmeverlusten:

- Grundsätzlich sollten alle warmwasserführenden Leitungen innerhalb der beheizten Hülle verlegt werden, und auch die Warmwasserspeicher sollten dort stehen. Wärmeverluste dieser Komponenten werden dann wenigstens in der Heizzeit als innere Wärmequelle wirksam.
- Das Warmwassernetz sollte möglichst kurze Leitungslängen haben, was im übrigen auch Investitionskosten spart.
- Wenn Systemteile doch außerhalb der thermischen Hülle liegen, müssen diese sehr gut gedämmt werden. Ökonomisch sinnvoll ist die doppelte Dämmstärke gegenüber der gültigen Heizungsanlagenverordnung [Feist 1998b].
- Warmwasserleitungen und Brauchwasserspeicher müssen auch dann gut wärmegeklämt werden, wenn sie innerhalb beheizter Räume verlegt werden. Dies dient nicht nur der Verringerung der Energieverluste; es ist auch notwendig, um die Aufheizung des Hauses im Sommer zu begrenzen.
- Es lohnt sich, wassersparende Armaturen wie Sparduschköpfe etc. einzusetzen. Gleichfalls empfiehlt sich ein wärmedämmender Badewannenträger.

Durch die hier beschriebenen Maßnahmen lässt sich der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung bereits deutlich senken (20 bis 40%).

Für eine effiziente Brauchwassererwärmung stehen eine Reihe von Alternativen zur Verfügung:

- Bei **Reihenhäusern** ist eine die gesamte Häuserzeile umfassende zentrale Warmwasserversorgung mit Zirkulationsleitung innerhalb der beheizten Hülle eine kostengünstige Lösung. Die Brauchwassererwärmung erfolgt dann **zentral am besten mit einem Brennwertkessel**.
- **Brauchwassersolaranlagen** erfreuen sich schon heute einer großen Beliebtheit, auch wenn es sich um vergleichsweise teure Komponenten handelt.
- Eine innovative Wärmeerzeugung, die auch schon für das Niedrigenergiehaus interessant sein könnte, wird durch einen **direktbeheizten Warmwasserspeicher** ermöglicht. Brennstoff und Verbrennungsluft treten von oben in den im Zentrum des Speichers stehenden Brennraum ein.
- Eine interessante Variante stellt eine effiziente **Brauchwasserwärmepumpe** (Jahresheizzahl > 3) dar, deren Wärmequelle die Abluft im Niedrigenergiehaus oder die Fortluft nach dem Luft-Luft-Wärmetauscher eines Passivhauses sein kann. Über den größten Teil des Jahres hat die Fortluft Temperaturen über 15°C und bietet einen Gesamtquellwärmestrom (einschließlich latenter Wärme) von 500 bis 800 Watt. Damit ist auch bei hohen Ansprüchen eine vollständige

Bereitstellung des Warmwassers mit einem Wärmepumpen-Stromeinsatz zwischen 500 und 1 500 kWh/a möglich.

Wegen der geringen Investitionskosten wird auch die direktelektrische Warmwasserbereitung z.B. mit elektrischen Durchlauferhitzern diskutiert. Diese Variante hat zweifelsohne die geringsten Investitionskosten. Mit einer direkt-elektrischen Warmwasserbereitung ist es u.U. nicht einfach, den Primärenergiekennwert von 120 kWh/(m²a), der für eine effiziente Wärmebereitstellung gefordert wird, zu erreichen.

6 Haushalts-Elektrizität

6.1 Kochen und Backen

Für Backöfen wird in der Produktinformation ein Normverbrauch angegeben, anhand dessen sich die Effizienz verschiedener Geräte vergleichen lässt. Allerdings ist auf das Backen in der Regel nur ein vergleichsweise geringer Teil des Energieverbrauchs zurückzuführen; es überwiegt das Kochen auf den Herdplatten. Standardkochmulden unterscheiden sich untereinander nicht wesentlich im Energieverbrauch. Gasherde haben etwa denselben spezifischen Endenergieverbrauch wie übliche Elektro-Kochplatten; Primärenergie und laufende Energiekosten sind aber aufgrund der Wahl des Energieträgers bei Gas geringer. Effizienter sind Induktionsherde und Kochplatten mit Halogen-Strahlungsheizung. Allerdings kann nicht erwartet werden, dass sich deren sehr hohe Mehrkosten allein durch die Energieeinsparung rentieren.

Weitere Einsparungen beim Kochen sind in Zukunft erzielbar durch super-vakuumisolierte Herde und Kochgeschirr mit integrierter Wärmedämmung. Die Wärmezufuhr bei Garprozessen kann darüber hinaus elektronisch geregelt werden. Der Wärmebewahrung und Wärmerückgewinnung sind beim Kochen und Backen aus praktischen Gründen engere Grenzen gesetzt als bei allen anderen Haushaltsanwendungen. Daher wird künftig ein immer bedeutenderer Anteil des Energieverbrauchs der Haushalte für diese Anwendung aufgewendet werden; dies zeigte sich schon bei der vermessenen Energiebilanz des Passivhauses Darmstadt.

Primärenergetisch vorteilhaft ist das Kochen mit Gas. Im Demonstrationsgebäude in Darmstadt Kranichstein haben alle vier Haushalte Gasherde. Als Beispiel wurde dort der Energieverbrauch gemessen, um 1 l Wasser zum Kochen zu bringen [Feist/Ebel 1997]:

	Leistung	Nutzungsgrad
große Flamme (ohne Deckel):	3,3 kW	31 %
mittlere Flamme (ohne Deckel):	1,9 kW	41 %
mittlere Flamme (mit Deckel):	1,9 kW	47 %

Kochplatten haben ähnliche Nutzungsgrade. Wesentliche Verbesserungen sind hier in jedem Fall möglich, indem besser wärmegeämmte Töpfe und Deckel verwendet werden.

6.2 Geschirrspülen

Die Normverbräuche von Geschirrspülmaschinen haben sich in den vergangenen Jahren immer weiter verringert. 1998 hatten die besten marktgängigen Geräte Normverbrauchswerte zwischen 1,1 und 1,2 kWh je Anwendung (12 Maßgedecke). Weitere Primärenergie- und Kosteneinsparungen sind möglich, wenn die Geräte an Warmwasser angeschlossen werden. Bei der Messung in einem Musterhaushalt wurde hierdurch pro Spülgang im Durchschnitt ca. die Hälfte des Stroms eingespart [Ebel/Feist 1997]. Zusätzlich zum eingesetzten Strom wurden dann pro Spülgang 18,5 l Warmwasser benötigt. Die damit zugeführte Wärme (ab Zirkulationsleitung) betrug im Durchschnitt 0,83 kWh pro Spülgang und damit etwa 30% mehr als der eingesparte Stromverbrauch. Damit ergab sich trotz des höheren Nutzwärmeverbrauchs auch bei Bereitstellung des Warmwassers aus einem modernen Öl- oder Gaskessel eine Betriebskosten- und Primärenergieeinsparung; diese fällt sogar noch höher aus, wenn das Warmwasser mit Solaranlagen, Wärmepumpen oder in Kraft/Wärme-Kopplung zubereitet wird.

6.3 Wäschewaschen

Sehr gute moderne Waschmaschinen (1998) haben für eine 60°-Wäsche Norm-Stromverbrauchswerte zwischen 0,9 und 1,0 kWh je Waschgang mit 5 kg Waschgut. Gegenüber den Bestgeräten des Jahrgangs 1987 wurde der Energieverbrauch damit um ein Drittel gesenkt; gegenüber den in vielen Haushalten immer noch betriebenen Altgeräten hat sich der Stromverbrauch mehr als halbiert. Damit ist bei diesen Geräten in etwa der technische Entwicklungsschub eingetreten, der in früheren Publikationen des Autors prognostiziert wurde.

Durch einen Warmwasseranschluss kann der Strombedarf noch weiter um 40-60% reduziert werden; auch wenn sich dadurch der Endenergieverbrauch für die Warmwasserbereitung mit Erdgas oder Heizöl geringfügig erhöht, wird der Primärenergiebedarf insgesamt gesenkt. Bei der Waschmaschine werden hierfür zwei Anschlüsse sowie eine entsprechend Regelung benötigt. Eine Alternative ist die Regelung der Wasserzufuhr durch ein externes Steuergerät.

Bei Waschmaschinen können künftig Geräte entwickelt werden, die eine integrierte Umschaltung zwischen Kalt- und Warmwasseranschluss haben. Die Temperatur sollte dann in einer Mischkammer genau eingeregelt und ohne Nachheizung durch gute Dämmung über den ganzen Reinigungsgang gehalten werden.

Immer wieder diskutiert werden auch physikalische Reinigungsverfahren, z.B. mit Ultraschall. Erste Prototypen von Ultraschall-Waschmaschinen, deren Energieverbrauch drastisch gegenüber konventionellen Geräten abgesenkt ist, wurden allerdings nicht zur Marktreife weiterentwickelt.

6.4 Trocknen von Wäsche

Der Energieverbrauch beim Wäschetrocknen wird bestimmt durch die Feuchte der Wäsche, den Ort des Trocknens, das eingesetzte Gerät (Leine, Abluft- oder Kondensationstrockner, Trockenschrank) und die Effizienz des Geräts.

Entscheidenden Einfluss sowohl auf die Trockenzeit als auch auf den Energieverbrauch hat vor allem die Feuchte der Wäsche. Diese hängt von der Vortrocknung durch das Schleudern ab und wird als Restfeuchte angegeben. Eine hohe Vorentwässerung durch gutes Schleudern spart Zeit und Energie. Die erreichten Restfeuchten sind in der Produktinformation für die Waschmaschinen angegeben z.B. 70% Restfeuchte bei 800 U/Minute; 60% Restfeuchte bei 1000 - 1100 U/Minute oder 50% Restfeuchte bei 1400 - 1500 U/Minute.

Der Energieverbrauch beim Trocknen wird auch durch den Ort des Trocknens bestimmt: Findet dieses in einem beheizten Raum statt, so wird auch ohne direkten Einsatz eines Energieträgers für das Verdunsten von Wasser aus der feuchten Wäsche Energie gebraucht, die der Umgebung als Wärme entzogen wird. Im beheizten Raum wird diese Wärme durch das Heizsystem wieder zugeführt, jedenfalls in der Heizperiode. In einer vergleichenden Betrachtung verschiedener Trockenstrategien muss die zusätzlich durch das Heizsystem aufzubringende Energie mit bilanziert werden.

Beim Trocknen auf der Leine im Freien oder in einem nicht beheizten Trockenraum hat die Verdunstung keinen Einfluss auf die Energiebilanz des Hauses. Die geringe Temperaturverringerung im evtl. benachbarten Raum spielt für die Wärmeverluste nur eine vernachlässigbare Rolle, wenn eine entsprechende Wärmedämmung vorausgesetzt wird. Anders verhält es sich, wenn im beheizten Raum getrocknet wird: In diesem Fall muss die zur Verdunstung des Wassers erforderliche Energie während der Heizperiode vom Heizsystem nachgeliefert werden, und zwar immer dann, wenn es ohne Heizung zur Unterschreitung der Solltemperatur käme.

Ist eine Lüftungsanlage vorhanden und wird die Wäsche in einem Abluftraum (z.B. Bad) getrocknet, so wird die abgekühlte Luft wenig später abgesaugt. Die Abluft ist dann kälter, und die bewohnten Räume werden nur wenig abgekühlt. Bei einer reinen Abluftanlage ist dann im Idealfall keine zusätzliche Heizenergie für das Trocknen notwendig; diese Situation entspricht dem Trocknen im Freien. Bei einer Wärmerückgewinnungsanlage mit Wärmeübertrager, die im Passivhaus vorausgesetzt werden muss, kann die nun kühlere Abluft die Zuluft jedoch weniger aufheizen; der Anteil der Verlustwärme entspricht dann der Rückwärmzahl des Luft/Luft-Wärmeübertrages.

In einem Ablufttrockner wird die Luft erwärmt und durch die feuchte, bewegte Wäsche geblasen. Die Trocknungsgeschwindigkeit wird dadurch wesentlich erhöht. Allerdings wird für diesen Vorgang sehr viel Strom verbraucht. Auch bei einem gemessen am Marktangebot geringen Verbrauch von 3,2 kWh pro Trockenvorgang (Normverbrauch) ist der Trockner bei vollständigem Einsatz die Einzelanwendung mit dem höchsten Stromverbrauch. Die der Wäsche entzogene Feuchtigkeit bleibt in der Abluft und kann an weniger warmen Oberflächen kondensieren. Aus diesem Grunde ist ein Ablufttrockner in Wohnräumen problematisch, nur in einem Raum mit guter Lüftung kommt er in Frage. Der Ablufttrockner gibt Abwärme an den Raum ab, was aber größtenteils durch die gleichzeitige Verdunstung kompensiert wird, die der Luft Wärme entzieht. Beide Effekte sind beim Ablufttrockner während der Heizperiode zu berücksichtigen, je nach Aufstellungsort.

Kondensationstrockner benötigen etwas mehr Strom als Ablufttrockner (derzeit minimal ca. 3,4 kWh Normverbrauch). Die Feuchtigkeit bleibt nicht in der Abluft, sondern wird anschließend kondensiert. Dadurch eignen sich auch Wohnräume als Aufstellort, sofern eine entsprechende Abwasserleitung verlegt werden kann. Während der Heizperiode kann die Abwärme des Geräts sowie die Wärme, die beim Kondensieren frei wird, je nach Aufstellungsort mehr oder weniger genutzt werden. Der Primärenergieverbrauch bei handelsüblichen Abluft- und Kondensationstrocknern ist extrem hoch.

Der Wärmepumpentrockner ist ein Kondensationstrockner, bei dem die Wärme dem Kondensat entzogen wird. Der Stromverbrauch wird damit wesentlich reduziert (Normverbrauch: etwa 1,7 kWh/Anwendung).

Der am Markt erhältliche Gas-Wäschetrockner ist ein Ablufttrockner, dessen Endenergieverbrauch vergleichsweise hoch ist (Normverbrauch 4,1 kWh Erdgas und 0,25 kWh Strom als Hilfsenergie). Der Vorteil liegt ausschließlich beim eingesetzten (Haupt-) Energieträger: Primärenergieverbrauch und Betriebskosten können auf diese Weise wesentlich reduziert werden. Insgesamt ist der Primärenergieaufwand etwa gleich groß wie bei dem zuvor behandelten Wärmepumpentrockner.

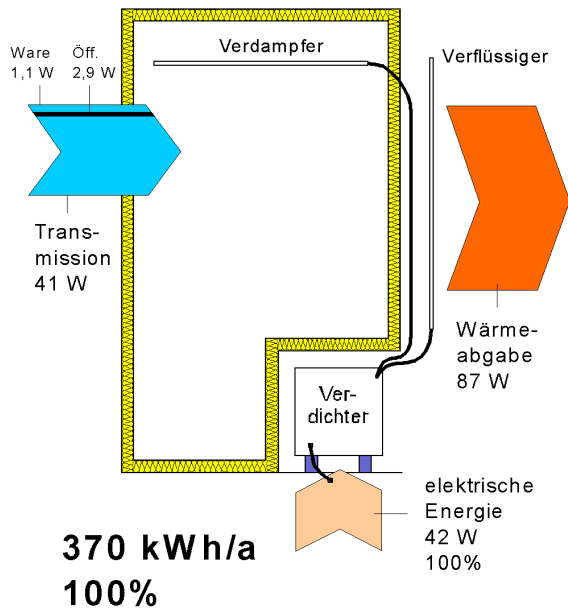
In einem Trockenschrank, welcher in den skandinavischen Ländern weit verbreitet ist, wird die Wäsche aufgehängt. Dann ist eine Erwärmung der Luft für die Trocknung nicht mehr unbedingt erforderlich. Für die Belüftung ist ein eingebauter Ventilator vorhanden. Je nach Effizienz des Ventilators benötigen die angebotenen Modelle für einen Trocknungsvorgang 0,4 bis 0,9 kWh. Alternativ kann die Belüftung auch durch das Lüftungssystem eines Gebäudes erfolgen. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Hersteller die Trockenschränke mit einer Heizung anbieten, womit die Trockenzeiten erheblich verkürzt werden. In diesem Fall benötigen die Trockenschränke häufig mehr Strom als durchschnittliche Trommelrockner. Trockenschränke sind daher nur dann energiesparend, wenn sie ohne Heizung betrieben werden [PHI 1998].

6.5 Kühlen und Gefrieren

Bei Kühlgeräten liegt wiederum die Aufgabe vor, ein bestimmtes Raumvolumen auf einer vom thermodynamischen Gleichgewicht abweichenden Temperatur zu halten: Diesmal ist diese niedriger als die der Umgebung. Hier gelten die gleichen Prinzipien wie bei der Heizaufgabe: Durch entsprechend guten Wärmeschutz kann der Energieeintrag in das Kühlvolumen stark verringert werden. Der restliche "Kühlbedarf" wird dann durch eine möglichst effiziente Kältemaschine bereitgestellt.

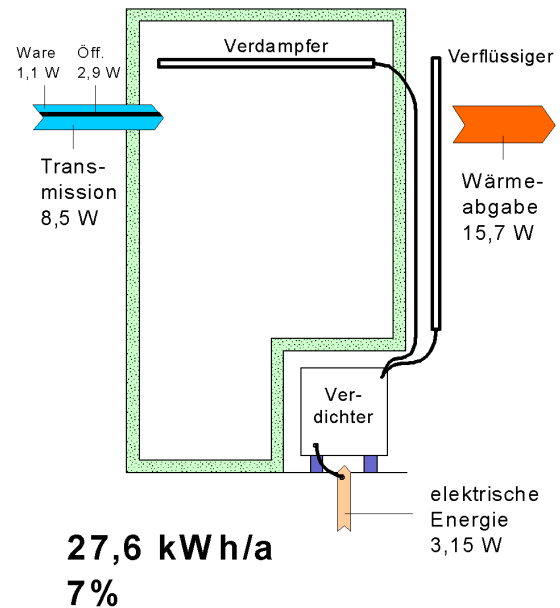
Abb. 5 zeigt die Verhältnisse bei einem Kühlschranks durchschnittlicher Effizienz im Bestand der Geräte (linke Seite) im Vergleich zu einem zukünftigen, energetisch optimierten Gerät.

Dämmung: PU 0,8 W/(m²K)



Durchschnittlicher Kühlschrank im deutschen Bestand

GFB (Krypton)*Vakuum-Pulver
0,16 W/(m²K)



Hoch-Effizienz- Kühlschrank (Stand der Forschung)

Abb. 5 *Energiebilanzen bei Haushaltskühlschränken im Vergleich; links ein Altgerät, rechts ein Kühlschrank nach dem Stand der Forschung*

- Bei künftigen Haushaltskühlschränken kann ein sehr hohes Stromsparpotential erschlossen werden.

Bei Gefriergeräten sind vergleichbar hohe Einsparungen mit den hier vorgestellten Wärmeschutz- und Kompressortechniken möglich.

Besonders interessant könnte eine Kühl-/Gefrierkombination als Einbau-Küchengerät sein, wobei Kühl- und Gefrierteil jeweils etwa 200 l Nutzinhalt haben sollten. Simulationen des Passivhaus Instituts zeigen, dass eine solche Kombination mit einem Jahresstromverbrauch unter 100 kWh/a auskommen könnte. Eine solches Höchsteffizienz-Kühlgerät hätte eine breite Einsatzchance am Markt.

Auch bei den Kühlanwendungen treten zusätzliche bedeutende Vorteile der hocheffizienten gegenüber normalen Geräten auf: Durch die gute Dämmung ist das Kühlvolumen gleichmäßiger temperiert; bei einem Ausfall der aktiven Kühlung bleibt das Kühlgut wesentlich länger kalt. Außerdem ist die Wärmeproduktion der effizienten Geräte geringer, dadurch wird der Aufstellraum im Sommer weniger aufgeheizt.

6.6 Beleuchtung

Die Effizienz von Lampen unterscheidet sich im Haushalt um bis zu einem Faktor 6. Kompakt-Floureszenz-Lampen (CFL), eine Entwicklung des Lawrence Berkeley Lab. in Kalifornien, sind in Leistungen von 5 W, 7 W, 9 W, 11 W, 13 W und 15 W am Markt verfügbar. Diese Leuchtstofflampen können Glühlampen mit Leistungen von 15 W, 25 W, 40 W, 60 W und 75 W und 100 W ersetzen. Die CFL haben Nutzungszeiten von über 6000 h, sie überdauern daher herkömmliche Glühlampen um einen Faktor 5 bis 6. Von den 15 Kompakt-Floureszenzlampen, die 1991 im Demonstrationsvorhaben Kranichstein eingesetzt wurden, sind die ersten beiden ausgefallenen Lampen im Oktober 1998 und im Mai 1999 ausgewechselt worden. Diese Lampen haben innerhalb ihrer Nutzungsdauer einen Kapitalwert von 96 bzw. 76 DM an elektrischem Strom eingespart. Der Marktpreis der Lampen war 1991 32 DM, inzwischen ist diese Qualität für um 20 DM zu erhalten. Mindestens fünfmal hätten Glühlampen jeweils anstelle dieser Lampen eingewechselt werden müssen. Kompakt-Floureszenz-Lampen sind daher wahre Geldspar-Maschinen.

Auch hier gibt es neben der Energie- und Kosteneinsparung weitere Vorteile: Wegen der viel geringeren Wärmeentwicklung kann man sich an CFLs nicht mehr die Finger verbrennen; auch Leuchten und insbesondere Leuchtschirme werden besser geschont.

6.7 Sonstiges: insbesondere standby-Verluste

Weil die Energieverbräuche für Heizen und für die Warmwasserbereitung sowie bei den großen Hausgeräten immer mehr zurück gehen, nimmt die Bedeutung der "kleinen Verbraucher" mehr und mehr zu. Unter den kleinen Verbrauchern verstehen wir hier:

- Pumpen und Lüfter für die Wärme- und Wasserverteilung,
- Regelungen,
- Kommunikation und Datenverarbeitung (Telefon, Haussprechanlage, Haushalts-Computer,...)
- Unterhaltungselektronik (Radio, Fernsehen, Video,...),
- Kleingeräte (Bügeleisen, Staubsauger, elektr. Zahnbürste,)

Die meisten dieser Anwendungen werden für ihre eigentliche Dienstleistung nur sehr kurze Zeit gebraucht; der Energieverbrauch wäre von daher sehr klein. Ein generelles Problem besteht aber darin, dass viele dieser Kleingeräte praktisch dauerhaft am Netz betrieben werden. Häufig soll dadurch eine bestimmte Bereitschafts-Dienstleistung erbracht werden: Ein Programm im Speicher gehalten, eine Uhrzeit ermittelt, eine Weckfunktion bereitgehalten werden. Für die Bereitschafts-Dienstleistung läuft dann in der Regel das Netzteil des betreffenden Gerätes mit seinen gesamten Umwandlungsverlusten 8760 h im Jahr ununterbrochen durch. Man spricht in diesem Zusammenhang von "Standby-Verlusten" oder von "leaking electricity". Das Ausmaß dieses Stromverbrauches ist nicht exakt bekannt, kann aber unter plausiblen Annahmen leicht überschlägig ermittelt werden: Die Standby-Verluste liegen in der Dimension von 5 bis 15 W je Gerät (Mittelwert 10 W). Gehen wir von durchschnittlich 3 Standby-Anwendungen je

Haushalt aus, so ergibt sich daraus ein Jahresstromverbrauch durchschnittlich je Haushalt von etwa 260 kWh/a und in ganz Deutschland eine Grundlast von knapp 1 GW - der Leistung eines großen Kernkraftwerkblockes.

Für das Halten einer gespeicherten Information ist bei adäquater Speichertechnik überhaupt keine Energie (EPROM, EEPROM) oder eine vernachlässigbare Stromaufnahme im Milliwattbereich erforderlich; dies gilt auch für die Uhr- und Weckfunktionen, wie elektronische Armbanduhrer eindrucksvoll belegen. "Sleep-Kleinstnetzadapter", die Betriebsgleichspannungen von 5 bis 20 Volt bei einer Netzleistungsaufnahme von deutlich unter 1 Watt bereitstellen, stehen zur Verfügung. Damit lassen sich die Standby-Verluste mit heute verfügbarer Technik mindestens um einen Faktor 10 reduzieren.

Nur kurz soll auch noch auf die übrigen oben aufgeführten "kleinen Verbraucher" eingegangen werden; auch bei diesen sind jeweils bedeutende Effizienzsteigerungen möglich:

- Pumpen und Lüfter

Bei kleinen Elektromotoren (im Bereich 10 bis 200 Watt) wurden bisher überwiegend Asynchronmotoren eingesetzt, die im kleinen Leistungsbereich nur erschreckend geringe Wirkungsgrade aufweisen (30 bis 65%). Wesentlich höhere Wirkungsgrade auch bei diesen kleinen Leistungen weisen elektronisch kommutierte Gleichstrommotoren (EC-Motoren) auf (65 bis über 80%). Außerdem sind diese Motoren einfach und sehr energiesparend regelbar. Durch den vermehrten Einsatz solcher Kleinstmotoren insbesondere bei Lüftern und Pumpen, aber auch in Wasch- und Spülmaschinen und selbst für Kompaktkompressoren bei Kühlgeräten ergeben sich Einsparungen gegenüber den alten Systemen um mehr als 50%.

Bedeutende Effizienzverbesserungen sind aber auf der mechanischen Seite der Anwendungstechnik möglich. Hier sei nur das Beispiel der Heizungsumwälzpumpe erwähnt: Wenn im Zuge der Verringerung der Wärmeverluste die Heizlast in einer Wohnung auf die Hälfte fällt, kann die Wärme im Heizverteilsystem hydraulisch mit dem halben Volumenstrom transportiert werden - einmal abgesehen davon, dass die meisten Anlagen ohnehin keinen hydraulischen Abgleich besitzen und in der Regel stark überdimensioniert sind. Bei einer Halbierung des Volumenstroms reduziert sich der Reibungsverlustwiderstand des Rohrnetzes im Quadrat, also um einen Faktor 4. Die erforderliche mechanische Leistung ist das Produkt aus Volumenstrom und Reibungsverlustwiderstand; diese reduziert sich somit um den Faktor 8.

- Regelungen

Effiziente Regelungen müssen bei sorgfältiger Auswahl der elektronischen Komponenten keine wesentlichen Energiemengen verbrauchen. Taschenrechner und Pocket-Datenbanken kommen mit Leistungen im Milliwatt-Bereich aus.

- Kommunikation und Datenverarbeitung

Wie hoch die Möglichkeiten der Effizienzverbesserung in diesem Bereich ist, wird durch den Vergleich der Stromaufnahme eines herkömmlichen "Desktop"-PC und eines "Notebook"-Computers deutlich. Flachbildschirme werden herkömmliche Röhrengeräte auf Dauer ablösen, weil sie neben dem erheblich geringeren Energieverbrauch zahlreiche weitere Vorteile aufweisen.

- **Unterhaltungselektronik**

Auch bei der Unterhaltungselektronik lassen sich Standby-Verluste auf minimale Werte reduzieren und die Leistungsaufnahme im Betrieb für die eigentliche Elektronik z.B. durch CMOS-Technik verringern. Auch hier können stromsparende Flachbildschirme nach und nach die Fernsehröhren ersetzen. Kleine Photovoltaik-Systeme werden bei vielen Geräten zumindest im Standby einen netzfreien Betrieb ermöglichen.

- **Kleingeräte (Bügeleisen, Staubsauger, elektr. Zahnbürste,)**

Soweit diese Geräte bestimmungsgemäß verwendet werden, tragen sie schon heute kaum bedeutend zum Stromverbrauch bei. Effizienzverbesserungen können auch hier zu einem besseren Gebrauchsnutzen führen (z.B. elektronische Regelung beim Bügeleisen verbunden mit einer gedämmten, gegen Überhitzung gesicherten Ablage).

7 Zukünftiger Energiebedarf der Haushalte bei hocheffizienter Energienutzung

Der Energieverbrauch der Haushalte wird derzeit durch die Raumheizung und die Warmwasserbereitung dominiert (Abb. 2). Erst wenn diese Wärmeanwendungen durch Passivhaustechnik mit wesentlich geringerem Energieeinsatz erbracht werden, treten die übrigen in diesem Kapitel beschriebenen Anwendungen erkennbar hervor (Abb. 6).

Im Passivhaus Darmstadt ließen sich die Endenergieverbrauswerte an Erdgas für Heizung und Warmwasserbereitung auf unter 20 kWh/(m²a) verringern. In zukünftigen, hocheffizienten Passivhäusern erwarten wir, dass noch einmal ein Faktor zwei an Effizienzverbesserung herauszuholen ist. In Abb. 6 würden dann die Haushaltsstromanwendungen dominant werden; in einem voll mit allen Geräten ausgestatteten Haushalt würde sich der Stromverbrauch auf etwa 4000 kWh/a summieren. Mit der in den Abschnitten 6.1 bis 6.7 beschriebenen Effizienztechnologie ließe sich die gleiche Dienstleistung aber auch mit einem Stromeinsatz von etwas über 800 kWh/a erbringen.

Gegenüber dem Ausgangszustand eines Haushaltes mit heute durchschnittlicher Effizienz im Bestand bedeutet dies eine Effizienzverbesserung in der Summe aller Endenergiebezüge um mehr als einen Faktor 16.

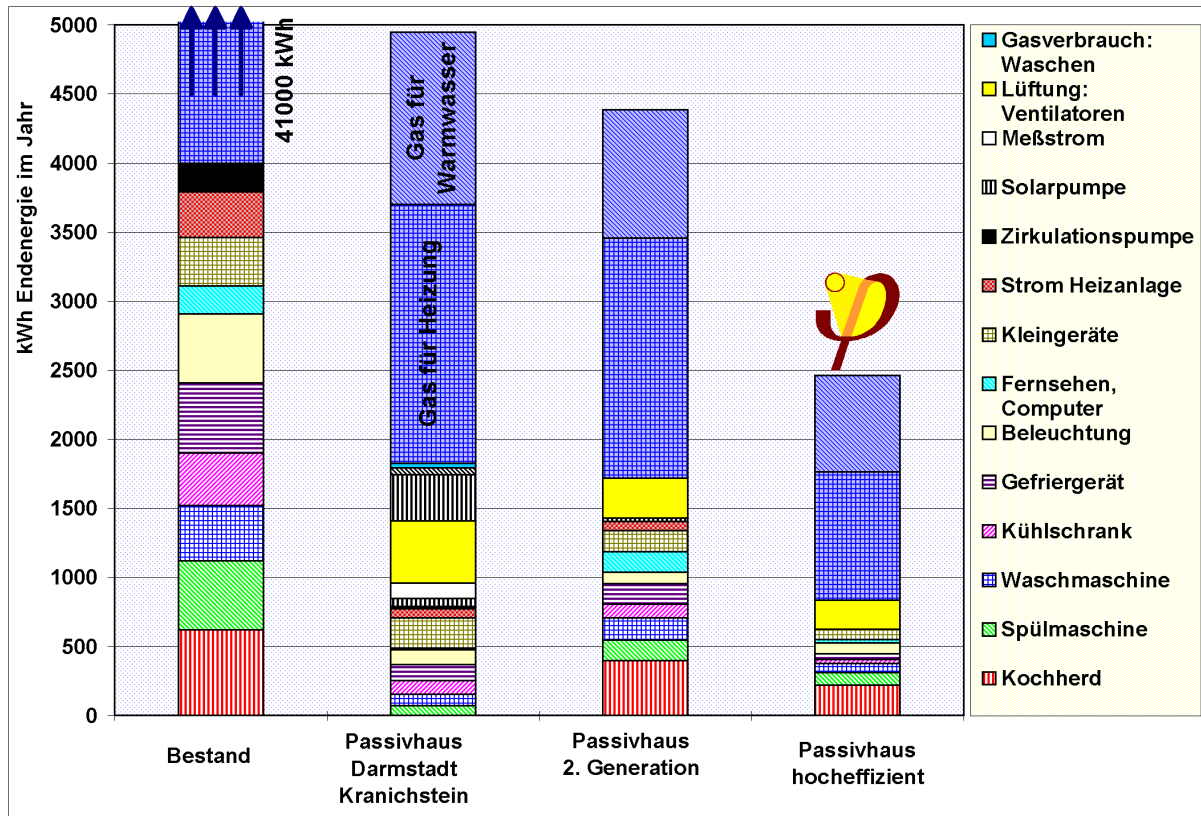


Abb. 6 Energieverbrauch im heutigen Durchschnitt im Vergleich zu hocheffizienter Passivhaus-Technik

Selbstverständlich kann dieses enorme Potential nicht sofort und auch nicht überall ausgeschöpft werden. Verbesserte Effizienz kann auch überall dort eingeführt werden, wo heute bereits Energie in herkömmlichen Systemen umgesetzt wird: Immer dann, wenn ein entsprechendes System **ohnein**

- ⇒ neu angeschafft,
- ⇒ ersetzt,
- ⇒ instandgehalten oder
- ⇒ modernisiert

wird, kann die Möglichkeit geprüft werden, ob sich zugleich auch seine Energieeffizienz verbessern lässt. Wir nennen dies das "Kopplungsprinzip"; die Energieeinsparinvestition ist dann eine "bedingte Maßnahme":

Am Beispiel eines bestehenden Gebäudes kann das Prinzip verdeutlicht werden : Bei der 2014 fälligen Kesselerneuerung kommt zunächst ein neuer Brennwertkessel in den Heizkeller (30% Verbrauchsreduktion). Sieben Jahre später müssen die Fenster erneuert werden. Bis zum Jahr 2021 kann man mit der Verfügbarkeit kostengünstiger Superfenster rechnen. 60 Jahre nach Errichtung des Gebäudes ist

2029 ein neuer Außenputz fällig. Statt den alten Putz abzuschlagen, wird ein Wärmedämmverbundsystem angebracht. Schließlich wird 2046 das Dach neu eingedeckt und bei dieser Gelegenheit wärmedämmend.

Wichtig für diese Art des Vorgehens ist das **"wenn schon, denn schon"**. Keinesfalls darf man sich in einem solchen Kopplungsfall mit einer mittelmäßigen Qualität zufriedengeben. Vielmehr ist immer nur das Beste gut genug, solange es von der Investitionskostenseite her vertretbar ist. Das heißt zum Beispiel: Brennwertkessel statt gewöhnlicher Niedertemperatur-Kessel; Superfenster statt Billigfenster; mindestens 12 statt vielleicht 6 cm Wärmedämmung. Die Gelegenheit zur gekoppelten Verbesserung kommt nämlich so schnell nicht wieder. Wenn eine Förderung überhaupt sinnvoll ist, dann sollte der Staat diese Qualitätsanreize fördern; das "bisschen mehr" an Qualität, das sich in der Summe in einer bedeutenden Energieeinsparung auswirkt. In der Summe über alle betroffenen Gebäude einer Kohorte ergibt sich aus den vielen kleinen Einzelschritten eine verstetigte Effizienzverbesserung von etwa 3% pro Jahr, wenn die Maßnahmenkopplung überall konsequent durchgeführt wird.

Ein solcher Ansatz fügt sich reibungslos in die normalen wirtschaftlichen Aktivitäten ein: Es muss nur bei jeder Investition sorgfältig geprüft werden, wie sich gekoppelt eine verbesserte Effizienz erreichen lässt. Im allgemeinen werden die so getätigten Investitionen etwas höher sein, als die "ohnehin"-Maßnahmen. Für die Wirtschaftlichkeit sind allein die Differenzkosten relevant; diese werden oft sehr gering sein - die Ökonomie der Effizienzverbesserung ist an zahlreichen Beispielen belegt worden [Feist 1998c].

Das Mehr an Investition bedeutet aber auch ein Mehr an Wertschöpfung. Die qualitativ hochwertigeren Produkte schaffen zusätzliche Nachfrage. Hierbei handelt es sich gerade im Gebäudebereich um Nachfrage nach Dienstleistungen, die vor allem im Inland entstehen. Mehr als die Hälfte der zusätzlichen Investitionen betreffen Handwerksarbeit.

Das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung hat in der Publikation "Jobs für Klima - Beschäftigungspotentiale von Energiesparmaßnahmen im Raumwärmebereich" gezeigt, dass auf dem hier skizzierten Weg allein im Bereich der Raumwärme in Deutschland (Bezugsjahr 2005) netto mehr als 77 000 zusätzliche Arbeitsplätze geschaffen werden könnten.

Je höher die wirtschaftlich umsetzbaren Investitionen, desto höher der Arbeitsplatzeffekt. Das bedeutet:

- ⇒ Jede Neuentwicklung besonders energieeffizienter Techniken vergrößert das Beschäftigungspotential. Der Aufwand in Forschung und Entwicklung zahlt sich hier volkswirtschaftlich vielfach zurück.
- ⇒ Jede Verbesserung bestehender Techniken in bezug auf noch bessere Effizienz und/oder noch bessere Wirtschaftlichkeit stärkt die Marktchancen der Energiesparttechnologien und trägt damit sowohl zum Umweltschutz als auch zum Netto-Beschäftigungseffekt bei.

Genau dies ist es, wozu die Passivhaus-Entwicklung auf allen Ebenen beiträgt. Besonders erfreulich dabei ist, dass eine Mitwirkung auf allen Ebenen möglich ist:

- Beitrag der Forschung: Methoden, Instrumente, Validierung
- Beitrag der Industrie: Verbesserung bestehender und Entwicklung neuer Produkte,

- Beitrag des Mittelstandes: innovative Dienstleistungen und Produkte können heute durch die Verfügbarkeit exzellenter EDV-Systeme auch von kleinen Unternehmen in zuvor nicht gekannter Qualität angeboten werden.
- Beitrag der Arbeitnehmer: verantwortliche Tätigkeit in allen Gruppen - von der Aushilfsarbeit am Bau bis zur Planung - ist gefragt.
- Beitrag der Eigentümer: Prüfung aller anstehenden Maßnahmen auf Kopplungsmöglichkeiten für Energieeffizienz.
- Beitrag der Finanzierungsinstitute: Angebot adäquater Finanzierungsmöglichkeiten für die Mehrinvestition durch Einsparmaßnahmen.

Die Energieeffizienz-Initiative führt zu einer umfassenden Motivation, weil hiermit die Ziele Beschäftigungswirkung, Qualifikation, Innovation, Wertsteigerung, Komfortverbesserung und Umweltschutz gleichermaßen erreicht werden können. Dieses Programm wird damit zu einer "win-win"-Strategie für alle Beteiligten:

- Werden die Einsparmaßnahmen als gekoppelte Zusatzinvestitionen an „Ohnehin“-Maßnahmen (auch: am Ohnehin-Neubau) durchgeführt, so lässt sich in der überwiegenden Zahl der Fälle schon auf der Basis der heutigen Rahmenbedingungen eine einzelwirtschaftlich vertretbare Amortisation erreichen. Nur dieser gekoppelte Prozess ist ökonomisch und ökologisch sinnvoll, da er vorhandene Werte schützt, zwanglos in den Wirtschaftsablauf integrierbar ist und keine (ökonomische und ökologische) Verschwendung noch intakter Baukomponenten erzwingt.
- Für den Hausbesitzer als Investor: Die Qualität des Gebäudes ist nachhaltig besser, die Wahrscheinlichkeit von Bauschäden sinkt, der Wert steigt.
- Für den Bewohner: Die Betriebskosten sind geringer, die Behaglichkeit wird verbessert, die Wohnqualität nimmt zu. Geringere Energieverbräuche werden dabei nicht durch Einschränkungen, sondern im Gegenteil in Verbindung mit Komfortverbesserungen erreicht.
- Für das ausführende Handwerk: Die Umsetzungszyklen sind kalkulierbar, hohe Qualität ist gefragt, das Auftragsvolumen nimmt gegenüber der „Ohnehin“-Maßnahme insgesamt zu.
- Für die Industrie: Es entsteht eine dauerhaft stabile Nachfrage nach hochwertigen Produkten und eine Motivation zur Innovation.
- Für Finanzierungsinstitute: Ein bedeutendes Investitionsvolumen kann freigesetzt werden; die Investoren sind breit gestreut und bieten hohe Sicherheiten, da es sich bei den Gebäudebeständen um genutzte und überwiegend hypotheckenfreie Objekte handelt.
- Für die Volkswirtschaft: Die erhöhte Nachfrage nach langlebigen Konsumgütern (um solche handelt es sich bei allen Maßnahmen an Gebäuden) führt zu einer stabilen zusätzlichen Beschäftigung im Inland. Die gestellten Aufgaben führen zu einer Nachfrage nach Arbeitskräften in allen Sektoren und auf allen Qualifikationsstufen. Die Qualifikation aller Beteiligten wird gefordert und schon dadurch spürbar erhöht.
- Für die Umwelt resultiert eine nachhaltige Entlastung bei den atmosphärischen CO₂-Emissionen und den übrigen Emissionen aus der Energieumwandlung.

In Abb. 7 ist die Auswirkung auf Wohlstand und Umweltbelastung für den Fall zusammengefasst, dass es gelingt, die Effizienzverbesserung auf breiter Ebene umzusetzen, und zwar überall in dem Ausmaß, wie es für die Gebäude im Bereich Raumwärme konkretisiert worden war. Eine Effizienzverbesserung von +2,8%/Jahr kann dann verteilt werden:

- auf eine Zunahme an durch Energiedienstleistungen erbrachten Wohlstand (z.B. beheizte Wohnfläche) um 1,4% pro Jahr, wodurch eine Verdopplung in 50 Jahren resultiert,
- und: eine Abnahme des erforderlichen Energieeinsatzes um gleichfalls 1,4% pro Jahr, sodass der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern bis in 50 Jahren halbiert wird.

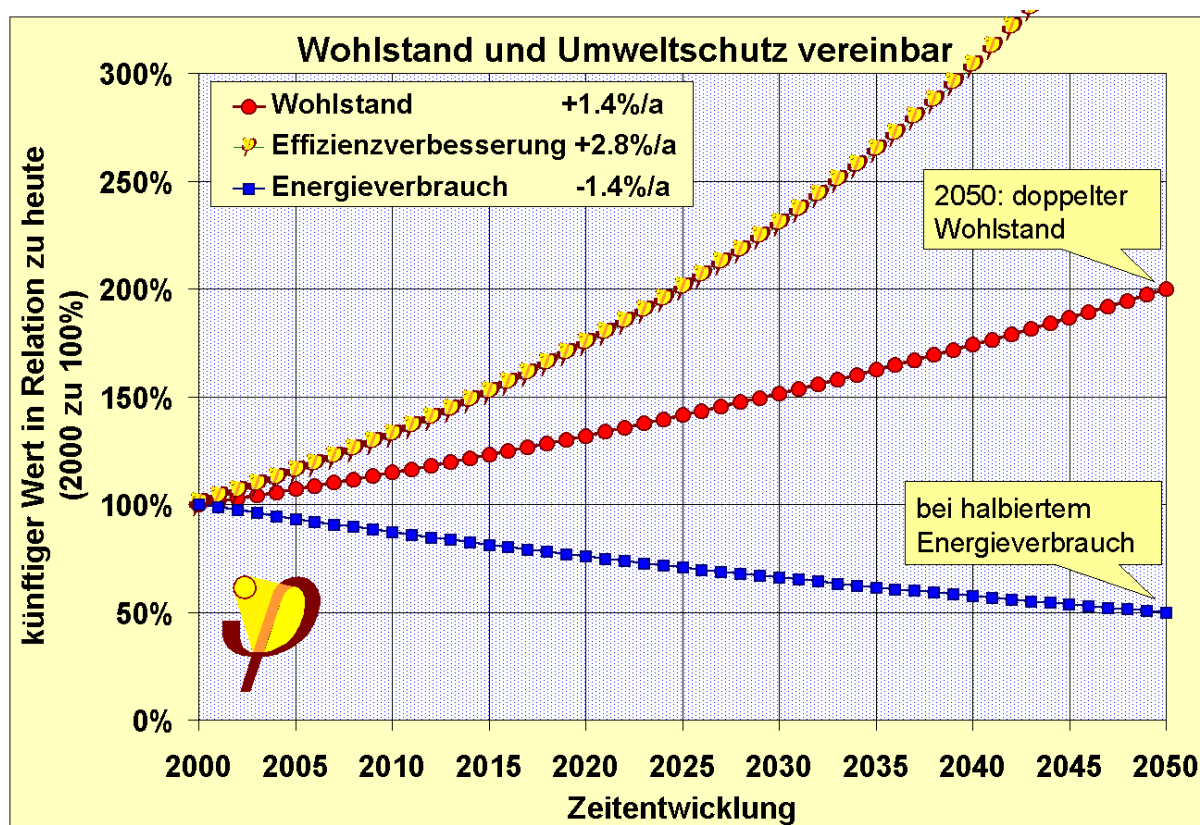


Abb. 7: *Gelingt es, eine Effizienzsteigerung von +2,8% im Jahr aufrecht zu erhalten, so kann die Energiedienstleistung bis in 50 Jahren verdoppelt werden, wobei zugleich der Energieverbrauch halbiert wird.*

Ohne Übertreibung darf hier festgestellt werden, dass die dargestellte Vorgehensweise das sogenannte Energieproblem nicht nur entschärft, sondern tatsächlich vollständig lösen kann. Durch die Reduktion des Verbrauchs in den Industrieländern entsteht Spielraum für eine Nachholentwicklung an Energiedienstleistungen auch in heute armen Ländern, selbstverständlich auch dort mit Systemen von hoher Effizienz. Die "Endlichkeit" der Vorräte an fossiler Energie ist immer wieder beschworen worden. Aber auch ein endlicher Vorrat kann beliebig lange vorhalten - wenn er nur immer sparsamer verwendet wird.

Schon weiter oben war gezeigt worden, dass eine fortgesetzte Effizienzsteigerung prinzipiell möglich ist, weil einer immer weiter gehenden Verbesserung der Energieeffizienz keine ernsthaften Grenzen gesetzt sind. Die Summe des

Energieverbrauchs unter einer solchen "Abklingkurve" ist auch auf beliebig lange Zeit endlich, sie beträgt bei einer 1,4%igen Abnahme gerade das 72fache des Verbrauchs im Anfangsjahr! Soviel fossile Primärenergieträger stehen aber in jedem Fall auch unter Gesichtspunkten des nachhaltigen Umweltschutzes zur Verfügung. Im Übrigen: Irgendwann wird die weitere Effizienzsteigerung nicht mehr unbedingt im dargestellten Ausmaß benötigt; spätestens dann, wenn die zunehmenden Versorgungsbeiträge der regenerativen Energieträger den abnehmenden Jahresverbrauch decken können, ist die Aufgabe gelöst. Danach müssen sich das Wachstum an (energieverbrauchsinduzierendem) Wohlstand, verbleibende Effizienzsteigerung und Wachstum an regenerativ bereitgestellter Energie die Waage halten.

Literatur

- [Feist 1989] Feist, Wolfgang und Klien, Jobst: **Das Niedrigenergiehaus**; 1. Auflage Karlsruhe 1989; aktuell ist die 5. Auflage, 1998
- [Feist 1998a] Feist, Wolfgang: **Kostengünstige Passivhäuser in Mitteleuropa**; das bauzentrum, 10/1998 S. 58 bis 67
- [Feist 1998b] Feist, Wolfgang: **Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand**; Passivhaus Institut, 1. Auflage, 1998
- [Feist 1998c] Feist, Wolfgang: **Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ausgewählter Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand**; Passivhaus Institut, 1. Auflage, 1998
- [Feist/Ebel 1997] Wolfgang Feist, Witta Ebel : **Stromsparen im Passivhaus**; Protokollband Nr. 7 zum Arbeitskreis Kostengünstige Passivhäuser; Passivhaus Institut; Darmstadt, Mai 1997.
- [Eicke 1997] Eicke-Hennig, Werner: **30 Niedrigenergiehäuser in Hessen**, IWU Darmstadt 1997
- [PHI 1998] Passivhaus Institut: **Sparsames Wäschetrocknen**; CEPHEUS-Projektinformation Nr. 4, Darmstadt 1998
- [Stärz 1997] Stärz, Norbert: **Effiziente Warmwasserbereitung beim Passivhaus**; Fachinformation PHI-1997/3

web-links:

www.passiv.de

www.ig-passivhaus.de

www.passivhaustagung.de

zu allen Fragen des energiesparenden Bauens
Lobby für energieeffizientes Bauen
aktuelle, jährliche Konferenz zu Energieeffizienz