Wirklich nachhaltiges Bauen

Autor(en): **Keller, Bruno**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 22

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79929

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Bruno Keller, Zürich

Wirklich nachhaltiges Bauen

Die an sich lobenswerten Bemühungen um nachhaltiges Bauen haben sich in letzter Zeit intensiviert: Minergie-Standard, Passivhaus-Standard, und wie sie alle heissen. Allen gemeinsam ist die (zu) starke technische Orientierung. Nachhaltiges Bauen soll aber auch menschliche und kulturelle Aspekte berücksichtigen. Fundierte Kenntnisse thermischer Zusammenhänge am Bau (siehe dazu SI+A Nr. 7 vom 18. Februar 2000, S. 15ff) ergeben wesentlich mehr gestalterische Freiheiten, als heutige «Standards» uns glauben machen wollen.

Das «Bauwerk Schweiz» stellt einen der wesentlichsten Faktoren der Bemühungen um Nachhaltigkeit in diesem Land dar: einerseits durch die Raumheizung, die den grössten Anteil am schweizerischen Energieverbrauch ausmacht und andererseits dadurch, dass das Bauwesen mit Abstand der grösste «Materialbeweger» im Land ist. Dazu kommt die Tatsache, dass Bauen ein langsamer Prozess mit sehr langfristigen Konsequenzen ist. So verändern wir pro Jahr nur etwa 1-1,5% der Bausubstanz, was aber Auswirkungen über 50-80 Jahre und mehr hat. Wie kaum in einem anderen Gebiet trifft der Ausspruch von Immanual Kant zu: «Unser Entscheiden reicht weiter als unser Erkennen.» So leiden wir heute energetisch unter den Entscheiden der 50er- und 60er-Jahre.

In Anbetracht dieser Zusammenhänge meint man, müssten schnellstens die Weichen für langfristig nachhaltiges Bauen gestellt werden. Allerdings bekommt man, als Folge der vielen verschiedenen diesbezüglichen Versuche, Experimente und auch Modeerscheinungen der letzten Jahre den Eindruck, dass nicht klar ist, was nachhaltiges Bauen sei. So haben Modeströmungen vom hochgedämmten Haus mit kleinen Fenstern und abgesenkter Raumtemperatur in den frühen 80er-Jahren, Versuche zur Beheizung mit aktiver Solarenergie durch Kollektoren, die Erkenntnis, dass Fenster auch «Gewinn-Flächen» darstellen können und deren Übersteigerung in der Solararchitekur und dem sogenannten «passivsolaren Haus» mit Wintergärten, Balkonverglasungen, Atrien und Warmluftkollektoren in den 90er-Jahren bis zur Überbetonung der Tageslichtnutzung, zum Teil auf Kosten der thermischen Qualität der Hülle und neuerdings die totale natürliche Lüftung die Weichen mehrmals um annähernd 180 Grad umgestellt und den unbedarften Betrachter und Nutzer verunsichert.

Es sei hier ausdrücklich erwähnt, dass in all diesen Ansätzen ein gut gemeinter und im Prinzip auch gesunder Kern steckte, dessen Übersteigerung jedoch hat zu abschreckenden Beispielen geführt. Viele weisen erhebliche Nutzungseinschränkungen und Komfortprobleme auf, von überhöhten Kosten ganz zu schweigen. Grundprinzipien guter Architektur wurden dabei auf dem Altar der Megajoules geopfert und die Ergebnisse verunzieren die Landschaft.

Daran haben auch die vielen stattgefundenen Kongresse, publizierten Abhandlungen und Bücher nichts geändert. Nach wie vor gibt es verschiedene Richtungen und es besteht eine erhebliche Unsicherheit: der Eindruck entsteht, nachhaltiges Bauen sei nur auf Kosten der Architektur möglich.

Im Folgenden soll deshalb gezeigt werden, dass sich das thermische Verhalten und seine Optimierung verstehen und mit einfachen Mitteln umsetzen lässt und dass diese es gestatten, mit modernen Bauelementen gute Architektur mit niedrigem Energiebedarf zu verbinden und auch zu realisieren. Bei wirklich nachhaltigen Bauten liegt ein erhebliches Einsparpotential in einer auf einen niedrigen Bedarf ausgerichteten, effizienten Haustechnik, welche zudem niedrige Investitionen bedingt und so zu einem kostengünstigen Bau führt.

Was macht die «langfristige» Nachhaltigkeit aus?

Allzu oft wird bei nachhaltigem Bauen nur der technisch-energetische Aspekt gesehen und oftmals auch dieser sehr einseitig: zum Beispiel nur auf die «graue» Energie bezogen oder auf besondere, derzeit als ökologisch geltende Materialien oder nur auf die Betriebsenergie ausgerichtet.

Der Verfasser ist davon überzeugt, dass jede langfristig aufrechterhaltbare Nachhaltigkeit sich nicht auf den technisch-energetischen Aspekt allein beschränken darf. Vielmehr muss sich der Mensch dabei sowohl kulturell wie auch physiologisch wohl fühlen und selbstverständlich soll das mit umweltfreundlichen Materialien und bei niedrigem Gesamtenergiebedarf realisiert werden. Das heisst, dass eine wirkliche, langfristig vertretbare Nachhaltigkeit drei Komponenten aufweisen muss:

- Die Menschliche:
Neben der thermischen, hygrischen, akustischen und optischen Behaglichkeit sollen Lebens- und Arbeitsabläufe möglich sein, bei denen sich die Menschen wohl fühlen, und sie den nötigen Freiraum haben.

- Die Kulturelle:
Für das Bauwerk als wichtige Komponente der kulturellen Gestaltung der Umwelt, ist eine gute Architektur unverzichtbar. Nur gut gestaltete Bauten sind langfristig «nachhaltig».

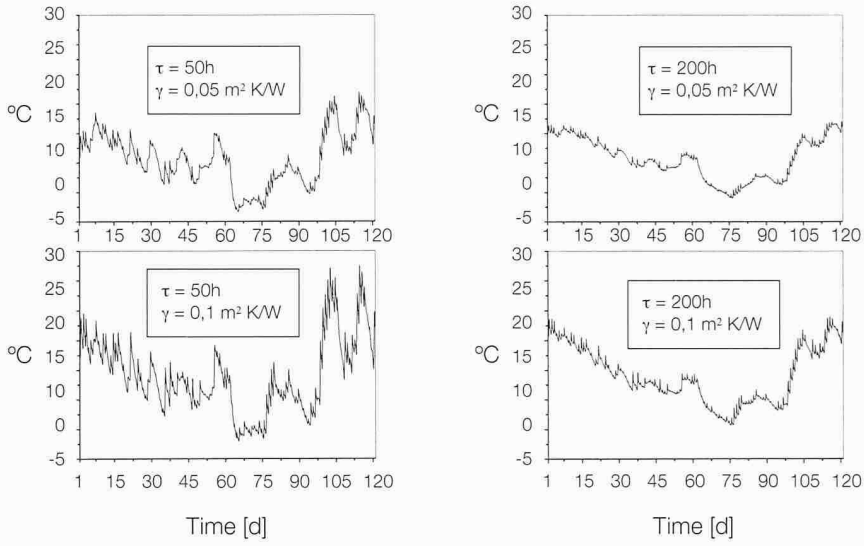
- Die Technische:
Sowohl die verwendeten Materialien, ihre Verfüg-, Produzier-, Verwend- und Entsorgbarkeit, ihr grauer Energieinhalt aber auch und besonders die Betriebsenergie über die Lebensdauer müssen ausgewogen berücksichtigt werden. Dabei muss allerdings bedacht werden, dass selbst bei modernen, energiesparsamen Bauten die graue Energie nur etwa 20-30% des Gesamtenergieaufwandes über die Lebensdauer ausmacht und davon nur etwa 25% in den für die Betriebsenergie relevanten Teilen (Fenster, Wärmedämmung, Teile Haustechnik und anderes) des Gebäudes stecken.

Eine gute Technik und ein vertieftes Verständnis des Gebäudes sollen also erlauben, eine hohe Behaglichkeit in einer guten Architektur mit einem geringen Energiebedarf über Lebenszeit und ohne Altlasten zu realisieren.

Wenn dies gelingt, kann Abstand genommen werden von Um-Erziehungsaktionen, abgesenkten Raumtemperaturen, auf Wunschdenken basierenden Maximaltemperaturen über 28 °C zur Vermeidung von Kühlung und anderem mehr. Der Satz von der Konstanz der wesentlichsten elementaren Bedürfnisse des Menschen kann wieder berücksichtigt werden.

Gleichzeitig ist damit nachhaltiges Bauen nicht mehr gleichbedeutend mit hässlichen Öko-Kisten und abschreckenden Solarhäusern. So gut diese gemeint sein mögen, erweisen sie sich doch langfristig als alles andere denn nachhaltig.

1
Die Auswirkung der beiden Parameter $\gamma = G / K$ und $\tau = C / K$ auf den Verlauf der Leerlauftemperatur



Antwort auf die Herausforderung

An der Professur für Bauphysik der ETHZ hat man deshalb grundsätzliche Überlegungen zur Optimierung des Betriebsenergieaufwandes in einem beliebigen Klima angestellt. Dabei ist eine universell gültige Strategie für Bauten von niedrigem Energiebedarf entstanden, welche sowohl der Architektur wie auch der Materialwahl grosse Freiheit lässt. In wenige Worte gefasst bedeutet dies das Folgende:

- Ohne den Einfluss der haustechnischen Elemente, also ohne Heizung und/oder Kühlung entwickelt in einem gegebenen Klima jeder Raum und jedes Gebäude sein eigenes Temperaturverhalten: die Leerlauftemperatur.
- Solange diese Leerlauftemperatur im Komfortbereich, also zum Beispiel zwischen 20 und 26 °C verläuft, besteht kein Grund, Energie für Heizen oder Kühlen aufzuwenden.
- Ziel muss es also sein, das Gebäude so zu gestalten, dass die Leerlauftemperatur seiner Räume über das Jahr hinweg möglichst häufig im Komfortbereich verläuft.

Es lässt sich exakt zeigen, dass dazu nur drei Parameter (K, G, C) als Einfluss-Faktoren notwendig sind:

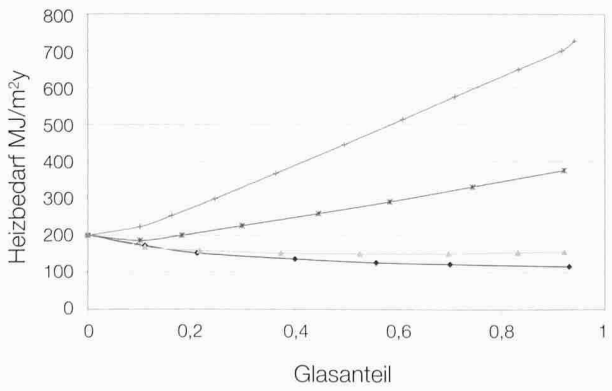
- der Verlustfaktor aus Transmissions- und Lüftungsverlusten: K (Flächenanteile, U-Werte, Luftwechsel)
- die Durchlässigkeit der Gebäudehülle für die solare Einstrahlung: G (Fenstergrösse (Glaslicht), Strahlungsdurchlässigkeit g)
- das Speichervermögen der Räume selbst: C (Speicherfähigkeit der Materialien, innere Oberfläche)

Interessanterweise zeigt es sich, dass genau zwei Kombinationen dieser drei Grössen den Verlauf der Leerlauftemperatur eindeutig bestimmen und damit für die Optimierung massgebend sind:

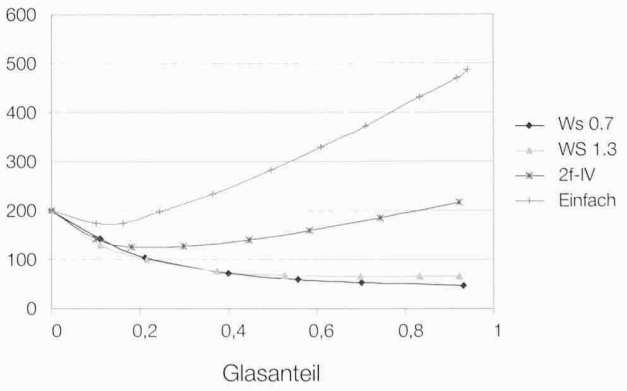
1. der Quotient: $\gamma = G / K$ auch als solarer Korrekturfaktor oder Gewinn-zu-Verlust-verhältnis bezeichnet und
2. der Quotient: $\tau = C / K$ auch als Zeitkonstante, als Mass für die thermische Trägheit oder das thermische Erinnerungsvermögen des Raumes bezeichnet.

Mit der ersten Grösse (G / K) kann der Tagesmittelwert der Leerlauftemperatur verschoben werden: zum Beispiel im Winter nach oben oder im Sommer nach unten, gleichzeitig werden aber die Tagesschwankungen, ihre Amplitude verändert. Dies kann zu einem Überschwingen auf die andere Seite führen: Kühlbedarf im Winter oder Heizbedarf im Sommer. Diese Schwankung wiederum kann durch die zweite Grösse (C / K) so beeinflusst werden, dass sie im Rahmen bleibt und so das Überschwingen vermieden wird (Bild 1). Für den Winter geht es also darum, die Leerlauftemperatur nach oben, möglichst nahe an oder in den Komfortbereich zu schieben und gleichzeitig die dadurch zunehmenden Schwankungen durch eine genügend grosse Zeitkonstante so im Rahmen zu halten, dass kein Kühlbedarf auftritt. Für den Sommer gilt genau das Umgekehrte. Ein guter und variabler Sonnenschutz überbrückt die Diskrepanz zwischen den Winter- und den Sommeranforderungen. Untersucht man damit etwa den Einfluss der Fenstergrösse und -qualität auf den Energiebedarf eines Raumes (Bilder 2 und 3), so erhält man einige interessante Ergebnisse:

2
Der Heizenergiebedarf eines Raumes in Funktion des Verglasungsanteils. Zürich, Nordseite, nichttransparente Teile: $U = 0{,}3\ W/m^2K$, Luftwechsel $n = 0{,}3\ h^{-1}$. WS: Wärmeschutzverglasung $U = 0{,}7$ respektive $1{,}3\ W/m^2K$, 2f-IV: Isolierverglasung, Einfach: Einfachverglasung



3
Der Heizenergiebedarf eines Raumes in Funktion des Verglasungsanteils. Zürich, Südseite, nichttransparente Teile: $U = 0{,}3\ W/m^2K$, Luftwechsel $n = 0{,}3\ h^{-1}$. WS: Wärmeschutzverglasung $U = 0{,}7$ respektive $1{,}3\ W/m^2K$, 2f-IV: Isolierverglasung, Einfach: Einfachverglasung





4
Oben: Einer der ersten Bauten mit hochgedämmter Hülle und angepasster Haustechnik. Energiekennzahl Wärme < 140 MJ/m²y. (Bauherr: Messerli AG Wetzikon, 1988/89, Architekten: Sattler Architekten, Wetzikon; Bild: Autor)

5
Rechts: Wohnüberbauung Mozartstrasse, Dornbirn, 1996/97. Hochgedämmte Bauhülle mit angepasster Haustechnik. Energiekennzahl Wärme < 120 MJ/m²y. (Architekten: Baumschlager & Eberle, Lochau; Bild: E. Hueber, New York)

7
Rechte Seite: Industriegebäude. Bauherr: Graf Elektronik, Dornbirn (1995). Energiekennzahl Wärme < 130 MJ/m²y. (Architekten: Baumschlager & Eberle; Bild: E. Hueber, New York)





6a, 6b
Schulhaus Vella (GR), 1998, mit extrem niedrigem Energiebedarf in rauhem Klima: < 100 MJ/m²y. (Architekten: Bearth & Deplazes Chur; Bild: Deplazes)



- Auf der Südseite wirkt sich eine gewöhnliche Isolierverglasung nur beschränkt positiv aus, während moderne Wärmeschutzverglasungen einen grossen Spielraum zulassen.

- Eine grosse Verglasung auf der Nordseite führt, bei guter thermischer Glasqualität zu einem geringeren Energiebedarf als eine sehr gut gedämmte Wand, also besteht auch auf der Nordseite ein Strahlungsbeitrag. Damit lassen sich auch auf der Nordseite grosse Verglasungen mit einem niedrigen Energiebedarf verbinden.

- Die Südseite liegt energetisch zwischen 50 und 100 MJ/m²y, die Nordseite zwischen 100 und 150 MJ/m²y.

- Auf der Südseite entsteht ab etwa 40% Flächenanteil bei allen Verglasungen (bei Leichtbau sogar ab 30%) trotz gutem äusserem Sonnenschutz ein Kühlbedarf (Klima von Zürich), welcher nach Möglichkeit vermieden werden sollte, es sei denn, man könne die überschüssige Wärme sinnvoll anderweitig nutzen: zum Beispiel. S-N-Transfer, was allerdings in seiner Umsetzbarkeit sehr beschränkt ist.

- Der wesentliche Unterschied zwischen «Leichtbau» (kleine Zeitkonstante) und «Schwerbau» (grosse Zeitkonstante) besteht weniger im Energiebedarf als darin, dass der Leichtbau auf der Südseite früher



Kühlbedarf aufweist und dies trotz gutem Sonnenschutz.

Als Fazit ergibt sich also, dass mit einer guten Wärmedämmung, einem minimalisierten Luftwechsel und modernen Wärmeschutzverglasungen ohne weiteres auf spezifische Heizenergiebedarfe zwischen 80 und 150 MJ/m^{2}y bei grosser Freiheit betreffend Fassadenaufteilung, Orientierung und anderem kommen kann. Dass dies wirklich möglich ist, hat der Verfasser einerseits schon in den 80er-Jahren nachgewiesen, allerdings noch mit den damals relativ teuren Fenstern (Bild 4) und zeigen andererseits heutige moderne Architekten an verschiedenen Standorten (Bilder 5, 6 und 7). Dass solche Bauten eine sehr hohe Behaglichkeit aufweisen und zudem infolge der relativ grossen Zeitkonstanten gegenüber Ausfällen der Haustechnik sehr tolerant sind, versteht sich von selbst.

Integrales Denken: am Beispiel Architektur und Haustechnik

Bauten, welche nach obigen Prinzipien entworfen wurden, weisen ein sehr gutartiges Verhalten auf. Sie bleiben von sich aus über einen Grossteil des Jahres im Komfortbereich und infolge der ausgeglichenen und relativ hohen Oberflächentemperaturen stellt sich ein sehr angenehmes Klima ein. Ein sanfte mechanische Lüftung kann dies zusätzlich unterstützen (Verdrängungs- oder Quelllüftung).

Im schweizerischen Klima beschränkt sich damit die Haustechnik auf die Lufthygiene und eine Back-up Heizreserve, welche nur noch sehr beschränkt eingesetzt werden muss. Die Einstrahlung und die inneren Quellen decken zu einem erheblichen Teil des Winters den Heizbedarf. Dies haustechnisch klug zu nutzen erfordert einige Überlegungen. Die Physik der Wärmeübergänge in einem Raum zeigt folgendes:

- Dominant ist das Strahlungsklima (Wärmestrahlung) und dieses ist durch die Oberflächentemperaturen der raumbegrenzenden Elemente gegeben.
- In so konzipierten Bauten wie erwähnt, ist dies an sich schon gut, liegen doch die Oberflächentemperaturen auch im Winter noch nahe an der gewünschten Raumtemperatur, auf eine lokale Komfortkompensation mit Radiatoren oder Konvektoren kann also verzichtet werden.
- Für genügend kleine spezifische Leistungen können grossflächige Heizelemente: Decken oder Bodenheizungen derart dimensioniert werden, dass die Vorlauftemperaturen im Komfortbereich liegen. Damit werden Decken- und Bodenheizungen praktisch trägheitsfrei.

Beispiel

Der spezifische Leistungsbedarf dieser Bauten bewegt sich im Bereich von 20-30 W/m^2. Für das Beispiel betrage er 25 W/m^2. Dies bedingt eine Überhöhung der Vorlauftemperatur in einer Betondecke von 5,5 °C, also eine Vorlauftemperatur von 25,5 °C bezogen auf eine Raumtemperatur von 20 °C. Steigt nun die Raumtemperatur infolge Sonneneinstrahlung oder innerer Quellen von 20 °C auf 26 °C, so reduziert sich die abgegebene Leistung trägheitsfrei und automatisch von 100% auf Null. Bei dieser vereinfachten Betrachtungsweise wird sogar vom dynamisch bedingten, wesentlich grösseren Puffervermögen solcher Decken noch abgesehen.

Gegenbeispiel

Traditionelle, auch schon energiesparende Bauten liegen bei spezifischen Leistungen von 50-60 W/m^2. Das heisst es braucht eine Vorlauftemperatur von 31,3-33,6 °C. Im gleichen Fall wie oben sinkt damit die Heizleistung bei Erreichung von 26 °C nur auf 47% respektive 56%. Trotz dem Erreichen der Komfortgrenze wird also noch tapfer weiter geheizt (Bild 8).

Dies wird vom klassischen Heizungsingenieur der «Trägheit» und damit der damit verbundenen Masse zugeschrieben, dabei ist es nichts anderes als die Folge der zu grossen spezifischen Leistung (und

damit einer zu geringen Wärmedämmung der Hülle) und somit der zu stark erhöhten Vorlauftemperatur, von thermischer, massebezogener Trägheit keine Spur!

Das heisst also, dass durch eine genügend gute Wärmedämmung die noch benötigte spezifische Heizleistung so klein gemacht werden kann, dass Decken- und Bodenheizungen trägheitsfrei optimal reagieren. Sogenannte «schnelle» Heizelemente wie Radiatoren und Konvektoren werden nicht mehr benötigt, ganz einfach deshalb, weil das Gebäude selber wieder langsam und selbstregulierend geworden ist.

Der Weg ist damit frei, die Decken nicht mehr als eigentliche Heizelemente sondern als gesteuerte Wärmespeicher oder -puffer zu verwenden. Dies wurde bereits vor Jahren im Batiso-Prinzip verwirklicht (Bild 9) und hat sich über Jahre hinweg bewährt. Analoge Überlegungen sind auch im Kühlfall möglich, falls dieser durch innere Quellen verlangt wird.

Für Heizen wie für Kühlen unter diesen neuen Bedingungen gilt, dass sich infolge der geringen Temperaturdifferenzen zum Raum und der an sich niedrigen Temperaturen zum Beispiel für Wärmepumpen wesentlich höhere Wirkungsziffern erzielen lassen und weniger häufige Ein-/Ausschaltzyklen auftreten, was wiederum wesentlich für die Lebensdauer der Wärmepumpen ist.

Die Luftversorgung kann auf diesem Niveau auf der Basis einer Einfachst-Verdrängungslüftung mit Wärmerückgewinnung (WRG) gelöst werden, welche den Grundbedarf deckt und keine raumindividuelle Regelung benötigt. Im Wohnungsbau kann die Luft sogar durch mehrere Räume geleitet werden.

Unter der Voraussetzung eines sehr geringen spezifischen Leistungsbedarfes ($< 20\,W/m^2$) kann, wenigstens im Wohnungsbau auch daran gedacht werden, die Luftversorgung zur Wärmeversorgung zu verwenden. Allerdings ist Vorsicht betreffend der Luftfeuchtigkeit am Platz.

Schlussfolgerungen

Der Verfasser hofft, mit den obigen Überlegungen klar gezeigt zu haben, dass es mit heute erhältlichen Bauelementen sehr wohl möglich ist, zu günstigen Preisen architektonisch gut gestaltete Bauten von sehr hohem Komfort und trotzdem sehr niedrigem Energie- und Leistungsbedarf zu erstellen. Spezifische Wärmebedarfe von weniger als 100 bis $150\,MJ/m^2a$ sind dabei ohne weiteres realisierbar ohne dass die Benutzer Konzessionen machen müssen.

Notwendig ist allerdings, dass man die oben erwähnten Grundprinzipien zuerst begreift und sie dann innovativ umsetzt:

- Der Architekt muss das Arbeiten mit gut gedämmten Aussenwänden und Dächern und das Umgehen mit hochwertigen Fenstern als Selbstverständlichkeit verstehen lernen.
- Der Haustechniker muss alte, lieb gewordene aber unreflektierte Prinzipien über Bord werfen und sich auf die neue Situation einstellen.
- Beide müssen den grossen Wust an zum Teil fast sektiererisch vertretenen Halbweisheiten der letzten Jahre vom passivsolaren Haus über die sogenannten Solararchitekturen, der überstrapazierten Tageslichtnutzung bis zur neuerdings Mode gewordenen natürlichen Lüftung um jeden Preis, raschmöglichst vergessen und zum physikalisch begründeten gesunden Menschenverstand und zur architektonisch guten Gestaltung zurück finden.

Die oben skizzierte Art, Bauten mit guter Architektur und geringem Energiebedarf zu entwerfen, kann mit gutem Grund als Klimagerechtes Bauen bezeichnet werden. Etwas, das - allerdings heute auf technisch und kulturell angepassten Niveau - zu allen Zeiten, bis zurück zu Vitruv ein Kennzeichen guten Bauens war - und nur durch die «Moderne» aus dem Gesichtskreis des Architekten verdrängt worden ist. Im Vergleich dazu erscheinen die sich in jüngster Zeit etablierenden neuen Standards wie «Minergiehaus», «Passivsolar Haus» als unnötige gestalterische Zwangsjacken, welche, wie hier zu zeigen versucht wurde [1], bei besserem Verstehen der thermischen Zusammenhänge gar nicht nötig wären.

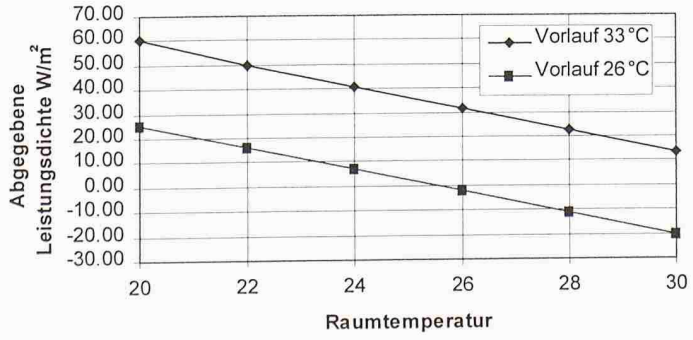
Der Verfasser ist damit der begründeten Ansicht, dass es so wieder möglich sein wird, in jeder Beziehung gute Bauten zu realisieren und bestehende Bauten sukzessive sinnvoll zu sanieren. Wenn es gelingt, den grossen Baubestand der Schweiz oder Europas auf diese Weise nachhaltig mittelfristig auf ein Niveau von $80\text{-}150\,MJ/m^2a$ herunter zu bringen, so ist damit im Grossen wesentlich mehr erreicht, als mit einigen wenigen, meist kostenmässig und ästhetisch wenig überzeugenden (fast) Nullenergie- und ähnlichen Extrembauten.

Statt dessen müsste man sich sehr bald überlegen, wie das hier dargelegte Knowhow situationsgerecht und angepasst auf andere Regionen dieser Welt übertragen werden könnte, wo jetzt und in den nächsten Jahren wesentlich mehr als bei uns gebaut wird, wie zum Beispiel in China.

Adresse des Verfassers:
Bruno Keller, Prof. Dr., Professur für Bauphysik, Institut für Hochbautechnik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich

Literatur

[1] *B. Keller, E. Magyari:* Energieeffiziente Bauten - Grundlagen für intelligente Planer energiesparsamer Bauten. SI+A Nr. 7, 2000



8
Abhängigkeit der abgegebenen Heizleistung von der Raumtemperatur für zwei verschiedene Vorlauftemperaturen



9
Sarinaport 1991, Fribourg: eines der ersten Gebäude mit gesteuertem Betonkern (Bild: Autor)