

Gebäude für eine 'solare Zukunft': Reduktion des Energiebedarfs und Versorgung mit Sonnenenergie

Dr. Detlef Hennings,
Wuppertal Institut für Klima · Umwelt · Energie
im Wissenschaftszentrum Nordrhein-Westfalen

Vortragsmanuskript zum 6. Forum "Stadt mit Zukunft : energiebewußt und urban"
der Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg,
21.-23. März 1996 im 'Haus auf der Alb', Bad Urach.

1. Heutige und zukünftige Energieversorgung

Gebäude weisen in Mitteleuropa, in Deutschland allgemein eine hohe Lebensdauer auf, 100 Jahre oder mehr. Noch viel länger - mehrere hundert oder auch tausend Jahre - leben Städte in ihrer Struktur. Dies ist Anlaß genug, mit einer sehr langen Zeitperspektive zu beginnen und diese zu nutzen um abzuleiten, was die Zukunftsfähigkeit von Städten und Gebäuden unter Energiegesichtspunkten bedeuten kann. Mit Zukunftsfähigkeit oder Dauerhaftigkeit ist hier nicht das Überstehen der nächsten Legislaturperiode gemeint, sondern das tatsächliche Anerkennen und Berücksichtigen der Begrenztheit der Erde, z.B. was die Ressourcen, aber auch die Aufnahmefähigkeit für Abfall- und Schadstoffe betrifft.

Grenzen fossiler Energiequellen

Nicht vereinbar mit energetischer Dauerhaftigkeit ist die extensive Nutzung fossiler Energieträger wie sie derzeit erfolgt. Bild 1 zeigt dazu über einen Zeitraum von 10 000 Jahren die vergangene und vermutete zukünftige Entwicklung der Erdbevölkerung. Um das Jahr 2000 n.Chr. herum ist der sehr kleine Teil der Bevölkerung hervorgehoben, der aus den globalen Erdöl-Vorräten beim derzeitigen Verbrauchstrend Nutzen ziehen kann. Für die anderen fossilen Energieträger sehen diese Verteilungen ähnlich aus.

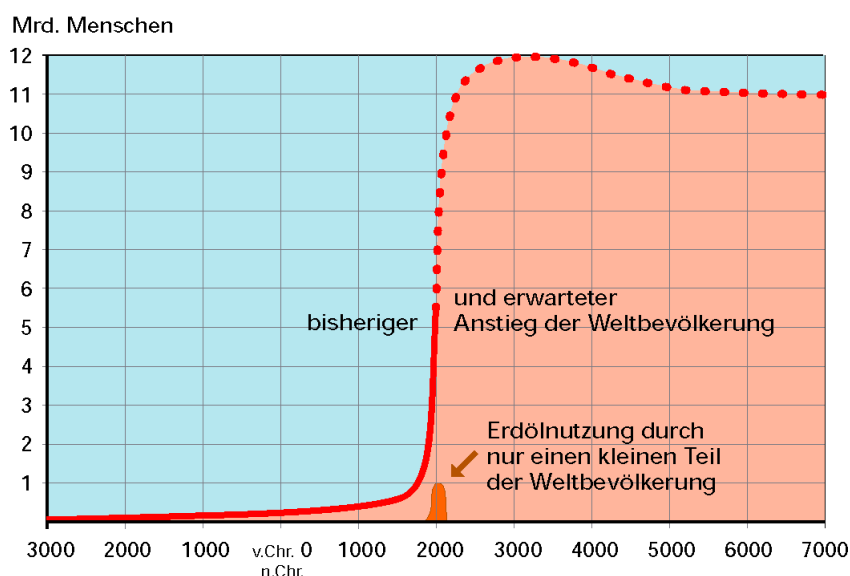


Bild 1. Nur ein kleiner Teil der Menschheit kann fossile Energie nutzen (Grafik: IG Metall)

Es ist leicht zu erkennen, daß die fossile Energieversorgung langfristig keine Perspektive bietet. Große Teile der heutigen Erdbevölkerung sind ebenfalls davon ausgeschlossen. Bei Anhalten heutiger Verbrauchstrends ist im Laufe des nächsten Jahrhunderts mit einer Verknappung fossiler Energieträger zu rechnen, zuerst beim Erdöl, als nächstes beim Erdgas. Es ist also auch volkswirtschaftlich klug, frühzeitig die Energieversorgung auf dauerhafte Alternativen umzustellen.

Störung des globalen Klimasystems

Unabhängig von der Verfügbarkeit und der Versorgungssicherheit werden bei der Verbrennung fossiler Energieträger, die größtenteils aus Kohlenwasserstoffen oder aus Kohlenstoff bestehen, unvermeidlich große Mengen Kohlendioxid (CO_2) in die Erdatmosphäre emittiert. Damit wird eine Kohlenstoff-Menge, die über Jahrtausende langsam der Erdatmosphäre entzogen und in der Erdkruste in Form von Kohle, Öl oder Gas eingelagert wurde, in der kurzen Zeit von 200 bis 300 Jahren als CO_2 in die Atmosphäre abgegeben. Seit Beginn der Industrialisierung, also der Nutzung fossiler Energieträger hat dies bereits den atmosphärischen CO_2 -Gehalt von ursprünglich 280 ppm auf heute etwa 360 ppm erhöht. Steigt der globale Verbrauch fossiler Energieträger weiter an, dann wird im nächsten Jahrhundert ein verdoppelter CO_2 -Gehalt von ca. 600 ppm erreicht. Dies wird voraussichtlich infolge der erhöhten CO_2 -bedingten Absorption von Wärmestrahlung und der somit verstärkten Treibhauswirkung der Atmosphäre, das jetzt existierende dynamische Gleichgewicht des Klimasystems der Erde empfindlich stören. Diese Störung bedeutet eine Erhöhung der globalen Mitteltemperatur um einige Grad, regional bis um 5 Grad. Weitere Folgen können sein eine Verschiebung von Klima- und Vegetationszonen, ein Abschmelzen von Festlandeis und ein Anstieg des Meeresspiegels, eine Zunahme von extremen Wettersituationen und Unwettern, oder Änderungen im Strömungssystem der Ozeane mit weitreichenden Konsequenzen für das Klima. Bild 2 gibt dazu ein Ergebnis der Klima-Enquête-Kommission des Bundestages wieder. Danach wird sich bei anhaltendem Trend die jährliche CO_2 -Emission innerhalb von 50 Jahren verdoppeln. Aus Klimaschutzgründen notwendig ist aber eine Halbierung der jährlichen Emission im gleichen Zeitraum.

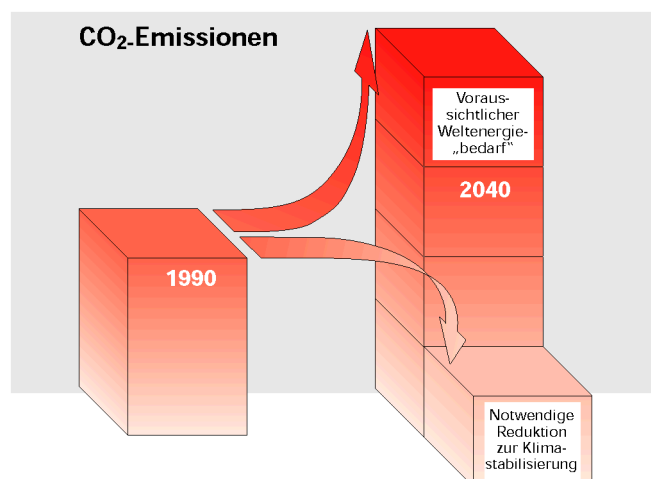


Bild 2. Trend der CO_2 -Emissionen und notwendige Reduktion.

Geschlossene und offene Systeme

Die dargestellten Auswirkungen der heutigen, auf Stoff-Umsätzen basierenden Energieversorgung sind Konsequenzen der Übernutzung des geschlossenen Systems, daß die Erde für Stoffströme darstellt - mit dem übrigen Universum findet kein nennenswerter Materie-Austausch statt.

Den fossilen Lagerstätten wird ein vielfaches (um viele Zehnerpotenzen) der Menge an Energieträgern (Gas, Öl, Kohle) entnommen, die im gleichen Zeitraum auf natürliche Weise gebildet werden kann. In die Erdatmosphäre wird wesentlich mehr CO₂ emittiert, als das Klimasystem der Erde ohne wesentliche Störung aufnehmen kann.

Im Gegensatz dazu stellt die Erde für Energieflüsse ein offenes System dar : ein permanenter Strom solarer Strahlungsenergie erreicht die Erde, von dem rund 70% auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre absorbiert und der Rest in den Weltraum reflektiert wird. Zugleich verläßt ein ebenfalls permanenter Energiefluß in Form von Wärmestrahlung die Erde in alle Richtungen des Weltraums (vgl. Bild 3.). Die absorbierte solare Einstrahlung und die Wärme-Abstrahlung sind im globalen Mittel über Jahre gleich groß, so daß die Energiebilanz der Erde ausgeglichen bleibt.

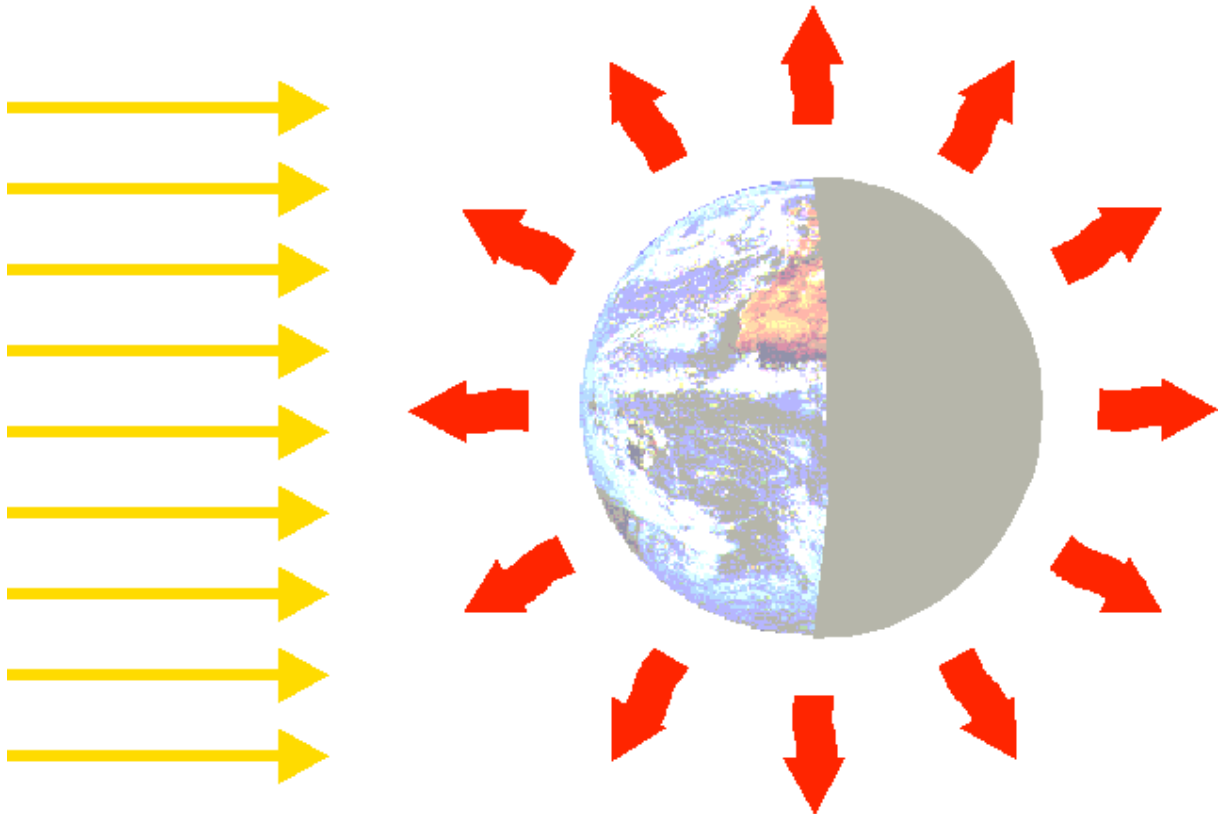


Bild 3. Solare Einstrahlung und Wärme-Abstrahlung der Erde

Dieser solare Energiefluß ist Antrieb des gesamten Wettergeschehens und Energiequelle für das Leben auf der Erde. Quantitativ übersteigt die solare Einstrahlung auf die Erde, in der Größenordnung 10^{17} Watt, im Jahr also etwa 10^9 TWh, den Primärenergie-Verbrauch der Menschheit um rund das 10 000-fache. Es liegt also nahe, für die menschliche Energieversorgung einen kleinen Teil des solaren Energie-Flusses abzuzweigen und technisch zu nutzen.

Nutzen und Grenzen einer solaren Energieversorgung

Die kumulativen Grenzen des heutigen, Stoffstrom-gebundenen Energieversorgungssystems, Erschöpfung der Quellen, Überlastung der Senken, können bei einer solaren Energieversorgung nicht auftreten¹). Es müssen jedoch andere Grenzen berücksichtigt werden. Zunächst ist die Leistungsdichte begrenzt : die solare Einstrahlung auf 1m² Erdoberfläche beträgt maximal rund 1 kW, und das nur bei klarer, wolkenfreier Atmosphäre und hochstehender Sonne. Mehr kann ein Solarenergie-Sammler also pro m² nicht liefern. Zum Vergleich : ein kräftiger PKW-Motor, der ebenfalls 1m² Fläche beansprucht, leistet maximal 100 kW, der Heizkessel eines Einfamilienhauses leistet 15 - 20 kW.

Heute übliche Leistungs-Anforderungen und Energieverbräuche erfordern also sehr große Sammelflächen für solare Einstrahlung oder aufwendige Einrichtungen anderer Art : Windkonverter mit großen Freiflächen, Stauseen für Wasserkraft, Anbauflächen für Biomasse, etc. Weiterhin ist eine Speicherung der solaren Energie notwendig, da Angebot und Bedarf vielfach nicht gleichzeitig auftreten. Im ungünstigen Fall muß Energie über einen Jahreszyklus gespeichert werden, z.B. Heizenergie für Gebäude vom Sommer mit wesentlich höherer Einstrahlung in den Winter mit hohem Heizwärmebedarf.

Erst einsparen, dann solar versorgen !

Der hohe Aufwand für das Sammeln und Speichern solarer Energie stellt selber eine ökologische Belastung (Flächen- und Rohstoff-Verbrauch, etc.) dar, insbesondere wenn der heutige hohe Energiebedarf gedeckt werden soll. In nahezu allen Fällen ist es ökologisch, aber auch ökonomisch günstiger, der solaren Versorgung eine drastische Senkung von Energieverbräuchen vorzuschalten, als den heutigen Bedarf direkt solar zu decken. Denn in den meisten Fällen ist der technische Aufwand (und damit in der Regel auch Umweltbelastungen und Kosten) für das Einsparen einer Energiemenge viel geringer als derjenige um die gleiche Energiemenge solar bereitzustellen. Erst auf sehr weit abgesenktem Verbrauchsniveau kehren sich die Verhältnisse um : die solare Versorgung wird ökologisch und ökonomisch vorteilhafter als die weitere Einsparung.

Von Vorteil ist die drastische Senkung von Energieverbräuchen auch unter anderen Gesichtspunkten : sie kann sofort begonnen werden, auch im heutigen Energieversorgungssystem und sie bewirkt bereits für sich eine ökologische Entlastung verglichen mit dem derzeitigen Trend. In einigen Sektoren sind zudem ökonomische Gewinne zu erwarten, da die eingesparten Energiekosten die für Sparmaßnahmen aufgewandten Kapitalkosten übersteigen. Energiesparmaßnahmen sind also sowohl direkt, als auch als Vorbereitung für eine solare Energieversorgung nützlich.

2. Solare Energieversorgung für Gebäude

Nun soll das bislang abstrakt Gesagte konkretisiert, die Voraussetzungen einer solaren Versorgung von Gebäuden betrachtet werden : beispielhaft soll die Energie für den Betrieb eines Gebäude solar bereitgestellt werden, *ohne daß Sammelflächen außerhalb des Gebäudes verwendet werden*; d.h., daß keine zusätzlichen Flächen versiegelt, überbaut oder anderweitig verbraucht werden. Der Einfachheit wegen wird nur Solarstrahlung angerechnet, die auf ein Flachdach einfällt, das flächengleich der vom Gebäude überbauten Fläche ist. Eine Dachfläche ist auch in dichter Stadtbebauung am wenigsten wahrscheinlich verschattet, im Gegensatz zu Wandflächen.

Beispielrechnung

Auf einen m^2 horizontale (Dach-) Fläche fällt in Deutschland pro Jahr ca. 1000 kWh solare Strahlung. Nun sei (willkürlich) angenommen, das eingesetzte Solar-Energiesystem weist einen Jahres-Nutzungsgrad von 20% einschließlich der Sammlung, Umwandlung und Speicherung der Energie auf ²⁾. Das bedeutet, von den eingestrahnten 1000 kWh stehen pro Jahr und m^2 Sammelfläche etwa 200 kWh für die jeweilige Nutzung (Heizen, Warmwasser-Bereitung, Strom-Anwendungen, usw.) zur Verfügung. Im Beispiel soll das Gebäude vier voll genutzte Stockwerke besitzen, die Nutzfläche beträgt also rund das vierfache der Sammelfläche. Also kann pro m^2 Nutzfläche im Mittel 50 kWh solare Energie jährlich verwendet werden.

Viele Gebäude im Bestand benötigen jährlich über 200 kWh/m^2 allein zum Heizen, heutige Neubauten um 100 kWh/m^2 . Niedrigenergiehäuser liegen an der Schwelle solarer Versorgung, jedoch kaum einschließlich Warmwasserbereitung und Stromversorgung. Erst der Passivhaus-Standard läßt mit einem Heizwärmebedarf von $10\text{-}15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ genügend Anteil für die Warmwasser- und Stromversorgung in einem Wohnhaus.

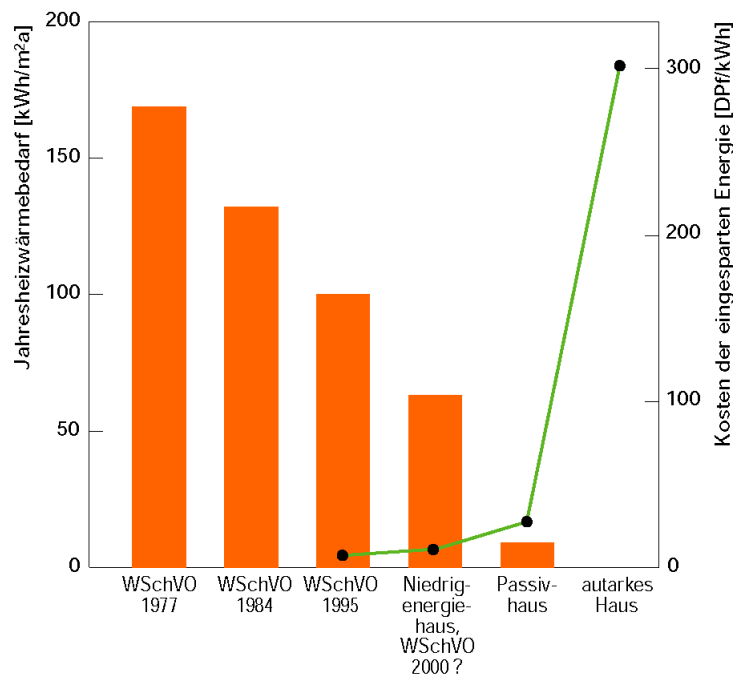


Bild 4. Energetische Standards von Neubauten.

Natürlich läßt sich diese Beispielrechnung nicht beliebig übertragen, sind die Annahmen stark vereinfachend. Es soll damit jedoch gezeigt werden, daß eine solare Betriebsenergie-Versorgung von Gebäuden mit der Vor-Ort-Einstrahlung in Mitteleuropa realistisch ist, und zwar unter der Annahme eines Gebäudetyps, der bereits realisiert ist, und der in naher Zukunft zu einem Baustandard werden kann, auch unter Kostengesichtspunkten.

3. Entwicklungslinien für Neubauten

Passivhäuser

Das bereits seit mehreren Jahren bewohnte und erprobte Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein (Bild 4) hat über mehrere Heizperioden einen gemessenen Heizenergieverbrauch unter $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ erreicht. Der gesamte Endenergieverbrauch für den Betrieb

einschließlich Heizen, Warmwasserbereitung und allen Stromanwendungen liegt um $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Dies ist nicht nur ein hervorragender energetischer Standard, sondern auch nach der vorherigen Schätzung für zukünftige solare Energieversorgung geeignet.



Bild 5. Das Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein (Foto: Hessisches Umweltministerium)

Die wesentlichen baulichen Merkmale von Passivhäusern sind einfach und technisch konventionell. Entscheidend ist, daß heutige technische Möglichkeiten weitgehend genutzt werden. Dies bedeutet im einzelnen :

- eine hoch wärmegeämmte Gebäudehülle,
Außenwände und Kellerdecke mit $k = \text{ca. } 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$,
Dach mit $k = \text{ca. } 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$,
Minimieren von Wärmebrücken;
- kompakte Bauweise, geringes A/V-Verhältnis;
- hochwertige Verglasung (z.B. Dreischeiben-Wärmeschutzglas)
in hochdämmenden Rahmen
größere Fensterflächen südorientiert und im Winter unverschattet soweit möglich;
- Lüftungsanlagen mit hochwirksamer Wärmerückgewinnung (Wärmerückgrad $> 80\%$);
zugleich muß die Gebäudehülle sehr dicht sein ($n_{L50} < 0.5 \text{ h}^{-1}$);
- eine energetisch effiziente Warmwasserversorgung;
- eine hocheffiziente Nutzung elektrischer Energie,
sowohl in der Haustechnik (Lüftung, Heizung),
als auch in der Beleuchtung und in Haushaltsgeräten.

Autarkes Solarhaus

Am Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme in Freiburg wurde ein experimentelles Wohnhaus errichtet, dessen Energiebedarf für den Betrieb (Heizen, Warmwasser, Strom), ähnlich wie beim Passivhaus, minimiert ist und ausschließlich aus regenerativen Energiequellen gedeckt werden soll. Dieses energieautarke Haus ist aufgrund seines experimentellen Charakters mit hohen Kosten verbunden und dient nicht als Vorbild für einen möglichen neuen Baustandard, sondern in erster Linie der wissenschaftlichen Untersuchung neuer Techniken, wie der transparenten Wärmedämmung oder der Saison-Speicherung solarer Energie auf Wasserstoff-Basis.

Solare Nahwärmeversorgung

An verschiedenen Orten Mitteleuropas werden zur Zeit solare Nahwärmesysteme für Quartiere gebaut und erprobt. Kennzeichen dieser Anlagen sind :

- ein größeres Feld thermischer Sonnenkollektoren (leider zum Teil nicht auf Dächern, sondern auf eigenen Flächen angeordnet)
- ein Saisonspeicher, der im Sommer gesammelte Wärme bis in die Heizperiode speichert; hier wirkt sich die Größe der Anlage positiv aus; ein größerer Speicher besitzt ein kleineres A/V-Verhältnis und erfordert weniger Aufwand für die Wärmedämmung.
- ein Nahwärmenetz zum Verteilen der Wärme
- Gebäude in Niedrigenergie-Standard.

Bisherige solare Nahwärmesysteme decken nur einen Teil des jährlichen Wärmebedarfs der angeschlossenen Gebäude. Dies liegt wesentlich darin begründet, daß der Heizwärmebedarf von Niedrigenergie-Häusern nur mit sehr hohem Aufwand vollständig solar gedeckt werden kann.

In der Kombination eines solaren Nahwärmesystems mit Gebäuden nach Passivhaus-Standard, die bislang nicht realisiert ist, wird eine vollständige solare Versorgung mit Wärme für Heizung und Warmwasser möglich; und dies ausschließlich mit Techniken, die heute bereits erprobt sind.

Bürobauten

Büro- und andere Gewerbebauten sind in der Regel energetisch anspruchsvoller als Wohngebäude. Hier spielt der Stromverbrauch für elektrisches Licht, Büromaschinen und EDV, teilweise auch für Klimatisierung, eine große, in ungünstig ausgelegten Bauten eine dominierende Rolle. Deshalb ist neben dem winterlichen Wärmeschutz eine Reihe weiterer Maßnahmen erforderlich um den Gesamtenergiebedarf dieser Bauten zu senken :

- eine sehr gute Tageslicht-Beleuchtung verbunden mit bedarfsgesteuertem und effizientem elektrischen Ergänzungslicht,
- eine passive, konstruktiv bewirkte Klimatisierung, insbesondere sommerlicher Wärmeschutz,
- sowie eine energetisch optimierte Ausstattung mit EDV und anderen Geräten.

Diese Maßnahmen beeinflussen sich gegenseitig und konkurrieren teilweise miteinander. Deshalb ist gerade hier eine integrale, die verschiedenen Aspekte des Gebäudes im Zusammenhang betrachtende Planungsweise mit entscheidend für ein energetisch gelungenes Gebäude.

Heutige energetisch optimierte Bürobauten erreichen einen gesamten Betriebsenergie-Bedarf von etwas unter 100 kWh/m²a. Beispiele solcher Bauten sind das 'Low Energy Office' in Köln oder der Neubau für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt in Osnabrück. Für eine vollständige Vor-Ort-Versorgung mit Sonnenenergie wäre nach obiger Schätzung eine weitere Halbierung des Bedarfs nötig.

4. Gebäudebestand

Bis hierher war nur von Neubauten die Rede, jedoch spielen die Gebäude im Bestand zumindestens kurz- und mittelfristig die entscheidende Rolle für die Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor. Beispielhaft ist in Bild 6. das Einsparpotential im Wohngebäudebestand einer Großstadt dargestellt. Zu sehen ist, daß sich der Heizwärmebedarf bei vor der ersten Wärmeschutzverordnung erstellten Bauten um einen Faktor zwei bis drei senken läßt. Dabei ist vorausgesetzt, daß die Wärmetechnischen Maßnahmen etwa Gesamtkosten-neutral sind, d.h. die Summe aus Betriebs- und Investitionskosten wird durch die Energieeinsparung nicht verändert. Wesentlich für niedrige Einsparkosten ist, daß ohnehin notwendige Sanierungen wärmetechnisch aufgewertet werden. So fallen nur Zusatzkosten zulasten der Energieeinsparung.

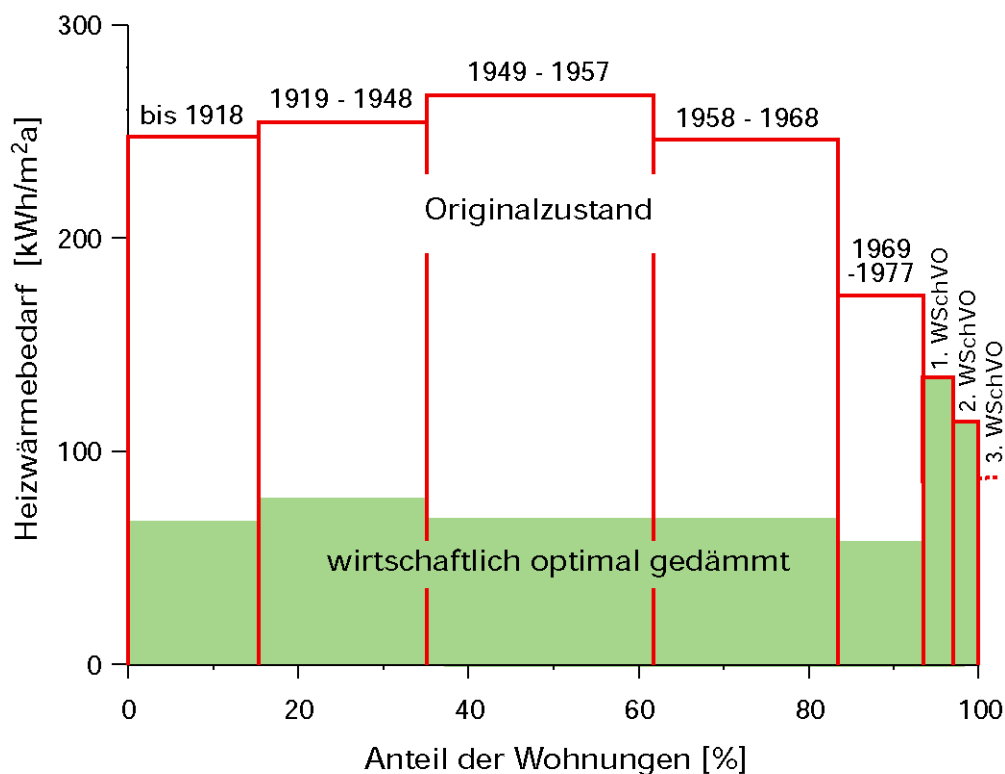


Bild 6. Wohngebäudebestand einer Großstadt; mittlerer Heizwärmebedarf im originalen Bauzustand und nach einer optimierten wärmetechnischen Sanierung, aufgetragen über den Anteilen verschiedener Baualterstufen im Bestand.

5. Fazit

Die Klimaproblematik ebenso wie die Begrenztheit fossiler Ressourcen machen langfristig eine Umstellung der Energieversorgung auf solare Energie unumgänglich. Kurz- und mittelfristig ist eine radikale Senkung des Energieverbrauchs in allen Bereichen vonnöten. Dies gilt im besonderem Maß für den Heizenergiebedarf des Gebäudebestandes.

Ab heute errichtete Neubauten sollten einen für solare Versorgung geeigneten energetischen Standard aufweisen. Deshalb können die jetzige Wärmeschutzverordnung und auch ein Niedrigenergiehaus-Standard nur als kurzfristige Übergangsformen angesehen werden. Energetisch 'zukunftsfähig' über eine typische Gebäude-Lebensdauer von 100 Jahren oder mehr ist erst ein Standard entsprechend dem Passivhaus.

Hier war die Betrachtung eingeschränkt auf die Energie für den Gebäudebetrieb, die bei fast allen bisherigen Bauten bei weitem dominiert. Eine allseitige Senkung von Energieverbräuchen muß auch die Herstellungsenergien einschließen, ebenso wie externe Energieumsätze, insbesondere diejenigen des weitgehend von Standortfaktoren bestimmten Verkehrs. Des weiteren wird der Energieverbrauch von sozialen Faktoren beeinflusst, beispielsweise dem Trend zu 1- und 2-Personen-Haushalten und dem damit verbundenen Anstieg der Wohnflächen pro Person.

Anmerkungen :

¹⁾ Hier sind verallgemeinernd alle Energieträger, deren Ursprung die Solarstrahlung ist, als 'solar' bezeichnet; diese Energien werden oft 'regenerativ' genannt, da sie nicht aufgebraucht werden können, sondern gleichbleibend Energie liefern, sich 'regenerieren'. Der in Deutschland auch gebräuchliche Begriff 'erneuerbare Energie' ist dagegen irreführend, da er eine erneuernde Tätigkeit der Menschen suggeriert; jedoch beruht die Erneuerung auf dem von Menschen unabhängigen solaren Energiestrom.

²⁾ Der Gesamt-Nutzungsgrad von 20% ist eine Schätzung für zukünftige Systeme. Die solare Versorgung, insbesondere die Speicherung, ist in der Regel einfacher und kostengünstiger, wenn sie für größere Einheiten als einzelne Gebäude erfolgt. Hier ist der einfachen Betrachtung wegen ein einzelnes Haus angenommen.

Literatur :

Berichte der Enquête-Kommissionen 'Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre' und 'Schutz der Erdatmosphäre' des Deutschen Bundestages; Bonn, 1988 - 1995.

W. Feist, J. Werner : Energiekennwerte im Passivhaus Darmstadt.
Darmstadt : Institut Wohnen und Umwelt, 1994.

M. Müller, P. Hennicke : Mehr Wohlstand mit weniger Energie; Darmstadt, 1995.

W. Stahl, A. Goetzberger : Das energieautarke Solarhaus.
Sonnenenergie, Heft 6/1990, S. 11 - 19.

Wuppertal Institut, Planungsbüro Schmitz Aachen : Energiegerechtes Bauen und Modernisieren (Hrsg.: Bundesarchitektenkammer); Basel, 1996.

Wuppertal Institut : Zukunftsfähiges Deutschland (Hrsg. BUND und Misereor); Basel, 1996.