

# **"... und sie bewegt sich doch"**

## **Wissenschaft, Kultur und Lebensart rund um das Passivhaus**

**Beitrag zur 5. Passivhaus Tagung – Böblingen 2001  
Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt**

### **Naturwissenschaft ist Teil der Kultur**

Naturwissenschaftler und Techniker werden im europäischen Raum gern vom eng gefassten Kulturbegriff ausgeschlossen. Das hat eine Tradition, die bis in die Antike zurückreicht, in der das Handwerk zu den "niederen Künsten" gezählt wurde und allgemein Arbeit als dem Stande eines freien Menschen unwürdig angesehen wurde. Diese Aufteilung in "niedere, technische Disziplinen", deren Vertreter allenfalls dienend in der Funktion quasi von Wartungspersonal geduldet werden und in "höhere, geistige Wissenschaften", die sich mit dem kulturellem Erbe, mit Kunst, Geschichte, Mensch, Gesellschaft und Religion beschäftigen, ist bis heute noch immer latent vorhanden. Die technischen Disziplinen haben natürlich in ihrem Selbstverständnis zu diesem Bild beigetragen. Wenn nun hier naturwissenschaftlich-technische Entwicklungen als Teil der Kultur behandelt werden, so befindet sich der Autor in einem permanenten Rechtfertigungszwang.

Dass die technische Entwicklung entscheidenden Einfluss auf unsere Kultur hat, ist andererseits offensichtlich. Überlandleitungen, Autobahnen und Hochhäuser prägen unser Umfeld; Autos, Fernsehgeräte, Computer, Handys, Plastiktüten und Medikamente unser Alltagsleben. Dieser entscheidende Einfluss von Naturwissenschaft und Technik auf unsere Kultur ist allerdings sehr indirekt vermittelt: Die Vermittlung geht über das Produkt und den Konsum. An keiner Stelle wird der kulturelle Einfluss bewusst reflektiert: Es sei denn ex post von Seiten einiger Sozialwissenschaftler; und hier stellt sich dann oft ein gewisses Unbehagen ein - was angesichts der oben aufgeführten Beispiele kaum verwundert. Naturwissenschaft und Technik haben anscheinend den Anspruch des unmittelbar kulturvermittelnden Einflusses mehr oder weniger aufgegeben; ihre Vertreter beschränken sich auf die funktionale Zuarbeit im Sinne des Produktdesign und der Produktoptimierung. Noch jede Diskussion über Sinn und Unsinn irgendwelcher Forschungsprogramme wurde am Ende mit solcher Rechtfertigung geführt.

Naturwissenschaftliche Erkenntnis ist aber nach meinem Selbstverständnis unmittelbar von kultureller Bedeutung. Die Wandlung zum kopernikanischen Weltbild hat alte Vorurteile überwinden helfen; die Maxwellschen Gleichungen eröffneten den Weg zum Verständnis der Natur des Lichtes; Einsteins Relativitätstheorie überwand das Dilemma zwischen Endlichkeit der Welt und der Frage nach dem Sein hinter ihren Grenzen und schließlich hat die Quantenmechanik die Lösung im

Konflikt zwischen Determinismus und Chaos erkennbar werden lassen. Darwins Theorie lässt die Entwicklung von "Höherem" aus "Niedrigerem" verstehen und die Informationstheorie die Weiterentwicklung des Geistes über die menschlichen Grenzen hinaus. Selbstverständlich hatten alle diese Wissenschaften auch ihre technisch-ökonomische Anwendung; ihr direkt-kultureller Wert ist aber ungleich höher einzustufen.

Auf dem Weg über technische Anwendungen können die Naturwissenschaften unser Leben angenehmer machen. Für eine gesunde kulturelle Entwicklung sollten dadurch Spielräume geschaffen werden, die eine eingehendere Befassung mit unserem kulturellen Erbe und mit seiner Weiterentwicklung ermöglicht. Dazu gehört auch die Beschäftigung mit den direkten kulturellen Beiträgen der Naturwissenschaft. Manche Probleme der häufig zitierten "Janusköpfigkeit" der Erkenntnis hätten entschärft werden können, wenn die Wissenschaft diesem kulturellen Auftrag selbstverständlicher nachkäme.

Am Beispiel des Energiebegriffes lässt sich leicht zeigen, wie eine solche engere Verbindung von Naturwissenschaft und Kultur sogar neue Perspektiven eröffnet, die zuvor vermeintlich unlösbar erscheinende Probleme angehen lässt.

### **Aristoteles: Bewegtes braucht Beweger**

Wer kennt es nicht, das Gefühl, mal wieder der einzige Kärner zu sein, der den Wagen aus dem Dreck ziehen soll? Von selbst bewegt sich nichts, sagt Aristoteles; alles Bewegte braucht einen Beweger - wie sehr dies doch auch heute noch der überwiegenden allgemeinen Lebenserfahrung entspricht. Im Grunde haben wir fast alle auch heute noch genau dieses Beweger-Modell im Kopf - häufig wissenschaftlich verfeinert: Irgendwie ist es die Energie, die alles in unserer Zeit bewegt, und die natürlich gebraucht wird, wenn irgend etwas bewegt werden soll. Und doch ist dieses Modell grundfalsch; diese Vorstellung musste von Galilei, dem Begründer der Physik, erst überwunden werden, um ein wissenschaftliches Verständnis der Natur zu ermöglichen.

### **Galilei: Das Trägheitsgesetz**

"Ein Körper verbleibt in seinem Zustand einer gleichförmig geradlinigen **Bewegung**, solange keine Kräfte auf ihn wirken." Für die gleichförmig geradlinige Bewegung bedarf es also keines Bewegers. Übrigens in komplexeren Mehrkörpersystemen wie dem Sonnensystem auch nicht für die ellipsoiden Planetenbahnen: Die Anziehungskraft der Sonne verbraucht sich nicht, jedenfalls nicht in geschichtlich relevanten Zeiträumen. Wenn unsere Alltagserfahrung uns suggeriert, dass für die gleichförmige Bewegung z.B. eines Autos Kräfte aufzuwenden sind, so ist dies allein die Folge von Reibungseffekten - "Dreckeffekten" für einen sorgfältig präpa-

rierenden Experimentator. Die gesellschaftliche Aufnahme dieser einfachen Tatsache ist allerdings bis heute nicht erfolgt; nicht ohne Grund führt Bert Brecht im "Leben des Galilei" aus: "Ich hatte als Wissenschaftler eine einzigartige Möglichkeit. Zu meiner Zeit erreichte die Astronomie die Marktplätze. Hätte ich widerstanden, hätten die Naturwissenschaftler etwas wie den hippokratischen Eid der Ärzte entwickeln können, das Gelöbnis, ihr Wissen einzig zum Wohle der Menschheit anzuwenden!". Folgen wir dem Begründer der Physik ein Stück weit und versuchen wir, seine Vision fortzuführen.

## **Endlich ein klares Konzept: Energie**

Es dauerte relativ lange Zeit, bis das Konzept des hinter der Veränderung stehenden Potentials, das Konzept der Arbeitsfähigkeit, endlich in eine klare Form gebracht werden konnte. Helmholtz und Mayer haben entscheidend zur Identifikation der richtigen Größe, nämlich der Energie, und zur Formulierung des entsprechenden Erhaltungssatzes beigetragen. Kaum ein anderes Grundprinzip der Physik ist so erfolgreich wie der Energiesatz oder 1. Hauptsatz der Thermodynamik. Kaum ein Grundprinzip so elementar verwoben mit der Grundstruktur der Welt:

- Emmi Noether hat zu Beginn des 20. Jahrhunderts in ihrem berühmten Theorem gezeigt, dass der Energiesatz äquivalent ist zum Gesetz der zeitlichen Translationsinvarianz in der Natur: Der Ausgang von Experimenten hängt nicht davon ab, wann sie durchgeführt werden; das "gestern" unterliegt den gleichen Gesetzen wie das "heute" und das "morgen". Diese Äquivalenz lässt erkennen, weshalb die Suche nach dem Perpetuum Mobile so aussichtslos ist: Kleine Geister können sich die Energieentstehung aus dem Nichts wohl vorstellen - aber wie steht es um die willkürliche Veränderung der Welt in der Zeit?
- In der Quantenmechanik regiert der Hamilton-Operator  $H$  (Energieoperator) dementsprechend die Zeitdynamik des Geschehens:  $H\psi = h/(2\pi i) \partial\psi/\partial t$ .

Nun sieht alles wieder danach aus, als ob es doch einen großen Beweger in der Natur gäbe, nämlich die Energie. Energie bestimmt die Zeitentwicklung, die Veränderung, die Bewegung im übertragenen Sinne: Der Hamilton-Operator ist der Zeitentwicklungsoperator und damit verantwortlich für jegliche Dynamik. Dies ist richtig - und dennoch ist die damit oft leichtfertig verbundene Vorstellung wieder falsch. Im abgeschlossenen System wird bei aller Dynamik und bei allen dabei stattfindenden Energieumwandlungsprozessen keine Energie verbraucht. Die Gesamtenergie ist vor und nach allen Vorgängen genau gleich. Energie kommt also einem Katalysator gleich, der die Prozesse ermöglicht und steuert, sich dabei aber nicht verbraucht. Oder, im quantenmechanischen Bild, der Hamiltonoperator bestimmt die Halbgruppe der dynamischen Zeitentwicklung, er ist sozusagen das "Gesetz der Bewegung", aber nicht der Beweger selbst. Anhand der Erhaltungs-

größte Energie lassen sich somit die Vorgänge in der Natur besonders gut verfolgen und verstehen; man muss sich allerdings hüten, dabei Begriffe wie "Energieverbrauch" oder "Energiebedarf" ins Spiel zu bringen. Mit diesen Begriffen beginnt das alte Aristotelische Missverständnis.

### **Zu Missverständnissen mit dem Energiesatz**

Gründlich missverstanden wird der Energiesatz immer bei der Interpretation, dass für einen bestimmten Vorgang eine bestimmte Menge an Energieeinsatz "erforderlich" sei. Dabei handelt es sich immer nur um Umwandlung einer potentiell arbeitsfähigen Energieform in eine entsprechend andersartige, solange wir uns auf der Ebene reversibler Vorgänge befinden: Die Energie selbst bleibt dabei jedoch verfügbar. Wenn ich ein Klavier in den zweiten Stock trage, dann muss hierfür Hubarbeit aufgebracht werden. Diese Arbeit steckt aber vollständig in der potentiellen Energie des Klaviers im zweiten Stock und sie kann jederzeit wieder "zurückgewonnen" werden; einen "Energieverbrauch" gibt es dabei nicht.

Konsequent durchdacht findet ein Energieverbrauch also gar nicht statt. Wieso spielt dann aber die Energieversorgung eine so bedeutende Rolle in unserer modernen Welt? Es gibt hierauf eine überraschende, ketzerisch klingende Antwort: Die Ursache dafür ist allein mangelnde Effizienz; die Ursache ist, dass wir bis heute Galilei noch nicht vollständig verstanden, jedenfalls seine Erkenntnis noch nicht verinnerlicht und umgesetzt haben. Um dies genauer zu verfolgen, müssen wir aber zuerst der Vorstellung vom "Energieverbrauch" auf den Grund gehen; denn wenn auch nicht wirklich Energie verbraucht wird, so ist doch diese Vorstellung nicht völlig fehlgeleitet; sie kann auf der Basis einer präziseren Formulierung sehr wohl verstanden werden.

### **Exergie wird Anergie: der zweite Hauptsatz**

Eine vollständige Fassung der Energie als Erhaltungsgröße war erst möglich geworden, nachdem auch verstanden war, dass die bei der Reibung umgesetzte Arbeit ebenfalls nicht einfach verschwindet, sondern in die Energieform Wärme umgewandelt wird. Auch bei dieser Umwandlung gilt der Satz von der Energieerhaltung (1. Hauptsatz), dennoch ist bei diesem Vorgang etwas grundsätzlich anders: Die mit Reibung verbundenen Prozesse sind nicht mehr reversibel; die Zeitumkehrinvarianz wird gebrochen: Der zerbrochene Dachziegel zieht nicht die Wärme und die Einzelstückchen aus der Umgebung zusammen, erhitzt und verschweißt sich und wandelt diese Wärme dann in kinetisch gerichtete Energie um, die ihn präzise an seinen ursprünglichen Ort auf dem Dach zurückbringt. Beim tatsächlichen Vorgang, dem Zerbersten des Ziegels auf dem Grund, geschieht etwas irreversibles. Hochwertige, vollständig arbeitsfähige Energie (**Exergie** genannt)

wird letztendlich in für praktische Zwecke völlig unbrauchbare Umgebungswärme, in **Anergie** umgewandelt. Die Energie, das ist die Summe aus Exergie und Anergie, bleibt dabei sehr wohl erhalten.

Damit haben wir die der allgemeinen Vorstellung zugrundeliegende Verbrauchsgröße identifiziert: Es ist nicht die Energie, es ist Exergie, die den naiv vorherrschenden Vorstellungen von "Verbrauch" und "Verlusten" entspricht. Exergieverbrauch kommt immer dann ins Spiel, wenn Vorgänge nicht mehr reversibel geführt werden, vielleicht auch nicht reversibel geführt werden können. Alle entsprechend als Anergie verlorene Exergie findet sich am Ende als Umgebungswärme vor und ist in dieser Form nicht mehr von technischem Nutzen. Dass ein solcher Entwertungsprozess ständig in gewissem Umfang stattfindet ist die Kernaussage des 2. Hauptsatzes der Wärmelehre: Nach diesem kann Exergie in Anergie umgewandelt werden, der umgekehrte Prozess kommt aber nicht vor.

### **Kultur: der ständige Kampf mit dem zweiten Hauptsatz**

Unordnung stellt sich von selbst ein; Ordnung muss in der Regel aktiv hergestellt werden. Hierzu bedarf es Arbeit, physikalisch strenger gefasst, Exergie. Zu einem Anteil wird diese dabei in Anergie entwertet: Schon haben wir den Exergieverbrauch. So ist das physikalische Bild korrekt und nun auch in Übereinstimmung mit unserem im Kern immer noch Aristotelischen Denkmodell.

Jetzt allerdings sollten wir die Aufgaben und Vorgänge, die zum besagten Exergieverbrauch führen, einmal genauer analysieren. Dabei kommen wir zu einer überraschenden Erkenntnis:

Die nachgefragten Energiedienstleistungen sind physikalisch quantifizierbare Größen, die jedoch nicht die Dimension einer Energie haben; einige Beispiele zeigt die folgende Tabelle. [Feist 2001]

Tabelle 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 Gefrierergutes * Zeitintegral der Tempera- turdifferenz
Geschirr- spülen	Reinigung des Eß- und Kochgeschirrs mit wenig manuellem Aufwand; hygienisch einwandfreies Geschirr	Zahl der Maßgedecke, evtl. mit Verschmutzungs- grad
Beleuchtung	komfortable Lichtverhältnisse	Wohnfläche * Zeitintegral der Beleuchtungsstärke
Kommuni- kation	Übertragung von Nachrichten	Byte

Unter Idealbedingungen gibt es bei den nachgefragten Energiedienstleistungen keine Notwendigkeit, zu ihrer Bereitstellung Energieströme aufzuwenden. Vielmehr kommt "Energie" jeweils nur dadurch ins Spiel, dass die bei den Dienstleistungen verwendeten Energieströme die Systemgrenze 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 "Gebäude" 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 theoretischen 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 im Aufrechterhalten von Nichtgleichgewichtszuständen bestehen. Insbesondere bei den Dienstleistungen in der Tabelle 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 Exergie 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 Exergiestrom, der dann aber, wie oben ausgeführt, die Systemgrenze als

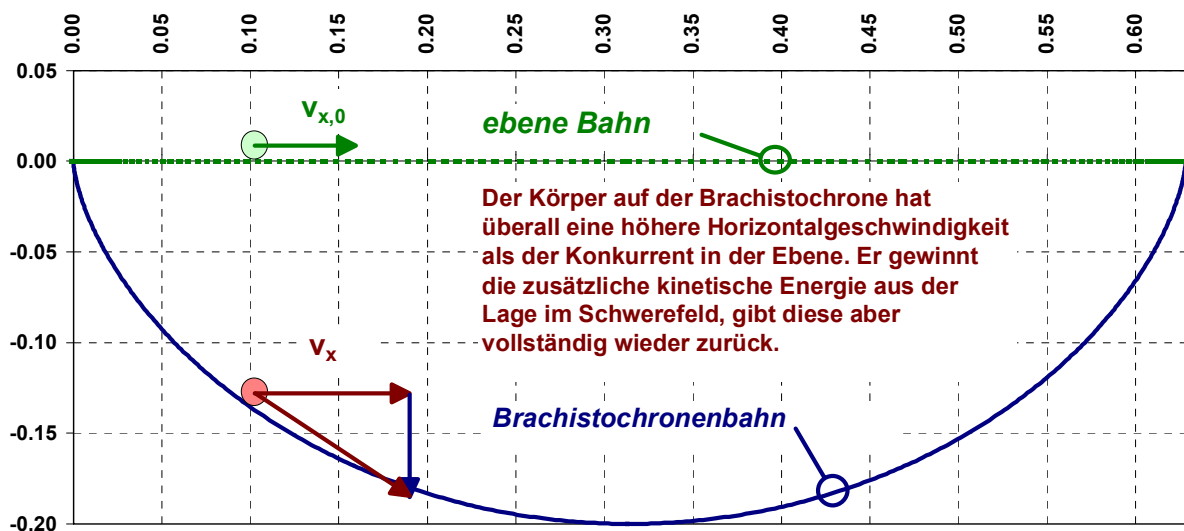
Anergie wieder verlässt. Die zweite Alternative ist bei konsequenter Umsetzung im Idealfall ohne jede aktive Exergiezufuhr möglich. Wir wollen zur Illustration zwei Beispiele betrachten.

### **Beispiel 1: Gebäudeheizung: Das Passivhaus**

Der Energiebedarf für Raumheizung kann sowohl im Bestand [Ebel 2000] als auch bei Neubauten durch Barrieren (Wärmedämmung und Wärmerückgewinnung) beträchtlich verringert werden. Den heutigen Stand der Technik bei hocheffizienten Gebäuden geben die "Passivhäuser" vor. Bei diesen ist der Jahresheizwärmebedarf typischerweise auf 10 bis 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) begrenzt. Dies ist weniger als ein Zehntel der noch üblichen Verbrauchswerte im Wohnungsbestand. Durch weitere Verbesserungen lässt sich hier sogar der Standard des Nullheizenergiehauses erreichen, allerdings nicht mehr mit wirtschaftlich vertretbaren Maßnahmen.

### **Beispiel 2: Und wieder Galilei; die Brachistochronenbahn**

Selbst unter physikalisch Gebildeten stößt man leicht auf Unverständnis, wenn man das Hochgeschwindigkeits-Nullenergie-Fahrzeug erklärt. Derweil wurde das Prinzip schon von Galilei erforscht: Ein Körper, der sich bis auf die Schwerkraft antriebslos und reibungsfrei entlang einer Muldenbahn (Brachistochrone) von A nach B bewegt ist schneller am Ziel als der Mitbewerber entlang des ebenen Weges (Abb.). Wie ist das möglich? Energie wurde für die Beschleunigung nicht verbraucht und der Weg entlang der Mulde ist länger als der in der Ebene.



**Abb.: Ein verblüffendes Experiment; der Körper, der die weitere Strecke durch die Mulde nimmt, ist schneller am Ziel. Energie wird dafür nicht verbraucht, solange der Prozess reversibel verläuft.**

Die Erklärung verwendet den Energiesatz und sie macht besonders schön deutlich, weshalb Dienstleistungen wie "schneller Transport" entgegen landläufigen Vorstellungen im Grundsatz nichts mit Exergieverbrauch zu tun haben. Energieumwandlungsgesetze bestimmen zwar den gesamten Prozess; solange er, wie in diesem Fall, jedoch reversibel geführt wird, ist auch bei hoher Geschwindigkeit der "Exergieverbrauch" Null:

- Wir betrachten den Körper auf der Muldenbahn. Seine Geschwindigkeit setzt sich aus einer vertikalen Komponente (nach unten) und einer horizontalen zusammen. Befindet sich der Körper um die Höhe  $h$  unterhalb der Bezugsebene, so hat seine Lageenergie um  $mgh$  abgenommen. Um genau diesen Betrag hat seine kinetische Energie zugenommen, mithin ist seine Geschwindigkeit gestiegen. Die vertikale Geschwindigkeitskomponente spielt in Bezug auf die Reisezeit keine Rolle. Aber auch die horizontale Komponente hat auf der gesamten Strecke überall zugenommen (im tiefsten Punkt ist die ganze Lageenergie in kinetische Energie der hier ausschließlich horizontalen Geschwindigkeit umgewandelt). Damit ist der Körper an jeder Stelle schneller als sein Konkurrent in der Ebene.

Die Brachistochronenbahn ist das verkehrstechnische Pendant zum Passivhaus: ein hocheffizienter Transportweg, der hohen Komfort (Geschwindigkeit) ohne zusätzlichen Energieeinsatz erlaubt. Die technische Ausführung muss sich übrigens nicht an besondere geometrische Formen von Verkehrswegen halten. Die Lösung lässt sich direkt im Fahrzeug unterbringen: Entscheidend ist einzig eine möglichst reversible Prozessführung; das kann z.B. mit Hilfe eines Schwungradspeichers gelingen; kinetische Energie, die beim aufsteigenden Ast der Bahn wieder als Lageenergie gespeichert wird, wird bei einem Hocheffizienzfahrzeug durch reversibles Bremsen in den Schwungradspeicher zurückgeführt.

## **Keine theoretische Grenze für immer höhere Energieeffizienz**

Energieeinsatz (genauer: Exergieeinsatz) erfolgt in unserer heutigen Ökonomie immer nur zu einem der folgenden Zwecke:

- Der Aufrechterhaltung von Nichtgleichgewichtszuständen; dazu ist, wie bereits bewiesen, bei reversibler Prozessführung **kein Energieeinsatz** zwingend erforderlich. In der Praxis lässt sich der Exergieverbrauch zwar in der Regel nicht auf Null, aber doch auf einen sehr kleinen Wert  $>0$  reduzieren. Die Grenze ist allein vom Stand der Technik abhängig.
- Der dauerhaften Herstellung eines höheren potentiellen Energieniveaus (z.B. Errichtung des Eiffelturms; Schmelzflusselektrolyse von Aluminium). Bei sorgsamem Umgang mit dem Produkt bleibt die Energie in diesem Fall erhalten und kann gegebenenfalls zurückgewonnen werden. Die Anteile dieser dauer-



haft produktgespeicherten potentiellen Energie am Gesamtenergieumsatz unserer Volkswirtschaft ist übrigens sehr gering (weniger als 5%).

Damit ist erkennbar, dass eine fortgesetzt immer weitergehende Verbesserung der Energieeffizienz allein an den weiteren technischen Fortschritt gebunden ist. Wir können also künftig bei entsprechenden Anstrengungen in der Entwicklung den Energiebedarf in praktisch unbegrenztem Ausmaß reduzieren.

## **Funktioniert das auch in der Praxis?**

Wenn man, wie unsere Industriekultur, jahrzehntelang gewohnt war, dass Dienstleistungen nur unter aufwendigem Einsatz von Energie zu erbringen sind, ist man zu Recht sehr skeptisch, wenn auf einmal behauptet wird, der Energieeinsatz sei im Grunde gar nicht erforderlich.

Zunächst wurde der Ansatz "Energiesparen als Energiequelle" denn auch rundum als illusorisch und praxisfremd abgelehnt. Ein allmähliches Eindiffundieren des Gedankengutes "rationelle Energienutzung" in das Rüstzeug des Ingenieurs fand dennoch statt. Allerdings mussten dazu die einzelnen Anwendungen tatsächlich Schritt für Schritt (und bis zur letzten Schraube) in der Praxis demonstriert werden. So ist dies beispielsweise beim energieeffizienten Bauen geschehen [Fingerling 1996]:

- 1974 weist Korsgaard zunächst theoretisch und dann mit einem Demonstrationsgebäude nach, dass das "Nullenergiehaus" prinzipiell möglich ist. Die Ideen werden von der Baubranche nicht aufgenommen.
- Wayne Shick (Illinois) und W.A. Shurcliff gehörten zu den Pionieren in den USA bzw. Kanada. In Deutschland hatten Hörster und Steinmüller ein erstes Experimentierhaus mit simulierter Nutzung realisiert. Auch diese Ansätze wurden zunächst von der Baubranche praktisch ignoriert.
- In Skandinavien dagegen setzte sich das Niedrigenergiehaus beginnend 1980 schrittweise durch. Bereits 1984 führte die ELAK-Norm in Schweden einen Standard mit weniger als 60 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizwärmebedarf ein.
- In Deutschland wurde den Pionieren noch 1986 die realistische Möglichkeit zum Bau von Niedrigenergiehäusern nicht abgenommen. Erst 1988 kamen erste Programme zum Bau von Niedrigenergiehäusern in Deutschland auf den Weg.
- Auch dem ersten Passivhaus in Darmstadt mit weniger als 12 kWh/(m<sup>2</sup>a) Heizwärmeverbrauch wurde zunächst mit großer Skepsis begegnet. Erst, als sich der Erfolg in ganzen Siedlungen und größeren Wohnbauten reproduzieren ließ, wurde die technische Machbarkeit weitgehend anerkannt.

Gegenüber den üblichen Verbrauchswerten in den Wohnungsbeständen haben Passivhäuser tatsächlich einen um mehr als einen Faktor 10 verringerten Heiz-

wärmeverbrauch. Passivhäuser sind daher eine überzeugende Demonstration für das oben genannten Prinzip, Energieverbrauch durch höhere technische Effizienz praktisch entbehrlich zu machen.

### **Kaum zu fassen: Höhere Effizienz führt sogar zu höherem Komfort**

Jetzt lag natürlich der Verdacht nahe, dass "derart einseitig auf Energieeffizienz optimierte Häuser" schwerwiegende Nachteile in anderen Bereichen in Kauf nehmen müssen. Kann man in solchen "Thermoskannen" überhaupt noch wohnen? Wird das Leben vielleicht zu einer einzigen Beschäftigung mit dem Energiesparen? Wie verhält es sich mit Wohnkomfort, Luftqualität und Wartungsaufwand?

Gerade die Pioniere des energieeffizienten Bauens müssen erkennen, dass solche Fragen ernststen Sorgen entspringen und dass sie geduldig und seriös beantwortet werden müssen.

Antworten können nur aus den Erfahrungsberichten der Nutzer und aus der unabhängigen wissenschaftlichen Begleitung kommen. In diesem Tagungsband finden sich wieder zahlreiche Berichte von Bewohnern aus Passivhäusern. Schon nach dem Bau des ersten Prototyps war es für die Initiatoren eine große Erleichterung, erkennen zu können, dass sich das Haus in der praktischen Nutzung genau so verhielt, wie es nach der wärmetechnischen Simulation zu erwarten war. Die Reaktion der Nutzer war anders als erwartet - die Wissenschaft hatte eigentlich durchaus wahrnehmbare Unterschiede zum normalen Wohnungsbau gesehen: Die Zeitkonstanten sind länger, die Temperaturschichtung ist geringer, die Oberflächentemperaturen sind höher. All dies ist objektiv messbar und entspricht den Erwartungen nach der Theorie. Trotzdem urteilen die Nutzer überwiegend: "Im Passivhaus ist alles einfach ganz normal." - Die objektiv vorhandenen Unterschiede werden nicht wahrgenommen bzw. sie werden so selbstverständlich angenommen, dass sie auf Befragen nicht angegeben werden.

### **Von gutmütigen Häusern**

Immer wieder taucht in den Berichten der Architekten und Bauträger aber auch in den Erfahrungen der Nutzer der Begriff der "gutmütigen Häuser" auf. Worauf beruht diese Einschätzung? Einige Beispiele erklären schnell, was gemeint ist:

- Fällt in einem gewöhnlichen Haus im Kernwinter die Heizung aus, dann wird es schon nach wenigen Stunden unangenehm kalt. Anders im Passivhaus: Weil die Zeitkonstante hier mindestens 8 Tage beträgt, bleibt es noch tagelang bei akzeptablen Temperaturen.
- "Größter anzunehmender Unfall" in einem Passivhaus wäre, stundenlang versehentlich ein Fenster offen stehen zu lassen. Natürlich wird es dann, ganz wie

in einem gewöhnlichen Haus, im betroffenen Zimmer erst einmal kalt. Wenn man das Fenster dann aber wieder schließt, sorgt die noch eingespeicherte Wärme in der Konstruktion dafür, dass es rasch wieder warm wird. Das **Passivhaus verzeiht kleinere Nutzungsfehler** ohne weiteres. Schwierig könnte es allenfalls werden, wenn die überlange Fensteröffnung Tag für Tag wiederholt wird.

- Die Nutzung der Häuser stellt keine besonderen Ansprüche an die Bewohner. Wenn diese ohne besondere Sachkenntnis einfach ganz normal in ihrer Wohnung leben und die Systeme einfach wie eingestellt laufen lassen, funktioniert ein Passivhaus von selbst.
- Auch besondere Nutzeransprüche kann das Passivhaus ohne weiteres erfüllen. So gibt es in den Passivhaus-Siedlungen Wohnungen, in denen im Winter dauerhaft 23°C und mehr erreicht wird. Natürlich ist der Energieverbrauch bei dieser Nutzung höher als bei 20°C projektiert - aber das System funktioniert und der Verbrauch ist immer noch "unglaublich gering". Damit bietet das Passivhaus gerade Nutzern mit hohen Komfortansprüchen die Chance, mit vertretbaren Betriebskosten und ökologisch nachhaltig zu wohnen.

### **... was sonst noch alles an Einwänden vorgebracht wurde - Antworten auf viel gestellte Fragen – ohne Anspruch auf Vollständigkeit**

- *Führt erhöhte Wärmedämmung und Luftdichtheit nicht zu Feuchteproblemen?*  
Das Gegenteil ist der Fall. Je besser die Wärmedämmung, desto geringer ist die Gefahr von Tauwasser in und an Außenbauteilen. Undichte Bauteile werden an den von innen nach außen durchströmten Fugen durchnässt. Hochgedämmte, luftdichte Bauteile sind sicher vor Feuchteschäden (Vgl. auch: [http://www.passiv.de/05\\_phi/Angeb/Gutacht/FeuMess.pdf](http://www.passiv.de/05_phi/Angeb/Gutacht/FeuMess.pdf)).
- *Wie steht es um die Luftqualität im dichten Haus?*  
Für gute Luftqualität sorgt eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung. Diese stellt sicher, dass Wasserdampf und Innenluftbelastungen regelmäßig nach außen abgeführt werden. Reine, unvermengte und unbehandelte frische Außenluft wird im Gegenzug ebenso regelmäßig in die Wohnräume gebracht.
- *Führt die Lüftungsanlage nicht zu Zegerscheinungen und Lärm?*  
Richtig platzierte Zuluftinlässe befinden sich ca. 20 bis 30 cm unter einer Decke und bringen die Luft so ein, dass diese zunächst an der Decke entlang

streichen kann (Coanda-Effekt) um sich dann gleichmäßig im Raum zu verteilen. Im Aufenthaltsraum sind die Luftgeschwindigkeiten so gering (um 0,05 m/s) dass sie von den natürlichen Auftriebskräften überdeckt werden. Gute Anlagen haben einen so perfekten Schallschutz, dass sie im Normalbetrieb nicht hörbar sind.

### **"... und sie bewegt sich doch"**

... soll Galilei angesichts des Urteils der römischen Inquisition gesagt haben, die seine Beweise für das Kopernikanische Weltbild und die Relativbewegung der Erde um die Sonne als Ketzerei gebrandmarkt hatte. Gegenüber solch einem Schicksal ergeht es den Innovatoren heute geradezu paradiesisch. Weichen neue Erkenntnisse allzu sehr vom Althergebrachten und allgemein als selbstverständlich Angesehenen ab, so muss mit Abwehrreaktionen gerechnet werden. Das zeigt die Geschichte, solange sie aufgezeichnet wird. Vielleicht hat diese Reaktion sogar etwas Gutes: Nicht jede innovative, abweichende Haltung führt zu besseren Lebensbedingungen für die Menschen; auch für Rückschritte kennt die Geschichte zahlreiche Beispiele.

Wenn wir von den Vorteilen der Innovation "Energieeffizienz" überzeugt sind, und nach den bis heute vorliegenden Ergebnissen kann man dies sein, dann werden wir geduldig und unablässig entwickeln, überzeugend die Machbarkeit beweisen und immer wieder geduldig auf alle sich stellenden Fragen eingehen müssen. Weil die Zusammenhänge im Grunde klar und verständlich, weil die zugehörigen Techniken erlernbar und wenig aufwendig, und weil das Ganze sich zwanglos in die bestehende Industriekultur einfügt, bestehen durchaus reelle Chancen, dass auf diesem Gebiet das vollendet wird, was Galilei schon vor 400 Jahren begann:

"Zu unserer Zeit erreicht die Wissenschaft alle Menschen. Heute können wir uns als Wissenschaftler und Menschen auf etwas wie den hippokratischen Eid der Ärzte besinnen: Unser Wissen einzig zum Wohle der Menschheit anzuwenden!"

[Ebel 2000] W. Ebel, W. Eicke-Hennig, W. Feist, H.-M. Groscurth: **Energieeinsparung bei Alt- und Neubauten**; Heidelberg 2000. Siehe auch:  
[http://www.passiv.de/01\\_dph/AkkgPH/AK3/AK24/Werb\\_F.htm](http://www.passiv.de/01_dph/AkkgPH/AK3/AK24/Werb_F.htm)

[Feist 2001] Wolfgang Feist: **Energie im Haushalt**; Beitrag im Buch von E. Rebhan: "Energiehandbuch -- Formen, Umformung und Nutzung von Energie", Springer 2001.  
Siehe auch: <http://www.passivhaustagung.de/energieeffizienz.html>

[Fingerling 1996] Anne Fingerling: **Ein Geschichte der Niedrigenergiehäuser bis zum Passivhaus**; Institut Wohnen und Umwelt, Eigenverlag, 1996