



Bundesministerium  
für Verkehr,  
Innovation und Technologie

**NACHHALTIG**wirtschaften  
k o n k r e t

# Das ökologische Passivhaus

Grundlagenstudie

Endbericht

Auftragnehmer  
Donau-Universität Krems, Zentrum für Bauen und Wohnen

Autoren:  
Mag. Gerhard Schuster, Zentrum für Bauen und Wohnen  
DI Dr. Bernhard Lipp,  
Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie GmbH

Wien, Mai 2001

Ein Projektbericht im  **HAUS**  
der Zukunft

Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



# Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der ersten Ausschreibung der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie auch in der Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret" publiziert, aber auch elektronisch über das Internet unter der Webadresse [www.hausderzukunft.at](http://www.hausderzukunft.at) dem Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Rund vierzig Prozent der in Österreich eingesetzten Primärenergie werden für das Wohnen eingesetzt. Energieeffizientes Bauen und Wohnen ist daher eine sowohl ökologisch als auch eine volkswirtschaftlich notwendige Forderung für eine zukunftsfähige Gesellschaft. Passivhäuser kommen im Betrieb mit etwa einem Zehntel des Energiebedarfs vergleichbarer durchschnittlichen Gebäude aus 1973 bzw. einem Drittel gegenüber einem Gebäude gemäß derzeitigem Baustandard aus. Die hohe Effizienz im Betrieb von Passivhäusern wird mit einem materiellen und ökonomischen Mehraufwand in der Herstellung erzielt. Immer wieder tauchen daher Fragen über die Amortisationszeiten für den Passivhausstandard auf. Sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen Amortisationszeiten für Passivhäuser können bei entsprechender Planung weit unter 10 Jahren liegen. Für ein nachhaltiges Gebäude ist neben der Energieeffizienz im Betrieb, die Materialeffizienz in der Herstellung, Wartung und Entsorgung eine der zentralen Fragen. Der Passivhausstandard ermöglicht die nachhaltige Nutzung von Gebäuden, das "Ökologische Passivhaus"-Konzept soll auch die nachhaltige Herstellung, Wartung und Entsorgung von Gebäuden ermöglichen.

Um diesem zukunftsfähigen Gebäudekonzept zu einer größeren Publizität zu verhelfen, hat das Zentrum für Bauen und Umwelt an der Donau-Universität Krems gemeinsam mit dem Österreichischen Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH ein Symposium zu diesem Thema durchgeführt. Ziel dieser zweitägigen Veranstaltung vom 16.-17. Oktober 2000 im Landhaus St. Pölten war, diese neue Bauform, ihre Systeme und Rahmenbedingungen der breiten Fachöffentlichkeit vorzustellen und zu diskutieren. Dabei wurde vor allem die These diskutiert, dass nicht nur der Gebäudebetrieb eines Passivhauses, sondern auch die ökologische Qualität seiner Bestandteile ausschlaggebend sind. Im Ökologischen Passivhaus muss das Raumklima nicht nur die Behaglichkeitskriterien erfüllen, sondern soll eine gesundheitsfördernde Wirkung aufweisen. Der Einsatz von ökologisch und technisch hochwertiger Baustoffe und Bauteile soll eine Entlastung der Umwelt durch die Errichtung, Wartung und Entsorgung des "Ökologischen Passivhauses" zumindest um den Faktor 4 gegenüber eines herkömmlichen Gebäudes erbringen.

Der vorliegende Band bietet dem interessierten Leser einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand dieser Diskussion. Die Vorträge wurden transkribiert und Beiträge vom Programmbeirat bearbeitet oder auf Wunsch der Vortragenden durch ein Manuskript ersetzt. Die relevanten Diskussionsbeiträge sind ebenso enthalten, wie eine repräsentative Auswahl an dargestellten Objekten und Systemen.



Mag. Gerhard Schuster  
Leiter des Zentrums für Bauen und Umwelt  
Donau-Universität Krems



DI. Dr. Bernhard Lipp  
Geschäftsführer der Österreichischen Institut für  
Baubiologie und -ökologie GmbH

## **Programmbeirat**

**Mag. Gerhard Schuster**

Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems  
Leiter des Programmbeirates

**Prof. DI Dr. Manfred Bruck**

Ziviltechnikerbüro für technische Physik, Wien

**Dr. Wolfgang Feist**

Passivhaus Institut Darmstadt

**Arch. DI Renate Hammer, MAS**

Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems

**DI Andreas Indinger**

Energieverwertungsagentur, Wien

**Prof. DI Helmut Krapmeier**

Vorarlberger Energieinstitut

**Mag. Michaela Mischek**

Mischek Ziviltechniker GmbH

**Mag. Hildegund Mötzl**

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH

**DI Walter Pokorny**

Ziviltechnikerbüro für technische Physik

**DI Thomas Zelger**

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie GmbH

# Inhaltsverzeichnis

Geleitwort der Landeshauptmann-Stellvertreterin Liese Prokop	3
Total Quality ist das Ziel Prof. DI Dr. Manfred Bruck	5
Das Passivhaus – ein Konzept für nachhaltiges Bauen Dr. Wolfgang Feist	17
Erfahrungsbericht über Planung und Ausführung von 70 Passivhäusern Sanierungsfall/Neubau, Holzrahmenbau/Massivbau DI Rainfried Rudolf	25
Gesamtsystem Passivhaus: Massiv in Stein oder leicht aus Holz? DI Gerrit Horn	35
Wärmerückgewinnung im Passivhaus mit integrierter Zuluftnachheizung und Brauchwasserbereitung DI Eberhard Paul	43
Das Buhl-Treberspurg-Passivhaus-Fertigteilsystem und seine Anwendungen in verschiedenen Formen des Wohnbaus DI Dr. Martin Treberspurg, Architekt	57
Passiv im urbanen Haus DI Wolfgang Ritsch; DI Dr. Karl Torghele	65
Ökologische Bewertung von Passivhäusern DI Burkhard Schulze-Darup	71
Zur Integration ökologischer Aspekte in den Planungsprozess durch Anwendung von Bewertungsmethoden und -hilfsmitteln Dr. Thomas Lützkendorf	81
Gebäude-Qualitätszertifikat – Bewertung von Gebäuden als Grundlage für die Erstellung von Qualitätszertifikaten Mag. Susanne Geissler	93
Das Niedrigstoffhaus. Ein stoffeffizientes Bauwerk im regionalen Ressourcenhaushalt eingebettet DI Richard Obernosterer	99
Ökologische Konstruktionen in Passivhäusern, Neubau und Sanierung DI Thomas Zelger	107
Planung von Wohnungslüftungen DI Norbert Stärz	119
Praxis der Wärmeversorgung mit Lüftungskompaktgeräten für Solar-Passivhäuser, Erfahrungen vom Teststand, einem frei stehenden Einfamilienhaus und einer Reihenhauseszeile DI Andreas Bühring	133
Markteinführung von Passivhäusern: Das Modellvorhaben 5-Liter-Haus Wittlich DI Martin Ploß, Architekt,	143
Passivhaus in Kassel-Marbachshöhe als öffentlich geförderter Geschoßwohnungsbau – Instrumente zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung DI Margarete Steinfadt	157
Ökologische Althausanierung – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit Univ.-Prof. DI Dr. Gerhard Faninger	161
Referenten	167



## Geleitwort



Es gab keine Generation, die an unserem Planeten einen derartigen Raubbau an den vorhandenen Ressourcen betrieb, wie die unsere. Wir haben sehr spät zur Kenntnis genommen, dass unserem ungebremsten Wachstum Grenzen gesetzt sind und wir eine weitere Steigerung von Belastungen der Ökosphäre im Interesse unserer Zukunft und der unserer Kinder hintanhaltend müssen. Die Umsetzung des Kyoto-Zieles zur Reduktion der humanbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ein ernsthaftes und konkretes Ziel, welches gerade im Bereich des Bauwesens von großer Bedeutung ist.

Ökologische Ziele sind im Bauwesen nicht eine abstrakte politische Vorgabe, sondern zeigen – wie die Erfahrungen der letzten Jahre deutlich machen – konkrete und großartige positive Nebeneffekte, beispielsweise eine deutliche Verbesserung der Wohnqualität, der architektonischen Gestaltung der Gebäude und dass ökologisch Bauen auch ökonomisch Bauen bedeutet.

Die in Niederösterreich in den letzten Jahren gesetzten Maßnahmen im Heizenergiebereich geben hier ein deutliches Beispiel für den Erfolg von wohnbauförderpolitischen Maßnahmen.

Mit diesem Symposium soll ein wichtiger Schritt in der Weiterentwicklung der Landeswohnbauförderpolitik gesetzt werden. Das Land will in naher Zukunft einen geeigneten Energiepass zur Darstellung der energetischen Qualitäten eines Gebäudes einführen, sodass jeder Wohnungswerber beurteilen kann, welche laufenden Heizenergiekosten er durch den Bezug dieser Wohnung zu erwarten hat.

Hier bietet das Thema des ökologischen Passivhauses eine äußerst interessante Fragestellung: Gibt es Grenzen der wirtschaftlichen und ökologischen Optimierung von Gebäuden?

Wir glauben, dass die Passivhausidee nicht nur ökonomisch erschwinglich, sondern in mancherlei Hinsicht sogar preiswerter ist. Durch verdichtete Bauweisen lassen sich eine Vielzahl von wünschenswerten Effekten wie Reduktion des Bodenverbrauches, Optimierung der Gebäudeoberfläche, Reduktion der kommunalen Erschließungskosten, Anknüpfung an eine bestehende Ortsgestaltung und sozial verträgliche Lebensform mit energetisch-ökologischen Zielen kombinieren. Das ökologische Passivhaus bildet somit eine tragfähige Konzeption für unseren Neubau.

Gleichzeitig muß betont werden, dass der Altbaubestand einer dringenden Sanierung bedarf. 40 % des Primärenergieaufkommens sind gebäudebezogen und im Althausbestand kann das Heizkostenaufkommen in vielen Fällen um bis zu 70 % reduziert werden. Hier ist in der Sanierung ein Niedrigenergiehausstandard jedenfalls anzustreben. Die Idee und Konzeption des ökologischen Passivhauses wird dazu wertvolle Impulse aus den Erfahrungen des Neubaus liefern.

Denn Neubau wie Bestandssanierung müssen drei Ziele verfolgen:

Zum einen müssen sie den Bewohnern Behaglichkeit, Wärme, Geborgenheit und Wohlbefinden innerhalb ihrer vier Wände bieten können, um persönliche Regeneration und Zufriedenheit zu ermöglichen.

Weiters müssen in der Planung alle intelligenten Kombinationen genutzt werden, um eine energetisch optimale Lösung mit ökologischen Baumaterialien und einem verantwortlichen Umgang mit der Ressource Grund und Boden zu gewährleisten.

Und schließlich müssen sich die Menschen Wohnen leisten können.

Dazu ist es wichtig, dass auf wissenschaftlicher Basis Entscheidungsgrundlagen erarbeitet, begleitet und laufend evaluiert werden. Dazu soll dieser Proceedingsband zum Symposium "Ökologische Passivhäuser" dienen, damit richtige Objekte in richtiger Form am richtigen Platz für die Menschen gebaut werden.

Frau Landeshauptmann Stellvertreter  
Liese Prokop



**WIENERBERGER**

**Bau dich auf. Mit dem haushohen Sieger.**

**POROTHERM® 38 S.i Planziegel.**

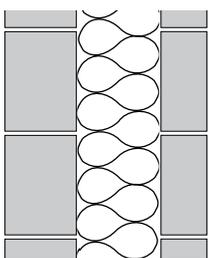
Mit seinem U(k)-Wert von 0,25 W/m<sup>2</sup> K (verputzt) setzt die neue Innovation von Wienerberger - der POROTHERM® 38 S.i Plan - einen Meilenstein im Ziegelbau. Die neue Technologie in der Herstellung gewährleistet in Verbindung mit dem hohen Speichervermögen niedrige Heizkosten und Wohlbefinden.



**BAU!MASSIV!**  
VON HAUS AUS DAS BESTE.

Wienerberger Ziegelindustrie AG  
A-1810 Wien, Triester Straße 70  
[www.wienerberger.at](http://www.wienerberger.at)

## Die optimale Lösung für Passivhäuser: Ziegel-Zweischalenmauerwerk



Als Zweischalenmauerwerk werden Außenwandkonstruktionen bezeichnet, die aus zwei Mauerschalen und einer wärmedämmenden Zwischenschicht bestehen.

Mit der Zweischalen-Bauweise kann den baustatischen Erfordernissen ebenso gut Rechnung getragen werden wie den bauphysikalischen, außerdem bleibt dem Architekten ein weiter Spielraum für die architektonische Gestaltung. Im koordinierten Zusammenwirken ergibt sich die Summe der guten Eigenschaften des Ziegel-Zweischalenmauerwerks.

Seit Jahrzehnten gehört das Zweischalenmauerwerk in vielen Ländern Europas, wie beispielsweise den skandinavischen Ländern, im Benelux, in Norddeutschland oder in der Schweiz, zu den wichtigsten Außenwandkonstruktionen. Für die bautechnische Realisie-

rung dieses Konstruktionsprinzips gibt es aber nicht nur eine einzige Lösung, sondern eine breite Palette an unterschiedlichen Ausführungsvarianten. Jede dieser Ausführungsvarianten hat ihre Vorteile, allen gemeinsam ist jedoch die nahezu unbegrenzte Haltbarkeit des Bausystemes, seine enorme Flexibilität im Hinblick auf bauphysikalische Eigenschaften – Wärmeschutz, Schallschutz, Feuchtigkeitsschutz und Brandschutz –, seine hervorragende ökologische Qualität und seine ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit über die gesamte Lebensdauer.



Diese positive Meinung zum System des zweischaligen Ziegelmauerwerkes vertritt auch eine große und ständig zunehmende Zahl an Architekten, Bauphysikern, Bauökologen und -biologen. Daher gibt es mittlerweile in ganz Österreich bereits eine Reihe von repräsentativen Bauten – Wohnhäuser, Kindergärten, Spitäler, etc. – die mit dieser Bauweise errichtet wurden. Beispielsweise sei hier auf die zahlreichen Projekte des Innsbrucker Architekten Dipl.-Ing. Günter Wehinger verwiesen – z. B. das abgebildete Zweifamilienwohnhaus in Angerberg/Tirol (U-Wert der Außenwand 0,15 W/m<sup>2</sup>K). Der Verband Österreichischer Ziegelwerke bietet unentgeltlich eine Informationsbroschüre zu diesem Bausystem an, außerdem finden sich auf der Internetplattform [www.ziegel.at](http://www.ziegel.at) zahlreiche downloadbare CAD-Ausführungsdetails.

### Nähere Informationen und Broschürenbestellung:

Verband Österreichischer Ziegelwerke  
Telefon: 01/587 33 46-0  
Fax: 01/587 33 46-11  
e-mail: [verband@ziegel.at](mailto:verband@ziegel.at)

# Total Quality ist das Ziel

Manfred Bruck

So wichtig „Passivhaus“ ist, ohne Einschränkung, so wichtig ist es, das Passivhaus ökologisch zu bauen. Aber wir sind uns sicherlich alle einig darüber, dass es neben diesen beiden sehr wichtigen Kriterien noch andere Kriterien gibt, die dann letztlich in Richtung gesamtheitliche Qualität führen. Wir von der Donauuni haben uns überlegt, was bedeutet denn „Gesamtheitliche Qualität“ im Bereich der Immobilien, im Bereich eines Gebäudes. Einer der Outputs, der von mir in einer Folie verdichtet wurde, finden Sie in Abbildung 1.

Wir waren uns darüber einig, dass drei Interessensgruppen unterschiedlicher Größen hier am Werk sind: Nutzer, Investor bzw. Errichter/Betreiber und als Überbau die Gesellschaft. Alle diese drei beteiligten Gruppen haben ihre je eigenen Bedürfnisse und Wertvorstellungen. „Total Quality“ in einem sehr allgemeinen Sinn findet dann statt, wenn die Interessen dieser drei Gruppen umfassend berücksichtigt werden.

Der Nutzer erwartet sich Funktionalität und Komfort vom Bauobjekt, Finanzierbarkeit und Sozialverträglichkeit. Werden diese Erwartungen erfüllt, kann er sich mit der Immobilie, sei es ein Wohnhaus, oder sei es eine Arbeitsstätte, positiv identifizieren.

Der Investor, und zwar auch dann, wenn der Investor die öffentliche Hand ist, erwartet sich hohe laufende Erträge, einen hohen Immobilienwert und das alles mit einem minimalen Risiko über einen möglichst langen Zeitraum.

Auf der gesellschaftlichen Ebene kommen die gesellschaftlichen Paradigmen, Wertvorstellungen zum Tragen. Diese Wertvorstellungen sind sozialer Friede, Ressourcenschonung (Ressourcen schließen Geld mit ein), Umweltschutz, das Erzielen einer hohen architektonischen und auch städtebaulichen Qualität.

Zwischen diesen Anforderungen bestehen Wechselwirkungen in Form von Prozessen, die zwischen den einzelnen Gruppen ablaufen. Diese Prozesse sind vorgegeben und strukturiert - durch eine Reihe von Regulierungen (z.B. Bauordnung, normative Vorgaben u.ä.). Innerhalb dieser durch Regulierung vorgegebenen Bandbreite spielt der Markt eine wesentliche Rolle, das bedeutet, dass die wünschenswerten und wesentlichen Eigenschaften einer Immobilie in Geld bewertet werden können, d.h. monetarisierbar sind. Diese Prozesse vermitteln Process-Owner, im Wesentlichen physische Personen. Ein sehr schöner Oberbegriff für diese Process-Owner ist „Facility-Management“. Facility-Management, jetzt in einem sehr ganzheitlichen Sinn verstanden, ist nicht nur einfach eine verbesserte Hausverwaltung, sondern eine – das ganze Projekt nachhaltig über die komplette Lebensdauer hinweg – planende, betreuende und optimierende Dienstleistung.

Innerhalb dieser Prozesse gibt es zwei entscheidende Aspekte:

## 1) Das Nutzungskonzept muss stimmen.

Vom Nutzungskonzept her entscheidet sich die Art zu bauen und die Art das Gebäude zu betreiben. Das Nutzungskonzept ist das Um und Auf, das als Vorgabe für alle später folgenden planerischen Leis-

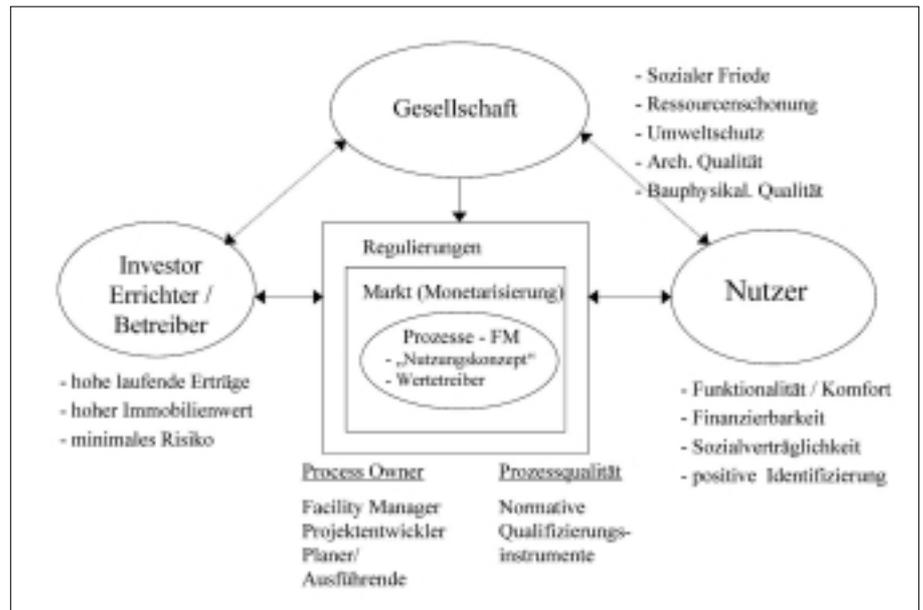


Abbildung 1

tungen gilt. Ist das Nutzungskonzept gut, dann ist die Immobilie verwertbar, ist das Nutzungskonzept schlampig bzw. unüberlegt, dann werden im Verlauf der Nutzung Schwierigkeiten am laufenden Band auftreten.

Innerhalb des Bereiches Nutzungskonzept gibt es den Begriff „Werttreiber“. Werttreiber sind im Wesentlichen alle Eigenschaften einer Immobilie, die den Wert dieser Immobilie jetzt, aber auch in Zukunft erhöhen. Ein Erkennen dieser Werttreiber ist für den Investor entscheidend - aber nicht nur ein Erkennen, sondern auch ein Offenhalten der Immobilie auf Adaptierbarkeit in Bezug auf diese Werttreiber.

## 2) Wer sind die Process-Owner im Einzelnen?

Wenn es keinen Facility-Manager gibt, dann sind es die klassischen Strukturen, d.h. es sind die Projektentwickler, Planer (Architekten, Bauphysiker, TGA-Planer, u.ä.) und es sind natürlich letztlich auch die Ausführenden und diejenigen, die für Verwaltung und Betrieb verantwortlich sind.

Damit diese Prozesse funktionieren können, muss die Prozessqualität garantiert sein. Dort liegt aber auch die große Schwierigkeit. Die Prozesse sind dann gut, wenn die Process-Owner ihr Optimales, ihr Bestes geben. Es ist sehr schwierig, diese Prozessqualität von vornherein festzustellen, im Nachhinein weiß man genau, ob das Projekt gut oder schlecht war. Am Anfang kann die Prozessqualität nur in jener Form sichergestellt werden, dass man normative Qualifizierungsinstrumente einführt (ISO 9001 u.ä., auf weitere qualitätssichernde Normen wird in den folgenden Ausführungen eingegangen).

Werttreiber bzw. Qualitätsmerkmale wurden im Rahmen internationaler Projekte zum Thema „Ganzheitliche Qualität im Hochbau“ in den letzten Jahren fortlaufend diskutiert. Das sowohl in Hinblick auf Zahl und Bedeutung der teilnehmenden Länder als auch in Bezug auf den gesamtheitlichen Ansatz umfassendste Vorhaben war und ist das Projekt Green Building Challenge (GBC). Die in Phase 1 des Projekts

erarbeiteten GBC-Basis-Qualitätskriterien wurden und werden laufend an nationale Gegebenheiten angepasst und in technischen Regelwerken, Bauordnungen und Förderungsrichtlinien umgesetzt. Gesamtziel ist die Entwicklung einer international akkordierten Vorgangsweise zur umfassenden Beurteilung von Gebäuden. Eine nationale Umsetzung dieses Projekts findet sich beispielhaft im GBC-Handbuch der D-A-CH-Ziegelindustrie [1].

Die Bewertungskriterien und damit Werttreiber finden sich in folgenden Bereichen:

<b>1. Ressourcenschonung</b>	<b>2. Minimierung der Umweltbelastungen</b>
1.1. Energie	2.1. Atmosphärische Emissionen
1.2. Boden	2.2. Feste Abfälle
1.3. Wasser	2.3. Abwasser
1.4. Baustoffe	2.4. Verkehrsbelastungen
<b>3. Nutzerkomfort</b>	<b>4. Dauerhaftigkeit</b>
3.1. Luftqualität	4.1. Flexibilität
3.2. Thermische Qualität	4.2. Sicherheit
3.3. Visuelle Qualität	4.3. Gebäudebetrieb / Nutzung und Instandhaltung
3.4. Lärm und Akustik	
3.5. Gebäudeautomation	
3.6. Elektrobiologische Hausinstallation	
<b>5. Planungsqualität</b>	<b>6. Standorteinflüsse</b>
5.1. Ganzheitliche Planung	6.1. Infrastruktur und Lage
5.2. Qualitätsnachweis	<b>7. Kosten</b>

Zu beachten ist, dass bei einem konkreten Projekt nicht alle Kriterien gleichzeitig optimiert werden können. Zielkonflikte sind unvermeidlich und sollten als kreatives Element des Planungsprozesses begriffen werden; entscheidend ist die gesamtheitlich hohe Projektqualität.

## Ressourcenschonung

Ziel ist es, natürliche Ressourcen (Rohstoffe, fossile Energieträger, Wasser, Boden) und damit auch Kapital zu schonen, d.h. über die gesamte Lebensdauer des Gebäudes hinweg so sparsam als möglich einzusetzen.

Als Konsequenzen dieser Zielsetzung ergeben sich folgende Notwendigkeiten:

- langlebige Häuser mit niedrigem Energiebedarf zu bauen
- mit Baustoffen sparsam umzugehen und
- geschlossene Kreisläufe (Baustoffrecycling) anzustreben.

## Energie

### Graue Energie für die Errichtung des Gebäudes<sup>1</sup>

Die genaue Berechnung der grauen Energie für die Produktion der Komponenten und für die Errichtung ist auf Basis von Datenbanken möglich [2][3]. Das Ziel, die graue Energie für den Bau (Summe der Baustoffe) und für die Haustechnik nachhaltig gering zu halten, lässt sich in der Praxis am besten durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Reduzierung des Stoffeinsatzes
- lange Nutzungsdauer
- Verwendung von Recyclingstoffen
- Sicherstellung der Recyclierbarkeit
- Vermeidung von Stoffen mit hohem Produktionsenergiebedarf

Die Tabelle gibt Richtwerte für die graue Energie eines Gebäudes in Abhängigkeit vom Komplexitätsgrad und der Bauweise an. Die Flächenangaben beziehen sich dabei auf die Nettogrundrissfläche.

Komplexitätsgrad	Graue Energie in GJ/m <sup>2</sup> bzw. kWh/m <sup>2</sup>					
	Leichte Bauweise		Mittelschwere Bauweise		Schwere Bauweise	
	GJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	GJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	GJ/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
gering	4,0	1.111	5,0	1.388	6,0	1.667
durchschnittlich	5,5	1.528	6,5	1.806	7,5	2.083
hoch	7,0	1.944	8,0	2.222	9,0	2.500

Quelle: GBTool, Green Building Challenge, 2000, <http://www.greenbuilding.ca/gbc2k/gbc-start.htm>

Die für die Qualität des Kriteriums „Energieaufwand für die Errichtung des Gebäudes“ maßgebliche Kennzahl ergibt sich durch Division der flächenbezogenen grauen Energie durch die zu erwartende Nutzungsdauer des Gebäudes.

### End- und Primärenergie für den Betrieb des Gebäudes<sup>2</sup>

Der Energieaufwand in der Nutzungsphase setzt sich aus den Aufwänden für Heizung, Lüftung, Warmwasser, Beleuchtung und Elektrogeräte zusammen. In Einzelfällen tritt noch eine (Teil-)Klimatisierung im Sommer hinzu. Ressourcenschonung in der Nutzungsphase bedeutet im Wesentlichen die Umsetzung folgender Zielvorgaben:

- Reduktion der Transmissionswärmeverluste (Minimierung der Außenflächen, d.h. kompakte Bauform; optimale Wärmeschutzeigenschaften der opaken und transparenten Teile der Gebäudehülle; Wärmebrückenfreiheit,...)
- Reduktion der Lüftungswärmeverluste (luftdichte Gebäudehülle)
- Nutzung erneuerbarer Energieträger, wie z.B. direkte Nutzung der Sonnenenergie durch bauliche Maßnahmen (optimierte Verglasungen und Speichermassen, transparente Wärmedämmungen), durch Dach- oder fassadenintegrierte Solaranlagen zur Warmwasseraufbereitung oder teilsolaren Raumheizung; oder indirekte Nutzung der Sonnenenergie durch Nutzung der Umgebungswärme z.B. mit Hilfe von Wärmepumpen oder durch Erdwärmetauscher zur winterlichen oder sommerlichen Frischluftkonditionierung.
- Nutzung von Abwärme aus der Lüftung, aus dem Warmwasser, von Geräten und Personen
- Verwendung energieeffizienter Geräte („marktbeste“ elektrische Geräte)
- Restwärmebedarfsdeckung durch einfache Systeme (z.B. bei vorhandener mechanischer Lüftung durch Luft/Luft-Wärmepumpe: Frischlufttheizung)

	Einheit	Passivhaus	NE-Haus	Bestand < 1980
Heizwärmebedarf	kWh/m <sup>2</sup> WNF,a	≤ 15	≤ 40	150-250
Endenergiebedarf	kWh/m <sup>2</sup> WNF,a	≤ 42	≤ 70	
Primärenergiebedarf	kWh/m <sup>2</sup> WNF,a	≤ 120	≤ 160	

Die konkreten Zielsetzungen liegen im Bereich folgender Kennzahlen:

Die Passivhaus- bzw. Niedrigenergiehaus-Zahlen beziehen sich dabei – um eine Standardbewertung zu ermöglichen – auf Standorte mit 84 kWh/a Heizgradstunden (20/12°C) pro Jahr (=3500 Kd/a).

## Boden

Ökologisch wertvolle Flächen sind eine knappe Ressource, mit der sorgfältig umgegangen werden muss. Ein übergeordnetes, verbindliches Raumordnungskonzept, das entsprechende Prioritäten in der Baulanderweiterung setzt, wäre wünschenswert. Von der Baulanderweiterung sollten auf alle Fälle schützenswerte Naturgebiete sowie Wald- und Wiesengürtelzonen ausgenommen sein. Landwirtschaftlich genutzte Flächen sollten nur in beschränktem Maß zur Baulanderweiterung herangezogen werden. Prinzipiell ist es weitaus wirtschaftlicher und ökologisch sinnvoller, in einem bereits gut erschlossenem Gebiet als in einer Streusiedlung zu bauen.

Am Grundstück selbst ist die Erhaltung bzw. Verbesserung der ökologischen Qualität des Baugrund-

1) Definition: Energie, die für die Produktion aller Gebäudekomponenten und die Errichtung des Gebäudes (Baustoffe, Technische Gebäudeausrüstung, Transporte) benötigt wurde, in der Regel bezogen auf die Nutzungsdauer des Gebäudes (kWh/a, MJ/a).  
2) Die Summe der dem Gebäude zugelieferten Energieträger (elektrische Energie, Fernwärme und Brennstoffe) - üblicherweise bezogen auf die Zeiteinheit „Jahr“ (kWh/a, MJ/a,...) - wird als Endenergie bezeichnet. Die Primärenergie ist die Endenergie

stückes anzustreben. Der Versiegelungsgrad ist möglichst gering zu halten und das Vorliegen eines landschaftsgärtnerischen Konzeptes für die Gestaltung und Erhaltung von Ökosystemen ist als besonders positiv zu bewerten. Während der Errichtungsphase sollte auf weitestgehende Schonung bestehender Gehölze und Vegetationsflächen geachtet werden. Gefällte Bäume sind durch Neupflanzungen zu ersetzen.

**Ziele:** Schonung ökologisch wertvoller, knapper Flächen.

Ein Neubau auf einer vorher bebauten Fläche oder auf einer kontaminierten Fläche, die nach anerkannten Regeln der Technik durch Bodenaustausch gereinigt wurde, hat Vorrang vor einem Neubau auf einer nichterschlossenen Fläche, einer landwirtschaftlich genutzten Fläche oder – vielleicht sogar einer ökologisch besonders bedeutsamen Fläche. Die Erweiterung und Instandsetzung eines existierenden Gebäudes ohne Ausweitung der bebauten Flächen und/oder Verdichtung von Siedlungszeilen ist im Sinne einer Schonung der Ressource Boden besonders wünschenswert.

Erhaltung der Biodiversität und ökologischen Gegebenheiten auf dem Baugrundstück

Minimierung des Versiegelungsgrades des Grundstücks

### **Wasser**

Die langfristigen Leitlinien in diesem Bereich sind „Einsparung von Trinkwasser“ und – damit in Zusammenhang stehend – die Trennung von Trink- und Nutzwasser, wobei Nutzwasser vor allem für die Gartenbewässerung und WC-Spülung zur Anwendung kommt. Folgende Maßnahmen tragen zu einem geringeren Trinkwasserverbrauch bei: wassersparende Sanitärgegenstände (WCs mit Sparschaltungen, Duscharmaturen mit Durchflussbegrenzer, Einhebelmischer sowie thermostatgeregelte Mischbatterien, die die gewünschte Temperatur ohne Zeitverzögerung abgeben, elektronische Armaturen) sowie der Einbau von Wohnungswasserzählern, die eine verbrauchsbezogene Abrechnung der Kaltwassergebühren erlauben.

**Ziele:** Trinkwasserverbrauch 30l / Pers.d

Grauwasserrecycling, Regenwassernutzung: Eine Dokumentation der Maßnahmen liegt vor.

Siehe auch Abschnitt „Abwasser“.

### **Baustoffe**

Ziel ist die Reduktion der Stoffströme und die Reduktion der Belastungen von Mensch und Umwelt: Der Materialumsatz, der für ein Bauvorhaben erforderlich ist, soll möglichst gering gehalten werden, und die eingesetzten Baustoffe sollen möglichst wenig graue Energie enthalten, möglichst geringe Emissionen verursachen und hinsichtlich des Kriteriums „Toxizität“ unbedenklich sein. Für die Ressourcenschonung im Bereich Baustoffe gelten auch all jene Kriterien, die in den Punkten „Energieaufwand für die Errichtung“ und „Atmosphärische Emissionen“ angeführt sind.

### **Baukonstruktive Empfehlungen zur Schonung der Baustoffressourcen**

#### **Effizienz des Arbeits- und Materialeinsatzes**

- Keine Verwendung „überflüssiger“ dekorativer oder gestalterischer Elemente
- Verwendung von Materialien mit hohem Recyclinganteil
- Verwendung von Materialien mit hohem Recyclingpotential
- Verwendung von Baustoffen bzw. Baukonstruktionen mit langer Lebensdauer
- Verwendung vorgefertigter Bauteile und Bauelemente

#### **Umweltrelevanz der Baustoffe**

- Auswahl von Baustoffen und Bauteilen nach Ökobilanz-Kriterien (siehe auch Abschnitt „Atmosphärische Emissionen“)
- Produkte mit Volldeklaration der Inhaltsstoffe (z.B. IBO-Zertifikat, <http://www.ibo.at> )
- Verstärkter Einsatz regional zur Verfügung stehender Materialien (Reduktion von Transportaufwendungen, Emissionen und Umweltbelastungen; Stärkung des regionalen Wirtschaftsraumes)

## Baukonstruktionen

- Leichte Trennbarkeit der Baustoffe: Ökologisch günstig sind Baukonstruktionen ohne Werkstoffverbund, die im Rückbau in Baustoffrecyclinganlagen stofflich leicht getrennt werden können; ungünstig sind in dieser Hinsicht z.B. faser- und gewebeverstärkte Baustoffe oder Verbundmauersteine mit integrierter Wärmedämmung
- Leichte Trennbarkeit der Bauteilverbindungen (Schraub-, Steck-, Klemmverbindungen sind günstiger als Schweiß- oder Klebeverbindungen)
- Vermeidung unnötiger Materialvielfalt (zu viele Verbundkonstruktionen meiden)
- Einfacher Umbau, Ausbau; Reparierbarkeit
- Trennung von Rohbau und Ausbau (Erneuerung bzw. Reparatur von Elementen mit kürzerer Nutzungsdauer muss möglich sein, ohne in „langlebigere“ Strukturen eingreifen zu müssen; leicht austauschbare Verschleißteile)

**Ziele:** Ein sorgfältiger Auswahlprozess basierend auf dem allgemein anerkannten Stand des Wissens findet statt und wird nachvollziehbar dokumentiert. Es werden in hohem Maß regional zur Verfügung stehende Bauprodukte mit hohem Recyclinganteil verwendet. Die Baukonstruktionen werden in Hinblick auf ein hohes Recycling-Potential, d.h. leichte Trennbarkeit, Recyclierbarkeit, Vermeidung unnötiger Materialvielfalt, Trennung von Rohbau und Ausbau optimiert. Die erwartbare Nutzungsdauer beträgt mindestens 80 Jahre.

## Minimierung der Umweltbelastungen

### Atmosphärische Emissionen

Die ökologische Qualität vieler Baustoffe und Haustechniksysteme ebenso wie die Qualität von Brennstoffen und elektrischer Energie ist durch Ökobilanzen in recht weitgehendem Maß erfasst. Eine international einheitliche und genormte Methode zur Darstellung und quantitativen Bewertung der ökologischen Qualität liegt noch nicht vor.

Da jedoch viele einschneidende Umweltschadenswirkungen auf die Emission von (Schad)stoffen in die Atmosphäre zurückzuführen sind, werden in der Regel diese Stoffe zur Bewertung herangezogen. Die Bewertung erfolgt dabei in der Weise, dass alle einen bestimmten Effekt verursachenden Emissionen auf einen Referenzstoff „umgerechnet“ werden. Als Maßeinheit wird die Äquivalenzmasse einer Referenzsubstanz herangezogen; z.B. bedeutet die Angabe eines bestimmten Massen-CO<sub>2</sub>-Äquivalents, dass während der gesamten Lebensdauer des betrachteten Produkts eine Vielzahl von Treibhausgasen emittiert wird, deren gemeinsame Wirkung der angegebenen Masse CO<sub>2</sub> entspricht. Derzeit wird es zusehends zum Standard bei der ökologischen Bewertung von Bauprojekten zumindest den Beitrag zum Treibhauseffekt in Form eines GWP-Wertes anzugeben.

Bewertet werden im konkreten meist folgende Umwelteffekte:

Effekt	Ökopotential (=Maßzahl)	Einheit
Beitrag zum Treibhauseffekt	GWP (Global Warming Potential)	kg CO <sub>2</sub> -equiv./kg Produkt
Beitrag zur Zerstörung des stratosphärischen Ozons	ODP (Ozone Depletion Potential)	kg CFC-R11-equiv./kg Produkt
Beitrag zur Bildung von bodennahem Ozon	POCP (Photochemical Ozone Creation Potential)	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -equiv./kg Produkt
Beitrag zur Bodenversauerung	AP (Acidification Potential)	kg SO <sub>2</sub> -equiv./kg Produkt
Beitrag zur Überdüngung	NP (Nitrification Potential)	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -equiv./kg Produkt

Die Umweltbelastungen für Errichtung und Nutzung können mit ausreichender Genauigkeit anhand von Baustoff- und Energie-Datenbanken ermittelt werden.

**Ziele:** Minimierung der Ökopotentiale aus Errichtung und Nutzung – insbesondere des Beitrags zum Treibhauseffekt

Vermeidung kritischer Werkstoffe

Folgende Materialien, die vor allem für Dämmungen, Fixierungen und Ausschäumungen verwendet werden, sollten aus Gründen der Reduzierung des Treibhauspotentials (GWP) nach Möglichkeit vermieden werden: (H)FKW-, HFKW-haltige Materialien, Polyurethan (PUR) und Polyisocyanurat (PIR). Der Nachweis auf den Verzicht dieser Materialien kann durch Stoffdeklarationen bzw. Zertifikate erbracht werden. PVC- und halogenhaltige Materialien (Bodenbeläge, Verkabelungen, Rohrleitungen) sind ebenfalls zu vermeiden, da sie einen hohen Entsorgungsaufwand notwendig machen und im Brandfall zu gefährlichen Belastungen führen.

## **Feste Abfälle**

### **Nutzungsphase**

Basiszielsetzung ist weitestgehende Abfallvermeidung durch gezieltes Kaufverhalten zu fördern, dafür ist entsprechende Aufklärungsarbeit bei den Konsumenten zu leisten. Bezüglich Abfalltrennung ist die Einrichtung von Sammel- bzw. Trenn-Systemen in größtmöglicher Nähe zum Benutzer vorzusehen. Für den Bedienkomfort relevant sind nutzerfreundliche Sammelbehälter (Öffnung per Fuß, kein Zufallen des Deckels während des Einwurfs) für die getrennte Sammlung von Papier, Glas, Metall, Kunststoff und Biomüll. In einer Küche ist für Trennsysteme etwa ein Fläche von 0,5 m<sup>2</sup> zu reservieren.

### **Gebäudeerrichtung, Rückbau und Abriss**

Für die Trennung von Bauabfällen, die bei der Gebäudeerrichtung und bei einem zukünftigen Rückbau / Abriss des Gebäudes auftreten, ist ein entsprechendes Abfallbehandlungs- und -verwertungskonzept vorzusehen.

## **Abwasser**

### **Nutzungsphase**

Der Anfall von Abwässern aus Haushalten kann durch gezielte Wassereinsparmaßnahmen reduziert werden, siehe Abschnitt „Wasser“.

Das anfallende Regenwasser sollte (neben der Möglichkeit der Regenwassernutzung) immer getrennt vom Schmutzwasser abgeleitet werden und zu einem möglichst hohen Anteil – soweit es die örtlichen Gegebenheiten zulassen - einer Versickerung zugeführt werden (Bodenversiegelung der Außenanlage max. 5 m<sup>2</sup> je Wohneinheit / mehrgeschoßiger Wohnbau). Für die Niederschlagsversickerung in dicht verbauten Gebieten ist eine Reinigung des Wassers wichtig, da es bei entsprechender Bodenbeschaffenheit durch die Filterwirkung des Bodens zu einer Akkumulation von Schadstoffen im Boden kommen kann.

**Ziele:** Regenwasserentsorgung

Spitzenabfluss bei Regen in die öffentliche Kanalisation  $\leq 60$  l/ha,s

## **Vekehr**

### **Gebäudenutzung**

Überall dort, wo die Anbindung an öffentliche Verkehrsmittel sehr gut ist, kann der Verzicht auf das Auto als Zielvorgabe propagiert werden, um eine Verkehrsberuhigung und damit eine Erhöhung der Lebensqualität im betreffenden Wohngebiet zu erreichen. Die Forcierung von Sammeltaxis und Car-Sharing kann eine sinnvolle und notwendige Ergänzung zum Angebot des öffentlichen Verkehrsnetzes sein. Dies würde eine Reduktion der gesetzlich am Grundstück erforderlichen PKW-Stellplätze ermöglichen. Eine „zwangsweise“ Reduktion der Autoabstellplätze, die nur zu einer Verschiebung der Parkplätze in den öffentlichen Raum führt, ist aber nicht sinnvoll. Im Sinne der Förderung umweltschonender Fortbewegungsmittel sind am Gebäudegrundstück in zentraler Lage wettergeschützte Fahrradabstellplätze (ev. speziell gesichert oder in einem eigenen Fahrradabstellraum) vorzusehen.

## **Nutzerkomfort**

Wohn-Komfort bedeutet neben der Erfüllung subjektiver Benutzerwünsche (mehr oder weniger) vorgegebenen physiologischen Bedürfnissen gerecht zu werden, die sich im Wesentlichen auf Luft-, thermische, visuelle sowie akustische Qualitäten beziehen. Dazu treten vielfach noch die Wünsche nach einem hohen Automatisierungsgrad („intelligentes Haus“) und nach Freiheit von durch Haustechnik verursachte elektromagnetische Felder.

### **Luftqualität**

- **Ausreichende Trocknung des Rohbaus**

Ziel ist die Gewährleistung einer ausreichenden Trocknung durch optimale Ablaufplanung ohne Beheizung des Rohbaus. In der Ablaufplanung ist eine entsprechende Trocknungszeit nachzuweisen.

- **CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Raumluft**

Ist die Gebäudehülle sehr dicht ( $n_{50} \leq 0,8$  h-1), der über die mechanische Lüftung eingebracht-

te Luftwechsel relativ niedrig ( $\leq 0,3 \text{ h}^{-1}$ ) und die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Umgebungsluft hoch ( $> 300 \text{ ppm}$ ), sollte der rechnerische Nachweis erbracht werden, dass die  $\text{CO}_2$ -Konzentration in der Raumluft nicht höher ist als etwa 800 bis 1000 ppm.

• **Schadstoffbelastungen der Raumluft**

Vermeidung von lungengängigen Fasern, flüchtigen organischen Substanzen (VOC), (H)FCKW, Biozide, Weichmacher, Formaldehyd, etc.

**Thermische Qualität**

Thermische Qualität (Behaglichkeit) ist gegeben, wenn die wesentlichen Kenngrößen Lufttemperatur, Oberflächentemperatur, Luftfeuchte und Luftgeschwindigkeit innerhalb bestimmter Komfort-bereiche bleiben. Lufttemperatur: Winter 18-22°C, Sommer 22-25°C, Oberflächentemperatur annähernd gleich der Lufttemperatur, 35-70 % relative Luftfeuchte (DIN 1946-2), wobei absolute Feuchten  $> 12 \text{ g/kg}$  grundsätzlich zu vermeiden sind, Luftgeschwindigkeit  $< 0,15 \text{ m/s}$ . Diese Parameter können variieren je nach Aktivitätsgrad, Bekleidung, Alter, Geschlecht, Aufenthaltsdauer und Anzahl der anwesenden Personen.

Probleme können sich ergeben im Winterbetrieb

- bei großen Verglasungen mit hohen U-Werten ( $U_{\text{Glas}} \geq 1,6 \text{ W/m}_2\text{K}$ ) durch Kaltluftabfall an der inneren Glas-Oberfläche
- durch zu trockene Luft bei höherem Luftwechsel
- durch zu feuchte Luft bei sehr geringem Luftwechsel und starken Feuchtequellen

Probleme können sich ergeben im Sommerbetrieb

- durch Überwärmung bei unzureichendem Sonnenschutz bzw. unzureichender thermischer Speichermasse. Bei länger dauernder Hitze helfen allerdings grundsätzlich nur aktive Klimasysteme wie z.B. Bauteilkühlung.

**Ziel:** Bei konventionellen Gebäuden wird Anforderungsstufe 3 nach VDI 6030 erfüllt; für Niedrigenergie- und Passivhäuser werden alle Einflussgrößen des thermischen Komforts durch dynamische Gebäudesimulation mittels validierter, in der Fachwelt allgemein anerkannter Programme berechnet. Behaglichkeitsdefizite treten nicht auf.

**Visuelle Qualität**

**Tageslichtversorgung**

In Aufenthaltsräumen sind hohe Tageslichtanteile verbunden mit einer entsprechenden Sichtverbindung nach außen als Qualitätsmerkmal entscheidend. Als Maßstab für die natürliche Belichtung gilt der Tageslichtquotient D (= Verhältnis von horizontaler Beleuchtungsstärke im Raum zur horizontalen Beleuchtungsstärke im Freien, angegeben in %). Als hinreichend natürliche Belichtung gilt, wenn der Tageslichtquotient die Werte der Spalte „gut“ erreicht.

RÄUME	Tageslichtquotient D		
	mindestens	gut	optimal
Schlafräume (Eltern, Kinder, Gäste, zeitweise als Krankenzimmer genutzt)	$\geq 0,5 \%$	$\geq 1 \%$	2 % bis 3 %
Wohnräume*, Küchen, Büroräume, Schulklassen, Kindergruppenräume	1 %	2 %	3 % bis 4 %
Räume mit höherem visuellen Leistungsanspruch (Zeichenräume, Ateliers,...)	$\geq 2 \%$	$\geq 3 \text{ bis } 5 \%$	$> 5 \%$ bis 8 %

\*) in einer Entfernung von  $\geq 2 \text{ m}$  vom Fenster

RÄUME	Täglich mögliche Besonnungsdauer in Stunden im Dezember		
	mindestens	gut	optimal
Schlafräume	$\geq 0,5$	$\geq 1$	$\geq 2$
Wohnräume, Schulklassen, Kindergarten.	$\geq 0,45$	$\geq 1,5$	$\geq 3$
Krankenzimmer	$\geq 1$	$\geq 2$	$\geq 3$

Quelle: Panzhauser, E., Strukturierung und Bewertung der humanökologischen Bauqualität

**Winterliche Besonnbarkeit**

Die Besonnung von Aufenthaltsräumen in der strahlungsarmen Jahreszeit ist von hoher gesundheitlicher - insbesondere psychohygienischer - Bedeutung. Es ist darauf zu achten, dass die natürlichen winterlichen Besonnungsmöglichkeiten nicht durch bauliche Maßnahmen (bauteilbedingte Verschattung) unnötig verringert werden. Es sollten zumindest die in der folgenden Tabelle als „gut“ bezeichneten täglichen Besonnungsdauern erreicht werden.

## Lärm und Akustik

**Ziele:** Grundgeräuschpegel in Wohnräumen  $\leq 20$  dB + Beurteilungspegel (ÖAL Richtlinie Nr.3, Blatt 1, 1986) um maximal 10 dB über dem Grundgeräuschpegel. Die dafür erforderlichen Schallschutzmaßnahmen hängen naturgemäß vom Außenlärmpegel ab.

Bei Zweifamilien- bzw. Reihenhäusern wird in der Regel Einfamilienhausqualität angestrebt. Erhöhte Anforderungen an die bewertete Normschallpegeldifferenz von Trennbauteilen: 60 dB.

Bei Wohnungstrennwänden und ähnlichen Trennbauteilen in Mehrfamilienhäusern ist in der Regel eine Schallpegeldifferenz von 55 dB ausreichend, wobei jedoch darauf zu achten ist, dass die Normforderung nicht durch konstruktive Fehler (Anschlüsse, Leitungsverlegung in Trennwänden) unterlaufen wird.

Schutz vor Geräuschen aus Haustechnik-Anlagen (Sanitär-, Lüftungsanlagen)

Aspekte des Schallschutzes gegen Geräusche aus haustechnischen Anlagen werden in der Planung berücksichtigt. Die Normforderungen werden unter Berücksichtigung höchster Anforderungen eingehalten. Es wird versucht, technisch mögliche Bestwerte zu erreichen. Planungsunterlagen und Nachweise liegen vor.

## Gebäudeautomation

Die Anforderungen an eine moderne Gebäudeautomation umfassen

- Sicherstellung der Komfortbedingungen durch entsprechende Regelungsfunktionen
- Möglichkeiten flexibler Raumnutzung
- zentrale und dezentrale Steuerungen
- intelligente Verknüpfung von Systemen verschiedener Gewerke
- Kommunikationsmöglichkeiten
- Energie- und Betriebskostenminimierung
- Fernüberwachung und Fernbedienung
- Datenprotokollierung für Analyse und individuelle Abrechnung

Werden nur wenige der genannten Funktionen benötigt, sind die klassischen Elektroinstallationen nach wie vor sinnvoll; im Falle komplexer Vernetzungen und weitgehender Automatisierungen sollten Bus-Systeme zur Anwendung kommen.

Moderne Gebäudeautomationssysteme auf Bus-Basis (z.B. EIB Europäischer Installationsbus) bieten ein hohes Maß an Flexibilität bei der Gebäudeinstallation. Darüber hinaus bietet dieses System dem Benutzer die Möglichkeit einer individuellen Regelung über eine bedienungsfreundliche Touch-Screen-Oberfläche seines Home-PCs.

Generell sollte aber darauf geachtet werden, dass der Komplexitätsgrad der Gebäudeautomation einerseits den Anforderungen angemessen und andererseits für den Nutzer noch einfach und bequem handhabbar bleibt.

Nähere Informationen zum EIB finden Sie unter der Homepage <http://www.eiba.com>, zum Themenbereich „Intelligentes Haus“ u.a. unter der Homepage der Fa. Bosch <http://www.domotik.de>.

## Elektrobiologische Hausinstallation

Wenn die Vermeidung von Elektromog Teil der Projektzielsetzungen ist, sollte die Zielerreichung durch Überprüfung der Elektropläne auf Netzfreeschaltung nachgewiesen werden.

## Dauerhaftigkeit

### Flexibilität

Der Begriff der Flexibilität bezieht sich auf die leichtere oder schwerere Durchführbarkeit von Nutzungsänderungen innerhalb einer Wohn- oder Büroeinheit (Änderung des Raumkonzeptes, ev. nachträgliche Schaffung von Telearbeitsplätzen im Wohnbereich, etc.) sowie auf die Zusammenlegung bzw. Teilung von Einheiten. Dabei sind auch prinzipielle Nutzungsänderungen Wohnungen, Büros oder die Umnutzung von Kinderzimmern in die Überlegungen miteinzubeziehen.

**Ziele:** Langlebige, mehrere Nutzungsänderungen überdauernde Grundkonstruktion, in der leicht austauschbare Subsysteme eingefügt werden, die möglichst in geschlossene Baustoffkreisläufe integrierbar oder leicht recycelbar sind.

## **Sicherheit**

### **Natürliche Gefährdungsfaktoren**

Folgende Gefährdungen sind zu beachten und gegebenenfalls bei der Planung zu berücksichtigen bzw. dem Nutzer gegenüber auszuweisen:

- Hochwasser (jährliches / 100-jähriges / 500-jähriges Hochwasser)
- Muren und/oder Lawinen (rote Zone / gelbe Zone / Sicherheits-Bereich)
- Geologische Stabilität (instabil – stabil; gegebenenfalls Bodengutachten erforderlich)
- Erdbebensicherheit
- Hochspannungsanlagen (Nahbereich / mittlere Entfernung / weit entfernt)

**Ziele:** Natürliche Gefährdungsfaktoren wurden ausgewiesen und in der Planung berücksichtigt.

### **Sicherheit in Bezug auf kriminelle Handlungen**

Neben mechanischen Sicherungen der Tür- und Fensterbereiche (Balkenriegelschlösser, versperrbare Beschläge, einbruchshemmende Verglasungen sowie Rollläden) ist der Einbau von Alarmanlagen bzw. EIB-Sicherungssystemen gegebenenfalls in Erwägung zu ziehen. Neben einer kompletten Außenhautsicherung ist auch der Schutz einzelner Räume möglich. Der Einbau einer Alarmanlage hat nach den VSÖ-(Verband der Sicherheitsunternehmungen Österreichs<sup>3</sup>) oder VdS-(Verband der deutschen Sachversicherer<sup>4</sup>)-Richtlinien zu erfolgen. Das Vorhandensein einer Alarmanlage sollte von außen deutlich erkennbar sein, dies wird durch eine Außensirene mit Blitzleuchte erreicht.

**Ziele:** Ein umfassendes Konzept zum Einbruchsschutz wurde entwickelt und umgesetzt. Beim Einbau einer Alarmanlage wird von der Errichterfirma ein Installationsattest ausgefertigt, das mit Bestätigung der Versicherung und des Betreibers den vereinbarten Versicherungsschutz gewährleistet.

### **Brandschutz**

Ein ganz wichtiger Aspekt der Dauerhaftigkeit ist die Sicherheit im Brandfall. Ziele eines vorbeugenden baulichen Brandschutzes sind

- die Verhinderung der Brandentstehung (Anforderungen an Baumaterialien in Hinblick auf Feuerwiderstandsfähigkeit, Entflammbarkeit ...)
- Eingrenzung des Brands auf Gebäudeabschnitte
- Schaffung von Voraussetzungen, um wirksame Löscharbeiten durchführen zu können
- Schaffung von Rettungsmöglichkeiten (Fluchtwege ....)

**Ziele:** Höchste Leistungsfähigkeit im Brandfall, Schutz von Menschenleben und Sachwerten  
Anforderungen an den Brandschutz unabhängig von der Bauweise

### **Sicherheit in Bezug auf Unfälle / Barrierefreiheit**

Barrierefreies Bauen hat zum Ziel, möglichst früh auftretende Hindernisse zu erkennen und zu vermeiden. Dies bedeutet nicht nur eine wesentliche Erhöhung der Lebensqualität für Menschen mit Einschränkungen in ihrer Mobilität und Sinneswahrnehmung, sondern kann auch - umgelegt auf die Gesamtbevölkerung - in einem erheblichen Maß zur Verhütung von „Haushaltsunfällen“ beitragen.

**Ziele:** Es wurden wesentliche Anstrengungen unternommen, die Ausstattung der Wohnungen sowie das Gebäudeumfeld möglichst barrierefrei und somit alters- und behindertengerecht zu gestalten.

### **Gebäudebetrieb / Nutzung und Instandhaltung**

**Ziele:** Eine komplette Dokumentation des Gebäudes (Raumbuch etc.) sowie sämtlicher Gebäudetechniksysteme werden von seiten des Gebäudeerrichters bereitgestellt. Ein Leitfaden für Wartung und Betrieb, der Wartungsintervalle und -handlungen festlegt, sowie eine entsprechende Ausbildung des Betreuungspersonals sind vorgesehen.

3) Kontaktadresse: 1090 Wien, Fürsteng. 1, Tel.: ++43/1/319 41 32, Fax: ++43/1/319 90 44; Email: vsoe@aon.at  
4) Kontaktadresse: D-50735 Köln, Pasteurstr. 17, Tel.: ++49/221/7766-430, Fax: -388; <http://www.vds.de>

## Planungsqualität

### Ganzheitliche Planung

Während bei der klassischen Planung im Wesentlichen die Abwicklung des Bauvorhabens (Planung, Errichtung, Inbetriebnahme) im Zentrum steht, ist ein Planungsprozess im Sinne des Facility Managements (oft auch als integrale Planung bezeichnet) umfassend, d.h. auf den gesamten Lebenszyklus und alle Aspekte der Nutzung des Gebäudes hin orientiert.

Ziele sind minimale Lebenszykluskosten verbunden mit maximalen Erträgen und geringem Risiko.

Die umfassende Planung erfordert Teamwork im interdisziplinären Team von Anfang an.

Entscheidend ist, dass alle Aspekte des Gebäude-Lebenszyklus (Nutzungskonzept, Errichtung, Betrieb) im Planungsteam kompetent vertreten sind.

Voraussetzungen für das Funktionieren derartiger Teams sind:

- klare Führungsstrukturen
- klare Zieldefinitionen (Zweck und Umfang)
- klare Festlegung der Kompetenzen und Pflichten aller Beteiligten
- transparente Abstimmungs- und Entscheidungsabläufe (Entscheidungsfindung und -sicherung)
- straffe Organisation der Informationsabläufe
- eindeutige Honorar- und Haftungsregelungen

Die Organisation derartiger Planungsteams kann zwar vom Auftraggeber initiiert, aber nicht erzwungen werden. Mittel dazu sind:

- Ermittlung des Bauteams (Bauherr, Architekt, Fachingenieure, Bauunternehmer) durch den Bauherrn über Ausschreibung
- Bauträgerwettbewerbe mit gesamtheitlichen Bewertungskriterien

In der Praxis hat es sich oft als Vorteil erwiesen, wenn sich Planer nach dem Muster ärztlicher Sammelpraxen räumlich zusammenschließen und damit die Voraussetzung für eine optimale formelle, aber ebenso informelle Kommunikation schaffen.

Die integrale Planung umfasst in der Regel die Erarbeitung folgender Konzepte:

- Nutzungskonzept
- Entwurf
- Baukonzept + TGA-Konzept
- Gebäudemanagement-Konzept (Betriebskonzept)

Durch das (begleitende) Projektmanagement („Bauherrenaufgabe“) werden dabei die notwendigen ergänzenden Anforderungen abgedeckt:

- Sicherstellung der Genehmigungsfähigkeit
- Überwachung der Termin-, Kosten- und Qualitätsziele
- Sicherstellung von Finanzierung und Vermarktung

Der Planungsprozess besteht darin, die Vorgaben des Nutzungskonzepts so umzusetzen, dass – wie schon eingangs erwähnt – die Lebensdauerkosten und das Risiko minimiert und der Ertrag maximiert werden. (Möglichkeiten der späteren Nutzungsänderung sind dabei in Betracht zu ziehen.) Diesem Ziel kann man sich nur iterativ nähern, indem Varianten (Errichtung und Nutzung) grob definiert und wirtschaftlich grob bewertet werden („Vorprojekt“), und schließlich die letztlich ausgewählte Variante im Detail weiter optimiert wird (Detailplanung).

**Ziele:** Ein klares Nutzungskonzept liegt vor. Für alle wesentlichen Entwurfsbereiche wurden Anforderungen formuliert, Zielvorgaben erarbeitet und Lösungsstrategien entwickelt, insbesondere in den Bereichen Energie, Ressourcenschonung, Umweltbelastungen, Komfort und Flexibilität. Die Folgekosten werden im Detail ermittelt, Lebenszykluskosten werden berechnet. Das letztlich realisierte Projekt ist das Ergebnis eines sorgfältigen Optimierungsprozesses auf der Basis von Variantenbewertungen. Alle Daten werden im Rahmen eines Gebäudeinformationssystems (GIS) gesammelt, verwaltet, dargestellt und analysiert. Ein Gebäudemanagement-Konzept liegt vor. Die Zielerfüllung wird durch protokollierte Abnahmeprüfungen nachgewiesen. Der Nutzer erhält einen detaillierten Qualitätsnachweis (Qualitäts-Zertifikat).

## Qualitätsnachweis

Die Qualitätsaspekte des Wohnbaus müssen dem Nutzer nicht nur als sinnvoll und notwendig vermittelt, sondern auch in rechtlich einwandfreier Weise garantiert werden. Dieser Zweck wird durch ein Qualitäts-Zertifikat – eventuell ausgestellt von einer unabhängigen Prüforganisation nach dem Vorbild des Qualitäts- und Umweltmanagements – erfüllt. Das Zertifikat informiert über Energiebedarf und Instandhaltungsarbeiten sowie Wohn- und ökologische Qualität und erhöht die Rechtssicherheit sowohl des Nutzers als auch des Errichters.

## Standorteinflüsse: Infrastruktur und Lage

### Ziele: positiv

Nähe zu öffentlichen Verkehrsmitteln (regelmäßige Intervalle), Grundversorgung durch Geschäfte und Dienstleistungen, Parks und Aufenthaltsmöglichkeiten im Freien, praktischem Arzt und Apotheke, Freizeiteinrichtungen (Sportplätze, Hallen-, Schwimmbad, Fitnesscenter ...), Taxistandplätze, Car-Sharing-Stützpunkte.

### negativ

Nähe zu Hauptverkehrsstraße, Autobahn, Bahntrasse, Industriebetrieb, Gewerbebetrieb, Flugzeuglandebahnen, Überfluggebiete.

## Kosten

Zielvorgabe kann nicht mehr „Minimierung der Errichtungskosten“ allein sein, sondern die Zielvorgabe muss „Minimierung der Lebensdauerkosten“ lauten, genauer gesagt des Barwertes der Lebensdauerkosten, d.h. die Errichtungskosten plus dem Discounted Cashflow, also plus den diskontierten Folgekosten.

**Ziele:** Kostentransparenz und Minimierung der Lebensdauerkosten

## Ausblick

### Mittelfristige Perspektiven

Ich glaube nicht, dass es mittelfristig im Bereich der Bauordnungen zu weiteren Verschärfungen der Wärmeschutzanforderungen kommen wird. Das gilt nicht nur für Österreich, das gilt – meiner Meinung nach – zumindest auch für die wesentlichen EU-Länder, wie Deutschland, Frankreich, Großbritannien. Die bestehenden Bestimmungen und Regulierungen sind hier ausreichend. Wo wirklich Handlungsbedarf gegeben ist, das sind die Bereiche: umfassende Qualitätsanforderungen bei der Planung und verbesserte Qualifizierung der Process-Owner.

### Externe Kosten

Externe Kosten stehen für einen weiteren Zukunftsaspekt. Es gibt eine Reihe von Projekten, die darauf abzielen, Umweltschutzmaßnahmen (bzw. Umweltaspekte) über ihre Vermeidungskosten (bzw. Schadenskosten) in die normale Kostenrechnung einzubeziehen. Das bedeutet, dass z.B. der Beitrag zum Treibhauseffekt oder der Beitrag zur Ozonerstörung in Zukunft nicht mehr nur über Ökopotentiale wie GWP/ODP (also mit physikalisch/chemischen Parametern) beschrieben werden, sondern mit einer Kostenstelle im Rahmen der normalen Planung. Diese Kostenstelle kann dem betriebswirtschaftlichen Teil der Planung ganz einfach hinzugerechnet werden, und damit sind die externen Kosten u.U. vollständig internalisierbar. Dieser Ansatz hat den großen Vorteil, dass die Process-Owner nicht umlernen müssen, sondern ihre Entscheidungen – wie gehabt – aufgrund einer Kostenstruktur fällen können.

Ich glaube, ich habe lange genug referiert. Ich weiß, das Thema ist ein bisschen sperrig, das ist gar keine Frage, weil es um eine Fülle von betriebswirtschaftlichen und technischen Details geht, aber ich möchte Sie trotzdem einladen, sich mit dieser Thematik näher zu befassen und eine ganzheitliche Dimension ins Denken hineinzubringen.

Ganzheitlich bedeutet all die genannten Aspekte zu berücksichtigen und auch den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes in Betracht zu ziehen: von der Baustoffproduktion über die Errichtung, die langen Jahre der Nutzung bis hin zu Abbruch, Wiederverwertung und Recycling. Nur wenn man alle diese Aspekte umfassend ins Visier nimmt, läßt sich ganzheitliche Qualität realisieren.

## Literatur

- [1] Bruck, Manfred, Green Building Challenge: Ganzheitliche Qualitätskriterien im Wohnbau, GBC-Handbuch der Ziegelindustrie (Hg. v. Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie, Verband Österreichischer Ziegelwerke und Verband Schweizerische Ziegelindustrie, Zürich, 2000). Eine laufende Aktualisierung wird unter der Website <http://www.GBC-Ziegelhandbuch.org> abrufbar sein.
- [2] Baustoffdaten – Ökoinventare [Hg. v. Institut für Industrielle Bauproduktion (ifib), Universität Karlsruhe; Lehrstuhl Bauklimatik und Bauökologie, Hochschule für Architektur und Bauwesen (HAB) Weimar; Institut für Energietechnik (ESU), Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich; M. Holliger, Holliger Energie Bern: Karlsruhe/ Weimar/Zürich, 1995]
- [3] Ökologischer Bauteilkatalog: Gängige Konstruktionen ökologisch bewertet (Hg. v. Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie <http://www.ibo.at>, Wien; Zentrum für Bauen und Umwelt, Donau-Universität Krems, Verlag Springer, 1999)

## Diskussion

### Frage:

Das Kriterium der Dauerhaftigkeit fordert: „Gebäude müssen lange leben“. Wie lässt sich das mit den wirtschaftlichen Forderungen nach einer Rentabilitätsdauer von unter 4 Jahren, beispielsweise eines Baumarktes, verbinden?

### Bruck:

Wir haben hier die klassische Spannung zwischen Ökonomie und mehr oder weniger ökologischen Ansätzen. Oder ich sage es ganz locker: D.h. wenn der mit dem Baumarkt so gut verdienen kann, dass er innerhalb von 4 Jahren die Investition herinnen hat, dann zeigt das einfach, dass sich in unseren betriebswirtschaftlichen Gegebenheiten ökologische Wertvorstellungen nicht wiederfinden. Das ist es; denn für den als Investor, das muss man ganz klar sagen, wäre eine andere Denkweise geradezu betriebsschädlich. Also wenn Sie heute Vorstandsdirektor eines international tätigen Baumarktes sind und wenn Sie von Ihren Aktionären den klaren Auftrag haben, maximalen Gewinn zu erwirtschaften, dann kommen automatisch diese Handlungsmuster und diese Strukturen heraus. Das heißt, solange hier der Markt von selbst nicht in der Lage ist, das ökologisch Wünschenswerte auch finanziell wünschenswert zu machen, wird hier wohl die Gesellschaft, d.h. letztlich die Politik in irgendeiner Weise gefordert sein, Rahmenbedingungen zu schaffen, die derartige Extreme nicht zulassen. Das ist nicht die optimale Lösung. Die optimale Lösung wäre, dass das volkswirtschaftlich Wünschenswerte zugleich das betriebswirtschaftlich Sinnvolle ist.

# Das Passivhaus – ein Konzept für nachhaltiges Bauen

Wolfgang Feist

## Die drei Säulen des Passivhauskonzeptes

Das Passivhaus ist die konsequente Weiterentwicklung des Niedrigenergiehauses: Verbessere die Behaglichkeit und verringere den Energiebedarf durch „passive“ bauliche und technische Maßnahmen, die dafür sorgen, dass unnötige Wärmeverluste vermieden und freie Wärmegewinne optimal genutzt werden!

### I Wärmedämmung der nicht transparenten Bauteile

Die wirksamste Maßnahme zur Energieeinsparung an Gebäuden im mitteleuropäischen Klima ist der Wärmeschutz der Außenbauteile. Die im Baubereich verwendeten Dämmstoffe beruhen bisher fast ausschließlich auf der geringen Wärmeleitfähigkeit von ruhender Luft. Die Stützstruktur des Dämmstoffes spielt hierfür eine untergeordnete Rolle! daher gibt es eine große Auswahl geeigneter Produkte. Passivhäuser brauchen eine ringsum geschlossene Dämmhülle (Abb. 1), in die auch die Fenster einbezogen sein müssen. Diese sorgt für geringe Wärmeverluste und zugleich für hohe Behaglichkeit.

### II Warmfenster

Erst die moderne Beschichtungstechnik hat qualitativ hochwertige Verglasungen ermöglicht, die auch bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur immer noch innere Oberflächentemperaturen über  $17^{\circ}\text{C}$  aufweisen (Abb. 2). Dabei lassen diese Warmgläser soviel Strahlungsenergie in den Raum, dass bei Orientierungen bis  $30^{\circ}$  gegenüber Südrichtung auch im Kernwinter der Wärmeverlust durch den solaren Wärmegewinn mehr als ausgeglichen wird. Speziell für das Passivhaus entwickelte hochdämmende Fensterrahmen bilden die geeignete Brücke zur übrigen Gebäudehülle.

### III Lüftungs- Wärmerückgewinnung

Frischlufte ist unverzichtbar - höchster Komfort wird durch eine geregelte Lüftung mit effizienter Wärmerückgewinnung erreicht (Abb. 3). Auch hier stehen Gesundheit und Behaglichkeit im Zentrum der Projektierung. Im Passivhaus kann die Zuluft auch die Heizung der Räume mit übernehmen. Das wird im Passivhaus aus zwei Gründen möglich:

- 1) Die noch bereitzustellende Heizleistung ist so gering (i.a.  $10 \text{ W/m}^2$ ), dass auch eine mäßige Nacherwärmung der Zuluft zur Deckung ausreicht.
- 2) Durch die gute Dämmung und vor allem die niedrigen U-Werte der Fenster sind die Oberflächentemperaturen aller Bauteile auch in Kälteperioden so hoch, dass es weder zu störenden Strahlungstemperatursymmetrien noch zu Zugerscheinungen und Ausbildung eines Kaltluftsees kommen kann.

Ort und Art der Wärmezufuhr im Raum ist daher bei Passivhäusern gegenüber konventionellen Gebäuden unbedeutend: Dadurch ergeben sich technisch sehr einfache Lösungen für die Wärmebereitstellung. Dies macht die besondere Attraktivität des Passivhauskonzeptes aus.

Abb.1: Eine dämmende Hülle schützt das Passivhaus (Quelle: CEPHEUS-Expo-Präs.)

1) Selbstverständlich soll die Stützstruktur nicht selbst in hohem Maß Wärme an den Hohlräumen vorbeileiten (z.B. ist Metallwolle daher ungeeignet). Auch der Strahlungstransport von Wärme spielt eine Rolle, weshalb die Hohlräume nicht zu groß und das Material für Wärmestrahlung möglichst "trüb" sein soll. Stimmen diese Voraussetzungen und sind die Hohlräume klein genug, so ist die Wärmeleitung durch die des Füllgases dominiert - außer bei mikroporösen Materialien, mit denen sogar eine weitere Verbesserung erreicht werden kann (derzeit Gegenstand weitergehender Forschungsprojekte).

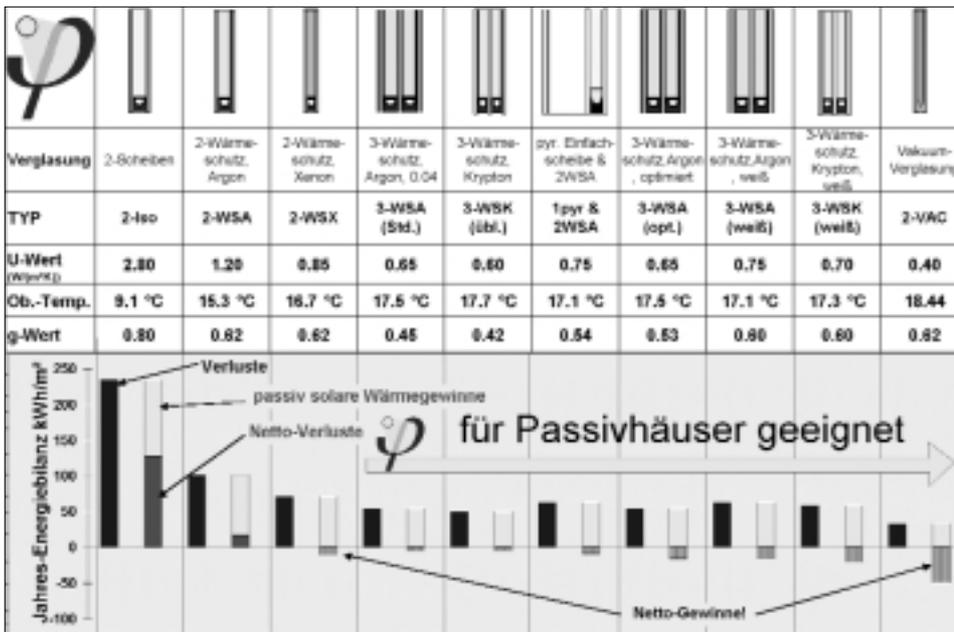


Abb. 2: Warmgläser haben auch bei Frost hohe innere Oberflächentemperaturen

Abb.3: Wärmerückgewinnung sorgt für reine Luft, Behaglichkeit und geringe Lüftungswärmeverluste (Quelle: CEPHEUS-Expo-Präsentation)

## WÄRMERÜCKGEWINNUNG

Passiv Haus Institut PHI

Kostengünstige Passivhäuser als europäische Standards      Cost Efficient Passive Houses as European Standards

### Lüften tut Not - Lüften tut gut!

Frische Luft von außen ersetzt vermehrte Luft aus den am stärksten belasteten Räumen. Sie kommt unvermischt in Wohn-/Schlaf-/Kinder-/Arbeitszimmer und sorgt dort für angenehme und gesunde Raumluftqualität.

Bevor die verbrauchte, warme Innenluft nach außen entlassen wird, soll sie uns aber eines wieder zurückgeben: die Wärme, die sie im Raum angenommen hat. Dazu ist der Wärmeübertrager da.

Das Bild zeigt das einfache Prinzip: Strikt getrennt durch wärmeübertragende Tauscherflächen strömt die frische, kalte Luft der verbrauchten, warmen Abluft entgegen. Mehr als 90% der in der Abluft enthaltenen fühlbaren Wärme werden dabei zur Frischlufterwärmung genutzt.

**Fühlen Sie selbst:**  
Der warme Zuluftstrom kommt schon mit angenehmer Temperatur aus dem Wärmerückgewinnungsgerät.

CEPHEUS  
cost efficient passive houses as European Standards

gen festgeschrieben sind. Das Passivhaus fordert hochwertige Fenster, die bei guter Belichtung so geringe Wärmeverluste aufweisen, dass auch ohne Heizkörper direkt neben dem Fenster behaglich empfundene Temperaturen vorliegen.

- Jedes Haus braucht eine Gebäudehülle mit Erdgeschoßboden, Außenwänden und Dach; das Passivhaus setzt auf qualitativ durchgreifende Verbesserungen bei diesen Bauteilen: Sie erhalten eine hochwertige Wärmedämmung.
- Jedes Wohngebäude braucht Fenster; in Deutschland wird diese Anforderung für so wichtig gehalten, dass Mindestfenstergrößen in den Landesbauordnungen festgeschrieben sind.

Dadurch bietet das Passivhaus die Chance, sehr niedrige Energieverbräuche mit ausschließlich qualitativen und wenig aufwendigen Maßnahmen an gewöhnlichen Komponenten von Gebäuden zu erreichen. Der geringe Aufwand der passiven Maßnahmen ist von Vorteil für Ökologie und Ökonomie: Additive Maßnahmen kosten mehr Material und mehr Kapital als integrative Verbesserungen bei ohnehin benötigten Komponenten.

### Der Stand der Entwicklung des Passivhauses im Jahr 2000

Die Entwicklung bei der Zahl der neu realisierten Passivhäuser verläuft seit 1998 geradezu stürmisch. Abb. 4 zeigt die Zahl der in Deutschland fertiggestellten Wohnungen in Passivhäusern in der Zeitentwicklung. Bis zum Jahr 1996 waren nach dem Prototyp in Darmstadt-Kranichstein (4 Wohneinheiten, Fertigstellung Oktober 1991) nur vereinzelt weitere Häuser mit diesem Standard gebaut worden. Die Baukomponenten dieser Pionierhäuser waren nach wie vor einzelhandwerklich gefertigte Teile. Dadurch bedingt, waren die Kosten für den Bau von Passivhäusern vor 1996 noch sehr hoch. Das Prototyp-Passivhaus in Darmstadt-Kranichstein hatte jedoch bewiesen, dass das Konzept einer Verbrauchsreduktion um mehr als 90 % technisch zuverlässig funktionierte und von den Nutzern angenommen wurde.

Die Schritte zur Überwindung der zunächst noch hohen Kosten wurden 1996 im Bau von Passivhäusern der 2. Generation gesehen: Diese sollten sogar im unteren Preissegment des sozialen Wohnungsbaus realisiert werden können und dennoch die extrem hohe Energieeinsparung von etwa 90 % beibehalten.

Das entscheidende Ziel des „Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser“ war es,

- \* den Bau kostengünstiger Passivhäuser durch realisierte Projekte ohne Objektförderung zu demonstrieren,
- \* die Bau- und Anlagentechnologie weiter voranzubringen,
- \* dafür im Arbeitskreis typische bauliche und haustechnische Lösungen zu entwickeln,
- \* die Ergebnisse des Arbeitskreises in Protokollbänden zu dokumentieren,
- \* den Passivhaus-Standard über eine qualifizierte Öffentlichkeitsarbeit in der Fachwelt zu verbreiten.

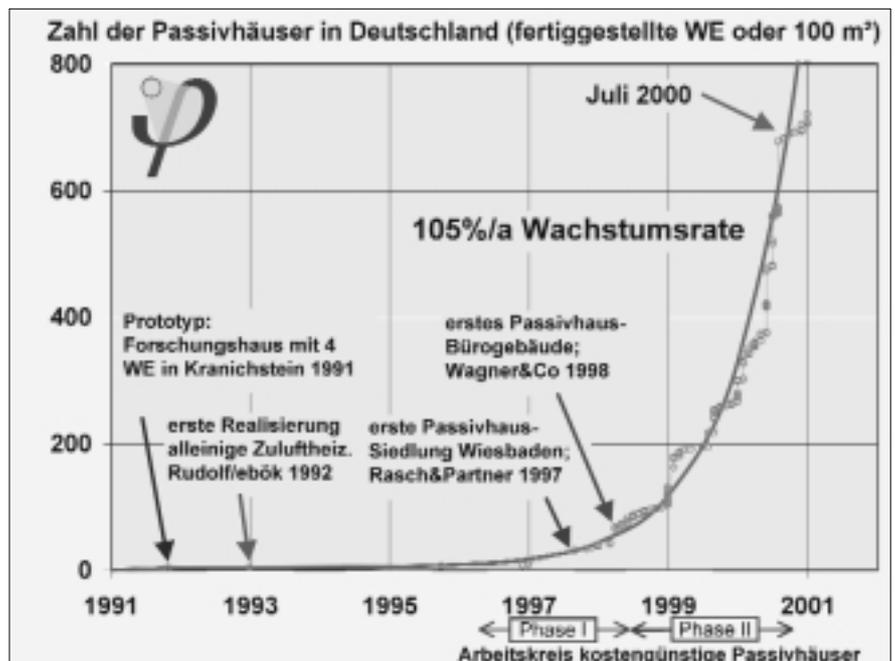


Abb. 4: Stürmische Entwicklung beim Bau von Passivhäusern in Deutschland

Durch die Öffentlichkeitsarbeit und die Mitglieder des Arbeitskreises wurden in Deutschland und in Österreich weitere Passivhaus-Bauprojekte initiiert. Dazu kamen eine ganze Reihe von Einfamilien- und Doppelhäusern, die von Mitgliedern des Passivhaus-Informationskreises gebaut wurden. Im Dezember 1998 summierte sich die Zahl der fertiggestellten äquivalenten Wohneinheiten bereits auf über 130.

Die Leistungen des Arbeitskreises führten auch in der folgenden 2. Phase zu großen Erfolgen:

- Auf den im Arbeitskreis erarbeiteten technisch-wissenschaftlichen Grundlagen aufbauend wurden Planungsinstrumente verfügbar, mit denen Architekten und Haustechnikplaner mit vertretbarem Aufwand funktionstüchtige Passivhäuser projektieren konnten.
- In rasch steigender Stückzahl wurden weitere Passivhaus-Bauprojekte umgesetzt. Dadurch nahm das verfügbare Know-How schnell weiter zu. Jedes gebaute und bewohnte Haus hat zusätzliche Multiplikatorwirkung, da bisher alle Bewohner von der besonderen Qualität ihrer Häuser begeistert waren.
- Aus der enormen Energieeinsparung resultiert ein entscheidender Beitrag zum Klimaschutz.
- Die induzierte innovative Entwicklung führte zu größeren Produktionsserien von hocheffizienten Gebäude-Komponenten. Diese wurden dadurch kostengünstiger. Diese Komponenten können auch in gewöhnlichen Niedrigenergiehäusern und auch im Baubestand Verwendung finden. Sie ermöglichen auch dort weitergehende Energieeinsparungen und verbessern die Wirtschaftlichkeit von Modernisierungsmaßnahmen; dabei ist nicht immer das „Passivhaus im Bestand“ das Ziel. Ein Beispiel für die Umsetzung im Bestand ist das Modernisierungsprojekt der Ludwigshafener Wohnungsbaugesellschaft LUWOG „3-Liter-Haus im Bestand“ [Schnieders 2000].
- Die ausgelöste innovative Entwicklung führt zu einer hohen zusätzlichen Wertschöpfung. Schon im Jahr 2000 werden durch die Passivhaustechnologie ca. 300 zusätzliche Arbeitsplätze gesichert. Sie ist steil steigend.

Nach dem Stand der gemeldeten neuen Bauprojekte (vgl. Abb. 4) stieg die Zahl der bestehenden WE in Passivhäusern 1999 auf mehr als 300 und im Jahr 2000 auf mehr als 900 an. Die mittlere Wachstumsrate bei den fertiggestellten Passivhäusern beträgt damit mehr als 100 %/a.

Von den im August 2000 fertiggestellten mehr als 680 Wohnungen in Passivhäusern sind mindestens 370, also mehr als die Hälfte, qualitätsgeprüft. Auch von den übrigen Objekten kann in der überwiegenden Zahl von einem sicher erreichten Passivhaus-Standard ausgegangen werden, da es sich sehr häufig um Gebäude von Architekten und Bauträgern handelt, die jeweils ihre ersten Passivhäuser unter sehr weitgehender Qualitätssicherung realisiert haben.

## Detaillierte Meßergebnisse aus 68 Passivhäusern



Abb. 5: Wissenschaftliche Auswertungsprogramme liefern Erkenntnisse aus über dreihundert Wohneinheiten

von Rainfried Rudolf, die in einem Vortrag auf dieser Tagung präsentiert werden. Auch bzgl. der wissenschaftlichen Auswertung lassen die Passivhausprojekte eine große Zahl weiterführender Messergebnisse erwarten. Mitte des Jahres 2000 waren insgesamt 68 Wohneinheiten aus vier Passivhaus-Siedlungen Gegenstand von wissenschaftlich fundierten Messprogrammen (Abb. 5,6). Bis zum

Ende des Jahres 2000 werden zusätzliche Messprogramme angelaufen sein, die insgesamt weitere 252 Wohneinheiten betreffen.

Bereits im Jahr 2000 sind 9 weitere Passivhaus-Siedlungen fertiggestellt, u.a. die Projekte

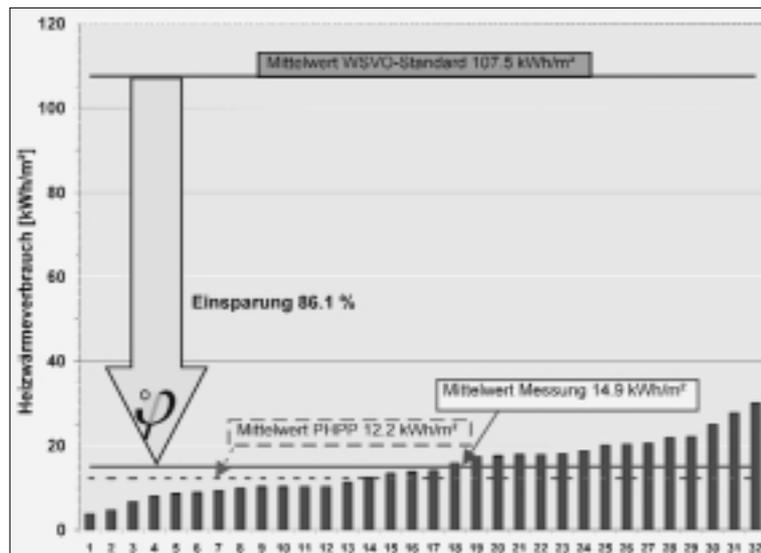


Abb. 6: Spezifischer Heizwärmeverbrauch der 32 Passivhäuser in Hannover-Kronsberg in der ersten Heizperiode 1999/2000 [Peper/Feist 2000]

Die Grundprinzipien der Passivhaustechnik sind nach der erfolgten Vorarbeit nun für Architekten, Bauingenieure und Handwerker leicht verständlich zu machen, damit diese Beiträge zur weiteren Entwicklung leisten können. Dieses ist eine der zentralen Aufgaben des Arbeitskreises kostengünstige Passivhäuser in der nun beginnenden Phase III.

### Beitrag des Passivhauskonzeptes zur nachhaltigen Entwicklung

Das Passivhaus-Konzept muss an der gesamten Breite der Kriterien für Nachhaltigkeit geprüft werden:

- Ökologie
  - Ökotoxikologie (Emissionen)
  - Ressourcenschonung
  - Artenschutz
  - Bodenschutz, Landschaftsschutz
- Humantoxikologie
- Behaglichkeit
- Ökonomie

Die vollständige Bilanzierung aller relevanten Stoff- und Energieströme ist eine sehr umfangreiche und mühevoll Aufgabe [Gugerli 2000]. Eine entsprechende Gebäudeaufnahme wurde beispielhaft für das erste Passivhaus, das 4-Familien-Reihenhaus in Darmstadt Kranichstein vorgenommen [Feist 1997]. Abb. 7 zeigt, dass für die Herstellung des Gebäudes und insbesondere für die periodisch auftretenden Erneuerungsmaßnahmen ein gegenüber herkömmlicher Bauweise geringfügig erhöhter Herstellungs-Primärenergie-Aufwand (HEA) erforderlich war. Dieser beträgt:

- HEA insgesamt: 1370 kWh/m<sup>2</sup> im Vergleich zu 1171 beim Standardgebäude
- Erneuerungs-HEA: in einem Zeitraum von 80 Jahren insgesamt 306 kWh/m<sup>2</sup>, wovon 31 % auf die Dämmung, 58 % auf die Sonnenkollektoren, 7 % auf die Heizung und 4 % auf die Lüftung entfallen (Standardgebäude: 95 kWh/m<sup>2</sup>).

Grundvoraussetzung für nachhaltiges Bauen ist eine lange Nutzungsdauer des Gebäudes und seiner Komponenten. Bei einem Passivhaus mit von Anfang an geringem Betriebsenergie- und Betriebs-Materialaufwand ist eine solche möglichst lange Nutzungsdauer sinnvoll; bei manchen Altbauten mit schlechtem energetischem Standard ist oft eine rasche Erneuerung besser. Wir erwarten von einem nachhaltig genutzten Gebäude Gesamtnutzungszeiträume von mindestens einem Jahrhundert; das korreliert mit den durchschnittlichen Abrissraten von etwa 1 %/a. Für die in [Feist 1997] durchgeführte Untersuchung wurde ein Nutzungszeitraum von 80 Jahren verwendet. Die in diesem Zeitraum immer wieder erforderlichen Erneuerungsmaßnahmen (Neuverputz; Heizungserneuerung; Sonnenkollektor; Lüftungsanlage) werden in die Bilanzen einbezogen.

Erkennbar ist, dass der Herstellungsenergieaufwand für Gebäude im Altbaubestand bei weitem übertrifft wird von den Aufwendungen während des Betriebes des Hauses. Erst beim Passivhaus liegt der Herstellungsaufwand in der gleichen Größenordnung wie der (nun extrem geringe) Primärenergiebedarf für die Heizung. Der Mehraufwand für Herstellung und bei der Erneuerung wird mehr als aufgehoben durch die Einsparungen während der Nutzungsdauer - es verbleibt eine Netto-Einsparung beim KEA von 77 %. Das gilt selbst für den ersten Prototyp in Darmstadt, bei welchem überwiegend mit konventionellen Baustoffen gebaut wurde. Durch Einsparungen bei Stahl und Beton ließen sich hier die HEA-Werte noch entscheidend senken. Den höchsten Anteil an den Mehraufwendungen haben bei diesem Haus im übrigen die Sonnenkollektoren.

Die auf Grund der Erfahrungen im Passivhaus erkannte Möglichkeit einer nutzergeführten Bedarfslüftung wurde einer umfassenden Diskussion bzgl. der Anforderungen an die Lufthygiene unterzogen [Feist 1994]. Dabei ergab sich, dass die Innenluft in den vier Wohnungen des Passivhauses in Kranichstein im Vergleich zu üblichen Häusern als nur sehr gering belastet eingestuft wird. Damit wird das Komfortlüftungssystem seiner zentralen Aufgabe, der Verbesserung der Luftqualität, gerecht.

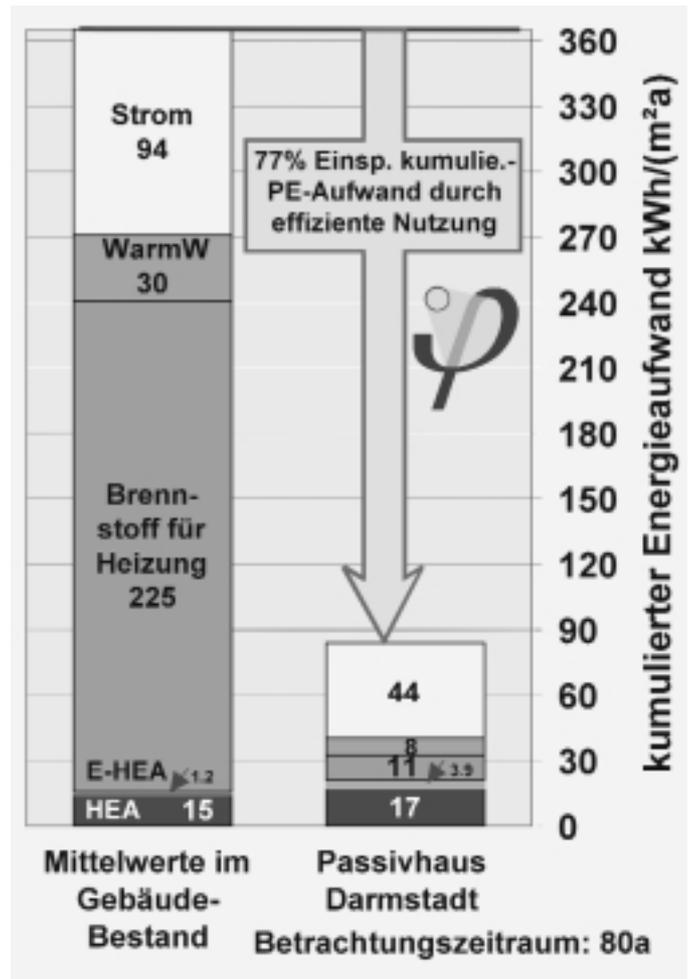
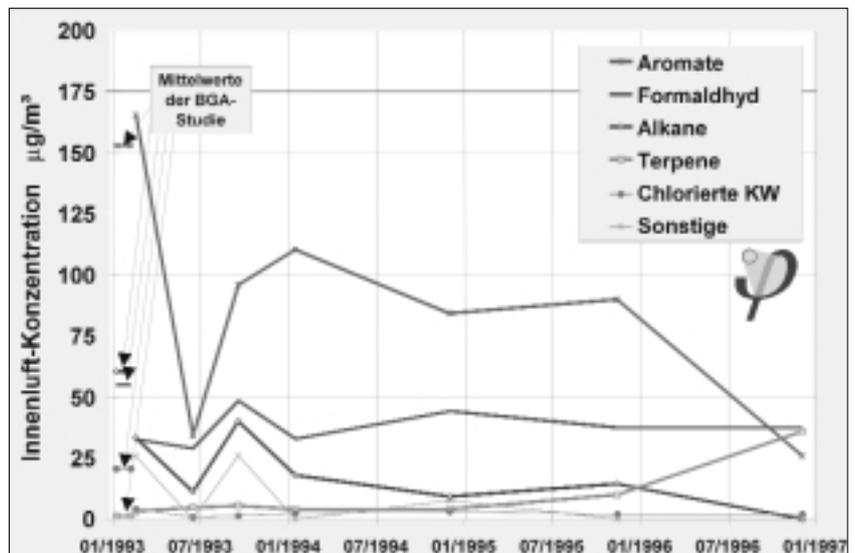


Abb. 7: Der annuitätisch auf 80 Jahre umgelegte kumulierte Primärenergie-Aufwand (KEA) für das Passivhaus Darmstadt Kranichstein im Vergleich zu einem Haus aus dem Gebäudebestand.

Abb. 8: Die Innenluft-Konzentrationen verschiedener flüchtiger organischer Verbindungen im Passivhaus Kranichstein erwiesen sich im Vergleich zu Referenzwerten als dauerhaft gering (Messungen: eco-Umwelt-Labor, Köln. [Feist 1994],[Feist 1997]).



Mit den Ergebnissen aus dieser Untersuchung und mit Ergebnissen aus 9 Jahren detaillierter Messungen von Wärmeverbräuchen und thermischer Behaglichkeit in Passivhäusern konnten zu vielen der aufgeführten Fragen erste Antworten gegeben werden (Abb. 8). Weitere Untersuchungen und Weiterentwicklungen sind aber für die Zukunft angesagt: Das Passivhaus-Konzept erlaubt es insbesondere, den Materialaufwand noch weit stärker zu reduzieren, als dies beim ersten Prototyp in Darmstadt-Kranichstein ohnehin schon der Fall war [Zelger 2000]. Auch die Effizienz bei der Verwendung von elektrischer Energie lässt sich noch steigern.

### **Kosten des Passivhauses**

Wir haben beim ersten Siedlungsprojekt im Rahmen von CEPHEUS, der Reihenhaussiedlung in Hannover-Kronsberg (fertiggestellt 1998), neben der hocheffizienten Energienutzung eine ganze Reihe weiterer ökologischer Kriterien miterfüllen können. Dort wurden vor allem auch vergleichsweise geringe spezifische Bauwerkskosten erreicht, nicht nur unter Einbeziehung der gesamten Lebensdauerkosten, die ich für ebenso wichtig und vordringlich halte, nein sogar im Vergleich zu den üblichen Baukosten in Deutschland. Dies halte ich für extrem wichtig, denn wir wollen hier keine Konzepte für kleine Minderheiten schaffen. Die Verbreitung soll nicht durch Vorschriften vorangetrieben werden, sondern das Passivhaus muss sich am Ende am Markt durchsetzen können und das kann es nur, wenn es für viele bezahlbar bleibt. Beim oben genannten Projekt liegt der rechnerische Energiekennwert im Bereich von 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) und die spezifischen Bauwerkskosten unter DM 2.000,-/m<sup>2</sup> inkl. Mwst., das ist ein guter Wert für Deutschland.

### **Wärmebereitstellung im Passivhaus**

Es können sehr kleine, sehr einfache Wärmebereitstellungssysteme wie z.B. kombinierte Lüftungs-/Heizungsanlagen (sogenannte Kompaktaggregate wie folgendes System eines österreichischen Erfinders) verwendet werden. Das System mit einer Stellfläche von 60 auf 60 cm, 1,40 m hoch, enthält praktisch die gesamte Haustechnik, die ein Passivhaus braucht: die Lüftung, die Ventilatoren, die Kompaktwärmepumpe und die Warmwasserbereitstellung mit dem danebenstehenden Trinkwarmwasserspeicher. Damit kann die komplette Technik eines solchen Hauses auf engsten Raum konzentriert werden. Es ist besonders überzeugend für ein solches Konzept, dass es es sich nicht um ein High-Tech-System mit Raumbedarf eines ganzen Kellerraumes handelt, sondern um ein sehr einfaches, sehr kleines System.

Dabei handelt es sich nicht um das einzig mögliche Konzept. Ich möchte Ihnen zeigen, dass es natürlich auch ganz anders geht: Besonders beliebt ist ja immer noch und vielleicht in Zukunft wieder das Heizen mit Holz. Es ist möglich, Passivhäuser mit Holzheizungen ganzjährig komplett mit Wärme zu versorgen. Dafür braucht man nicht sehr viel Holz. Es ist vielmehr ein nachhaltiges Konzept möglich, das sogar flächendeckend in ganz Deutschland eingesetzt werden konnte. Man wird es sicherlich nicht generell in den deutschen Großstädten realisieren, aber durchaus im ländlichen Raum. Entscheidend ist dabei die raumluftunabhängige Zufuhr der Verbrennungsluft, so dass das System nicht in Konflikt mit der Wohnungslüftung gerät. So könnte der Warmluftkachelofen in Zukunft wieder eine Möglichkeit werden, ein Passivhaus zu versorgen.

### **Behaglichkeit**

Das Thema thermische Behaglichkeit kann ich einerseits objektiv durch Messungen fassen, in dem ich beispielsweise operative Temperaturen messe: hier haben wir mit dem Passivhaus sehr gute Chancen, hervorragende Werte zu erreichen. Aber ich kann Behaglichkeit andererseits auch subjektiv fassen. Was sagen denn die Menschen dazu, die in den Häusern wohnen. Dazu habe ich hier eine Meldung aus der Bild-Zeitung mitgebracht. Sie kennen vielleicht auch den Grundsatz des „Guten Journalismus“ - „Nur eine schlechte Nachricht ist eine gute Nachricht“. Der Reporter, der sich die Passivhaus-Siedlung in Hannover vorgenommen hat, hat eine Bewohnerin befragt: „Wie viele Pullover haben Sie denn nun gebraucht im letzten Winter?“ Über die Antwort hat er sich wahrscheinlich selbst gewundert: Wieso Pullover? „...endlich mal habe ich warme Füße. Hier kriegt mich keiner mehr raus.“ Ich denke, diese Art Meldungen brauchen wir, um ein solches Konzept weiter zu verbreiten. Wir wissen in der Zwischenzeit wie es technisch geht, wir kennen die physikalischen Grundsätze, nach denen wir diese Qualitäten bauen können. Wir müssen es nur noch wirklich in der großen Vielzahl umsetzen.

### **Die Konsequenzen**

Wir sollten die Effizienz in der Nutzungsphase erheblich verbessern, und zwar jährlich um etwa 3 % (davon sind wir im Moment leider noch weit entfernt). In den anstehenden Erneuerungs- und Modernisie-

rungsprozessen liegt ein gewaltiges Potenzial, eine wirklich nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Wenn wir diese 3 % Effizienzverbesserung pro Jahr erreichen, können wir sie aufteilen in eine Verbesserung des Wohnstandes – das ist z.B. noch mehr benutzte Fläche aber auch ein höherer Komfort für diese Flächen – und in eine Reduktion des Energieverbrauches. Der Energieverbrauch kann dann um etwa 1,5 % pro Jahr in den Industrieländern reduziert werden. Wenn wir es schaffen, den Energieverbrauch nicht nur zu stabilisieren, wie in den letzten Jahren, sondern ihn im Ausmaß etwa 1,5 % pro Jahr zu senken, dann landen wir auf einer abfallenden Abklingkurve für den Energieverbrauch. Dadurch hätten wir eine Chance, mit den langsam wachsenden Beiträgen regenerativer Energieträger die abklingende Kurve des Bedarfes irgendwann zu treffen und ab dann mit den begrenzten Ressourcen auszukommen.

## Literatur

- [Feist 1994] Wolfgang Feist (Hrsg.): Passivhaus-Bericht Nr. 10: Luftqualität im Passivhaus; Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994
- [Feist 1997] Wolfgang Feist: Lebenszyklus-Bilanzen im Vergleich: Niedrigenergiehaus, Passivhaus, Energieautarkes Haus; in Protokollband Nr. 8 des AkkP, Passivhaus Institut ([www.passiv.de](http://www.passiv.de)), 1. Auflage, Darmstadt 1997
- [Gugerli 2000] Heinrich Gugerli: Ökologische Optimierung von Passivhäusern; im Tagungsband der 4. Passivhaustagung Kassel 2000, Passivhaus Dienstleistung GmbH ([www.passivhaus-info.de](http://www.passivhaus-info.de)), 1. Auflage, Darmstadt 2000, S. 551ff
- [Loga 2000] Tobias Loga, Mark Großklos, Wolfgang Feist: Ein Jahr in der Gartenhofsiedlung Lummerlund; im Tagungsband der 4. Passivhaustagung Kassel 2000, Passivhaus Dienstleistung GmbH ([www.passivhaus-info.de](http://www.passivhaus-info.de)), 1. Auflage, Darmstadt 2000, S. 457ff
- [Peper/Feist 2000] Sören Peper, Wolfgang Feist, Wiebke Wenzel: Meßdatenauswertung der klimaneutralen Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg; Passivhaus Institut, Juli 2000
- [Schnieders 2000] Schnieders, Jürgen: Sanierung eines Wohnblocks zum „Passivhaus im Bestand“; im Tagungsband der 4. Passivhaustagung Kassel 2000, Passivhaus Dienstleistung GmbH ([www.passivhaus-info.de](http://www.passivhaus-info.de)), 1. Auflage, Darmstadt 2000, S. 417ff
- [Zelger 2000] Thomas Zelger, Tobias Waltjen, Hildegund Mötzl, Jürgen Obermayer: Das Passivhaus aus nachwachsenden Rohstoffen; im Tagungsband der 4. Passivhaustagung Kassel 2000, Passivhaus Dienstleistung GmbH ([www.passivhaus-info.de](http://www.passivhaus-info.de)), 1. Auflage, Darmstadt 2000, S. 565ff

## Diskussion

### Frage:

Eine Frage zur Energiebedarfsberechnung im Passivhaus. Sie haben Messwerte den Berechnungswerten im Passivhaus-Projektierungspaket gegenübergestellt. Ich weiß von vielen Planerkollegen und auch von mir selber, dass dieses Paket ein sehr angenehmes Rechenmittel ist, das wir gerne auch in Projekten, die gar keine Passivhäuser sind, einsetzen. Bis zu welcher Grenze kann man es denn vertrauensvoll einsetzen?

### Feist:

Die Ansätze im Passivhaus-Projektierungspaket sind grundsätzlich standardunabhängig gewählt. Es gibt methodische Probleme, wenn sie unter die Bedarfswerte des Passivhauses Richtung Nullheizenergiehaus kommen, dann würde auch ich irgendwann den Ergebnissen nicht mehr trauen. Bei höheren Verbrauchswerten stimmen die Bilanzen, solange die Randbedingungen stimmen. Das bedeutet z.B. für Gebäude im Wohnbaubestand, dass Sie mit niedrigeren Innentemperaturen rechnen müssten, weil Sie mit den dort bestehenden Heizanlagen im Allgemeinen die Komfortkriterien gar nicht erfüllen können, weil Sie stärkere Nachtabsenkung und sonstige Absenckphasen haben. Wenn Sie also entsprechend der niedrigeren Innentemperaturen die Rechengänge korrigieren, dann bekommen Sie mit dem Paket auch dort korrekte Ergebnisse.

### Frage:

Auf welche Investorengruppen verteilt sich denn der Passivhaus-Markt in der Bundesrepublik, wieviel Prozent öffentliche, wieviele Prozent Einfamilienhäuser?

**Feist:**

Das ist bei der jetzigen Entwicklung nicht präzise zu beantworten. Der Bereich öffentlicher Wohnungsbau, dazu wird Frau Steinfadt ja morgen noch etwas sagen, kommt gerade erst in Gang. Es ist klar, dass es bis jetzt ein (ohne jemanden auf den Fuß treten zu wollen) eher träger Bereich in Deutschland war. Die ersten, die die Initiative ergriffen haben, waren private Investoren und es waren größtenteils Bauträger, die dann gleich ganze Siedlungen realisiert haben. In der Zwischenzeit gab es aber auch eine Umsetzung bei den freistehenden Einfamilienpassivhäusern, obwohl dies ja nachweislich das schwierigste Konzept für das Passivhaus ist und obwohl wir zurecht über die Frage freistehender Einfamilienhäuser bzgl. Landschaftsschutz und ökologischer Belastung diskutieren.

**Frage:**

Sie haben in Ihren Konzepten auch vorgeschlagen, das Haus mit Biomasse zu beheizen. Ich habe den Pufferspeicher vermisst, auch den Verweis darauf. Für wie wichtig halten Sie den Pufferspeicher, damit die Holzheizung tatsächlich im Passivhaus-Bereich eingesetzt werden kann?

**Feist:**

Ich denke, man muss zwei Dinge unterscheiden: nämlich die reine Raumwärme und die Warmwasserbereitstellung. Für die Warmwasserbereitstellung brauche ich auf jeden Fall einen Speicher, der groß genug ist, um mindestens einen oder vielleicht auch zwei Tagesbedarfswerte bereitzustellen. Für die Raumwärmeerzeugung setzen wir im Passivhaus auf angepasste Wärmeerzeugungseinheiten, die Raumwärme mit möglichst geringem Aufwand von Technik bereitstellen. Wir haben hier Heizlasten in einem Bereich von nur 1 kW bis max. 2 kW pro Wohnung. Da können Sie natürlich regelungstechnisch mit einem Pufferspeicher etwas ausrichten, aber das ist auch eine Preisfrage. Wenn es uns gelingt, die sehr kleinen Leistungswerte direkt von einem Wärmeerzeuger zu liefern, z.B. mit dem Warmluftkachelofen, dann kann dieser auch kurzzeitig einmal 4 oder 5 kW einbringen, denn diese Häuser haben sehr große Zeitkonstanten, d.h. sie können selbst zu einem großen Teil die Pufferwirkung übernehmen. Dadurch können wir auf einfache Konzepte kommen, wobei aber immer eine Offenheit gegenüber den verschiedensten Konzepten besteht. Es wäre sehr interessant, sich weitere Lösungen anzuschauen und diese weiterzuverfolgen.

**Erwiderung des Fragestellers:**

Vielleicht dazu ein kleiner aktueller Hinweis. Es gibt ja auch in Vorarlberg eine Entwicklung, den sogenannten Kleinstkachelofen mit 2 kW Wärmeleistung: davon 50 % in einem Pufferspeicher, 50 % direkt in den Raum. Dieser Ofen ist für den Einfamilienhausbereich bereits auf dem Markt erhältlich.

**Frage**

Sie haben 80 Jahre angesetzt, um den Energiebedarf für die Errichtung und den Betrieb des Gebäudes zu errechnen. Ist dabei ein Austausch der Fenster berücksichtigt, bzw. anders gefragt, mit welchen Lebenszyklen rechnen Sie bei den Wärmeschutzverglasungen mit Gasfüllung?

**Feist:**

Wir haben für den Erneuerungsenergiebedarf bei den Fenstern bisher eine Nutzungsdauer von 30 Jahren angesetzt (inkl. Verglasung). Wenn Sie sich die Praxis der Wärmeschutzverglasungen anschauen, dann kann man heute feststellen, dass das Ausmaß der Gasverluste in den Scheibenzwischenräumen in der Praxis sehr viel niedriger ist, als ursprünglich angenommen. Die Glasindustrie klagt fast darüber, aber dem ist ja gut so, d.h. die Nutzungsdauern der Verglasungen sind hoffentlich noch viel länger, auch wenn wir vorsichtigerweise weiter mit 30 Jahren rechnen. Das ist nicht länger und nicht kürzer als bei einer normalen Isolierverglasung auch.

# Erfahrungsbericht über Planung und Ausführung von 70 Passivhäusern

Rainfried Rudolf

Der folgende Beitrag ist ein Rückblick auf 10 Jahre praktische Erfahrung mit dem Passivhaus. Ich werde versuchen von den ersten größeren Fehlern im Jahr 1987 bis zu den Konzepten, die wir in den nächsten Jahren umsetzen möchten, einen Bogen zu spannen. Über allem steht die Maxime, dass ökologisches Bauen nur dann seinen Namen verdient, wenn es auch ökonomisch sinnvoll ist.

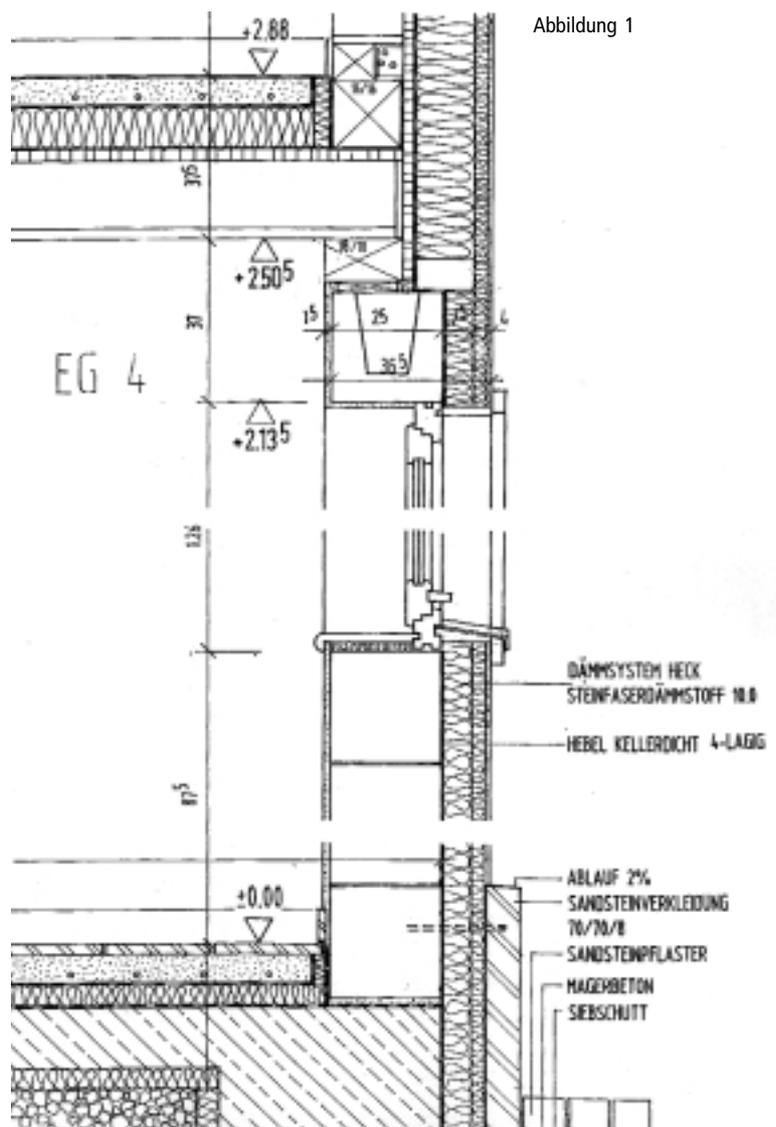
## Die ersten Projekte

Eines unserer ersten Projekte war die Sanierung eines alten denkmalgeschützten Gebäudes, das mit sieben anderen Kellern ein wichtiges kulturelles Erbe ist. Gegenüber dem Landesdenkmalamt konnten wir als Energieeffizienzmaßnahmen allerdings nur Zweischeibenwärmeschutzverglasung anstatt Einscheibenverglasungen durchsetzen.

Das nächste Projekt mitten in der Altstadt Sindelfingens war wieder von der Auseinandersetzung mit dem Landesdenkmalamt bestimmt. Dabei mussten wir unter dem schwebenden Dachstuhl, der zunächst erhalten werden sollte, das Gebäude von unten neu aufbauen. Erst sukzessive brachten wir das Landesdenkmalamt dazu zu überlegen, ob dieser Dachstuhl nicht doch sinnvollerweise abgetragen und dann besser wärmegeschützt werden sollte. Das Gebäude wurde im Zeitraum 1987/88 saniert, als Wolfgang Feist bereits die ersten Deklarationen zum Passivhaus entwickelt hatte. Für uns stand damals noch das Niedrigenergiehaus im Mittelpunkt: Gasbeton mit Wärmedämmverbundsystem im Sockelbereich, darüber eine reine Holzkonstruktion, vorgefertigte Holztafeln im Deckenbereich, eine Balkenkonstruktion mit einer Baufurnierplatte ausgesteift und dasselbe System an der Wand wiederholt. (Abb.1) Die Konstruktion blieb nach innen sichtbar, außen wurde das Wärmedämmverbundsystem aufgebracht.

Wegen seiner großen Luftdichtheit musste man in diesem Haus stetig mit den Fenstern lüften. Der Effekt war, dass die Fenster auch ständig offen blieben, weil den Nutzern ein gezieltes Stoßlüften nicht beizubringen war. Die Erkenntnis daraus war, dass ein so hoher Luftdichtheitsstandard nur in Kombination mit einem anderen haustechnischen Konzept, der kontrollierten Lüftung, denkbar ist. Die erste Annäherung an das Passivhauskonzept und die erste Auseinandersetzung mit technischen Umsetzungsmöglichkeiten der Solarstrahlung begann für uns 1998/99 mit dem Solarkonzept in der Landesgartenschau in Pforzheim. Im Rahmen dieses Projekts kamen wir mit unserem späteren Ingenieurbüro, dem Büro ebök in Tübingen, in Kontakt.

Wir begannen während des Projektes an der Wirtschaftlichkeit der techniklastigen Elemente zur CO<sub>2</sub>-Reduzierung zu zweifeln. Die Instandsetzung der Gebäudehülle zu größerer Wärmedichtheit schien uns zunächst der sinnvollere erste Schritt zur Energieeffizienzsteigerung zu sein.



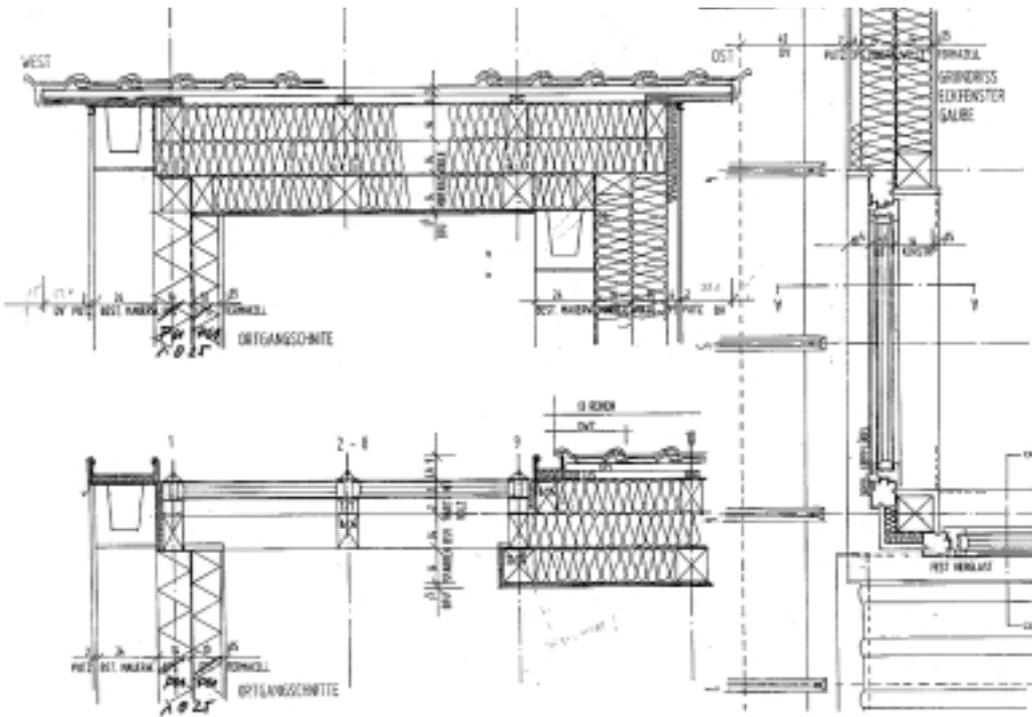


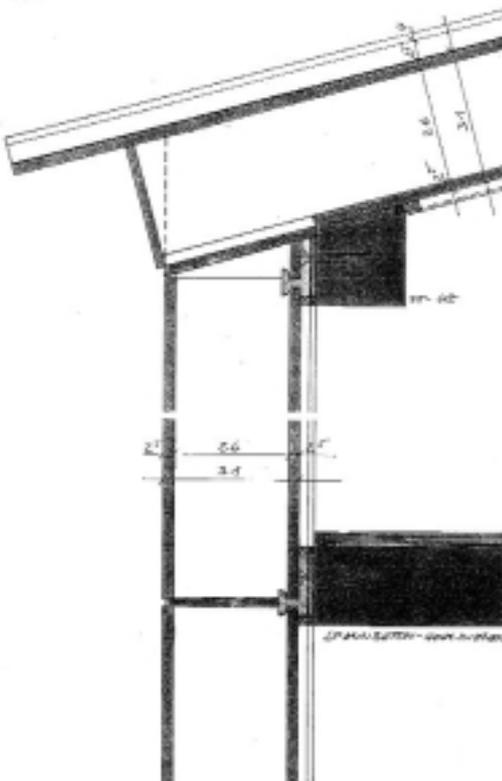
Abbildung 2

jeden Freitagnachmittag jenen Nachhilfeunterricht holen, der es uns ermöglichte, die Geschehnisse dieser Planungen mitzubestimmen.

Es schien uns damals sehr naheliegend, Holzbau und Passivhaus miteinander zu verbinden. Das Haus wurde mit demselben Zimmermann errichtet, mit dem wir seinerzeit schon die Altbausanierung im Niedrigenergiehausstandard durchgeführt hatten. In den Details machte sich nicht Komplexität sondern Kompliziertheit deutlich (ABB.2). Sowohl der Wand- als auch der Dachaufbau bestehen aus 7 Schichten. Das

bedeutete, dass 7 Arbeitsschritte, und damit die siebenfachen Lohnkosten notwendig waren. Mit einer PE-Folie sollte die Dampfdiffusion geregelt und gleichzeitig die Luftdichtheit des Gebäudes hergestellt werden. Am Ende reifte die Erkenntnis, dass das „Folienlegen“ eine Sackgasse mit viel zu vielen Schwachstellen war. Es ist einfach schwierig, Folienlappen dreidimensional luftdicht zu legen und zu verkleben und sie noch dazu über die ganze Bauzeit luftdicht zu halten. Eine Alternative sind luftdichte aber dampfdiffusionsoffene Konstruktionen.

Abbildung 3



### Verbundelemente mit Polyurethan-Hartschaum

Eine Konstruktion, mit der wir uns daraufhin eingehender beschäftigten, weil sie den konstruktiven Aufwand zu vereinfachen schien, war ein Verbundelement, das man durch Verkleben von Polyurethan-Hartschaum mit beliebigen Deckschichten erhält. Der Aufbau dieser Konstruktion ist nicht nur sehr schlank - er hat nur 31 cm im Querschnitt bei einem U-Wert von unter  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  - er ist vor allem durch nur 3 Schichten gekennzeichnet (Abb.3). Das komplette Element lässt sich einfach und schnell fertigen und daraus auf der Baustelle in kurzer Bauzeit ein Haus errichten. Bevor wir uns der Konstruktion näherten, ließen wir umfangreiche Gutachten vom Freiburger Institut für Umweltchemie zum Thema Polyurethan-Hartschaum anfertigen. Polyurethan-Hartschaum hat zwei wesentliche Vorteile: Er ist der härteste Dämmstoff, den wir kennen, und er ist auch der leistungsfähigste. Sein Härtegrad ist in konstruktiver Hinsicht interessant. Wir hatten damals mit Industrieunternehmen einen Arbeitskreis Polyurethan-Hartschaum gegründet und hatten auch schon Prüfungen bei der Materialprüfungsanstalt in Braunschweig durchgeführt. Die hervorragenden Biegezugergebnisse ermöglichten es uns, die gesamte Hausbreite eines 5,5 m brei-

Dies haben wir dann im nächsten Projekt versucht konsequent umzusetzen. Wir bauten zum ersten Mal ein Haus als Selbstversuch, bei dem wir auf ein eigenes Heizverteilungssystem verzichteten. Die Sanierung eines Gebäudes aus dem Baujahr 1937 wurde 1992, ein Jahr nach Darmstadt-Kranichstein, fertiggestellt. Das Projekt war für uns als entwurfsorientierte Architekten etwas absolut Neues. Wir mussten uns sehr viel mit Bauphysik auseinandersetzen. Dank des Kontaktes mit dem Ingenieurbüro ebök konnten wir uns zunächst ein Vierteljahr

ten Reihenhauses ohne Hilfskonstruktion mit dem Produkt zu überspannen. Es lag ein Hilfskonstruktionsfreies Verbundelement vor, das keine Wärmebrücken beinhaltet und homogen war. Dieser Vorzug allein war jedoch nicht ausreichend, da die Kosten von 450,- bis 500,- DM bei überproportional steigenden Materialkosten nicht auf dem Markt unterzubringen waren.

Die Weiterentwicklung erfolgte bei einem Kapellenanbau an ein bestehendes Gemeindezentrum, das in Holztafelbauweise mit einem Generalunternehmer errichtet war, an dessen Produktionsprinzipien wir mehr oder weniger gebunden waren. Die gesamte Kirche kostete inklusive der Sakralelemente nur 500.000,- DM.

Typisch für den Aufbau ist die noch immer vorgefertigte Grundkonstruktion, auf die an Ort und Stelle das Wärmedämmverbundsystem aufgebracht wird (Abb.4). Die Kapelle erhielt außerdem ein hinterlüftetes begrüntes Dach. Bei den geringen Lasten der Kapellenkonstruktion war es möglich, mit einer elastisch gebetteten Bodenplatte zu arbeiten und die Wandkonstruktion an der Kante der Bodenplatte aufzuhängen. Damit konnten wir eine nahezu wärmebrückenfreie Umfassung des gesamten Gebäudes erreichen. Die Luftdichtheit des Gebäudes wird allein durch die Innenfläche, die Gipsfaserplatten, hergestellt.

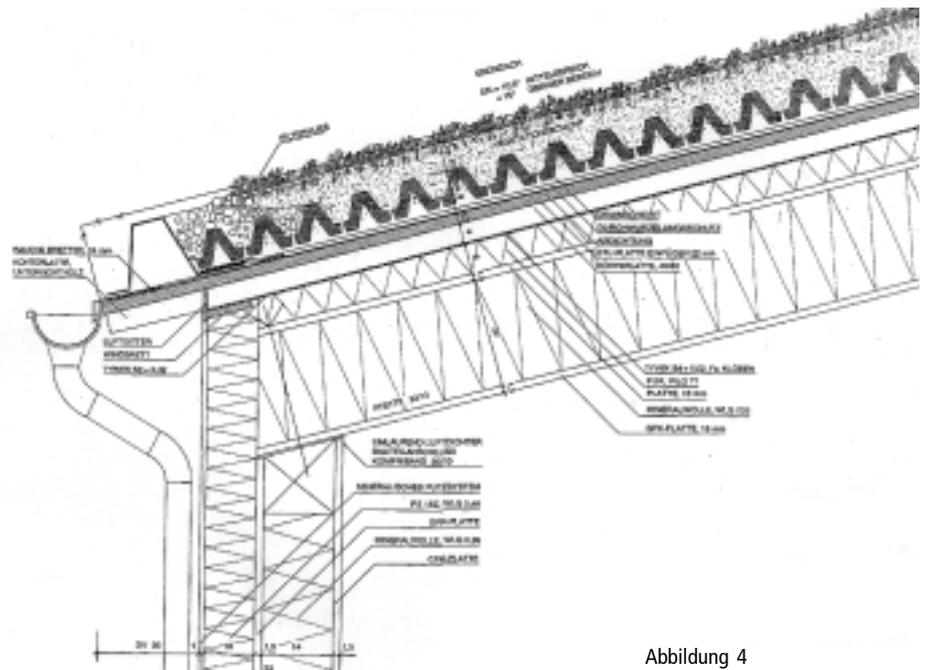


Abbildung 4

Den vorläufig technologischen Abschluss der Holzkonstruktionen für Passivhäuser haben wir mit einem Haus, das 1999 fertiggestellt wurde, erreicht. Die Dachkonstruktion besteht nur mehr aus 5 Schichten inklusive Ziegel und der Wandaufbau nur mehr aus 4 (Abb.5). Auf Wunsch des Bauherren wurde keine Holzverschalung, die direkt ohne Unterbau auf die Außenkante hätte aufgesetzt werden können, ausgeführt sondern Putz auf Putzträgerplatte. Da der Putz die Dampfdiffusionsanforderungen nicht erfüllte, musste die Dampfdichtheit mit einer Sperrpappe erhöht werden. Das Dachelement läuft als ganzes durch und ist auf Brettstapelholzträgern – nicht auf den üblichen Stegträgern – aufgebaut. Die luftdichte Schicht wird wieder mit einer kontinuierlich umlaufenden Gipsfaserplatte hergestellt. Das Dachelement sitzt mit der Kragge auf der Brettstapeldecke auf und diese ihrerseits wieder auf dem Wandrahmen. Das Haus von der Ober-

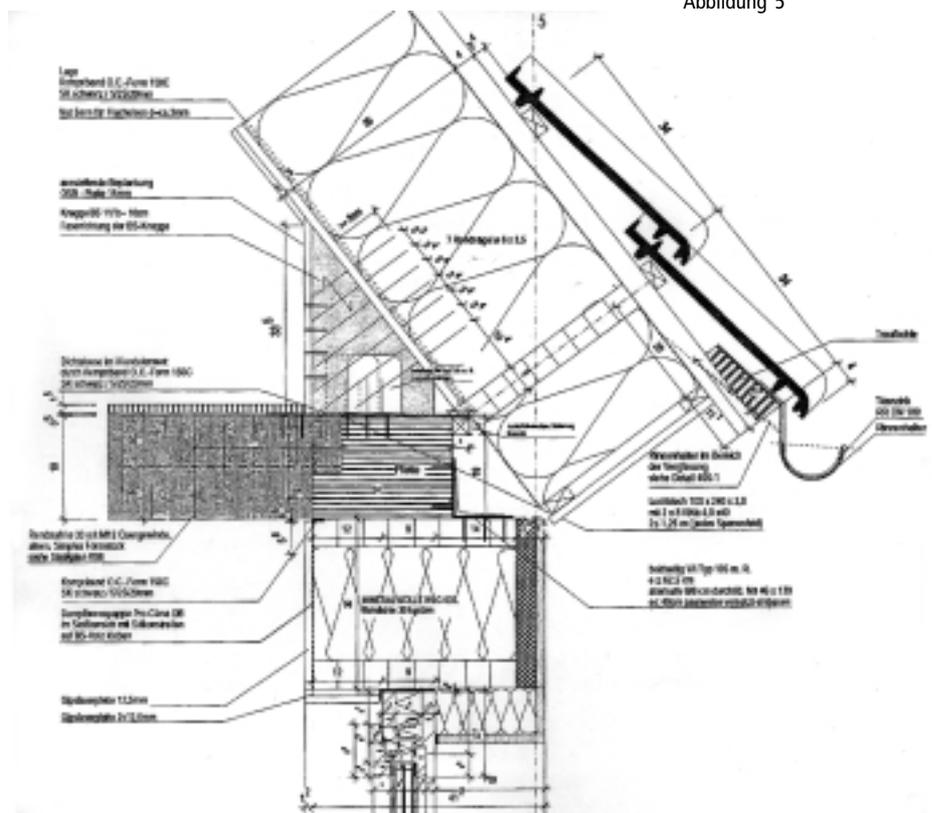


Abbildung 5

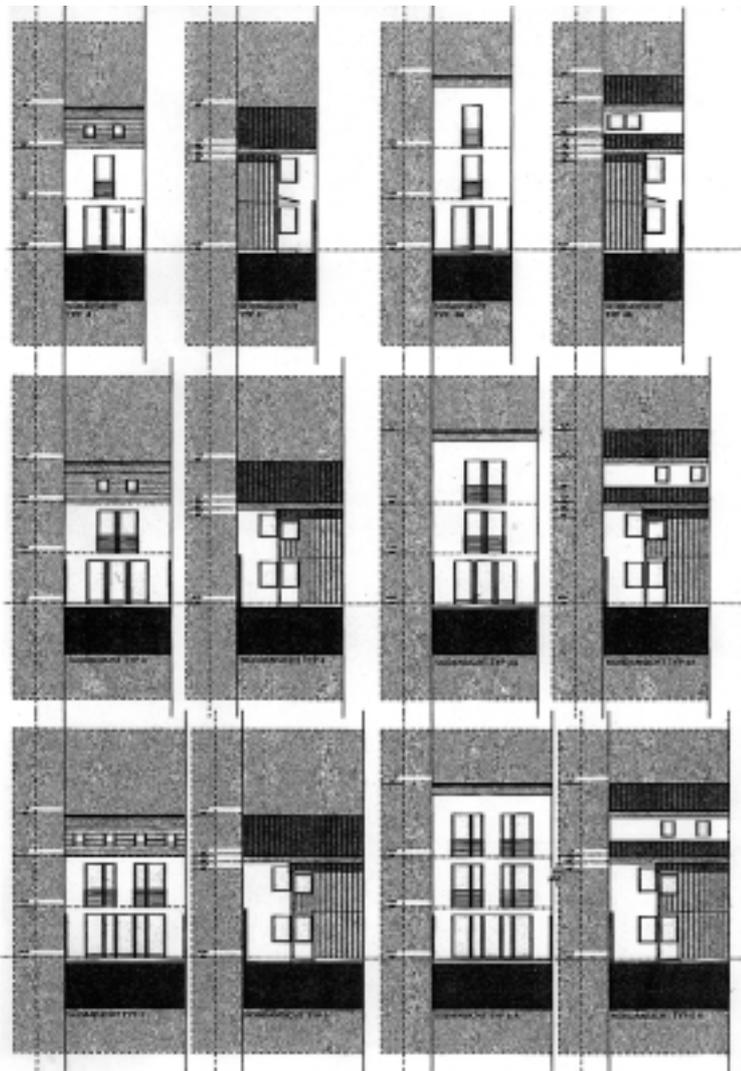
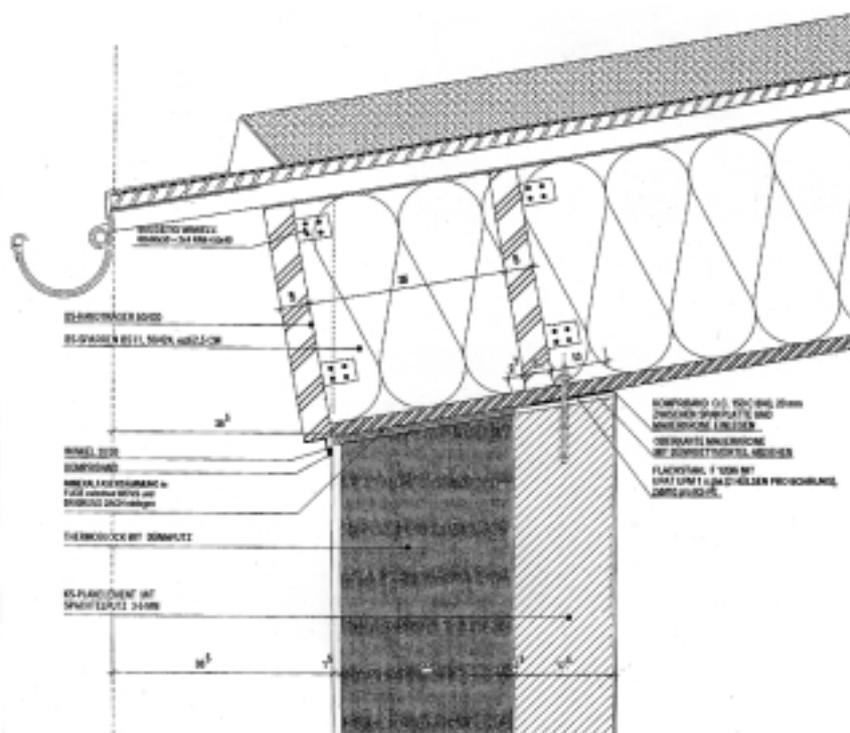


Abbildung 6

Abbildung 7



kante Kellerdecke bis unters Dach war in 10 Stunden fertiggestellt. Passivhäuser kann man also auch innerhalb eines Tages errichten.

### Wirtschaftliche Reihenhäuser

Ökologie ist ein komplexer Begriff. Er schließt den sparsamen Umgang mit der Ressource Grund und Boden ein. Unsere Häuser sind daher grundrisslich sehr tief mit 3 Zonen und schmal entwickelt. Wir haben einen Katalog von unterschiedlichen Hausbreiten und -höhen aufgebaut, die je nach Bedarf zusammengestellt werden können, so dass wir auf unterschiedliche Nachfrage schnell und flexibel reagieren können. Alle Typen sind soweit aufeinander abgestimmt, daß die Querschnitte sowohl in der Größe als auch in der Breite gemischt werden können (Abb.6). Dies hat sich bei größeren Maßnahmen wie z.B. den 52 Passivhäusern in Stuttgart, als sehr hilfreich erwiesen

### Passiv-Reihenhäuser in Viernheim

Die ersten maßgeblichen Reihenhauprojekte waren die beiden Passivhausprojekte in Viernheim, 1998/1999, die auf Einladung der Stadt zustande kamen.

Das erste wurde noch mit Kalksandstein und gleichzeitig versetztem Polystyrol-Wärmedämmverbundsystem errichtet. Der 4-schichtige Aufbau ist mit geringem Stundenlohnanteil und etwa DM 300,- pro m<sup>2</sup> Gesteungskosten verbunden. Wir sind von dieser Praxis allerdings wieder abgewichen, weil die steinweise Vorabstimmung von Mauerwerk und Dämmung unpraktisch ist und im Rohbau nicht die erforderliche Genauigkeit gepflegt wird. Wir verwenden wieder ganz normale mit dem Gipsershandwerk hergestellte Wärmedämmverbundsysteme.

Das Dach ist hier noch aus vollständig vorgefertigten Holzrahmenelementen gearbeitet, die direkt auf dem Kalksandstein, also nicht auf dem üblichen Betongurt, montiert sind. Ein umlaufender Flachstahl, mit dem zugleich die Dachelemente montiert werden, ersetzt den Ringanker (Abb.7). Das verkürzt die Bauzeit, hält Nässe fern und hat den Vorteil, daß die Dichtungsbänder genau in der Hohlkammer dieses Flachstahlprofils liegen, wo sie sich ausdehnen können, ohne bei der Montage funktionswidrig gequetscht zu werden. Auch in Viernheim 1 wurde zunächst noch eine dampfdiffusionsoffene Dachkonstruktion mit einem hinterlüfteten Gründach, gewählt. Das Bodenschlussdetail ist eine elastisch gebettete Platte auf einer Däm-

munterlage aus Schaumglas und XPS.

Die Zusammenfassung mehrerer Funktionen, wie z.B. die Doppelfunktion des o.a. Flachstahls, ist immer sinnvoll, da nicht jeder Funktion ein neues Bauteil dienen muss. So kommen wir von einem 8-schichtigen Wand- oder Dachaufbau zu einem möglichst geringschichtigen, was die ökologische und ökonomische Effizienz verbessert. So konnten wir die 7 Häuser in 5 Monaten, der Hälfte der üblichen Zeit, übergeben.

In Viernheim 2 wurde die Dachkonstruktion wie die Zwischendecken ausgeführt: Spannbetonhohlblechen. Das stellt sich

als, in Verbindung mit Kalksandsteinmauerwerk, im Moment als die kostengünstigste Konstruktion heraus. In Holz wird nur mehr das Randschalungselement auf dem Dach, das die handwerklichen Kompetenzen an der Schnittstelle zwischen Dach und Wand sauber regelt, hergestellt (Abb.8). Es dient ebenso der Fixierung der Polyolefin-Bahn für die Dachbegrünung. In der Mitte des Daches entsteht ein Trog, der nur noch mit Wärmedämmung, in diesem Fall mit Polystyrol, ausgelegt wird. Da die Dampfdiffusion geregelt ist, kann das Gründach direkt auf der Spannbetonhohlbleche aufgesetzt, und als Beitrag der Begrünung zur Wärmedämmung herangezogen werden. Die Wärmedämmung liegt hier anders als in Viernheim I auf der Bodenplatte. Welche Variante letztendlich kostengünstiger ist, ist schwer zu sagen. Die Wahl hing seither immer von äußeren Umständen ab.

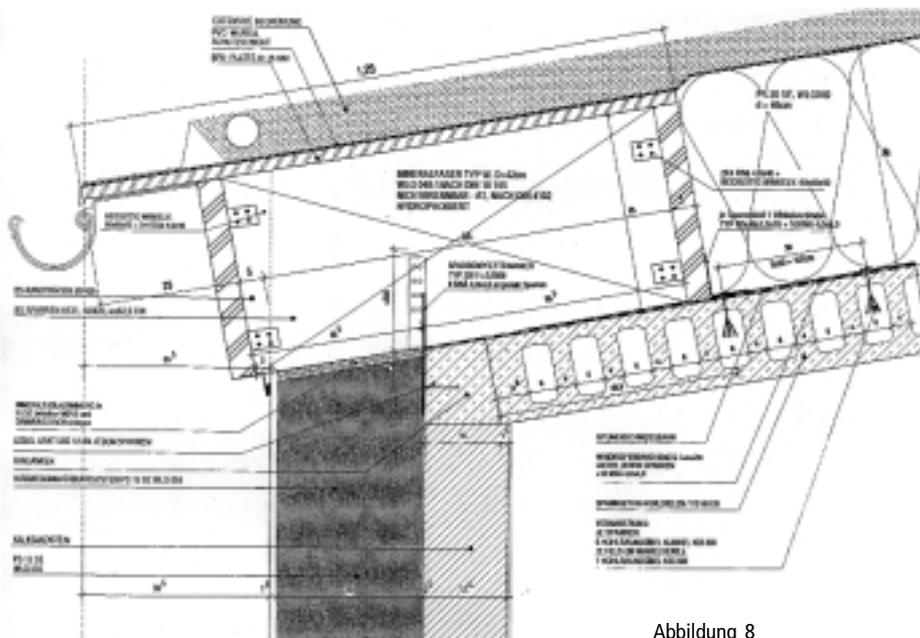


Abbildung 8

## 52 Passivhäuser in Stuttgart

Bei dem Projekt der 52 Passivhäuser in Stuttgart hatten wir uns in einem Bauträgerauswahlverfahren kostenmäßig gegen Niedrigenergiehäuser durchgesetzt. Charakteristisch für dieses Projekt ist die äußerst effiziente Nutzung der Ressource Grund und Boden. Die im Bebauungsplan vorgesehenen 40 Wohneinheiten konnten wir auf 52 erhöhen und damit 12 Familien mehr innerhalb der Stadtgrenzen ansiedeln. Die Verdichtung wurde von einer Hangneigung von etwa 10 % begünstigt, die dennoch Verschattungsfreiheit gewährleistete.

Leider wollte sich der Bauträger nicht für das erprobte Gründach entscheiden, obwohl es bei der Dachneigung von 10 ° sogar kostengünstiger als die letztendlich vorgenommene Hartdeckung gewesen wäre.

Schnittstellen zwischen zwei Gewerken führen leicht zu Problemen, wie in diesem Fall bei jener zwischen Zimmermann und Gipser im undefinierten Anschlussbereich zwischen Dach- und Wanddämmung zu erwarten war (Abb.9). Der Zimmermann hinterließ bei der 45 cm hohen Mineralwollgedämmung mangels geeigneter Richtmöglichkeit unsaubere Anschlußflächen. Beim

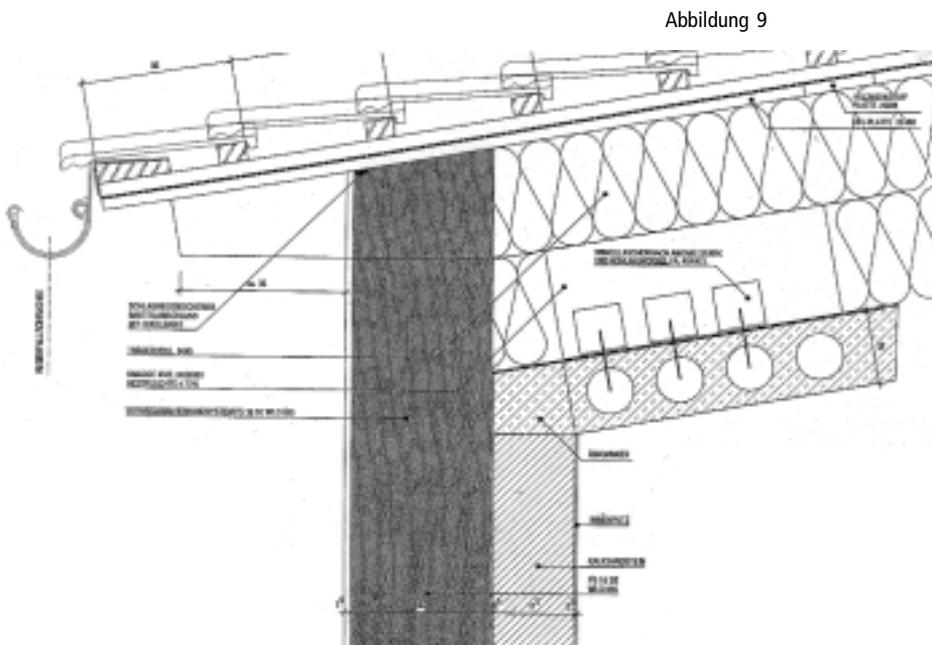


Abbildung 9

Anschluß des Wärmedämmverbundsystems klafften handbreite Zwischenräume, die bis an die Betondecke führten. Diese Problemstelle trat an allen 52 Häusern systematisch auf und legte einen Mangel aus Unkenntnis der passivhauspezifischen Detailplanung durch den Bauträger offen.

Den Fensterrahmen, der inzwischen vom Passivhaus-Institut zertifiziert ist, haben wir selbst mitentwickelt. Es handelt sich dabei um ein Wärmedämmverbundsystem mit Polyurethan-Hartschaum im Kern mit beidseitigen Holzdeckschichten. Die nächste Entwicklungsetappe ist eine dauerhafte Wettersicherung durch Aluminium- oder Polypropylenprofilen auf der Außenseite.

Die Fenster wurden mit Druck, das Mauerwerk überlappend, dagegen montiert. Die Luftabdichtung mit einem Kompriband funktionierte jedoch bei der thermisch idealen Einbauposition des Fensters nicht zufriedenstellend. In Zukunft werden wir die Fenster wieder so einbauen, obwohl verlustreicher, dass die Wärmedämmung flächig bis an die Glaskante übergreift. Damit haben wir das Problem des aufwendigen und letztlich nicht mehr kontrollierbaren Anarbeitens des Wärmedämmverbundsystems an ein vorspringendes Bauteil ausgeschaltet.

### Nur ein Gewerk steht für die baulich relevanten Komponenten des Passivhauses

Am Ende ist nur ein Gewerk in die Erfordernisse des Passivhauses einzuweisen und mit aller Aufmerksamkeit der Bauleitung zu versehen: der Gipser oder Stukkateur. Bei entsprechend vereinfachter Detail-

planung bleibt es für alle anderen Handwerker beim alten. Der Gipser, mancherorts auch der Maler, verlegt seit jeher Wärmedämmverbundsysteme. Beim Innenputz muss er jetzt ein paar Dinge neu berücksichtigen: Er muss bis auf den Boden hinunterputzen, damit die Anschlüsse absolut luftdicht sind, und er muss die Fenster luftdicht einbauen. D.h. er klebt innen um den Fensterrahmen eine Anputzleiste, an die er anarbeitet (Abb.10). Damit werden das Fenster und die Fensterleibung mit dem gleichen Dünnputz wie das ganze Haus luftdicht. Und der Gipser arbeitet nach dem Elektriker und vor dem Installateur.

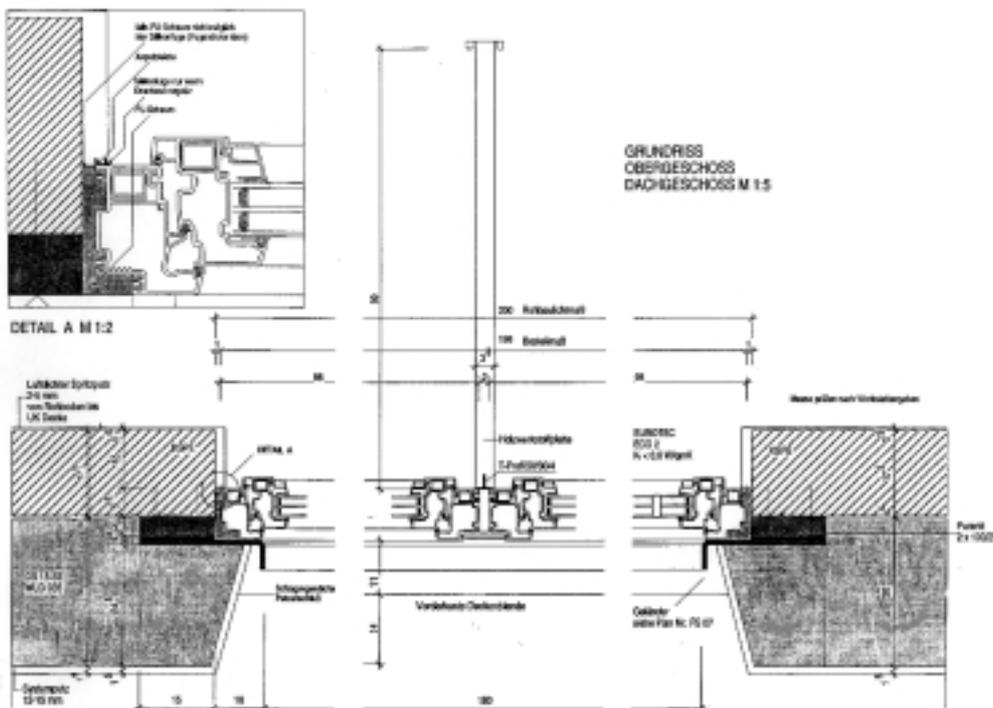


Abbildung 10

### Luftdichtheit

Im Grundriss der Stuttgarter Häuser kam es in der Laibung einer tragenden Innenwand immer wieder zur Infiltration, die wir uns nicht erklären konnten. Die 17,5er Wand, stand in direkter Fugenverbindung mit den Schottenwänden, die trotz dazwischenliegender Mineralwolle mit der Außenluft verbunden war. Bei den Drucktests hatten wir dort Luftgeschwindigkeiten von 0,9 m/s gemessen. Die Lagerfugen (Klebefugen) des Kalksandsteines waren nicht vollflächig ausgefüllt, weshalb es zu Luftkurzschlüssen durch die Außenluftanbindung der Zwischenwand kam. Fazit: Künftig werden auch die Türleibungen der tragenden Innenwände verputzt. Mit dem System, das uns der Gipser garantiert, können wir ohne zusätzliche Maßnahmen n50-Werte von 0,3/h erreichen und unterschreiten damit den Sollwert um die Hälfte. Dies bringt bei der Energiekennzahl etwa 1,5 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr auf der Habenseite. Als Bauleiter muss man dafür lediglich geringfügigen Kontrollaufwand ausüben. Weiter an 0,2 heranzukommen, ist schwierig, denn hier spielt bereits die Luftdichtheit der Fensterprofile die entscheidende Rolle. Dies betrifft allerdings ein anderes Gewerk. Für uns genügt es daher zunächst bei herkömmlich guten Fenstern die Putz-

anschlüsse so sicher herzustellen, dass n50-Werte zwischen 0,2 und 0,3 ohne Mehraufwand erreicht werden können.

### Kosten und Baugemeinschaften

Abschließend ein Blick auf die Kosten. Die beiden Projekte Stuttgart und Viernheim 2 unterschreiten die Kosten der 2.000,- DM - Grenze pro m<sup>2</sup> Wohnfläche, Kostengruppe 300 und 400. Es ist tatsächlich gelungen, in das untere Kostensegment des preiswerten Wohneigentums hineinzukommen, wo wir Passivhäuser gar nicht mehr als solche verkaufen müssen. Dies hat sich gerade anfangs als sehr wichtig herausgestellt: In den Viernheimer Projekten, wo wir noch kaum Belegbeispiele außer unserem eigenen Passivhaus und jenen von Rasch & Partner vorweisen konnten, war es sehr wichtig, mit sehr kostengünstigen Reihenhäusern an den Markt gehen zu können. Dadurch konnten wir das Passivhaus durch die Hintertür des kostengünstigen Reihenhauses platzieren. Dass diese Häuser über keine Heizung mehr verfügten, aber dennoch den gewohnten Komfort übertrafen, war für die Bauherrn selbstverständlich.

Bereinigt man die Kostenunterschiede zwischen den Projekten in Viernheim und Stuttgart um die Ausstattungsunterschiede sind sie kostengleich, trotzdem die kleinere Stückzahl in Viernheim Ursache ist, dass wir in Viernheim mit Baugemeinschaften gearbeitet haben und Bauträgerkosten wegfielen. Statt dessen konnten wir als Architekt bauträgertypische Leistungen ausführen und dadurch unseren Umsatz um 50 % steigern.

In den Baugemeinschaften sehen wir ein geeignetes Mittel, auch als Architekt initiativ zu werden: eine interessante Perspektive vor allem im Zusammenhang mit dem Passivhaus. Nach 1992 haben wir keinen Bauträger finden können, der mit uns das Risiko eines Passivhauses eingegangen wären. D.h. wir mussten selbst überlegen, wie wir zu Ausführungsmöglichkeiten kommen, die es uns als Planer erlaubten, dennoch Passivhäuser zu bauen (Abb.11). Baugemeinschaften sind heute nichts Ungewöhnliches mehr. In einer Veröffentlichung des Wirtschaftsministeriums des Landes Baden-Württemberg wird auf die positive Wirkung der Baugemeinschaften bei der Kostensenkung im Bauen hingewiesen. Die Baukosten in Baugemeinschaften sind transparent, es werden nur die tatsächlichen Kosten der Dienstleistung berechnet. Erlöse, die sonst der Bauträger gewinnt, bleiben im Architekturbüro. Dadurch haben wir als Freischaffende die Möglichkeit uns Baukonzepte für Passivhäuser anzueignen und selbst zu vermarkten.

**Für Sie bares Geld wert:  
"Das Backnanger Modell"**

Bauen nach dem "Backnanger Modell" bedeutet für Sie kostenkontrolliertes Bauen zu Handwerkerfestpreisen in privater Bauhermengenemeinschaft.

**Das Konzept wird von drei Hauptsäulen getragen:**

- 1. Planung**  
Hoher Wohnkomfort und durchdachte Grundrisse sind selbstverständlich. Sie als Bauherr nehmen Einfluß auf Ihre Wohnung durch ein persönliches Planungsgespräch schon bei Bildung der Bauhermengenemeinschaft.
- 2. Baudurchführung und Bausteuerung**  
Die Koordinierung und Projektsteuerung der Baumaßnahme verbleibt bei der GfB. Sie werden als Bauherr vollständig entlastet. Dies bedeutet für Sie Kosten- und Zeiterparnis.
- 3. Kosteneinparung**  
Darunter verstehen wir richtiges Management, kostenkontrolliertes Bauen und das Ausschreibeverfahren von Bauleistungen zu Handwerkerfestpreisen.

**Der deutliche Unterschied, der ein kleines Vermögen ausmacht**

DM 3.790,- / m<sup>2</sup>

Grundstück

Beispiel  
1999/2000

DM 4.506,- / m<sup>2</sup>

Grundstück

Kostensäule für Bauherren nach dem "Backnanger Modell"      Kostensäule für Käufer nach dem Bauträger-Prinzip

**Im Einkauf liegt Ihr Gewinn!**

**Der Unterschied zwischen Bauherr und Käufer**

**Als Bauherr**  
nach dem "Backnanger Modell" bezahlen Sie nur die tatsächlich entstehenden Herstellungskosten. Die Preise der Immobilien richten sich somit nach den tatsächlichen Herstellungskosten des Objektes.

**Als Käufer**  
einer Immobilie bezahlen Sie den Marktpreis. Der Marktpreis richtet sich nach Angebot und Nachfrage und liegt in der Regel bis ca. 20 % höher als der "Bauherrenpreis".

**Bauen nach dem "Backnanger Modell" sichert Ihnen einen Preisvorteil von etwa 20 % gegenüber dem Kauf einer Wohnung.**

Abbildung 11

Dieses Konzept, das Heft des Handelns wieder in die Hand zu nehmen, kann auch für Sie in Österreich interessant sein. Sie werden selten erleben, dass ein Bauherr auf Sie zukommt und sagt: "Jetzt will ich mit Ihnen ein Passivhaus bauen." Sie werden auch selten einen Bauträger davon überzeugen können, jetzt in großer Breite Passivhäuser zu errichten. Nehmen Sie die Chance wahr, setzen Sie sich an die Spitze der Bewegung der Energieeffizienzrevolution und machen Sie wieder rückgängig, was in den vergangenen Jahren an Marktverschiebungen aufgetreten ist.

## Zukünftige Projekte

Wir haben uns an einem Wettbewerb für ein Unternehmen aus der IT-Branche mit einem Passivhaus als Bürogebäude beteiligt. Leider haben wir dafür den Auftrag nicht erhalten. Das Beispiel zeigt aber, dass man mit dem Passivhaus-Standard auch in andere Bereiche vorstoßen kann. Auch in der architektonischen Umsetzung sind die Kriterien des Passivhauses nicht hinderlich, sondern geradezu eine Herausforderung.

In Stuttgart knüpfen wir an die 52 Passivhäuser im Reihenhausebereich mit einem Passivhausprojekt im Geschoßwohnungsbau an. Wir haben hier die Gelegenheit völlig verschattungsfrei und südorientiert drei Zweispänner bauen zu können, die jeweils 6 Geschosse hoch sind und jeweils 36 Wohnungen beinhalten. Die vergleichbare Situation der Gebäude lässt repräsentative Validierungsmessergebnisse zu, die dadurch an Interesse gewinnen, daß sie bei derselben baukonstruktiven Ausstattung 3 unterschiedliche Systeme der Wärmeversorgung haben werden (Abb.12,13).

Die Baukonstruktion wird sich nicht wesentlich von den Reihenhäusern unterscheiden. Eine gute Organisation des Grundrisses und die Konzentration aller technischen Gebäudeausstattungen im Kern ist hier ebenso wichtig wie im Reihenhaus.



Abbildung 12



Abbildung 13

Das Energieversorgungskonzept sieht in der Statusvariante die in dem Baugebiet vorhandene solar gestützte Nahwärmeversorgung vor. In der zweiten Variante wird eine SOFC-Brennstoffzelle mit einer Leistung vom 1000 W elektrisch und 3000 W thermisch für jeweils 6 Wohneinheiten, verbunden mit einem Contracting des örtlichen Energieversorgers, eingesetzt. Und schließlich kommt in der dritten Variante das auf die Bedürfnisse des Geschoßwohnungsbaus hin weiterentwickelte MAICO-AEREX Haushaltstagggregat zum Einsatz.

Wir sehen in dem Projekt einen wichtigen Zwischenschritt zur regenerativen Vollversorgung mit Biogas und solarem Wasserstoff. Laufende Entwicklungen haben die Implantierung der Brennstoffzellentechnologie in das Haushaltskompaktaggregat zum Ziel. Wo andererseits, nicht zuletzt begünstigt durch die Krisen der Landwirtschaft, Entwicklungen vom Landwirt zum Energiewirt sich deutlich in der stark zunehmenden Zahl von Biogasanlagen manifestieren, liegt der Schluss zum Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen im Haushalts- oder Westentaschenformat nicht fern.

Förderlich für dieses Energiekonzept ist das EEG-Gesetz (Erneuerbare Energien-Gesetz) der Bundesregierung, das seit 1. April 2000 in Kraft ist. Dieses fördert auch die Erzeugung und Verstromung von Biogas. Meiner Einschätzung nach können wir die Biogastechnologie in einem Zeitraum von etwa 10 Jahren in die ersten Projekte einbinden. Es gibt Abschätzungen, dass mit den vorhandenen Kapazitäten 5,5 % des bundesweiten Energieaufkommens durch Biogas gedeckt werden können. Bei dieser Berechnung sind allerdings die Standards, die wir mit dem Passivhaus erreichen wollen, noch nicht impliziert. Setzt man hier überall einen Faktor 10 bis 20 auf der Wärme- und Stromseite an, dann ergibt sich eine nicht nur diskutabel, sondern eine fantastische Versorgungsgrößenordnung. In dieses technische Neuland sollten wir unsere Schritte in der Zukunft lenken, nachdem wir den ersten Schritt mit dem baukonstruktiven Konzept des Passivhauses so erfolgreich gegangen sind.

## Diskussion

### Anmerkung Feist:

Meine Anmerkung betrifft das Thema Luftdichtheit: Auch aus unserer Sicht sind n50-Werte von 0,2 und 0,3 erstrebenswert und eine weitergehende Absenkung nicht sinnvoll. Im Bereich der Fenster gibt es über die Benutzungsdauer immer wieder Verstellung.

### Frage:

Wie können Sie ihr Statement „Nur was ökonomisch sinnvoll ist, ist auch ökologisch“ besonders im Zusammenhang zum ökologischen Passivhaus weiterbegründen, innerhalb einer Ökonomie, die – wie wir im ersten Vortrag gehört haben – ja gesellschaftliche Werte widerspiegelt, die alles andere als ökologisch sind?

### Rudolf:

Das Passivhaus ist kein ökologischer Selbstläufer. Es wird erst dann interessant, wenn es mit solchen Kosten umsetzbar und realisierbar ist, mit denen wir Nachfolgeprodukte und Nachfolgetechnologien in Angriff nehmen können, mit der wir die Ökobilanz des Passivhauses auch weiter verbessern können. Aber zunächst geht es darum, überhaupt erst einmal Stimulanz zu schaffen, das Kind aus dem Bade herauszuholen und es in trockene Tücher zu bringen. Das ist die Aufgabe der Stunde! Bei aller Diskussion über ökologische Vor- und Nachteile erreichen wir das nur, wenn wir zunächst einen Aspekt der Ökologie besonders in den Vordergrund stellen: Preiswerte Passivhäuser tatsächlich zu bauen.

### Anmerkung:

Nur der Umkehrschluss stimmt nicht: Dadurch dass etwas ökonomisch ist, wird es noch lange nicht ökologisch sinnvoll. Man könnte jetzt in die Details von Polyurethanwänden oder Verbundbaustoffen aus Holz und Polyurethan gehen, die unter Umständen ökologisch sehr bedenklich sind. Wenn man nicht nur das kommerzielle Ziel im Auge hat, könnte es durchaus sein, dass ein Haus, das mehr Energie verbraucht, eventuell mit Biomasse beheizt wird und nicht so ökologisch problematische Konstruktionen wie die Gezeitgen enthält, und also ökologisch und gesellschaftlich sinnvoller ist.

### Rudolf:

Das verstehe ich ja sehr gut. Ich weiß natürlich, dass das Thema Polyurethan ein Reizthema ist. Es gibt 3 Studien, die auf riesenhafte Vorteile von Polyurethan hinweisen. Sie zeigen, dass viele Bedenken im Zusammenhang mit Polyurethan völlig zu Unrecht bestehen. Aber ich kann Ihnen wirklich versichern, dass es heute schon Polyurethan-Recyclate gibt, die wir im Passivhaus einsetzen. Im Wohnungsbauprojekt in Kassel wurde z.B. Purenit, wie der Firmenname heißt, zur Fußpunktentkoppelung eingesetzt, weil er sehr hohe Lasten aushält. Zum Beispiel können die von uns entwickelten Fensterverbundrahmen als Ganzes ungetrennt verschreddert und zu diesem hochwertigen hochbelastbaren Dämmstoff ausgebaut wer-

den. Auch das Polyurethan-Wandelement besteht auf der Innen- und Außenseite aus Purenit. Diese technologischen Entwicklungen kann man aber nicht anstoßen, wenn man sich allen diesen möglichen Entwicklungen von vornherein entsagt. Kaum ist ein Ziel erreicht, tut sich schon das nächste auf. Meiner Ansicht nach darf man die Sache nicht weltanschaulich zu eng betreiben, sondern muss man auch einmal Dinge in Angriff nehmen, die zunächst wenig wahrscheinlich und wenig ökologisch erscheinen.

**Frage**

Sie haben Ihr Verbundsystem aus Polyurethan nicht genau spezifiziert. Erfüllt das Element aus 2 Schalen und dazwischenliegendem Hartschaum tatsächlich die Funktionen einer Wand? Können Sie damit den Schallschutz erfüllen?

**Rudolf:**

Diese Außenwand erfüllt auch einfache Anforderungen an den Schallschutz. Mit stärkeren Anforderungen an den Schallschutz haben wir uns hiermit noch nicht auseinandergesetzt. Aber auch dafür gab es bereits Ansätze.

**Frage:**

Was sind Ihrer Einschätzung nach die Gründe dafür, warum sich das Passivhaus im Bürobau, in der Büroimmobilie, langsam durchzusetzen beginnt oder warum es sich noch nicht durchsetzt?

**Rudolf:**

Warum es sich noch nicht durchsetzt? – Nein, es beginnt sich langsam durchzusetzen. Es gibt bereits Passivhaus-Fabrikationsanlagen und ich weiß allein von zwei größeren Bürokomplexen, die gebaut werden. Wir haben zunächst im Geschoss-Wohnungsbau angesetzt und gehen erst jetzt daran, die Erfahrungen auf andere Bauaufgaben zu übertragen. Mit dem Geschoss-Wohnungsbau im Passivhausstandard sammeln wir die Grundlagenerfahrungen für die Bestandssanierung der Siedlungen der 50er, 60er und 70er Jahre. Diese Aufgabe ist noch größer als der Neubau von Bürogebäuden. Es ist natürlich verlockend für den Bürobau spezifische Konzepte zu entwickeln, aber unsere Vorstellung ist, über den Geschoss-Wohnungsbau in die großen Aufgaben der Bestandssanierung hineinzugehen.

# Gesamtsystem Passivhaus: Massiv in Stein oder leicht aus Holz

Gerrit Horn

Mein Thema ist „Massivbau und Leichtbau aus Holz in Bezug auf das Passivhaus“. In Österreich gibt es genug sehr gute Beispiele für beide Bauweisen. Deswegen freut es mich umso mehr, dass ich hier aus meiner Praxis erzählen darf, wobei der Schwerpunkt bei den Durchführungsdetails liegt.

Die kleine Zimmerei, die ich gegründet habe, dient dazu, den Zimmereien vor Ort zu zeigen, wie's geht. Denn bei unseren Ausschreibungen hatten wir Schwierigkeiten qualifizierte Handwerksfirmen zu finden, sodass wir nun Projekte, wo der Bauherr passt, selbst durchführen. Wenn wir bei den vorbereitenden Gesprächen mit dem Auftraggeber gut zusammenarbeiten, dann mache auch ich gerne ein Angebot – erstaunlicherweise bin ich immer der billigste, wohl weil ich das Projekt am besten kenne. Obwohl ich Zimmermeister bin, hören sie von mir jetzt nicht nur Lobeshymnen auf das Holzhaus. Der Massivbau und der Holzbau haben beide ihre spezifischen Vor- und Nachteile wie alle Baustoffe auch. Ob ich jetzt PUR-Dämmstoffe oder Zellulose einsetze, ist zunächst belanglos. Wichtig ist es, den Bauherrn so zu beraten, dass es zu einem optimalen Ergebnis kommt. Obwohl mein Vortrag etwas holzbaulastiger sein wird, bevorzuge ich den Holzbau nicht absolut.

Hauptsächlich spreche ich von der Gebäudehülle. Die Technik ist nicht mein Thema. Welche Anforderungen stellen wir an eine solche hochwärmegedämmte Gebäudehülle, wie sie das Passivhaus braucht? Zum einen müssen die Transmissionswärmeverluste reduziert werden, das wirkt sich in hohen Dämmstoffstärken aus, in Abhängigkeit natürlich von den Wärmeleitfähigkeiten des gewählten Dämmstoffes. Zum anderen muss eine absolute Wärmebrückenfreiheit der Gebäudehülle erreicht werden. Die Infiltrationswärmeverluste müssen reduziert werden, also eine luftdichte Gebäudehülle muss hergestellt werden. Bei der Konstruktionsentwicklung muss natürlich das Diffusionsverhalten beachtet werden.

Im Passivhaus verbessern sich die U-Werte rund um das Gebäude; es muss nicht zwischen Bodenplatte und Dach unterschieden werden, sondern wir haben einen U-Wert von 0,15 oder 0,12 als Anhaltswert, die projektspezifisch genau errechnet werden.

Besonders wichtig ist die Reduktion der Wärmebrücken. An erster Stelle steht die Vermeidungsregel: Die dämmende Hülle sollte nicht durchbrochen werden. Dann die Durchstoßungsregel: Falls die Dämmung denn doch unterbrochen wird, dann mit möglichst hohem Wärmedurchgangswiderstand. Die Dämmlagen an allen Bauteilanschlüssen müssen lückenlos ineinander übergeführt werden und nicht zuletzt muss man die Geometrie des Gebäudes berücksichtigen. Ausführungen dazu hat auch Wolfgang Feist schon gemacht. Die Geometrieregeln, dass spitze Winkel nicht in Frage kommen, ist nicht ganz so wichtig. Es gibt also genug Spielräume in der Architektur.

Während wir den U-Wert, der den Wärmedurchgang pro m<sup>2</sup>-Fläche bezeichnet, kennen, so sind die Y-Werte, die die Wärmebrücke beschreiben weniger bekannt. Die Y-Werte bezeichnen den Verlust durch Wärmebrücken, zusätzlich zu dem Verlust über die ganzen Bauteile, abhängig von den laufenden Metern Länge eines Hauses.

Negativ ist dieser Y-Wert, der bei der Wärmebrückenberechnung errechnet wird, wenn das Gebäude eine wärmebrückenfreie Konstruktion darstellt. Ein positiver Wert stellt eine Wärmebrücke dar. Diesen Wert sollte man mit in der Bilanz betrachten, um nicht nachher bei der Auslegung der Haustechnik oder bei Behaglichkeitskriterien, im Passivhaus Probleme zu bekommen.

## Der Vergleich vom Holz- und Massivbau

Wir haben im Rahmen eines Forschungsprojektes in Kaiserslautern, in Rheinland-Pfalz im westlichen Teil der Bundesrepublik, ein Projekt geplant, und zwar zwei Reihenhauserzeilen à 3 Häuser, die im Holzbau und Massivbau komplett durchkonstruiert und ausgeschrieben wurden. Der erste Bauabschnitt in Holzbaubauweise ist seit letztem Jahr realisiert und bewohnt, ich wohne selbst drin. Der zweite Bauabschnitt sollte in Massivbauweise errichtet werden, doch fanden sich keine Käufer, trotz der Prognosen, wir würden die Holzhäuser schwerer verkaufen. Und jetzt wird der 2. Bauabschnitt, weil wir keinen Massivbaukunden fanden, auch als Holzbau errichtet.

Bei diesem Projekt haben wir die verschiedenen Passivhaus-tauglichen Konstruktionen in Bezug auf Luftdichtigkeit, Wärmebrückenfreiheit und vor allem die praktische Umsetzbarkeit auf der Baustelle intensiv untersucht. Wir haben beide Konstruktionsarten ausgeschrieben und dadurch sehr gut überprüfbare Preisvergleiche.

Im Wesentlichen unterscheiden sich ja die Wandaufbauten zwischen Massiv- und Leichtbau durch den Aufbau der Schichten.

Im Massivbau haben wir eine tragende Konstruktion und darauf als extra Schicht einen Dämmstoff aufgebracht. Im Holzbau lassen sich zwar ähnliche Sachen machen, aber in der Regel liegen die tragende und die dämmende Ebene in einer Schicht und die Funktionen werden damit zusammengeführt.

Dazu haben wir im Massivbau die Möglichkeit mit einem Wärmedämmverbundsystem aussenseitig zu dämmen. Je nach System gibt es die Möglichkeit dies einlagig oder zweilagig zu machen. Die einlagige Lösung ist deutlich kostengünstiger, weil der Dämmstoffpreis natürlich der gleiche ist, aber nur halb so viel Arbeitszeit als bei der zweilagigen Ausführung nötig ist. Aber Fugen, die z.B. durch ungenaue Schnitte entstehen, würden Wärmebrücken hervorrufen.

Wir kriegen ja Dämmstoffstärken von um die 40 cm und die sind nicht so leicht in Griff zu kriegen, wie die 6 cm, die zur Zeit am Bau noch üblich sind.

Beispielhaft führe ich nun einige Konstruktionen auf. Grundkonstruktion Kalksandstein mit 15 mm Innenputz in Gips, dann das KSV-Quattrossystem, 33 cm Polystyrol und Außenputz ergibt einen U-Wert von  $0,12\text{W/m}^2\text{K}$  und eine Wandstärke von 50,5cm. Würden wir eine Konstruktion mit einem 240er Leichtlochziegel, der bei uns häufiger verwendet wird, wählen oder gar einen 300er oder einen 36er Ziegel, dann brauche ich trotzdem noch einiges an Polystyrol, weil der Stein selbst ist ja kein Dämmstoff und die Wandstärke erhöht sich umso mehr. Es hängt natürlich auch nochmal sehr stark davon ab welchen Rechenwert man für  $\lambda$  hat. Bloß, ich persönlich bin der Meinung, so schön die Ziegelindustrie auch bastelt und noch höher porosiert, ein Ziegel ist kein Dämmstoff, ein Ziegel ist ein Ziegel und soll etwas tragen, und wenn ich einen allzu hoch porosierten Ziegel nehme, dann kann der Bauherr nachher gar nichts mehr darauf aufhängen, weil die Wand, wenn man daran nur ein bisschen anstößt, in sich zusammenfällt. Das ist jetzt etwas überspitzt gesagt, aber deswegen finde ich sollte die Funktionstrennung zwischen tragendem Stein und dämmender Hülle ganz klar sein, denn ohne Dämmung erreiche ich den Passivhaus-Standard mit Ziegeln nicht. Da kann noch so hoch porosiert werden, wenn man die Wand nicht sehr sehr dick macht.

Ein Porenbeton mit 17,5 cm Stärke, erhältlich als wandhohe Elemente, wurde untersucht. Da bräuchten wir nur noch 28 cm Dämmung außen drauf, was eine Gesamtstärke von 48 cm ergibt. Das gleiche Ergebnis haben wir, wenn wir einen Betonfertigteile in dieser Form ausführen. In der Fläche entscheidend sind eher die Anschlüsse oder Stürze o.ä.. Wir haben ja auch vorher bei dem Vortrag von Hrn. Rudolf gesehen, wie man gerade im Bereich des Ringankers auch mal neue Wege gehen kann. Ich stelle fest, dass in den Kostenvergleich nicht nur Kosten pro  $\text{m}^2$ -Bauteil rechnen darf, denn wenn ich nur den Baustoff in der Fläche rechne, habe ich natürlich ganz andere Kosten, als wenn ich alle Zusatzanschlüsse (Fenster, Deckenaufleger und die ganzen Bereiche Ringanker usw.) berücksichtige. Die Gesamtkosten muss ich auf die Fläche umlegen, damit die Kosten auch im Massivbau wirklich miteinander verglichen werden können. Z.B. sind ja Betonfertigteile pro  $\text{m}^2$  viel teurer, aber in der Verlegung viel einfacher und eröffnen einige Einsparungsmöglichkeiten, wie etwa dadurch, dass man den Innenputz weglässt..

Ein anderes System, das im Bereich Passivhaus viel veröffentlicht wurde ist der bekannte Polystyrolschalungsstein. Diese System ist eine kostengünstige Variante hauptsächlich für Selbstbauer.

Ganz wichtig ist, dass beim unteren Gebäudeabschluss eine thermische Trennung zwischen beheizten und nicht beheizten Zonen erreicht wird. Unbedingt müssen Wärmebrücken vermieden werden. Im Warmbereich darf kein offener Kellerabgang in den kalten Bereich sein.

Wenn wir jetzt z.B. eine Dämmung auf der Kellerdecke haben, dann muss auch eine thermische Trennung im aufgehenden massiven Bauteil sein. Dämmen wir unter der Kellerdecke, ist die thermische Trennung dementsprechend unter der Kellerdecke anzusetzen.

Eine Möglichkeit ist bei einer Bimssteinwand, im Fußpunkt, einen Bimsstein mit einer geringeren Wärmeleitfähigkeit einzusetzen. Die Wärmebrückenuntersuchung ist für diese Bimsbetonsteine ausgeführt

worden. Haben wir nur eine durchgehende homogene Wand mit  $\lambda = 0,45 \text{ W/mK}$  dann ergibt sich hier ein  $\Psi$ -Wert von  $0,174 \text{ W/mK}$  (bei einer Dämmung oben von  $30 \text{ cm}$ ): Das ist natürlich ein sehr hoher Wert. Habe ich einen Bimsbetonstein mit einem leichten Stein, der nur  $0,18 \text{ W/mK}$  Wärmeleitfähigkeit hat, dann reduziert sich dieser Wert auf wesentlich bessere  $0,067 \text{ W/mK}$ . Als Alternative haben wir mit einer Puren-Dämmbrücke gerechnet, d.h. also ein Purenit mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,07 \text{ W/mK}$ , dann reduziert sich diese Wärmebrücke an dieser Stelle schon auf  $0,019 \text{ W/mK}$ . Natürlich sind diese Werte im Positiven, also Wärmebrücken, aber man kommt jetzt schon langsam an eine wärmebrückenfreie Konstruktion heran. Sie müssen alle Werte mitbilanzieren. Wenn ich hier einen schlechteren Wert in der Bilanz habe, dann muss ich zum Ausgleich die anderen Bauteile vielleicht etwas besser dämmen.

Wir können also eine thermische Trennung unter der Wand z.B. mit einem Porenbetonstein machen, mit einer Puren-Dämmbrücke, also aus Purenit, oder – oft eingesetzt – mit einem sogenannten Foamglas, Foamglas-Perensul, das extra für diesen unteren Bereich gemacht wurde oder mit dem sogenannten Schöck-Isomur.

Die Wärmeleitfähigkeit von Porenbeton beträgt  $0,09 \text{ W/mK}$  bis  $0,21 \text{ W/mK}$ . Das sind jetzt Tabellenwerte; natürlich gibt es auch einzelne Hersteller, die andere Werte haben, wie für die Puren-Dämmbrücke  $0,075 \text{ W/mK}$  oder Foamglas-Perenson  $0,055 \text{ W/mK}$ . Ich weiß, dass es für Puren bessere Werte gibt, aber das ist der Wert, den ich aus den Unterlagen für jedermann herausgekriegt habe.

Die Angaben zu den Dauerdruckfestigkeiten gehen bei Puren bis  $1,6 \text{ N/mm}^2$ . In den allgemeinen Unterlagen wird jedoch nur der Wert  $0,7 \text{ N/mm}^2$  erwähnt, also ein auch nicht wesentlich besserer Wert als bei Porenbetonstein. Mit Foamglas ist er wesentlich schlechter.

Ganz entscheidend wird es, wenn ich jetzt den Preis vergleiche. Den Porenbetonstein kriege ich für  $\text{DM } 250,-$  bis  $350,-$  pro  $\text{m}^2$  während die Purendämmbrücke und die anderen Sachen fast das 10-fache kosten. Und da muss man sich einfach einmal überlegen, welchen Weg man geht. Natürlich ist dann die nächste Frage, wenn ich schon Porenbeton im Fußpunkt nehme, warum ich ihn dann nicht fürs ganze Haus nehme. Der Vergleich hier: der Kalksandstein ist etwas günstiger als der Porenbeton und hat eine wesentlich höhere Druckfestigkeit als die ganzen anderen Stoffe.

Nun zu den möglichen Lasten, die am Fußpunkt auftreten können. Angenommen ich habe eine zweigeschossiges Haus. Wir haben die Eigenlast der Wand aus den 2 Geschossen, wir haben Lasten aus Decken, Dach und übliche Lasten. Bei den Summen einer starken Wand, die sehr schwer ist, kommen unten  $1,5 \text{ N/mm}^2$  raus. Arbeite ich mit einer dünneren Wand, ist das wesentlich weniger. Daraus sieht man, dass da gar nicht mehr so viel übrig bleibt: z.B. ist man beim Foamglas mit  $0,48 \text{ N/mm}^2$  schnell an der Grenze.

In einem Passivhaus in Wohlfurt, ausgeführt von Architekt Zweier, wurde eine andere Möglichkeit der thermischen Trennung durchgeführt. Bei einer Ortbetonwand wurde in die Schalungen unten ein Dämmstoff eingelegt und den Beton hat man punktuell auf die Bodenplatte durchgehen lassen. Diese punktuellen Wärmebrücken muss man natürlich auch in der Bilanz berücksichtigen.

Das Dach kann man auch im Massivbau ausführen, wie in üblichen Dachstühlen, nur mit höherer Dämmung, die als Zwischensparrendämmungen, Aufsparrendämmung oder Kombinationen daraus eingesetzt werden können. Eine andere Möglichkeit ist ein Massivdach aussenseitig zu dämmen, eine – wie ich denke – auch sehr sinnvolle Alternative. Die Doppel-T-Träger, von welcher Firma auch immer, werden sich wohl mehr und mehr durchsetzen, wobei sich die Zimmerer daran gewöhnen müssen mit diesen Produkten zu arbeiten. Da herrschen auch noch sehr viele Vorurteile.

Man muss bei der Planung natürlich darauf achten, dass die Konstruktion luftdicht ausgeführt werden kann. Die Aussenwand durchstoßende Sparren bei sichtbaren Dachstühlen zu machen, das ist beim Passivhaus nicht möglich. Für die beliebten sichtbaren Dachbalkenkonstruktionen muss man sich andere Lösungen einfallen lassen. Ein Bauteil darf nicht durch die Wand gehen und wenn es auch noch so behaglich aussieht.

Die Holztafelbauweise, also keine Vorortproduktion, setzt sich im Holzbau mehr und mehr durch. Ich selbst bin ein absoluter Fan der Vorfertigung.

Das Objekt, das wir eben gerade machen, fertigen wir aber diesmal, weil ich nebenan wohne, zur Gänze auf der Baustelle. Wir haben die Wandelemente jetzt in den letzten 4 Wochen auf der Baustelle gebastelt und richten sie im Moment mit dem Kran auf. Das möchte ich niemandem anraten. Wir machen's trotzdem, um zu sehen, wie groß die Kosteneinsparungseffekte sind. Aber normalerweise arbeiten wir

mit Elementen, die sehr genau vorgeplant sind und die soweit wie möglich vorgefertigt sind. Wandbeplankungen, Dämmungen, Fenster, Türen und Sanitär- und Elektroinstallation sind normalerweise schon eingebaut und wenn möglich ist auch schon die Außenhaut weitgehend drauf.

Solch ein Einfamilienhaus oder eine Bürohauseinheit kann in ein, zwei Tagen fertig sein. Und dadurch ist man unabhängig von der Witterung.

Für ein anderes Projekt haben wir die Elemente komplett mit Dämmung gefüllt. Weil wir für Schrauben keine Montageöffnungen haben wollten, haben wir auf einen sogenannten Prefix-Schwalbenschwanz-Eckverbinder, das ist ein gefrästes Teil, zurückgegriffen. Diese Elemente passen hochgenau ineinander, werden nur ineinander eingehakt und dann kommt schon das nächste Element. So zumindest hatte ich es mir vorgestellt. In der Praxis hat es etwas geklemmt und man brauchte länger, als wenn man geschraubt hätte, bis meine Frau, die nur zum Fotografieren da war, auf die Idee kam, die Teile mit Melkfett aus Landhandel einzuschmieren. Dann ging's wesentlich schneller.

Besonderes wichtig ist es, bei der Ausführung mit Elementen bereits in der Projektierung die Haustechnik miteinzuplanen. So kann z. B. der Solarspeicher mit dem Kran an die richtige Stelle gehoben werden. Ebenso können die Innenausbaumaterialien, wenn sie bereitstehen, in die Räume, wo sie gebraucht

werden, gehoben werden, sodass die Handwerker sich nicht mühsam treppauf – treppab mit solchen Materialien bemühen müssen. Es ist leichter ein paar Gipsplatten, die zuviel sind, runterzutragen als die, die fehlen, hochzutragen.

Wir haben für unser Forschungsprojekt in Erfenbach, einen Holzbau, verschiedene Passivhaus-taugliche Holzkonstruktionen sehr intensiv untersucht und auch Wärmebrückenberechnungen gemacht.

Wir haben 10 verschiedene Konstruktionen verglichen. Diese sind in Abb. 1 dargestellt. Wir haben Vollholzstiele in verschiedenen Rastern angewendet, damit wir die Auswirkungen beurteilen können. So haben wir die 2,5 m-Plattenbreite statt durch 4 Raster durch 3 Raster geteilt, dann kriegen wir 83,3 cm. Oder wenn wir einen Holzstegträger statt dieser Träger einsetzen und verschiedene Gurtstärken, dann haben wir bei einer Konstruktion, die der

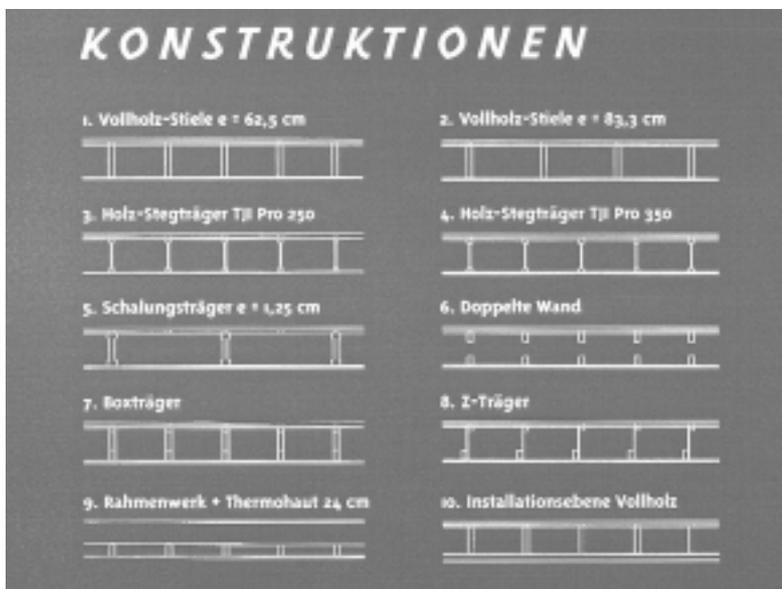


Abb. 1: Passivhaus-taugliche Holzkonstruktionen im Vergleich

Arch. Naumann aus Leipzig anwendet – einen Schalungsträger im Raster von 1,25 m haben wir mit in den Vergleich gezogen – oder dass wir diese Dämmstärke, die wir mit 35 cm haben, mit einer doppelten Wand, also doppelte Stiele, oder die Stiele zusammensetzen, das wäre jetzt ein Boxträger, der von einem Zimmermeister selbst gefertigt werden kann, raumseitig ein etwas dickerer Querschnitt, 6 auf 10, aussen 4 auf 6er Latte verbunden mit 2 Hartfaserplatten, 4 mm dazwischen ausgedämmt, um also hier eine thermische Trennung hinzukriegen, oder ein sogenannter Z-Träger, auch hier wieder innen der tragende Stiel verbunden mit entweder Abstandshölzern oder auch einer Platte und aussen ein dünneres Holz, welches nur die Fassade zu tragen hat und letztlich zum Vergleich ein Rahmenwerk wie es die Fertighausindustrie oder der übliche Holzrahmenbau hat von 12 cm Stärke und darauf eine Thermohaut mit 24 cm. Letztlich haben wir die erste Konstruktion, die aber etwas dünner ist und eine Installationsebene aussen drauf hat.

Als Ergebnis dieser Untersuchung: Alle Konstruktionen sind Passivhaus-tauglich. Zu hinterfragen ist bei der Konstruktion mit einem Holz 6 cm breit, 36 cm tief als Träger in der Wand das Material. Das kann ich aus Vollholz nur mit Brettschichtholz machen zu einem m<sup>2</sup>-Preis, der horrend ist. Ein normales Vollholz 6 cm auf 36 cm, wenn es geschnitten wird, also als Bowle, macht Bewegung in alle Richtungen: Da kann ich keine wunderschöne passgenaue Kiste zusammenbasteln. Die anderen Konstruktionen sind vom Wärmebrückeneffekt natürlich auch besser als diese Vollholzkonstruktion, aber das kann man berücksichtigen. Einige Firmen in Vorarlberg führen diese Konstruktion mit Brettschichtholz so oder so ähnlich aus. Wenn man also die einzelnen Bauteilschichten addiert, ist eindeutig dieser Doppel-T-Träger aus Holz kostenmäßig am günstigsten gewesen, wobei ich mit Kostenaussagen immer vorsichtig bin. Wichtig war darzustellen

welche Möglichkeiten sind Passivhaus-tauglich und grundsätzlich relativ einfach durchzuführen.

Wir haben bei diesem Projekt verschiedene Dämmstoffe untersucht. Bei Deckenelementen dient die Dämmung nur als Schallschutz. Wir haben in einem Haus komplett Mineralwolle eingebaut, bei einem anderen Zellulosedämmplatten der Fa. Homatherm und bei einem dritten Haus Steinwolle von Grünzweig & Hartmann. Ich nenne die Produktnamen, weil diese Firmen finanziell zu dem Projekt beigetragen haben. Ebenfalls untersucht wurde die Einblas-Zellulosewolle Dobri. Hier wurde – bezahlt von den Dämmstoffherstellern – die Arbeitszeit erfasst, damit der tatsächliche Mehraufwand für dick gedämmte Konstruktionen festgestellt werden kann.

Weiters haben wir bei den Häusern verschiedene Luftdichtigkeitskonzepte erstellt, d.h. ein Haus wurde komplett mit verklebter Folie abgedichtet, bei den anderen beiden Häuser bestand die luftdichte Schicht aus Plattenwerkstoffen, Spanplatte und OSB-Platte.

Trotz unterschiedlicher Porosität der Oberflächen erzielten die beiden Werkstoffe die gleichen Luftdichtigkeitswerte.

Auch das Haus mit der Folie erreichte etwa den gleichen Wert. Das Besondere war, dass auch der Aufwand in etwa vergleichbar war.

Bei diesen hohen Dämmstoffstärken hat sich sehr deutlich gezeigt, dass die Einblaszellulose und die Mineralwolle fertig verarbeitet ungefähr kostengleich sind. Während die Einblaszellulose pro m<sup>3</sup> im Einkauf preislich über der Mineralwolle liegt, muss ich bei einer 36 cm dicken Mineralwollendämmung in zwei oder drei Lagen arbeiten, während ich bei Verarbeitung der Einblaszellulose eine enorme Zeiterparnis habe. Der Einblasvorgang muss natürlich sehr genau in den Arbeitsablauf eingeplant werden, insbesondere dann, wenn die vorfertigende Zimmerei nicht über Einblasmöglichkeiten verfügt und Fremdfirmen beauftragt werden müssen. In solchen Fällen kann es passieren, dass Kran- und Hubzeiten entstehen, weil die vorgefertigten Elemente nochmals zum Einblasen hervorgeholt werden müssen.

Sehr oft taucht die Frage nach der Setzungssicherheit der Zellulose bei solch dicken Dämmstärken auf. Die Setzungssicherheit bei Zellulose ist gegeben. Das ist natürlich mit dem Hersteller, von denen es ja schon einige gibt, unbedingt abzusprechen. Bei unserem Produkt Dobri mussten es 60 kg/m<sup>3</sup> sein. Wenn zertifizierte Betriebe die Ausführung übernehmen, sind die Ergebnisse sehr gut, dann quillt einem diese Wolle nach 200 km Straßentransport entgegen, wenn man auf der Baustelle Elemente öffnet. Daher habe ich keine Bedenken mehr, dass diese Wolle sich im Laufe der Nutzung irgendwann mal setzt. Das ist ja zum einen vom Hersteller auch entsprechend geprobt, und zum anderen wird das Haus diese Belastung nicht mehr haben.

Wir arbeiten ja mit Holzstegträgern. Andere Möglichkeiten zu dämmen sind sowohl Zellulosedämmplatten von Homatherm als auch Mineralwolle. Homatherm hat uns für diesen Trägertyp die genau passenden Dämmplatten geliefert. Von Grünzweig & Hartmann musste man sie auf das Maß schneiden, aber das ging auch. Das extra Ausdämmen des Steges bedeutet natürlich nochmal Arbeitszeit.

Bei unseren Beratungen fremder Architekten und ausführender Unternehmen stoßen wir oft auf das Problem, dass der Architekt zum ersten Mal ein Holzhaus und zum ersten Mal ein Passivhaus plant. Dazu muss er viele Dinge neu lernen, und deswegen sollte er sich schon früh mit dem Zimmermann zusammentun, um die Probleme nicht selbst am Tisch zu lösen. Ich glaube ja auch immer, ich könnte selbst alles neu erfinden, bevor ich die Frage, die sich damit auskennen. Aber ein gutes Projekt sollte man wirklich bereits im Rahmen der Ausschreibung mit der ausführenden Firma intensiv vorbereiten.

Vor allem bei Holzhäusern ist das Problem der Verformung, die natürlich zu Luftundichtigkeiten führen kann, ganz wichtig: Durchsetzung; Schwinden des Holzes oder nicht passgenaue Konstruktionen; Fugen, durch die später bei Belastung, Setzungsrisse entstehen.

Diese Probleme treten auf, weil es Definitionsunterschiede für „Trockenes Holz“ gibt. Man muss lt. VOB trockenes Holz verwenden. Nach DIN 4074, die Bauschnittholz definiert, versteht man unter „trockenem Holz“, dass es einen Trocknungsgrad von 20 % hat. Konstruktionsvollholz, das uns seit einigen Jahren immer und überall empfohlen wird, hat hingegen 15 % +/- 3%, d.h. zwischen 12% und 18 %. Es gibt auf dem Rheinland-Pfälzischen Markt jetzt ein Qualitätsbauholz (QBH), das ist über ein Jahr hinweg luftgetrocknetes Holz, das auch nicht wesentlich trockener als 18% ist. In der Nutzung im Haus stellt sich aber eine Gleichgewichtsfeuchte von 9 % +/- 3 % ein, sodass das „trockene Holz“ mit 20 % – nach meinen Begriffen nasses Holz – auf 9 % schwindet. Obwohl der Zimmerer normgerechtes Holz verwendet hat, setzt sich das ganze Haus, die Querschnitte summiert, um 1,5 cm.

Da reißen Klebebänder und Folien, es gibt Risse in der raumseitigen Gipsbeplankung, und wenn dadurch die Luftdichtigkeit statt 0,6 – wie sie für das Passivhaus gefordert ist – 2,0 beträgt, dann steigt der Energiebedarf eines Passivhauses von 15 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr auf 22 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. Das Haus ist dann plötzlich kein Passivhaus mehr. Es kann Tauwasserausfall in der Konstruktion und auch extreme Behaglichkeitsprobleme geben, wenn Luft durch die Fugen bläst.

Deswegen sollte man technische Holzprodukte verwenden, z. B. Holzstegträger oder Parallam oder andere Produkte, die von vornherein Trocknungsgrade von 12 % oder weniger aufweisen, oder man sollte so konstruieren, dass Setzungen aufgefangen werden.

Auf die Fenster ist Wolfgang Feist schon eingegangen. Zu den inzwischen wesentlich besseren Fenstern gehört der gedämmte Rahmen. Diese Fenster haben keinen Tauwasserausfall auf der Scheibe mehr, wie wir es sonst im Winter in all unseren Häusern kennen.

Der Markt hat verschiedene Fenster entwickelt mit z.B. ganz geschäumten Rahmen. Auch das althergebrachte Kastenfenster erlebt wieder eine Renaissance, wobei die Kosten sehr hoch sind.

Passivhäuser müssen luftdicht sein, das bedeutet, sie müssen einen geringen Luftwechsel erreichen. Der n50-Wert für Passivhäuser ist 0,6 Luftwechsel pro Stunde, die DIN 4108 Teil 7 schreibt für „herkömmliche“ Häuser ohne Lüftungsanlage einen Luftwechsel kleiner 3,0 vor, bei Häusern mit Lüftungsanlagen kleiner 1,5. Übliche Neubauten, die wir messen, weisen Werte zwischen 3 und 10 auf, also beträchtliche Überschreitungen der Norm.

Die Messung selbst erfolgt mit einem Blower-Door-Gerät. Wir setzen das Gebäude unter Unter- oder Überdruck. Wenn wir das Haus mit 50 Pascal Unterdruck gegenüber der Aussenluft setzen, strömt über alle vorhandenen Ritzen und Fugen Luft nach, die wir messen. Die Messergebnisse werden in ein Verhältnis zum Volumen gesetzt was dann den Wert für die Luftdichtigkeit des Gebäudes ergibt. Wenn wir ein Haus haben, das 400 m<sup>3</sup> Luftvolumen hat und wir transportieren mit diesem Ventilator bei 50 Pascal eben 400 m<sup>3</sup>/h, dann haben wir eine Luftwechselrate von 1, transportieren wir nur 200 m<sup>3</sup>/h, dann haben wir eine Luftwechselrate von 0,5.

Folgende Konzepte wenden wir zur Erreichung der Luftdichtigkeit an: Entweder wir arbeiten mit Pappen oder Folien oder wir benutzen eine Beplankung als luftdichte Ebene und verkleben die Stöße. Problematisch wird's, wo alle drei Ebenen aufeinanderstoßen. Obwohl die Stöße von aussen optisch sehr schön

aussehen können, können sie verborgene Löcher aufweisen. Diese Fehler müssen unbedingt vermieden werden, bereits im Luftdichtigkeitskonzept muss an jeden möglichen Anstoß von Folien gedacht werden.

Im Massivbau ist die luftdichte Ebene der Innenputz, hier hat der Gipser die Verantwortung. Fehler treten auch beim Massivbau auf. Zum Beispiel messen wir eine Luftgeschwindigkeit von 2,5 m/s am Zusammenstoß einer Bodenplatte mit einer schwarzen Bitumendickbeschichtung und dem oben anschließenden Putz. Da merkt man also, die Arbeiten müssen sauber ausgeführt werden und dazu muss man den Gipser entsprechend einschulen.

Die Mehrkosten für Luftdichtigkeit sind meiner Meinung nach Null, denn ein Haus muss ohnehin luftdicht gebaut werden, ob Passivhaus

oder nicht, weil ich dem Bauherrn einfach schuldig bin, ein luftdichtes Haus zu bauen, damit Bauschäden vermieden werden. Die Kosten entstehen in erster Linie in der Planung, nicht auf der Baustelle. Die Baukosten für den Massivbau sind – nach unseren Ausschreibungsergebnissen – günstiger als für den Holzbau. Das lässt sich nicht wegdiskutieren, aber ich finde es sehr ungünstig, dass die Diskussion nur über Kosten geht und nicht über die Qualität, die man für dieses Geld kriegt, auch beim Vergleich von Passivhäusern mit vielleicht normalen Häusern. Aber unser Ausschreibungsergebnis aus Rheinland-Pfalz, kann an anderer Stelle ganz anders aussehen, da der Holzbau bei uns unterrepräsentiert ist und die Massivbauunternehmen einem harten Konkurrenzkampf ausgesetzt sind.

**AUSWIRKUNG DES A/V-  
VERHÄLTNISSSES**  
*Mehrkosten für Passivhaus-Gebäudehülle*

A/V	Mehrpreis		pro m <sup>2</sup> Wohnfläche	
	unteres von	oberes Niveau bis	unteres von	oberes Niveau bis
0,5	12.976 DM	30.055 DM	100 DM	231 DM
0,6	14.776 DM	34.212 DM	114 DM	263 DM
0,7	16.576 DM	38.370 DM	128 DM	295 DM
0,8	18.376 DM	42.527 DM	141 DM	327 DM
0,9	20.176 DM	46.685 DM	155 DM	359 DM
1	21.976 DM	50.842 DM	169 DM	391 DM
1,1	23.775 DM	54.999 DM	183 DM	423 DM

Abb. 2: Auswirkungen des Oberflächen/Volums-Verhältnis auf die Kosten

Für verschiedene Flächen/Volums-Verhältnisse ergeben sich unterschiedliche Mehrpreise. Beim A:V-Verhältnis von 0,5 ergeben sich Mehrkosten von DM 13.000,- bis DM 30.000,-. Beim A:V-Verhältnis von 1,1 sind es zwischen DM 23.000,- und DM 55.000,-. Pro m<sup>2</sup> Wohnfläche – und zwar nur auf die Gebäudehülle bezogen ohne Einsparung durch irgendwelche anderen Haustechnikkomponenten – ist das eine Spanne von DM 100,- bis DM 423,-. Wenn das jemand anders rechnet, kommt er vielleicht auf eine Spanne von DM 60,- bis DM 300,-. Wichtig ist mir der Einfluss des A/V-Verhältnisses, nicht nur weil wir durch eine kompaktere Gebäudehülle weniger Energie brauchen, sondern weil eine kompaktere Gebäudehülle natürlich auch weniger Bauteilaußenfläche pro m<sup>2</sup> Haus hat.

Wenn man über Baukosten redet, kann man die Zahlen nach Bedarf interpretieren: Wenn ich gegen das Passivhaus bin, dann sage ich, ein Passivhaus kostet DM 60.000,- mehr als ein normales Haus. Wenn ich die Sache entsprechend unterstützen will, sage ich, man kann Passivhäuser für DM 10.000,- Mehrpreis in der Gebäudehülle machen und diese Kosten an anderer Stelle einsparen. Wir haben bei Veranstaltungen schon Verschiedenes gehört; Vertreter, die gegen das Passivhaus sind, die ziehen plötzlich horrenden Preise aus der Tasche, die die man niemandem widerlegen kann. Aber das muss immer im Zusammenhang betrachtet werden.

Fazit: Die Vor- und Nachteile von Massivbau gegenüber Holzbau sind weitgehend die gleichen Vor- und Nachteile, wie wir sie bei der Wärmeschutzverordnung haben. Ich habe den Punkt nicht näher erwähnt, aber im Holzbau treten starke Temperaturdifferenzen zwischen den verschiedenen Räumen auf, d.h. Holzhäuser sind heizungstechnisch schwieriger zu regeln als ein Massivhaus. Allerdings sind die Anforderungen an die Gebäudehülle bei Passivhäusern in Massiv- und in der Holzbauweise zu vertretbaren Kosten realisierbar.

## Literatur

- [Horn 1] Horn, Gerrit „Die hochwärmedämmte Gebäudehülle für das Passivhaus“ in: H. Krapmeier, W. Feist (Hg.), Tagungsband der 3. Passivhaustagung, 19./20.02.99 in Bregenz, Dornbirn 1999
- [Horn 2] Horn, Gerrit „Wärmebrückenfreies Konstruieren bei Holzbauweisen“ in W. Feist et. al, Arbeitskeis kostengünstige Passivhäuser Nr. 16, Darmstadt, 1999
- [Horn 3] Horn, Gerrit „Massivbauweise und Holzbauweise im direkten Vergleich - Modellvorhaben kostengünstige Passivhäuser Kaiserslautern“ in W. Feist (Hg.), Tagungsband der 4. Passivhaustagung 10./11.03.2000 in Kassel, Kassel 2000
- [Feist 1] Feist, Wolfgang „Erste Berechnungen zum Anheizverhalten und zur räumlichen Restwärmeverteilung im Passivhaus“ in W. Feist et. al, Arbeitskeis kostengünstige Passivhäuser Nr. 5, Darmstadt, 1997
- [Horn 4] Horn, Gerrit „Werkstattbericht: Passivhäuser Kaiserslautern“ Hochgedämmte Wand- und Dachkonstruktionen im FrameWorks Bausystem, Tagungsunterlagen zu den Planungsseminaren im Juli 2000, TrusJoist (Hg.), Planegg 2000
- [PHPP] Feist, Wolfgang, Eikö Baffia und Jürgen Schnieders: „Passivhaus Projektierungs Paket, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser“, 2. Auflage, Fachinformationen PHI-1999/1, Passivhaus Institut, Darmstadt 1999

## Diskussion

### Frage:

Gibt es eine Empfehlung für das Holzhaus oder Massivhaus als Passivhaus?

### Horn:

Das fragen Sie Ihren Bauherrn, Ihren Bauträger. Ich selber möchte da keine Empfehlung aussprechen. Letztlicher Ausschlaggrund für Holzhäuser war, dass die Leute, die zu uns kamen und offen dafür waren, ein Passivhaus zu bauen, im Kopf auch ein bisschen Ökologie haben und sich gleichzeitig beim Holzhaus sehr wohl fühlten. Ob das richtig oder falsch ist, wenn ich mich jetzt hinstelle und sage: „Ich finde das Holzhaus ökologischer als das Massivhaus“, dann werde ich genug Gegenargumente von anderen Seiten hören, denn dazu hat jeder Bereich seine Forschungen und das ist genauso wie bei den Kosten. Alles ist möglich. Wir kriegen in allen Bauweisen beim Passivhaus einen guten Standard hin. Ich selbst würde mir aber nur ein Holzhaus bauen – weil ich Zimmerer bin.

**Frage:**

Ist es richtig, dass der Holzbau planungsintensiver ist und wenn ja werden die Kosten auch honoriert?

**Horn:**

Nein. Es wird auch der höhere Planungsaufwand für ein Passivhaus nicht honoriert, weil es ja sowieso schwierig ist HOA-Honorare durchzusetzen, das weiß wahrscheinlich jeder hier. Zumindest in Deutschland können wir unsere Honorare ganz schlecht auf dem Markt durchsetzen, weil es immer ein Töchterchen gibt, das auch zeichnen kann und irgendjemanden der unterschreiben kann. Im Kleinobjektbereich (Einfamilienhäuser, Doppelhäuser), wo wir tätig sind, sind normalerweise keine Planer auf der Baustelle. Daher ist es schwer, dem Kunden überhaupt zu vermitteln, dass er an uns DM 30.000,- oder DM 40.000,- Honorar zahlen muss, vor allem wenn er vielleicht für DM 5.000,- irgendwo eine Unterschrift mit ein bisschen Zeichnen bis zum Bauantrag hinkriegt.

D.h. wir kriegen den Mehraufwand nicht so durch, aber wir bauen nicht, wenn wir nicht das HOA-Honorar kriegen. Mit der wachsenden Erfahrung kann man sich das ja leichter machen, denn auch wir haben jetzt im Holzbau einige Systeme, die wir immer wieder bauen und damit ist der Planungsaufwand ähnlich hoch wie bei einem erfahrenden Massivbauer, der auch seine Standarddetails in der Tasche hat. Aber so etwas das erste Mal zu bauen, ist ein immenser Aufwand.

**Frage:**

Gibt es eine Gegenüberstellung der Mehr- und Minderkosten für das Passivhaus?

**Horn:**

Ich gehe davon aus, dass es nicht meine Aufgabe ist, wenn ich nur die Gebäudehülle betrachte, dann auch die Minderkosten an anderer Stelle zu untersuchen. Es ist logisch, dass der bessere Schlafsack mit mehr Dämmung mehr kostet als der schlechte Schlafsack, und so ist es bei der Gebäudehülle, die besser ist als andere Gebäudehüllen, dass die mehr kostet. Die Einsparungen wurden insbesondere von Wolfgang Feist, aber auch von unserem Büro schon in vielen Fällen berechnet. Wir berechnen das für jedes Objekt. Wir sparen innerhalb der Finanzierungszeit des Gebäudes durch die niedrigeren Energieaufwände. Selbst bei moderat angenommenen Energiepreissteigerungen über 20 Jahre sparen wir den Mehraufwand auf jeden Fall wieder ein.

**Frage:**

Wie wirkt sich die Einsparung der Heizung auf die reinen Baukosten eines Passivhauses aus?

**Horn:**

Tja, also ich bin kein Haustechniker und ich muss ehrlich sagen, im Moment ist die Haustechnik bei unseren Objekten nicht billiger als bei einem herkömmlichen Haus, vor allem wegen der Lüftungsanlagen. Ich kann mir vorstellen, dass die Lüftungsanlagen mit der Zeit billiger werden und so die Gesamtkosten verringert werden können. Wir versuchen das Lüftungssystem so klein wie möglich zu halten. Aber die Kosten der Lüftungsanlage sind mit denen der Heizung durchaus zu vergleichen. Zusätzlich brauchen wir noch eine Warmwassererwärmung. Wir haben in der Regel in den Häusern Solaranlagen, die nicht billiger sind als eine Elektrodurchlauferhitzung. Bei der Haustechnik haben wir bisher noch nicht gespart. Also können wir bei unseren Objekten nur über die Amortisation rechnen, weil wir gute Objekte bauen wollen. Wir erzählen den Bauherren, wenn sie mit einem Mercedes vorgehen, dann sollten sie auch im Mercedes wohnen und nicht im Polo.

# Wärmerückgewinnung im Passivhaus mit integrierter Luftnachheizung und Brauchwasserbereitung

Eberhard Paul

## Einleitung

Die Aufgabe der Haustechnik besteht darin ein Wohnhaus

- a) zu temperieren: durch Heizen, evtl. Kühlen
- b) zu lüften
- c) mit kaltem und warmem Brauchwasser und
- d) mit Strom zu versorgen

Im folgenden sollen die Punkte a) bis c) insbesondere für die Versorgung von Passivhäusern betrachtet werden. Durch die besonders hohe Gebäudedichtheit ( $n_{50} = 0,6h^{-1}$ ) und die gute Wärmedämmung ( $U = 0,09...0,15 \text{ W/m}^2$ ) solcher Häuser bestehen folgende Besonderheiten:

- Eine mechanische Lüftungsanlage mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung ist erforderlich.
- Der Heizenergiebedarf ist drastisch gesunken, so dass die Wärme durch die Lufterwärmung der Frischluft eingebracht werden kann.

## Heizung

Die Heizenergie kann grundsätzlich auf zweierlei Weise übertragen werden:

- a) durch Konvektion  
Wärmeübergang von der Heizfläche (Plattenheizkörper, Heizregister) an die Luft
- b) durch Strahlung  
Wärmeabgabe von einer Heizfläche (oder dem Menschen selbst) an die Umgebung durch die unterschiedliche Oberflächentemperatur

Die Wärmeübertragung durch Strahlung wirkt auf die Behaglichkeit des Menschen angenehmer und mit einer höheren Effizienz im Vergleich zur Konvektion.

Da aber in einem Passivhaus durch die gute Wärmedämmung eine relativ hohe Oberflächentemperatur an den sonst kritischen Außenwänden und Fensterflächen vorhanden ist, ist der Strahlungsanteil einer möglichst großen Heizfläche nicht von einer solch hohen Wertigkeit, wie ansonsten bei üblicher Bauweise. Daher ist im Passivhaus die mitunter alleinige Wärmeversorgung über warm zugeführte Frischluft möglich.

Neben der Zufuhr erwärmter Frischluft werden auch in einem Passivhaus (punktuell) andere Heizungskomponenten eingesetzt. Insbesondere trifft dies auf das Bad zu, da dort der Mensch (bei nassem Körper) besonders empfindlich ist: Verdunstungskühlung an der Hautoberfläche.

Punktuell können eingesetzt werden:

- a) Bad-Heizkörper
  - elektrisch oder
  - Warmwasser- beheizt
- b) elektrische Strahlungsheizkörper
  - Direktheizgeräte (Elektro-Raumheizer) oder
  - Wandstrahler
- c) elektrische oder warmwasserbetriebene
  - Fußbodenheizung
  - Wandheizung (Heizmatten, Niedervolt-Flächenheizung)
- d) Nachtspeicheröfen
- e) Warmluftheizgeräte

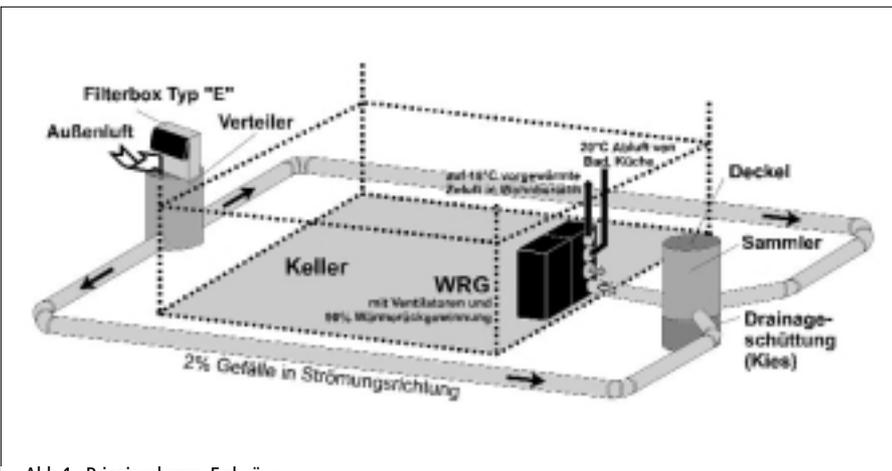


Abb.1: Prinzipschema Erdwärmetauscher (EWT) im Zusammenhang mit einem Wärmerückgewinner (WRG) für die kontrollierte Wohnungslüftung

großzügig gestaltet, um den Druckverlust und damit den Stromverbrauch niedrig zu halten.

Der Erdwärmetauscher ist ein in das Erdreich verlegtes Rohr, durch welches Außenluft angesaugt wird. Dabei wird die im Erdreich gespeicherte Sonnenenergie genutzt und an die Luft übertragen. Die übertragbare Wärme hängt ab von:

- Erdreichtemperatur,
- Erdbeschaffenheit (Dichte, Feuchte),
- Außentemperatur,
- Rohrdurchmesser und -länge, Anzahl der parallelen Stränge und der Luftgeschwindigkeit.

## Komponenten zur Zuluft-Erwärmung

### A) Luftvorwärmung Erdwärmetauscher

Wichtig für die Konzipierung von Erdwärmetauschern ist die Vorschaltung eines Filters zur Reinigung der angesaugten Luft, damit sich Staub und Pollen nicht an der Rohrwand ablagern. Zum Schutz des Filtermaterials und aus Kostengründen ist in dem Vorschaltfilter-Gehäuse eine grobe Filtermatte der Z-förmigen Filterkassette vorgelegt. Die gesamte Filteroberfläche ist

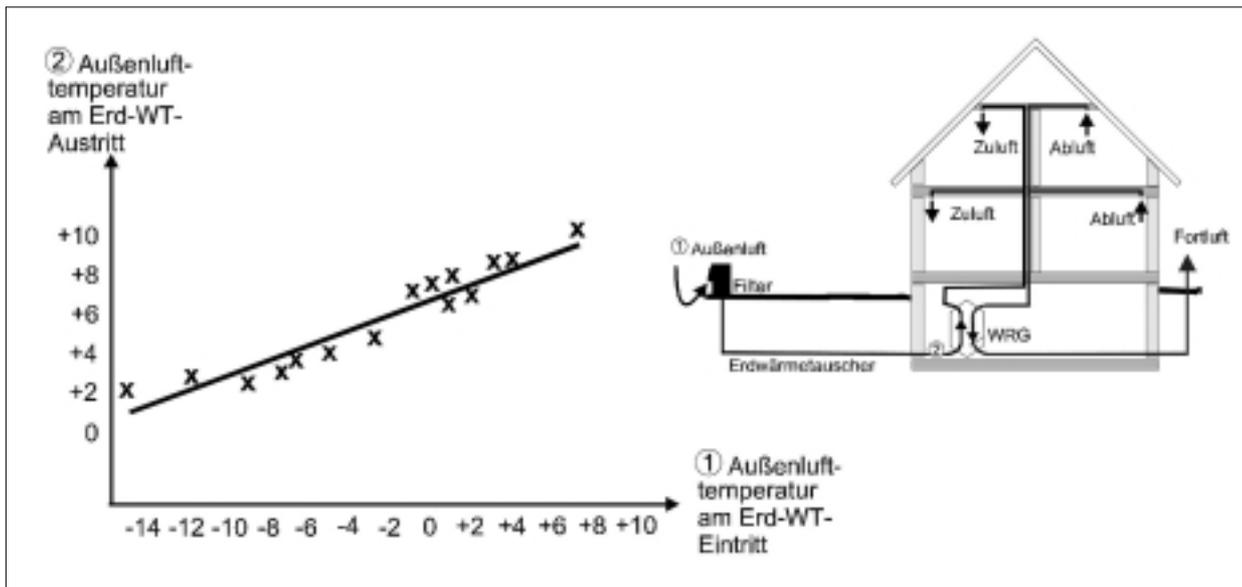


Abb. 2: Lufterwärmung in einem Erdwärmetauscher

Das Rohr ( $\Delta$  200, ca. 30m lang, 1...1,5m tief) kann bei ausgehobener Baugrube neben dem Haus eingebracht werden.

Die Luft kann auch in zwei oder drei parallelen Strängen mit einem Durchmesser von 150 mm und einer Länge von 15 bis 20 m geführt werden. Das Rohr sollte möglichst 2 % Gefälle haben, damit das im Sommer anfallende Kondenswasser abfließen kann. Für ein Arbeiten im frostfreien Bereich muss die Zuluft beim Eintritt in den Wärmetauscher mindestens  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  aufweisen. Dann ist garantiert, dass sich die Abluft nicht auf unter  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  abkühlt. Messungen zeigen, dass bei einer Außentemperatur von  $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$  der Erdwärmetauscher immer noch  $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$  erreicht (Abb. 2).

Die ersten Metern des Erdwärmetauscherrohres sollte wegen der Frostgefahr keine Wasserrohrleitung queren.

## Wärmerückgewinnungsgerät (WRG)

Eine weitere Frischluftvorwärmung erfolgt im Wärmerückgewinnungsgerät. In einem Wärmetauscher wird von der Abluft an die Frischluft Wärme übertragen. Je besser die Wärme übertragen wird, desto geringer sind die Abluft-Wärmeverluste nach draußen und um so mehr wird die Zuluft erwärmt.

Hocheffiziente Wärmetauscher zeichnen sich aus:

- durch die Gegenstromführung (günstiger als das Kreuzstromprinzip)
- durch eine hohe Wärmetauschoberfläche: In einem Kanalwärmetauscher mit schachbrettartig angeordneten Kanälen verdoppelt sich die Wärmetauschoberfläche gegenüber Plattenwärmetauschern

Folgende Temperaturwirkungsgrade sind erreichbar:

- $\Phi = 50 - 70\%$  Kreuzstrom-Plattenwärmetauscher
- $\Phi = 70 - 80\%$  Gegenstrom-Plattenwärmetauscher
- $\Phi = 85 - 99\%$  Gegenstrom-Kanalwärmetauscher ~ 2000 realisierte Anlagen

Prinzip-skizze			
Strömungs-profil			
Wärmetau-schertyp	Kreuzstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher
Einsatz	in WRG-Anlagen weit verbreitet	in WRG-Anlagen kaum eingesetzt	in Haus- und Wohnungslüftung
Temperatur-wirkungsgrad	50 - 70 %	70 - 80 %	85 - 99 %

Abb. 3: Wärmetauschertypen

Ein weiteres wesentliches Merkmal für die Auswahl eines geeigneten WRG-Gerätes ist der Stromverbrauch. Durch Einsatz von gleichstrombetriebenen Radial-Ventilatoren lässt sich der Stromverbrauch gegenüber Wechselstromventilatoren nahezu halbieren, so dass Werte von 0,3...0,45 W/m³/h erreichbar sind. Physikalisch bedingt lässt sich dieser Wert eher bei hohen Volumendurchsätzen (z.B. 150...250m³/h) erreichen als bei niedrigeren (z.B. 120m³/h).

Weitere Auswahlkriterien sind:

- Leistungszahl  $\eta = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta\dot{Q}}{P_{el}} = \frac{907\text{W}}{46\text{W}} = 19,7$  (PAUL-Gerät thermos 200 DC)
- Ü-Prüfzeichen VEW Dortmund und Deutsches Institut für Bautechnik Berlin: allgemeine bauaufsichtliche Zulassung lt. Bauproduktengesetz in Deutschland

Der Einsatz von WRG-Geräten ohne Ü-Zeichen ist in Deutschland rechtswidrig.

- Dichtheit ( $\leq 5\%$  Leckage erlaubt)
- gute Wärmedämmung (kein Blechgehäuse sondern besser Schaumgehäuse)
- vollautomatische Lüftersteuerung (mit Umstellung auf Handbetrieb) und Balance-Ausgleich in 1% Schritten
- Sommerbypass-Schaltung (für kühle Luft von draußen oder vom Erdwärmetauscher)
- Defrosterheizung (WW-Register, Elt-Register) - Steuerung mit WRG gekoppelt (Erd-WT kann entfallen)

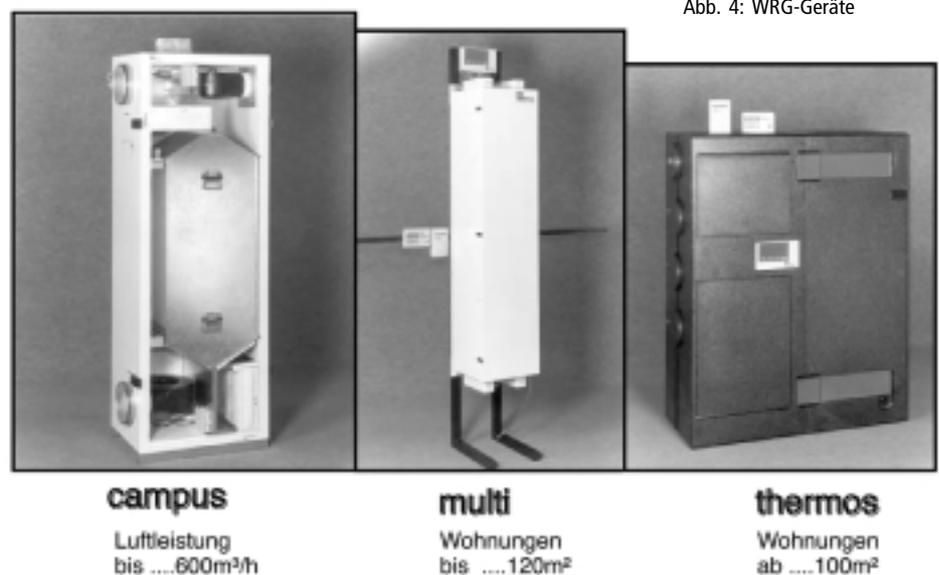


Abb. 4: WRG-Geräte

## Wärmeisolation des WRG-Gerätes

Häufig werden WRG-Geräte in kalter Umgebung (Dachboden, Keller, Garage) aufgestellt. Damit keine höheren Wärmeverluste auftreten, sollten die Geräte eine gute Wärmeisolation besitzen. Dies gilt auch bei der Aufstellung der Geräte in warmen Räumen, da die Zuluft nicht durch Heizenergie vom umgebenden Raum, sondern durch Abwärme der Abluft erwärmt werden soll. Eine gute Rohrisolierung ist immer dann geboten, wenn kaltluftführende Leitungen durch warme Räume geführt werden oder warmluftführende Leitungen durch kalte Räume.

Bei einer Vielzahl von Geräten ist das Gehäuse in Stahlblech ausgeführt – die Gefahr von Wärmeverlusten über Wärmebrücken (Nieten, Verschraubungen, Durchgänge, Verschlüsse) ist dabei immer gegeben. Daher gehen neuere Entwicklungen von Geräten dazu über, das Gehäuse aus geschäumtem Material zu gestalten. Neben einer sehr guten Wärmeisolation besitzen solche Gehäuse auch einen guten Schalldämpf-Effekt gegenüber Körperschall und lassen sich wegen ihres geringen Gewichtes wesentlich leichter montieren.

## Dichtigkeit des WRG

Undichtigkeiten am WRG-Gerät, an denen Luft entweicht, bedeuten einen Verlust an Wärme und Elektroenergie. Wenn Raumluft über Undichtheiten z. B. am Geräte-Decken in den Zuluftstrom hineingesaugt wird (externe Leckage, Infiltration), wird damit die Zulufttemperatur erhöht, aber nicht durch Wärmerückgewinnung, sondern durch Heizenergie! Die eingesaugte Raumluft wird damit nur vom Geräteaufstellraum (z.B. Haustechnikraum) in andere Bereiche des Hauses (Frischlufzimmer) gefördert, d.h. es liegt Umluft und nicht Frischluft vor. Bei interner Leckage kann Abluft in den Zuluftstrom eingesaugt oder hineingedrückt werden. Damit wird zwar die Zuluft erwärmt, aber ebenfalls nicht durch Wärmerückgewinnung, sondern durch die bereits warme Abluft. Auch aus hygienischer Sicht ist es verwerflich, wenn Abluft in den Zuluftbereich gelangt. Die Anordnung der Ventilatoren ist entscheidend damit die kritische Leckagenstrom-Richtung (extern und intern) vermieden wird. Immer wenn die Zuluft im Gerät mit Überdruck und die Abluft mit Unterdruck gefahren wird, werden die Gefahren vermieden. Die Erteilung des Ü-Zeichens wird von der Dichtheit innerhalb gewisser Grenzen abhängig gemacht.

- interne Leckagen bei 100 Pa Überdruck\* max. 5 %
- externe Leckagen bei 100 Pa Überdruck\* max. 5 %

\*die jeweils zweite Untersuchung wird bei 100 Pa Unterdruck gefahren.

## B) Luftnachheizung

### Minigasgerät

#### Beschreibung

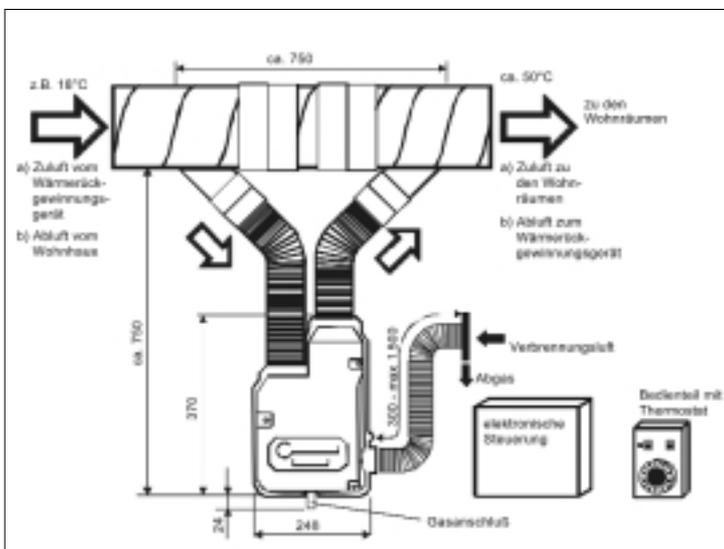
Das Minigasgerät (Fa. PAUL) dient zur Lufterwärmung in Lüftungsanlagen. Dazu sind 2 Varianten möglich:

- a) Frischluft-Nacherwärmung, d.h. die aus dem Wärmerückgewinnungsgerät (WRG) austretende Zuluft wird nacherwärmt.
- b) Abluft-Erwärmung, d.h. die in das Wärmerückgewinnungsgerät eintretende Abluft aus dem Haus

(ca. 20°C) wird erwärmt und gibt im Wärmerückgewinnungsgerät die Wärme an die Zuluft ab – dazu ist ein hoher Wärmerückgewinnungsgrad im Wärmerückgewinnungsgerät erforderlich (~ 90%), um die Fortluftwärmeverluste zu minimieren.

Damit wird eine schonende Frischlufterwärmung möglich ohne punktuelle Überhitzung an heißen Oberflächen wie z.B. bei a) und Kapitel Elektro-Nachheizregister/Heizspirale). Für die unter b) beschriebene Variante bietet sich eine nachgeschaltete Abluft-Wärmepumpe an, die der Fortluft Restwärme entzieht (z.B. zur Brauchwasser-Erwärmung). Im Bedienteil des Mini-Gasgerätes kann der Sollwert für die Raumtemperatur eingestellt werden. Der im Bedienteil enthaltene Thermostat sorgt für eine nahezu gleichbleibende Raumtemperatur (Gasflamme-ein/aus-Zweipunktregelung).

Abb. 5: Geräteaufbau Minigasgerät (realisiert in Lindlar Hohkeppel, Architekt Brausem)



Die Wärmeleistung des Mini-Gasgerätes kann auf Voll- last (2,4kW) oder Teillast (1,2kW) manuell eingestellt werden. Die Zuluft-Temperatur zu den Wohnräumen sollte 50 °C nicht überschreiten, d.h. eine Temperaturerhöhung von  $\Delta t = 50 - 18 = 32K$ .

Um dies zu gewährleisten, kann man das Frischluftvolu- men höher oder niedriger wählen:

$$\Delta Q = V \cdot 1,2 \cdot 0,23 \cdot \Delta t \text{ [W]}$$

Als Brennstoff kann Erdgas oder Propangas eingesetzt werden. Im letzteren Fall erübrigt sich ein Hausanschluss an das Gasnetz.

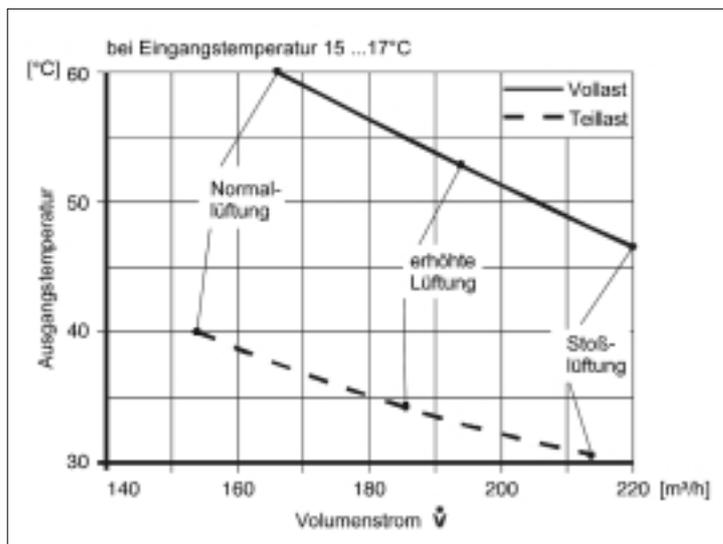
Ein Passivhaus lässt sich dann über einen Winter mit nur wenigen Gasflaschen (ca. 6) beheizen (33kg-Flaschen schalten automatisch von der leeren auf die volle Flasche um - evtl. Propangas auch zum Kochen).

Die Gasflaschen müssen außerhalb des Hauses (oder in einem Raum, der nur von außen zugänglich ist) aufgestellt werden.

Der Einsatz von Gas ist aus primärenergetischer und ökologi- scher Sicht sehr sinnvoll. Auch der finanzielle Aufwand (Gasver- brauch) ist bei dem geringen Heizbedarf eines Passivhauses gering, da die Grundgebühr von ca. 300,- DM/a (wie bei her- kömmlischem Gasanschluss) ent- fällt.

	Einheit	Volllast	Teillast
Brennstoff		Flüssiggas (Propan) oder Erdgas	
Nennndruck	[mbar]	50 oder 30	
Nennwärmeleistung	[W]	2400	1200
Gasverbrauch (Propan)	[g/h]	200	100
24V elektrische Stromaufnahme	[A]	0,7	0,4
bei Ruhestrom	[A]	< 0,01	
Volumenstrom des Gebläses	[m/h]	130	77
Länge/Breite/Höhe	[mm]	370 x 248 x 123	
Gewicht	[kg]	4,7	

Abb. 6: Erhöhung der Lufttempe- ratur am Minigasgerät



### Abluft-Warmwasser-Wärmepumpe

Diese Wärmepumpe entzieht der Abluft vom Haus oder der Fortluft vom WRG- Gerät noch Restwärme und überträgt diese an den Wasser-Speicher. Damit können Spitzen im Abwärme-Angebot aufgefangen und gespeichert werden, um zu gegebener Zeit die Wärme abzugeben. Aus dem Speicher kann im Normalfall sowohl warmes Brauchwasser als auch Heizungswasser entnommen werden. Letzteres kann der Luftnachheizung dienen, kann aber auch für die statische Hei- zung (Fußbodenheizung, Heizkörper) genutzt werden. Serienmäßig ist in der Regel ein E-Heizstab vorgesehen.

Außerdem sollte vorhanden sein: eine Heißgasabtauung (Abtauen des Ver- dampfers), Schnelltestanode (Korrosion). Einige Aggregate beinhalten eine technische Desinfektion (für den Einfamilienhaus-Bereich nicht unbedingt erforderlich) und ein zusätzliches Heizregister für Solarwärme- oder einen Heizkessel-Anschluss. Die Steuerung sollte im letzteren Fall dann die Boilerladepumpe mit ansteuern können.

Vorteilhaft ist, wenn die Wärmepumpe mit Kältemittel-Wasser-Wärmetauscher (ohne Speicher) angebo-

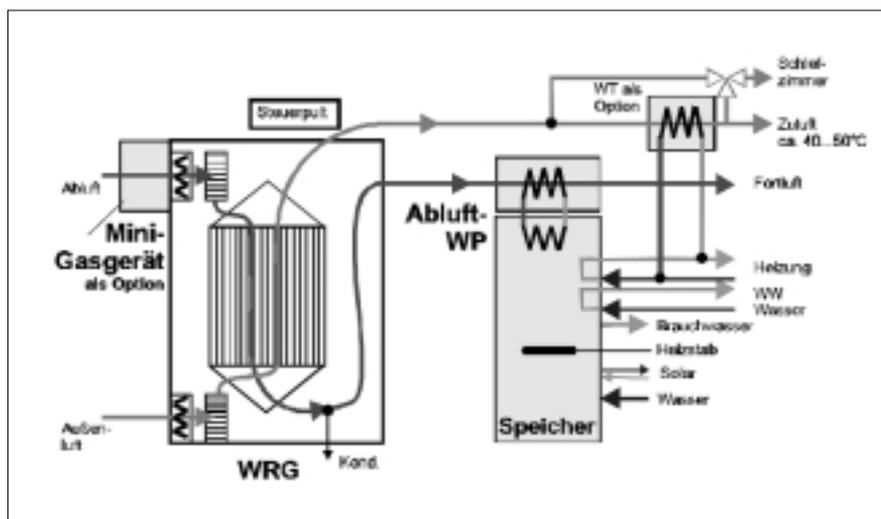


Abb. 7: TAbluft-Warmwasser- WP – ein Gerät mit integriertem Speicher

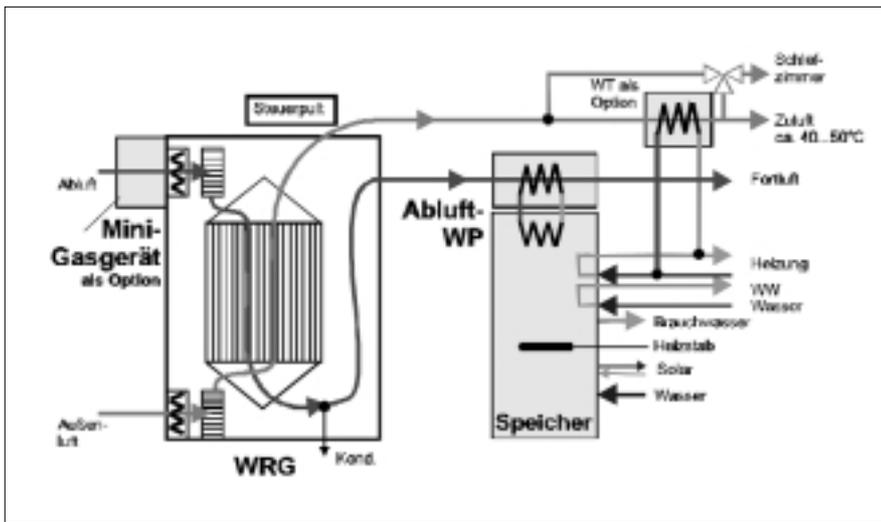


Abb. 8: Abluft-Warmwasser-WP  
- WP und Speicher getrennt

wird die feuchte Fortluft mit vorgewärmter Außenluft gemischt, wodurch die verfügbare Wärmekapazität erhöht (doppelte Luftmenge) und der Vereisungspunkt durch relativ trockene Mischluft wesentlich gesenkt werden kann.

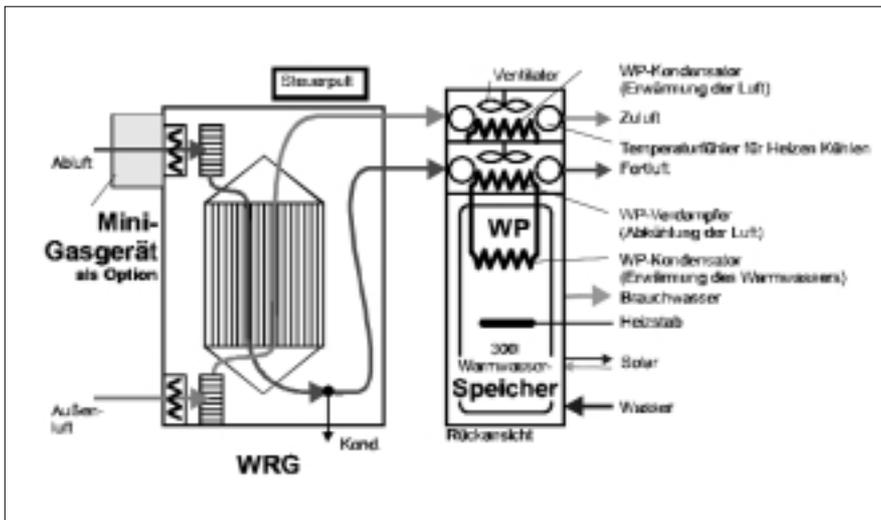


Abb. 9: Abluft-Zuluft-WP + Speicher

beliebig absenken (Vereisungsgefahr und sinkende Leistungszahl der WP) und das Abluft-Volumen lässt sich nicht beliebig erhöhen.

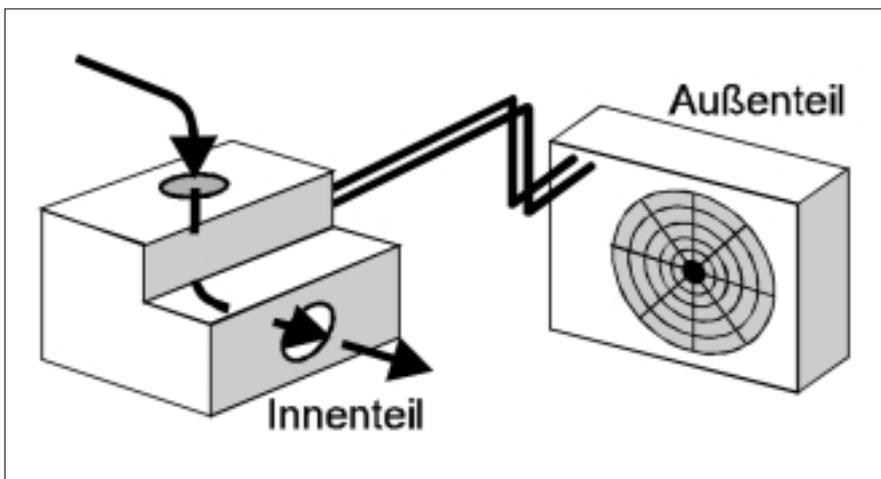


Abb. 10: Abluft-Zuluft-WP + Speicher

menstrom von 220 m<sup>3</sup>/h kann beispielsweise von ca. 20 °C auf 53,5 °C erwärmt werden, d.h. 2,48 kW Wärmezufuhr!

ten wird. Hier wird dem Nutzer die Wahl eines entsprechende Speichers gelassen: Speichergröße, Schichtenspeicher usw. (inzwischen werden sehr viele Speichertypen angeboten).

Durch die Trennung von Wärmepumpe und Speicher wird das Einzelgerät leichter und für den Monteur einfacher zu handhaben. Auch ein „Nicht-Kältetechniker“ kann solche Geräte anschließen.

Die mit der Variante gemäß Abb. 8 mögliche Heizleistung ist durch die Einbindung von Außenluft (über einen Erdwärmetauscher vorgewärmt) wesentlich höher als bei einer reinen Abluftnutzung. Hier wird die feuchte Fortluft mit vorgewärmter Außenluft gemischt, wodurch die verfügbare Wärmekapazität erhöht (doppelte Luftmenge) und der Vereisungspunkt durch relativ trockene Mischluft wesentlich gesenkt werden kann.

### Abluft-Zuluft-Wärmepumpe

Diese Wärmepumpe entzieht (wie die Abluft-WP) der Abluft Restwärme. Hier besteht neben der Wärme-Einspeicherung die Möglichkeit, die Wärme vom Verdampfer direkt an die Zuluft (Kondensator) zu übertragen. Der Preis solcher Geräte erhöht sich allerdings gegenüber der Abluft-WP (mit Speicher) um ca. 3-5 TDM.

### Außenluft-Zuluft-Wärmepumpe

Die o.g. Abluft-Wärmepumpen sind in ihrer Wärmeleistung durch den Wärmeinhalt der Abluft begrenzt: die Abluft-Temperatur lässt sich im Verdampfer nicht beliebig absenken (Vereisungsgefahr und sinkende Leistungszahl der WP) und das Abluft-Volumen lässt sich nicht beliebig erhöhen.

Daher ist es sinnvoll, bei einem höheren Wärmeleistungsbedarf die Außenluft (Umgebungsluft) als Wärmequelle zu nutzen: Der Außenluftvolumenstrom kann beliebig erhöht werden, um ihm durch Abkühlen Wärme zu entziehen. Dieser Volumenstrom wird der Umgebungsluft entzogen und nach der Entwärmung (im Außengerät) wieder an die Umgebung zurückgeführt. Nach diesem Prinzip arbeiten auch Splitgeräte. Der Unterschied: Das Innengerät (Wärmeabgabe an den Raum) ist in das Zuluft-System der Lüftungsanlage integriert (siehe Abb. 7). Die Wärmeleistung liegt höher als bei Abluft-WP (bzw. Abluft-Zuluft-WP): Ein Luftvolumenstrom von 220 m<sup>3</sup>/h kann beispielsweise von ca. 20 °C auf 53,5 °C erwärmt werden, d.h. 2,48 kW Wärmezufuhr!

Die Fortluft der Lüftungsanlage kann dem Außengerät zugeführt und der Umgebungsluft beigemischt werden, wodurch sich das nutzbare Wärmeangebot etwas erhöht. Das Wärmeangebot der Umgebungsluft kann nochmals erhöht werden, wenn die Außenluft nicht direkt aus der Umgebung gezogen wird, sondern über (z.B. 4) erdverlegte Rohre vorgewärmt wird.

### Außenluft-Warmwasser-Wärmepumpe

Diese reine Außenluft-WP nutzt ebenso die Wärme der Außenluft (Umgebungsluft). Der Vorteil dieser Wärmepumpe gegenüber der Außenluft-Zuluft-Wärmepumpe besteht in der Speicherung der Wärme. Die Wärme kann z.B. tagsüber der wärmeren Umgebungsluft entzogen und im Wasserspeicher eingelagert werden. Die Nutzung der gespeicherten Wärme kann zu einer späteren Zeit erfolgen, wenn ein höherer Heizwärmebedarf (abends/nachts - keine solaren Gewinne) bzw. eine größere Brauchwassermenge benötigt wird.

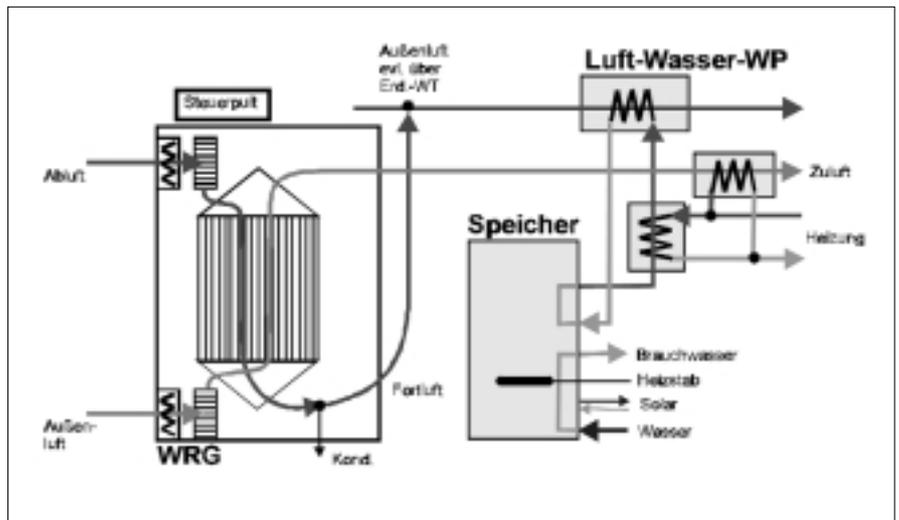


Abb. 11: Außenluft-Warmwasser-Wärmepumpe

### Warmwasser-Nachheizregister

#### a) Bauform

Die Bauformen dieser Heizregister ähneln sich: Warmwasser wird durch ein Cu-Rohr geleitet, welches auf der Luftseite mit Alu-Lamellen bestückt ist, um dort die Wärmetauscherfläche zu erhöhen und somit den Nachteil der luftseitig schlechten Wärmeübergangszahl zu kompensieren.

Es werden Register mit 1 oder 2 Rohrreihen angeboten. Bei der Auswahl ist zu beachten, dass bei größer dimensionierten Heizregistern (mehr Rohrreihen, mehr Wärmetauscherfläche) der Luftwiderstand abnimmt und eine höhere Wärmetauscherleistung erzielt wird.

An Nachheizregistern ist in der Regel auf kleinerem Raum eine höhere Entwärmung des Warmwassers möglich als an statischen Heizflächen; durch die tiefere Warmwasser-Rücklauf-Temperatur arbeitet das wärmezuführende Aggregat (Wärmepumpe, Solarthermie, Heizkessel) bei einem besseren Wirkungsgrad.

Der Einbau ist nur in frostfreien Räumen möglich.

Eine Regelung der Wärmezufuhr ist über Thermostatventil mit Fernfühler (im Referenzraum) sehr zu empfehlen.

Das Nachheizregister ist mit mind. 50 mm Wärmedämmung zu umhüllen. Die Register werden zwar wärmeisoliert angeboten, allerdings ist die Blechgehäuse-Gestaltung (insbesondere beim Übergang zum warmluftführenden Rohrstutzen) nicht wärmebrückenfrei.

#### b) Fernwärmeversorgung einer Siedlung

Bei einer vorhandenen zentralen Fernwärmeversorgung z.B. für eine Wohnsiedlung (Passivhäuser) bietet sich der Einsatz von Warmwasser-Nachheizregistern zur Luftnacherwärmung an. Gleichzeitig könnte über die Zentrale warmes Wasser zur Verfügung gestellt werden. Über Wärmemengenzähler kann jedes einzelne Wohnobjekt in der Siedlung abgerechnet werden.

#### c) Blockheizkraftwerke

#### d) Pelletofen

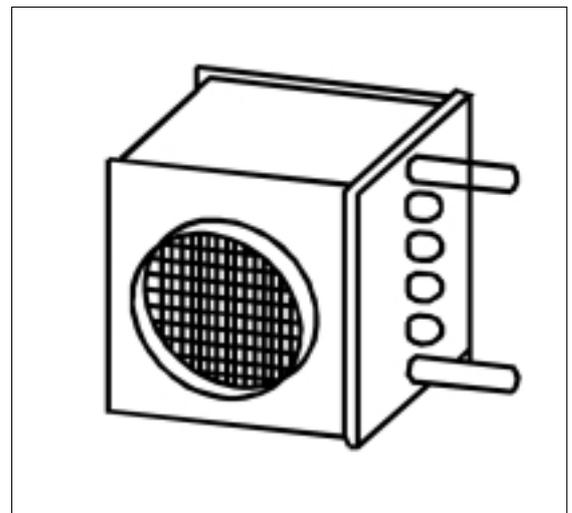


Abb. 12: Warmwasser-Nachheizregister

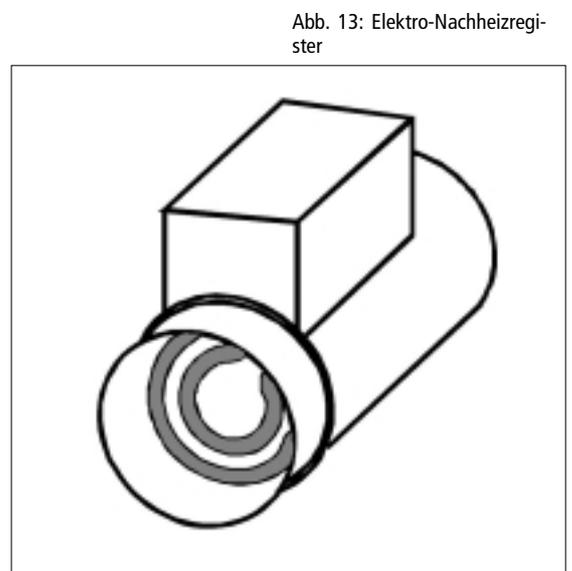


Abb. 13: Elektro-Nachheizregister

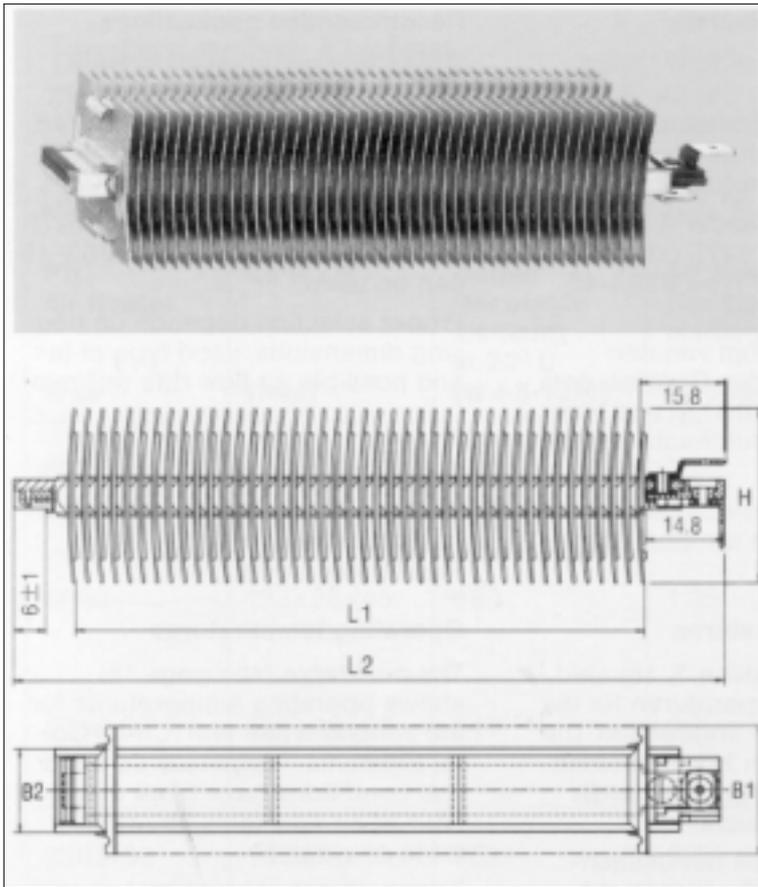


Abb. 14: PTC-Kaltleiter-Heizung

## Elektro-Nachheizregister

Es werden 2 Arten von Nachheizregistern angeboten:

- a) Heizspirale
- b) PTC-Kaltleiter-Heizung

### a) Heizspirale

An der elektrischen Heizwendel wird vorbeiströmende Luft erwärmt. Ein dazu passender Regler schaltet EIN/AUS und regelt damit die Wärmezufuhr. Dazu werden Kanaltemperaturfühler und Raumtemperaturfühler angeboten.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es an der heißen Heizwendel möglicherweise zu Staubverschmelzung (Geruch) kommen kann.

Auch hier ist auf eine gute Wärmedämmung des Heizregisters zu achten.

## Solarthermie

Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts Freiburg (siehe „Tagungsband 2. Passivhaustagung 27.-28.02.98“ Passivhaus-Institut Darmstadt, S. 261, 266) zeigen, dass mit einer 5 m<sup>2</sup> großen Flachkollektorenanlagen der Bedarf für 140 l/h warmes Brauchwasser (45 °C) bei einer 4-köpfigen Familie von insgesamt 2.757 kWh/a (mit Verlusten) zu 54 % durch die Solaranlage abgedeckt werden kann (d.s. 1.494 kWh/a).

Zur Heizungsunterstützung in den Wintermonaten ist der solarthermische Beitrag durch die o.g. normale Solaranlage nur unbedeutend. Will man mit vertretbarem Aufwand das Passivhaus heizen, wird immer eine Unterstützung durch eine der o.g. Heizvarianten notwendig sein.

Nach den Untersuchungen von Herrn Bühring (Fraunhofer-Institut Freiburg) liegen folgende Ergebnisse vor: Das simulierte Passivhaus ist ein Reihenmittelhaus und hat 121m<sup>2</sup> Wohnfläche und vier Bewohner. Die inneren Wärmequellen betragen 3,35 W/m<sup>2</sup>. Die Feuchteproduktion wird mit 120 g/(h-Person) festgelegt. Eine Zirkulationsleitung ist nicht vorhanden. Die Lüftungsanlage ist auf einen Volumenstrom von 125 m<sup>3</sup>/h eingestellt. Die Infiltration verursacht durchschnittlich 0,05 Luftwechsel pro Stunde.

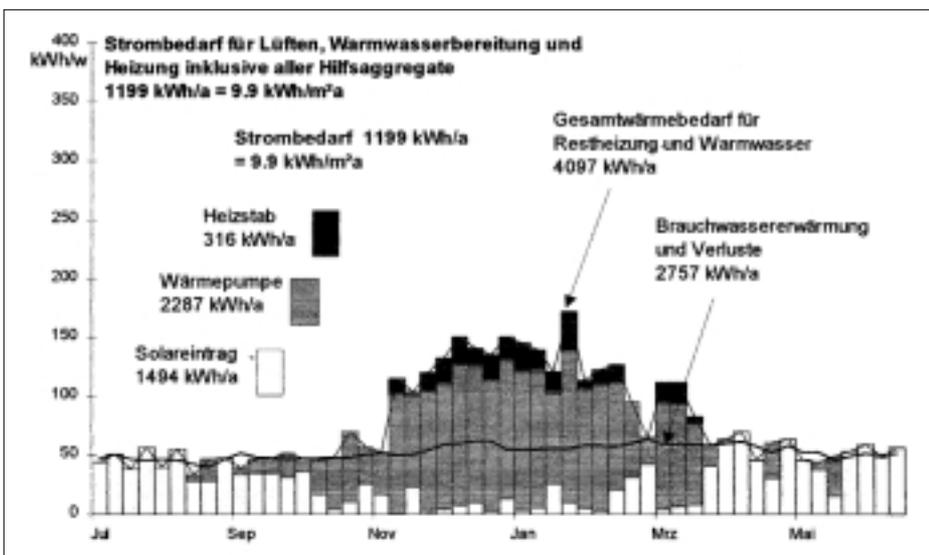


Abb. 15: Jahreswärmebilanz in Wochenwerten für ein typisches Passivhaus mit Kompaktgerät und Solaranlage bei vorgeseh-nem Nutzerverhalten

Die Ergebnisse der Jahressimulation werden in Abb. 15 in Wochenwerten dargestellt. Der Wärmebedarf inkl. Speicherverlusten wird mit 67 % von der Brauchwassererwärmung verursacht. Davon werden 54 % von der Solaranlage gedeckt, die somit zu 36 % den Gesamtwärmebedarf deckt. Die Wärmepumpe deckt mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 weitere 56 % des Wärmebedarfs.

Die Ergebnisse der Jahressimulation werden in Abb. 15 in Wochenwerten dargestellt. Der Wärmebedarf inkl. Speicherverlusten wird mit 67 % von der Brauchwassererwärmung verursacht. Davon werden 54 % von der Solaranlage gedeckt, die somit zu 36 % den Gesamtwärmebedarf deckt. Die Wärmepumpe deckt mit einer Jahresarbeitszahl von 3,2 weitere 56 % des Wärmebedarfs.

Die restlichen 8 % werden vom Heizstab im Solarspeicher gedeckt, der die Reserveleistung bereithält.

Problematisch wird es bei abweichendem Nutzerverhalten. Besonders kritisch ist dies beim Lüftungsverhalten. Während der Heizperiode sollte in einem Passivhaus nach Möglichkeit nicht oder nur selten über Fenster gelüftet werden. Da die durch das Fenster weggelüftete Abwärme nicht zurückgewonnen werden kann und die Frischluft mit Außenlufttemperaturen in die Wohnung gerät, steigt der Wärmebedarf sehr stark an. In Abb. 16 wird die Auswirkung eines relativ starken zusätzlichen Luftwechsels von  $0,6 \text{ h}^{-1}$  durch Fensterlüftung dargestellt.

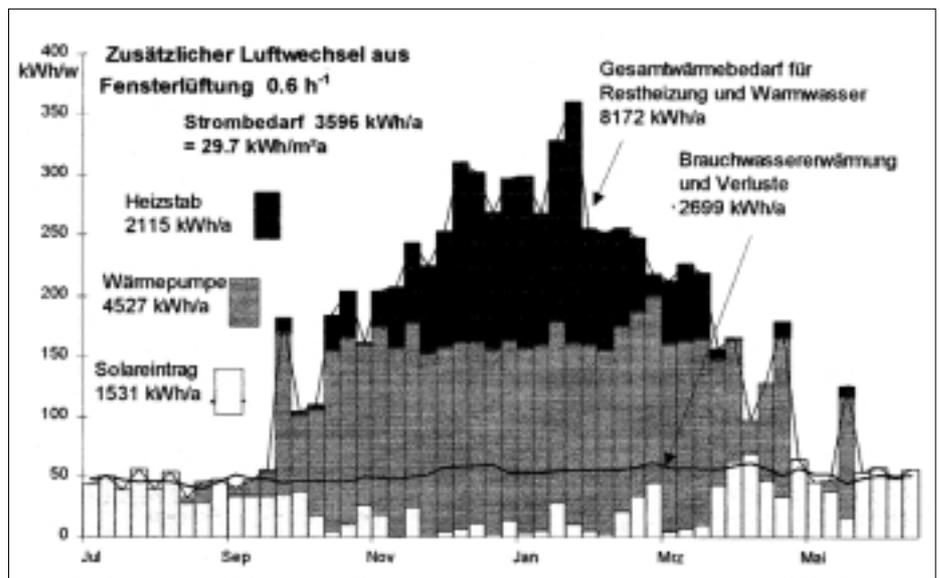


Abb. 16: Jahreswärmebilanz in Wochenwerten für ein typisches Passivhaus mit Kompaktgerät und Solaranlage bei zusätzlicher Fensterlüftung mit  $0,6$ -fachem Luftwechsel

Der zusätzliche Heizbedarf kann nur zu einem sehr geringen Teil von der Wärmepumpe abgedeckt werden. Fast die gesamte zusätzliche Wärmeanforderung muss direktelektrisch gedeckt werden. Der Strombedarf verdreifacht sich dadurch, ebenso wie der Primärenergieeinsatz. Dieser liegt mit fast  $90 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2\text{a})$  weit über dem Ziel für Passivhäuser ( $60 \text{ kWh}_{PE}/(\text{m}^2\text{a})$ ).

Aus dieser Konstellation heraus erscheint es sinnvoll, den direktelektrischen Energieanteil (Heizstab im Speicher) weitgehend zu reduzieren und diesen Energiebedarf durch ein Gasgerät zu erzeugen.

## Allgemeine Bemerkungen zur Luft-Nachheizung

- Die Nachheizung der Zuluft bedingt eine sehr gute (50 mm dicke) Wärmedämmung der warm-luftführenden Leitungen, wenn sie durch nicht beheizte Räume führen.
- Die sonstigen warmen Systemteile (z.B. Warmwasser-Heizleitung zum Warmwasserheizregister) sind ebenfalls gut zu isolieren.  
Halterungen sind wärmebrückenfrei auszuführen.
- Die Wärmeabgabe warmluftführender Leitungen (Rohre, Kanäle) kann aber auch dazu genutzt werden, Räume zu beheizen:
  - Verlegung von Flachkanälen in Wänden oder Betonfußböden (an Verbindungsmuffen ist darauf zu achten, dass kein Flüssig-Beton in das Luftsystem eindringt!)
  - offen im Raum verlegte Leitungen (gestalterisch in die Innenarchitektur einbeziehen!);  
der Vorteil: die Wärmeabgabe durch Strahlung wird erhöht
- Die dem Schlafzimmer zugeführte Frischluft sollte in ihrer Temperatur den Wünschen des Bauherren angepasst werden, d.h. die Nachheizung kann vom Zuluftstrang zum Schlafzimmer umfahren werden.

## Berechnungsgrundlagen

In der Heizwärmebilanz wird zunächst die Wärmemenge ermittelt, die dem Haus bei  $-15 \text{ °C}$  und normaler Fensterlüftung zuzuführen ist.

Durch die Wärmerückgewinnung kompensiert sich dieser Wert. Ein weiterer Teil der Abwärme kann durch die Abluft-Wärmepumpe entzogen werden.

Die tatsächliche Energiezufuhr erfolgt

- im Erd-WT
- in der WP (die elektrisch eingebrachte Energie am Verdichter)
- Luftnachheizung über Gas, Elektroenergie oder Warmwasser

## Ökonomie/Ökologie

Beim Einsatz von Wärmepumpen ist die Leistungszahl  $\epsilon$  eine wichtige energetische Kenngröße; diese liegt etwa bei 3 bei reinen Abluft-Wärmepumpen.

$$\epsilon = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta \dot{Q}}{P_{el}} = \frac{2}{0,6} = 3$$

3,37 Kompaktgerät  
 3,37 Abluft WP Typ 311  
 3,18 Typ WB 300

Ökologisch betrachtet ist die primärenergetische Leistungszahl

$$\epsilon_{Pr} = \frac{\text{Nutzen}}{\text{Aufwand}} = \frac{\Delta \dot{Q}}{3 \cdot P_{el}} = \frac{3}{3}$$

Damit wird deutlich, dass hier Verbesserungen durch Vorschaltung eines möglichst hocheffizienten Wärmetauschers ( $\epsilon = 10 \dots 20$ ) möglich sind.

Um mit einem Leistungsfaktor

$$\epsilon = \frac{3}{1}$$

d.h.

$$\epsilon_{Pr} = \frac{3}{3}$$

Energie zuzuführen, ist es gleichwertig, ob man sie mit einer Wärmepumpe zuführt oder ein Gasgerät verwendet (zur WW-Bereitung oder Luftheizung).

Kosten: 2.125,- DM Gasgerät  
 4-6.000 DM Abluft-WP

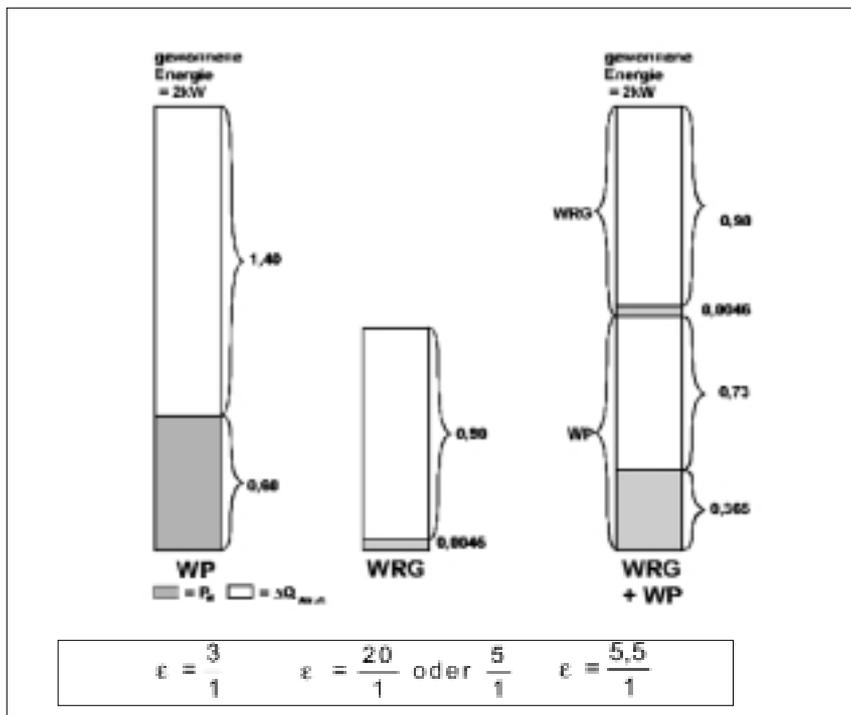


Abb. 17:  $P_{el} = (0,0046 + 0,36)$   
 kW = 0,3646 kW

## Diskussion

Frage:

Kann das Schalldämmmaterial negative Einflüsse auf die Luftqualität haben? Wie wirkt es sich auf die Ionisierung der Luft aus? Gibt es diese positive Ionisierung, die von der Baubiologie negativ bewertet wird, wirklich? Sind die Schaumstoffgehäuse baubiologisch bedenklich?

Paul:

Der Schalldämpfer besteht innen aus Mineralwolle, um die außen entweder ein fester Mantel oder ein Mantel aus weniger straffer Alufolie gewickelt ist. Innen liegt noch eine Ummantelung mit sehr dünner Kunststoffolie und einer weiteren Aluschicht, die leicht genoppt, also mit Löchern versehen ist. Ohne die Kunststoffolie bestünde eventuell die Gefahr, dass Mineralfasern mitgerissen werden. Diese Kunststoffolie ist nicht in jedem am Markt erhältlichen Produkt enthalten.

**Feist:**

Wir führten in der Zuluft der Anlage in Kranichstein auch eine elektronenmikroskopische Untersuchung auf Fasern durch. Dort befindet sich eine größere Menge von nicht abgedeckten Schalldämpfern. Wir konnten keine einzige Mineralfaser finden. Die dort verwendeten Mineralfasermaterialien sind nicht einfach lose Mineralwolle, sondern Gewebematerialien, sodass Mikroteilchen, die sich abspalten könnten, gar nicht entstehen. Wir untersuchten die gesamten Zuluftmengen. Auch bei einem massenspektrometrischen Screening der Zuluft fanden wir keine außenluftfremden Bestandteile. Der Staubgehalt der Zuluft ist aufgrund der Filtermatten sehr viel geringer als jener normaler Außenluft, was sich z.B. darin niederschlägt, dass keine schwarzen Niederschläge mehr oberhalb des Fensters zu finden sind, weil eben die üblicherweise von außen kommenden Aerosole fehlen. In dieser Hinsicht kann man tatsächlich sagen, dass die Qualität der Zuluft besser ist als bei üblicher Belüftung.

**Paul:**

Es wird auch immer die Frage gestellt, ob es nicht bakterielle Probleme gäbe.

Dieser Frage ging Frau Flückinger von der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich nach. [Flückinger, B.; Wanner, H.; Lüthy, P.: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern, ETH Zürich 1997] Sie untersuchte die Luftqualität in gebauten Anlagen, die schon über mehrere Jahre betrieben wurden, und stellte fest, dass der Filter eine sehr entscheidende Bedeutung für die Luftqualität hat. Die Luftqualität ist wesentlich – ich betone wesentlich – besser, als bei der üblichen Fensterlüftung.

Menschen, die Bedenken wegen Bakterien haben, würde ich spitz formuliert raten, nie mehr ihre Fenster zu öffnen, denn besonders in der Übergangsphase und im Sommer ist die Außenluft wesentlich stärker bakteriell belastet, als wenn diese über die Lüftungsanlage in die Räume gelangt. Durch die Vorschaltung von – in unserem Fall 3 – Filtern haben Bakterien keine Chance in den Raum zu gelangen. Im Außenluftfilter stehen 2 Filtermatten übereinander. Um den hochwertigen Filter zu schonen, kommt noch eine Matte, ein Baumarktartikel, davor und im Gerät sitzt noch einmal ein dritter Filter.

Die zweite Frage bezog sich auch auf die Elektroionenkonzentration, die Kleinionenkonzentration.

Dieses Problem wurde vor 2-3 Jahren an uns herangetragen, worauf wir Prof. Tischendorf, einen renommierten Mann aus Aachen, zu Messungen an unseren Geräten beauftragt haben. Zunächst wurde die Ionenaußenkonzentration der angesaugten Luft bestimmt. Das Verhältnis war ausgewogen, etwa 150 positive und negative Kleinionen pro  $\text{cm}^3$ . Im gewissen Abstand nach dem Luftauslass wurde genau das gleiche Verhältnis gemessen, da die Kleinionen nur eine sehr kurze Lebensdauer haben und somit wieder zerfallen. Die Einwirkungen hängen von unterschiedlichen Faktoren ab. Wie sieht das Gerät aus? Aus welchen Materialien besteht der Kanal, aus Kunststoff oder Metall? Wie sieht der Auslass aus, ist dort Kunststoff oder Metall? Unter Umständen können ein Kunststoffkanal und ein metallenes Ventil die Ionenkonzentration wieder aufheben. Wenn das Rohr mit Ionen gesättigt ist, erfährt die Luft keinerlei Ionenkonzentrationsänderung.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass weder bakterielle noch Elektroionisationsprobleme vorhanden sind. Bitte tragen Sie diese Ergebnisse weiter.

Der dritte Teil der Frage betraf den Schaum. Das geschäumte Polypropylen, aus dem unser „thermos“-Gerät besteht, wird mit Wasserdampf geschäumt und kann wieder recycelt werden. Die Recyclinganlage gibt es schon. Dort, woher wir das Material beziehen, kann es auch wieder zurückgeliefert werden. Es wird kleingeschreddert wiederverwertet. Der Schaum ist also auch vom Lebenskreislauf als umweltfreundlich einzustufen.

**Frage:**

Gibt es eine Empfehlung Ihrerseits für das Erdrohrmaterial?

**Paul:**

Zur Auswahl stehen Betonrohre, Steinzeug, Tonrohre und Kunststoff. Blechrohre sollte man wegen Korrosion nicht verwenden. Die Wärmeleitfähigkeit des Materials ist unerheblich, weil die entscheidenden Wärmeleitvorgänge im Erdreich und nicht in der 2-5 mm dicken Wandung des Rohres passieren. Das Material ist eher in Bezug auf den Druckverlust wichtig: Ein Betonrohr hat eine sehr hohe Rauigkeit, was einen höheren Druckverlust verursacht. Die normale Strömungsgeschwindigkeit im Erdrohr-Wärmetauscher ist bedeutend niedriger als diejenige in den Lüftungsrohren, die im Hause verlegt werden. Tonrohr ist sehr teuer und hat mehrere Stoßstellen. Das kostengünstigste Material, das ich ihnen empfehlen kann, ist ein innen glattes Kabelschutzrohr. Es benötigt wenig Bögen, weil es mit einem Biegeradi-

us von etwa 1 m verlegt werden kann. Für die wenigen Formteile, die trotzdem benötigt werden, eignen sich KG-Rohre, die mit dem Kabelschutzrohr gut zusammenpassen. Aber bitte achten Sie darauf, dass das Rohr innen glatt ist: erstens wegen des Druckverlustes und zweitens wegen des Kondenswassers im Sommer, das sonst in den Rillen hängen bleibt.

**Frage:**

Gilt der Stromverbrauch, den Sie angegeben haben, für das gesamte System?

Im Hinblick darauf, dass zwei Ventilatoren eingesetzt werden, kommt mir der Verbrauch des Gegenstromwärmetauschers sehr gering vor.

**Paul:**

Ja, danke für das Kompliment, das ist tatsächlich sehr wenig. Für den niedrigen Stromverbrauch ist eine große Oberfläche und eine geringe Strömungsgeschwindigkeit entscheidend. Wir haben im Wärmetauscher mehr Oberfläche nicht nur durch die Kanalstruktur, sondern auch durch einen größeren Korpus; durch den großen freien Strömungsquerschnitt reduziert sich die Strömungsgeschwindigkeit. Die Strömungsgeschwindigkeit geht zum Quadrat in den Druckverlust ein und der Druckverlust ist wiederum die Ursache für geringeren bzw. höheren Stromverbrauch.

Bei der Filterwahl muss darauf geachtet werden, dass möglichst ein Z-Filter eingesetzt wird: Eine große Oberfläche bewirkt eine kleine Strömungsgeschwindigkeit und damit geringen Stromverbrauch. Da wir all diese Kriterien beachtet haben, kommen wir bei unseren Geräten auf einen Stromverbrauch von 46 Watt mit zwei Ventilatoren, Steuerung und ca. 100 Pa Pressung im Netz. Bitte beachten Sie, wenn Sie Geräte hinsichtlich des Stromverbrauches bewerten, ob die technischen Daten für 100 Pascal Gegen- druck angegeben sind, nicht für das freiblasende Gerät und erst recht nicht für die frei blasenden Ventilatoren. Der Ventilator im Gerät muss den Druckverlust im Gehäuse, im Wärmetauscher, in den Filtern und extern in der Sog- und Druckleitung (etwa 100 Pascal) überwinden. Bei unserem Gerät wurden die 46 Watt so gemessen.

**Frage:**

Zunächst einmal vielen herzlichen Dank. Sie haben mit extremer Offenheit viele, viele Zweifel, die ich selbst gegenüber so hochwertigen Geräten hatte, zerstreut.

Eine Frage hätte ich: Ein Bauträger, der Passivhäuser oder zumindest annähernd Passivhäuser im mehrgeschossigen Wohnbau baut, hat mir gegenüber behauptet, dass ihm Bewohner Sorgen oder Klagen gegenüber einem Verlust an „thermischer Erlebnisqualität“ in den Wohnungen mitgeteilt haben. Beklagt wurden die gleichmäßigen Temperaturen der Räume untereinander und auch die fehlende Möglichkeit sich als Individuum selbst ein wärmeres und ein kühleres Eck zu suchen – jenseits des Verstellens der Heizungsregelung. Das könnten Themen sein, die zukünftig doch wieder zu einem dezentralen Nachheizen der Luftauslässe und damit zur Notwendigkeit von Wasserrohrverteilungen in die einzelnen Räume führen könnten. Ist das ein Thema in Ihrer Praxis oder ist das die Paranoia von einigen Leuten, die Passivhäuser einfach nicht mögen?

**Paul:**

Das letztere würde ich unterstreichen wollen. In einem Passivhaus herrschen gleichmäßig warme Temperaturen ähnlich wie es jetzt im Haus ist. Häufig besteht der Wunsch nach einem kühleren Schlafzimmer, um die anderen Zimmer geht es meistens gar nicht. Dr. Feist sagte einmal: „Ich kann mir nicht vorstellen, dass die Leute den ganzen Sommer nicht schlafen, weil sie 20 °C im Schlafzimmer haben.“ Man kann aber auch die Leitungen nach dem Wärmerückgewinnungsgerät verzweigen und mit der einen Leitung die Zuluft über das Warmwasser-Nachheizregister in das Kinder- und Wohnzimmer führen, mit der anderen direkt ohne Heizung ins Schlafzimmer. Wenn der Kunde genügend Geld hat, kann man noch ein Mischventil einbringen, sodass ein bisschen warme Luft dazu gemischt wird. Es ist allerdings zu bemerken: Das Schlafzimmer ist meistens oben neben dem Badezimmer. Wenn kühle Luft im Schlafzimmer einströmt, streicht schon 15°ige Luft ins Badezimmer. Im Badezimmer beträgt die Raumtemperatur dann vielleicht nur noch 14,5° und ist noch kühler, als ich es vorhin schon erwähnt habe. Dann ist es noch dringender, dass im Badezimmer eine punktuelle Heizung vorhanden ist.

**Frage:**

Mit der raumweisen Gleichmäßigkeit der Temperaturen gehe ich durchaus d'accord mit Ihnen.

Mir hat aber einmal ein Bewohner gesagt, dass auch horizontal geschichtet ganz gleiche Lufttemperaturen frauenfeindlich sind, weil der Mann an der Heizungsregelung dreht und die Frau keine Chance mehr hat, sich noch eigene Winkel zu suchen, außer sie dreht dauernd zurück. Ich erlebe in unserem Wohnverband schon, dass sich jeder einen eigenen Winkel sucht, wo er sich behaglich fühlt, ohne die Heizung zu verstellen. Wenn alles gleich warm ist, hat man die Chance zu flüchten nicht mehr.

**Paul:**

Ich möchte dazu nicht viel sagen, weil es sicherlich individuelle Bereiche gibt. Wenn man das möchte, kann man auch jedem Zimmer einen Warmwasser- oder Elektroheizer zuordnen und damit unterschiedliche Temperaturen in den verschiedenen Zimmern realisieren.

**Frage:**

Ein einziger warmer Punkt, sozusagen ein „Angst-Heizkörper“, in einem Wohnungsverband könnte solche Spannungen gar nicht aufkommen lassen.

**Paul:**

Eher sehe ich die umgekehrte Variante, dass ein normales Haus gebaut wird, das kühle Wände und noch kühlere Fenster hat. Am Fußboden ist es ebenfalls kalt und gerade in der anderen Ecke vom Heizkörper, wo es warm ist, steht das Sofa. Das ist vom Behaglichkeitsverhalten ein viel kritischerer Punkt, als wenn alles gleichmäßig temperiert ist. Vom Energetischen ist es auch bedenklich, weil man eine sehr hohe Temperatur benötigt, um den kühlen Raum überhaupt auf Temperatur zu bringen. Und eine Temperatur von 80 °C Vorlauf ist bekanntlich energetisch viel aufwendiger zu erzeugen als 50 °C oder 30 °C.

**Bemerkung:**

Das Problem ist nicht so sehr, dass die Raumtemperaturen alle zu gleichmäßig sind – sie sind gleichmäßig, das sage ich als Nutzer eines Passivhauses – ich möchte auch auf den Unterschied Holzhaus/Massivhaus in diesem Zusammenhang hinweisen. Bei sehr gut gedämmten Innenwänden gibt es den Wärmefluss z.B. von Südräumen zu Nordräumen nicht. Wenn in einem solchen Haus nur ein Heizregister vorhanden ist, tritt möglicherweise die Schwierigkeit auf, überall gleichmäßig behagliche Temperaturen zu bekommen, wenn nicht eine sehr gute Regelung vorhanden ist oder doch irgendwo z.B. eine Wandflächenheizung oder ein Heizkörper angebracht ist. Das spricht meiner Meinung nach nicht gegen das Passivhaus, weil das bei guter Planung den Gesamtenergiebedarf nicht sehr beeinflusst, aber es treten doch noch unterschiedliche Zonen auf. Wir machten in 3 Häusern verschiedene Systeme mit dem Paul-Lüftungsgerät, einmal mit 3, einmal mit 2 und einmal mit einem Nachheizregister. Das Haus mit nur einem Nachheizregister hat Probleme mit der Behaglichkeit in allen Räumen gleichzeitig. In einem dreigeschossigen Haus mit offenem Treppenhaus steigt die Wärme nach oben. Wenn das Wohnzimmer im Erdgeschoss zu kalt ist und deshalb nachgeheizt wird, wird bei nur einem vorhandenen Heizregister in allen Räumen nachgeheizt, d.h. im Dachgeschoss wird es noch wärmer. Es ist wichtig, sich solche Zusammenhänge vorher regelungs- und systemtechnisch zu überlegen. Deswegen kann man nicht einfach sagen: „Ich baue ein Passivhaus und ich baue eine Lüftungsanlage ein.“ Ich plane eine Lüftungsanlage, die ich richtig auslegen muss. Ich kann sie auch so planen, dass sie individuell die Temperatur regelt.

**Paul:**

Ich möchte das noch einmal unterstreichen. Bei allen vorgestellten Varianten war immer ein Warmwasserspeicher dabei. Diesen kann ich natürlich auch dazu verwenden, verschiedene Heizkörper mit Warmwasser zu beschicken und dann unterschiedlich auch einzuregeln. Aber die Kosten steigen dadurch. Im Passivhaus kommt gerade dadurch, dass ich keinen Heizkörper benötige, ein Ausgleich zustande. Ich kann aber immer individuell natürlich auf den Kunden eingehen.



# Das Buhl-Treberspurg-Passivhaus – Fertigteilssystem und seine Anwendungen in verschiedenen Formen des Wohnbaus

## Martin Treberspurg

Ich kann nicht auf 10 Jahre Passivhaus-Erfahrung verweisen, aber ich wohne in einem solaren Niedrigenergiehaus, das ich als eines der ersten Wohnprojekte geplant habe, und ich verbinde damit sehr positive Wohnenerfahrungen.

Dieses Projekt in Purkersdorf wurde 1987 fertiggestellt und besteht aus 7 Wohneinheiten. Es ist ein selbstbestimmtes Wohnprojekt, getragen von einem Bewohnerverein. Im Rahmen dieses Projektes konnte ich sehr gut herausfinden, was Bewohner sich von ihren Wohnungen wünschen. Meine Überzeugung ist, dass (unabhängig von der Frage Niedrigenergiehaus oder Passivhaus), ein solares Haus Benutzerwünschen am meisten entgegenkommt, d.h. ein Haus mit passiver Sonnenenergienutzung, das auch im Winter, wenn die Tage kurz sind, hell und sonnig ist.

### Solare Wohnbauprojekte

Der erste Genossenschaftsbau gemeinsam mit Arch. Reinberg in Stadlau, 10 Wohneinheiten in unserer Baustufe, wurde 1991 fertiggestellt. Dabei handelt es sich um einen Mischbau (Massivbau und Holzbau), der einerseits aus Kostengründen und andererseits wegen optimaler Nutzung von Speichermassen attraktiv ist. Während die Innenwände aus schwerem Leca-Stein bestehen, kann die Südseite, wo keine Speichermassen notwendig sind, aus Holz hergestellt und weitgehend verglast werden.



Abb. 1: Wohnhausanlage  
Wulzendorfstraße

Ein weiteres Projekt mit den Architekten Reinberg und Raith geplant, wurde 1996 in der Brünnerstraße mit 215 Wohnungen realisiert. Dieses Projekt war als eines der ersten großen Niedrigenergieprojekte richtungsweisend. Ein Teil der Wohnungen ist durch einen verglasten Laubengang gegen den Lärm der Brünnerstraße geschützt. Diese Wohnungen sind mit einer zentralen Be- und Entlüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Frischluftvorwärmung – wie bei Passivhäusern jetzt üblich – ausgestattet worden.

In der Wohnhausanlage Wulzendorfstraße (Abb. 1) plante ich 41 Reihenhäuser (solare Niedrigenergiehäuser) für die Gemeinde Wien. Jedes dieser Häuser hat einen Wintergarten. Es wurden erstmals 16 cm Korkdämmung und durchwegs baubiologische Materialien verwendet. In einer Forschungszeile wurden ohne Mehrkosten neuartige energiesparende Baukomponenten wie TWD-Systeme STO und System Schweizer, OKASOLAR – Dachoberlichten, HIT-Fenster und hoch wärmedämmende Verglasungen eingebaut. Für dieses Projekt wurde ich mit dem EURO-Solarpreis 1997 ausgezeichnet.

Ein Wohnprojekt in Perchtoldsdorf mit 5 Wohneinheiten plante ich gemeinsam mit den Dipl. Ingenieuren Christian und Barbara Wolfert 1996. Auch hier setzten wir baubiologische Materialien, hohe Wärmedämmung, gemeinsame Sonnenkollektoren und eine Regenwassernutzung ein. Wir konnten bei diesem Projekt sehr wirtschaftlich arbeiten.



Abb. 2: 520 Wohneinheiten auf den Osram-Gründen

Weitere Projekte entstanden im Rahmen meines jetzigen Büros, der Treberspurg & Partner Ziviltechniker GmbH. Meine Partner sind Arch. Dipl.-Ing. Friedrich Mühling und der Statiker Dr. Fritze. Das gesamte Team umfasst ca. 15 Leute.

Für die Gewog planten wir die Wohnhausanlage in der Csokorgasse am Leberberg mit 89 Wohneinheiten, Fertigstellung 1998. Auch diese Anlage besteht aus solaren Niedrigenergiehäusern mit Wintergärten für jede

Wohnung. Der Leberberg befindet sich am Stadtrand von Wien in Simmering, und wer die Situation am Leberberg kennt weiß, dass dort viele Genossenschaftswohnungen leer stehen. Interessanterweise waren unsere Wohnungen binnen kurzem vermietet.

Unsere größte Anlage gemeinsam mit Atelier 4 und Erik Steiner ist auf den Osram-Gründen direkt neben den Hochhäusern von Alt-Erlaa angesiedelt (Abb. 2). Die 520 Wohneinheiten wurden 1998 fertiggestellt. Diese Niedrigenergie-Wohnhausanlage ist in einen südorientierten, gewinnmaximierenden Teil mit Sonnenfenster und Sonnenerker und in einen ost-west-orientierten, verlustminimierenden Teil mit verglasten Innenhalle unterteilt. International wurde erstmals eine Grauwasseranlage mit Wärmerückgewinnung, Nanofiltration und UV-Bestrahlung eingebaut.

Für die Bemühungen im Wohnbau und bei der Niedrigenergiebauweise wurde ich voriges Jahr von der UIA mit dem Sir Robert Matthew-Preis ausgezeichnet. Dieser Preis mit dem Titel „For the improvement of the quality of human settlement“ wird alle 3 Jahre von der Weltarchitektenkonferenz für die weltbesten Bauten auf dem Gebiet Wohnbau und Umwelt übergeben. Die Bauten, die hier in Österreich entstehen, sind also durchaus international beachtenswert.

### Mein Passivhauskonzept

Ich arbeitete bereits 1993 an der ersten Auflage des Buches „Bauen mit der Sonne“ und las damals von Dr. Feist und Adamson. Aufgrund ihrer Artikel aus den Jahren 1987 und 1988 überlegte ich, ob ich das Passivhaus in meinem Buch berücksichtigen sollte oder nicht. 1991 wurde die Reihenhausanlage in Kranichstein gebaut, doch konnte ich damals noch nicht abschätzen, welche der verschiedenen Möglichkeiten, Passivhäuser, Plusenergiehäuser oder Minenergiehäuser usw., sich durchsetzen würden. Ich verfolgte also diese Entwicklung sehr genau und wurde schließlich durch die wissenschaftlich exakte Arbeitsweise mit den zahlreichen Publikationen des Passivhaus-Instituts in Darmstadt 1997 zu einem Anhänger des Passivhauses.

In der zweiten Auflage meines Buches „Neues Bauen mit der Sonne“ wird daher auch die Passivhausbauweise als Bauweise der Zukunft genau beschrieben. Natürlich war mein Ziel auch selber möglichst bald ein Passivhaus zu planen, doch mussten für mich gewisse Voraussetzungen erfüllt sein:

- Solares Bauen ist für mich hauptsächlich aus psychologischen Gründen wichtig, die BewohnerInnen sollen von der Helligkeit im Winterhalbjahr profitieren können. Ärzte empfehlen auch im Winterhalbjahr mindestens 2 Stunden pro Tag 2.500 Lux zu genießen, damit die Anfälligkeit für Krankheiten, wie Infektionen und saisonale Depressionen vermindert werden. Allein schon aus medizinischen Gründen sollte ein Haus im Winter sonnig sein und muss daher sinnvollerweise nach Süden orientiert sein.
- Damit im Winter und in der Übergangszeit eine Überhitzung ausgeschlossen werden kann, ist es erforderlich zum Teil massiv zu bauen. Deshalb favorisiere ich die Mischbauweise, die ausreichend Speichermasse für die Pufferung und Speicherung der passiven Solarenergie zur Verfügung stellt, sodass an sehr kalten klaren Wintertagen überhaupt nicht geheizt werden muss.

- Weiters soll der Bau ökologisch sein, es sollen also natürliche und Recyclingmaterialien verwendet werden, und er soll auch wirtschaftlich sein.

### Das Buhl-Treberspurg-Passivhaus

Für die Durchführung solcher Pläne suchte ich einen Partner und fand ihn auch: die Fa. Buhl, eine alt-ingesessene Waldviertler Baufirma mit Zimmereibetrieb und Fensterherstellung. Die Fa. Buhl ist außerdem ein Massiv-Fertighaus-Hersteller mit 90-100 Häusern pro Jahr, was einen der höchsten Umsätze in dieser Branche in Niederösterreich bedeutet. Zusätzlich stellt die Fa. Buhl einen Recycling-Baustoff her, den IBO-geprüften Buhl-Speicherziegel. Der Buhl-Speicherstein ist ein Recyclingstein aus Ziegelsplitt. Er verfügt über eine Schale, in die man die Installationen gut einlegen kann. Das faszinierte mich sehr und es ergab sich eine zweijährige, sehr positive Zusammenarbeit mit dem Team der Fa. Buhl unter der Leitung von Josef Seidl.

Gemeinsam setzen wir ein offenes Baukomponentensystem in Mischbauweise um. Wir entwickelten dafür Standarddetails, erprobten sie an Gebäuden, stellten eine sinnvolle Auswahl von Passivhaus-Komponenten zusammen und planten zwei Musterhäuser. Dies sind keine Musterhäuser in der „Blauen Lagune“, sondern zwei Häuser mit konkreten Bauherren, wie sie der Markt verlangt. So konnten wir verschiedene Anwendungssysteme erproben.

### Die ersten Passivhausprojekte

Das erste Haus, das Haus Springer, ist in Horn, in der Nähe des Sitzes der Fa. Buhl, gelegen. Es fügt sich in das bestehende Einfamilienhaus-Siedlungsgebiet ein und hat ein Satteldach mit Sonnenkollektoren.

Mit diesem Passivhaus entwickelten wir ein Bausystem in Massiv- und Leichtbau-Mischbauweise. Um wirtschaftlich zu sein, versuchten wir möglichst viel vorzufertigen. Die Ost-, Nord- und Westwand wurde mit dem Buhl-Speicherstein in massiv gebaut, die Südwand ist, wie schon in Stadlau, eine Leichtkonstruktion, die – ebenso wie die Dachkonstruktion – hundertprozentig vorgefertigt wurde. Wir nahmen in diesem Fall die wirtschaftlich günstigste Lösung. Da das Haus einen kalten Keller hat, muss der Wärmeübergang vom Keller ins Mauerwerk verhindert werden. Mit Porenbetonsteinen in 2 Lagen unter dem aufgehenden Mauerwerk werden Wärmebrücken vermieden (ev. plus zusätzlicher Wärmedämmung). In die Wand- und Dachkonstruktion wurden ca. 6 Tonnen Zellulose eingeblasen und zwar sowohl in die Leichtkonstruktion, als auch über dem Massivmauerwerk. Die äußere Schicht bildet eine TWD-Platte, ergänzt durch eine dünne Heraklith-Platte an jenen Stellen, wo das Haus verputzt wurde. Der Leichtbau wurde mit Lärchenholz verschalt. Das Haus hat möglichst ökologische Fenster, eine Kombination von Fichtenholzfenstern mit Lärchenholz außen. Für eine große Behaglichkeit wurden die Innenräume mit Lehm verputzt, mit einer Pellets-Heizung wird zusätzlich geheizt.



Abb. 3: Haus Penka in Rapottenstein

Das zweite Haus ist das Haus Penka in Rapottenstein, einem sehr schönen alten Ort im Waldviertel. Es liegt direkt an der Zufahrtsstraße nach Rapottenstein an einem Südhang unter Bäumen verborgen. Durch die Hanglage wird an der Nordseite ein Geschoss unterirdisch ausgeführt. Auf Wunsch des Bauherrn wurde auch ein Wintergarten geplant. Es wurden die massiven Bauteile an der Ost-, Nord- und Westwand als vorgefertigte Leca-Fertigteilelemente ausgeführt, die wegen der größeren Entfernung zum Werk wirtschaftlicher waren. Der Abstand zur Vorsatzschale wurde mit DGI-Trägern ausgeführt und dadurch das Haus relativ schnell fertiggestellt. Die Lüftungsanlage, die Heizung und eine Wärmepumpe werden

mit einem AEREX-Lüftungsgerät der Fa. Drexel betrieben. Die ersten Ergebnisse zeigten sehr günstige Energieverbrauchswerte.

### Solarcity in Linz-Pichling

Unser nächstes Projekt in Passivhaus-Bauweise planen wir in der Solarcity in Linz-Pichling, einem neuen Stadtteil zwischen Traun und Donau mit 1.500 Wohneinheiten. Ich gewann den städtebaulichen Wettbewerb, der nur die Aufgabe hatte, um die Bauteile der Architekten Foster, Rogers und Thomas Herzog herum siebenhundert Wohneinheiten, aufgeteilt auf sieben Genossenschaften, anzuordnen.

Jede Genossenschaft plant mit einem eigenen Architekten also ca. 100 Wohneinheiten. Es ist mir gelungen, die hundert Wohneinheiten für die Eisenbahnersiedlungsgenossenschaft zu planen, wobei das Haus Nr. 1, als Passivhaus ausgeführt wird, während das Haus Nr. 3 als Fast-Passivhaus ausgeführt wird. Im Rahmen des Forschungsprogramms „Haus der Zukunft - Innovative Baukonzepte“ werden wir diese Häuser bauen und untersuchen.



Abb. 4: Solarcity Linz-Pichling

Wir hoffen, durch entsprechende Untersuchungen Informationen über Baukosten und auch über die Bewohnerzufriedenheit zu bekommen.

Auch diese Häuser sind mit großflächigen Verglasungen nach Süden orientiert. Die Bewohner können sich aussuchen, ob sie zusätzlich einen Wintergarten haben und bezahlen wollen.

Wir wollen für spezielle Bauteile eine Vakuumdämmung verwenden und damit neue Erfahrungen gewinnen.

Das wichtigste konstruktive Problem ist der Übergang vom kalten Keller zum warmen Passivhaus. Eine Lösung basiert auf der thermischen Trennung durch Ytong-Porenbeton,

die zweite auf Fertigteilelemente mit Schaumglas. Der Übergang mit Schaumglas ist natürlich sehr teuer. Dafür brauchen wir aber nur ganz wenig im Vergleich zu dem Ytong und auch die Abwicklung ist günstiger. Details des Baukastensystems sind für alle, die damit bauen wollen, zugänglich. Die Speicherziegelwand muss man auf den Porenbeton stellen. Wenn wir aber die Leichtwand-Fertigteile verwenden, können wir die Leichtwand direkt auf die Betondecke stellen.

An den Gebäudedecken treffen Speicherziegelwand, die entsprechenden DGI-Träger, die TWD-Platte und an den verputzten Stellen die Heraklith-Platten zusammen. Die Fenster sind außen überdämmt. Als Fertigteil muss die Fuge zwischen dem Massivbauelement und dem Fertigteilelement sehr gut funktionieren. Das Gleiche gilt bei der Traufe. Mit Fertigteilen ist die Fugendichtheit einfach zu erreichen, indem man einen Streifen von einem Dichtungsmaterial herausstehen lässt. Der Streifen ist in dem Fertigteil fix einbetoniert und wird dann an dem Dachelement entsprechend verklebt und festgemacht. Die Traufe kann mit oder ohne Dachvorstand ausgeführt werden. Auch ich habe mir, wie Kollege Rudolf, die Anzahl der Schichten angesehen: Wir haben immer 5-6 verschiedene Schichten und erreichen damit eine hohe Wirtschaftlichkeit.

Beim Haus Penka, soweit man das eben feststellen kann, sind die baulichen Mehrkosten minimal. Auch bei diesem Projekt haben wir ein passivhaustaugliches Fenster der Fa. EUROTEC eingesetzt und Rahmen und Stock überdämmt.

Im Zuge dieser Zusammenarbeit haben wir festgestellt, dass die Fa. Eurotec, das ist einer der erfahrensten Fensterbetriebe auf diesem Gebiet, sehr kostengünstige Fenster in Holz, Kunststoff und Holz/Alu herstellt. Die Fa. Buhl hat die Vertretung dieser Fensterfirma übernommen.

### Nicht verwirklichte Projekte

Im Folgenden möchte ich noch ein paar Beispiele von Passivhäusern, die individuell mit dem Buhl-Treiberspur-Passivhaus-Baukomponentensystem geplant, aber nie verwirklicht wurden, präsentieren.

In einem geplanten Haus bei Neulengbach sind der große Wohnraum und die Zimmer nach Süden ori-

entiert, im Norden befinden sich die Nebenräume und die Stiege. Da das Haus in den Hang eingegraben ist, ergibt sich angenehmerweise eine zweigeschossige Südseite mit größeren Fensterflächen. ZU einem weiteres Haus in Rohrau: Hier war der Wunsch des Bauherrn Nebengebäude wie Schuppen usw. zu errichten, die nicht so aufwendig ausgeführt werden sollen. Auch die Garage muss nicht in Passivbauweise hergestellt werden.

Beim Wettbewerb Suncity Leoben, wo wir leider an 2. Stelle landeten, ging es um verschiedene Passivhäuser von einem Grundtyp ausgehend, an die man Elemente addieren kann. Es ergibt sich mit dem Buhl-Treberspurg-Passivhaus-Baukomponentensystem ein breiter Typenschlüssel, mit dem die entsprechenden Häuser durchgeplant werden können. Es besteht kein wesentlicher Unterschied zu normalen Gebäuden, nur die Wände sind etwas dicker. Die Typen sind, wie solare Häuser sein sollten: Wohnräume möglichst nach Süden und die Nebenräume und die Erschließung nach Norden orientiert.

Ein weiteres geplantes Wohnprojekt, das vielleicht in Passivbauweise errichtet werden soll befindet sich in Wördern. Es wurde von 6 Familien mit 6 individuellen Grundrissen geplant und wäre auch sehr preisgünstig zu errichten. Diese sechs Einheiten würden mit einer kleinen Pellets-Heizung beheizt werden. Auch diese Häuser weisen entsprechende Dämmschichten auf und sind mit einer großen Verglasung nach Süden orientiert.

Als letztes Projekt möchte ich einen Kindergartenwettbewerb in Ziersdorf erwähnen (Abb 5). Ich finde es wirklich ausgesprochen positiv, dass sich die Gemeinde Ziersdorf ihren Kindergarten als Passivhaus ausführen möchte. 10 Kollegen beteiligten sich an diesem Wettbewerb. Der Aufwand war natürlich beträchtlich, weil man Passivhaus-Berechnungen machen musste.

Bei unserem Projekt versuchten wir primär einen richtigen Kindergarten zu machen, unabhängig vom Oberflächen-Volumsverhältnis.

Das Ziel war die Gruppenräume optimal – das heißt nach Süden - zu orientieren und ihnen je eine kleine Spielterrasse zuzuordnen. Natürlich war uns bewusst, dass damit ein entsprechend größeres Oberflächen-Volumsverhältnis vorlag, doch kann durch die Orientierung auch im Winterhalbjahr eine für die Kinder optimale Besonnung garantiert werden.

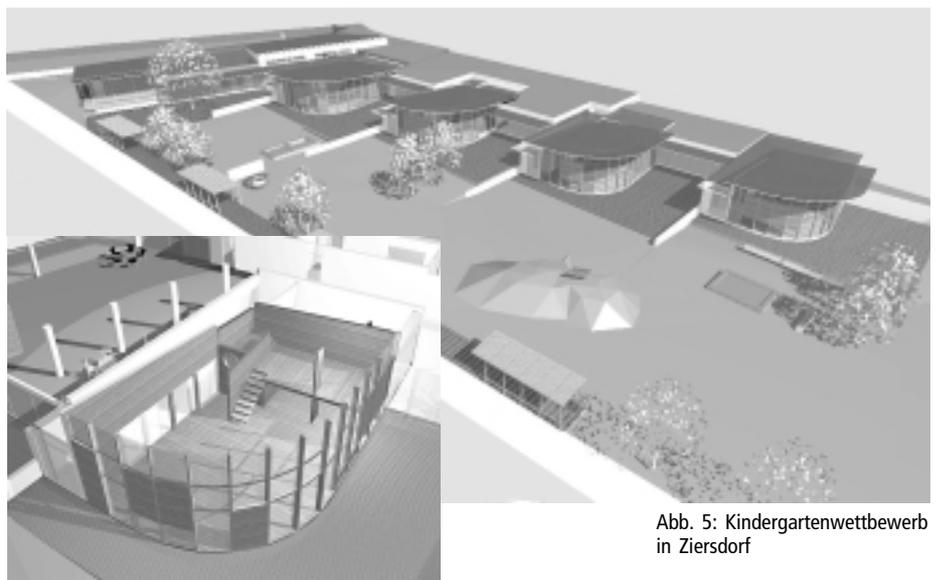


Abb. 5: Kindergartenwettbewerb in Ziersdorf

Der Nachteil ist natürlich, dass so ein Kindergarten durch die größere Oberfläche vielleicht auch höhere Kosten hat. Aufgrund der guten Erfahrungen mit der Fa. Buhl und unserem Baukastensystem sind wir davon ausgegangen, die Kosten ansonst sehr niedrig halten zu können. Dies kann natürlich erst mit einer genaueren Untersuchung bewiesen werden. Die Jury hat es für sich untersucht und den ersten Preis dem Kollegen Kislinger verliehen, der eine weitaus kompaktere Planung eingereicht hat.

Kritische Bemerkungen zu Passivhäusern finden sich unter anderem in einer Broschüre für die Vorbereitung des Hauses der Zukunft: „Nachteile des Passivhauses seien Restriktionen im Oberflächen-Volumsverhältnis und eingeschränkte architektonische Gestaltungsfreiheit und Flexibilität“. Ich glaube, es ist eine Aufgabe für uns Architekten, entsprechend gute Beispiele zu entwerfen. Bei der Expo in Hannover wurde eine Passivhaus-Zeile vorgestellt. Die Häuser sind sehr billig und benötigen keine Energie, sind aber nach einer relativ langen Zeit noch nicht alle verkauft gewesen, weil sie offensichtlich nicht so gefallen haben.

## **Diskussion:**

### **Frage:**

Sie haben in Ihrem Vortrag mehrmals das Wort Wirtschaftlichkeit verwendet. Nun hätte ich gerne Preise pro Quadratmeter Wohnnutzfläche als Maßzahl für die Wirtschaftlichkeit gewusst.

### **Treberspur:**

Die Wirtschaftlichkeit, das ist immer so eine Sache. Die Solar-Niedrigenergiehäuser blieben mit ihren Kosten im Rahmen der Wohnbauförderung. Beim Projekt der Wien Süd auf den Osrath-Gründen kamen wir auf etwa ATS 12.800,-/m<sup>2</sup> Nettoherstellkosten. Über Passivhäuser, das sind Einfamilienhäuser, kann Ihnen Josef Seidl als Projektleiter der Fa. Buhl ganz genau sagen, wie hoch die Kosten sind. Er hat mir gesagt, dass die Kosten mit einem Buhl-Haus vergleichbar sind.

### **Josef Seidl:**

Meistens wird mit den Kosten von den Passivhausherstellern ein bisschen gemunkelt. Ich will versuchen, es ehrlich darzustellen: Wir haben zwei Projekte gebaut. Das Haus Penka hat in etwa ATS 3,6 Mio. brutto gekostet. Das Haus Springer lag bei ca. ATS 3,7 – 3,8 Mio. brutto inkl. Keller und Nebenanlagen. Man soll allerdings nicht übersehen, dass bei diesen Erstprojekten ein hoher Mehrbetrag durch die aufwendigere Bauleitung entstanden ist. Die reinen Materialmehrkosten etwa bei den Fenstern und Dämmungen würde ich mit rund ATS 200.000,- beziffern, aber die Bauleitungsmehrkosten lagen bei ATS 300.000,-. Das zeigt, wo das große Potential zu Einsparungen liegt. Wir haben in etwa Preise von ATS 1.600,- bis 2.400,- als reine Wandpreise, abhängig von den verwendeten Materialien: vom billigsten System Recycling-Ziegel und EPS bis hin zu Recyclingziegel und Kork oder Recyclingziegel und vorgestellter Dämmfassade.

Das Gesamthaus ist dadurch gekennzeichnet, dass wir einen Serientypus entwickelt haben, den Treberspur nicht im Detail vorgestellt hat. D.h. durch wiederkehrende Bauweise lassen sich Kosten einsparen, es geht gar nicht so sehr um Serienbauteile.

### **Treberspur:**

Die Nettonutzfläche: Haus Penka 190 m<sup>2</sup> und Haus Springer 175 m<sup>2</sup>. Das Haus Springer ist in der vollen Größe unterkellert.

### **Anregung:**

Ich fand sehr wesentlich, dass es auch um das gesamte Aussehen von Gebäuden geht. In Tirol, Helmut Krapmeier war dabei, haben wir bewusst nur Anerkennungspreise vergeben, um auf diese Diskrepanz zwischen Gestaltung und Energieoptimierung auch hinzuweisen. Hier muss noch eine Verzahnung stattfinden: Architekten, die für die Optik zuständig sind oder sich immer noch verstärkt für die Optik zuständig fühlen, müssen mehr von diesen Techniken involvieren, bzw. dürfen die Energieoptimierer die Gestaltung nicht ganz außer Acht lassen. Ich glaube, dass die Bauwerke auch eine gewisse Ausstrahlung oder Erotik oder wie immer man das nennen will, transportieren. Und weil – leider immer noch – gesagt wird, die Passivhäuser sind Kisten, müssen alle, die in den Prozess involviert sind, zu einer Änderung beitragen. Danke.

### **Treberspur:**

Wir hoffen ja, dass es sehr viele Kollegen gibt, die sich mit Passivhäusern beschäftigen. Und ich glaube, es wird auch vermehrt Lösungen für alle diese Details und diese Wandaufbauten geben. Die Komponenten werden auch billiger werden, sodass größere gestalterische Freiheiten entstehen werden. Ich finde es sehr wichtig, nicht dem Druck nach Kompaktheit zu unterliegen.

### **Frage:**

Wie siehst du den Einfluss des Passivhauses prinzipiell auf die Architektur? Hat man jetzt so viele Regeln gefunden, dass der Architekt wieder frei gestalten kann, wenn er nur diese Grundregeln einhält? Kann die Haustechnik wieder mit beliebiger Architektur arbeiten oder besteht da ein Zusammenhang zwischen einer speziellen Architektur und dem Passivhaus?

**Treberspurg:**

Sicher besteht dieser Zusammenhang, wobei man natürlich von der Bauaufgabe ausgehen muss. Das UFA-Kinozentrum von Coop-Himmelblau in Dresden wird man nicht als Passivhaus bauen. Es ist ganz wichtig, wie die Aufgabe ist. Aber eine überzeugend architektonische Lösung lässt sich jederzeit als Passivhaus bauen. Sie kennen alle von Frank Lloyd Wright das Haus Jacobs 2, das Solarhemicycle-Haus, das im Norden eingegraben ist und sich nach Süden halbkreisförmig zur Sonne öffnet, die ideale Form eines Passivhauses. Man kann sicher auch die Villa Tugend hat von Mies van der Rohe als Passivhaus ausführen, ohne dass sie wesentlich anders ausschauen würde. Es ist natürlich nicht ganz richtig, diese Sachen so zu übertragen, aber von der Form her würde man das auch zusammenbringen. Es hängt eben von dem Hauskonzept ab.



# Passiv im urbanen Haus

**Wolfgang Ritsch, Karl Torgehele**

Gebäude der Zukunft müssen mehr als bisher funktionellen Ansprüchen genügen, eine längere Lebensdauer haben, weniger Energie verbrauchen, sorgfältiger gestaltet sein und sich besser in die Umgebung einfügen.

Die Architektur eines Gebäudes soll ebenfalls die Atmosphäre von guter Gestaltung, menschlichem Maßstab, Funktionalität und Dauerhaftigkeit vermitteln.

Gute Gestaltung meint gelungene Proportionen, richtiger Umgang mit Licht und Schatten sowie Farben, solide Ausführung wie auch ein Widerspiegeln der regionalen Identität und Baukultur.

Menschlicher Maßstab meint angenehme Räume, die das Wohlbefinden fördern und Möglichkeiten für Arbeiten aber auch für Erholung und Entspannung bieten.

Funktionalität meint an die Bedürfnisse der Nutzer angepasste Raumqualitäten. Insbesondere Größe, Belichtung, Schallschutz und Belüftung sind dabei die bestimmenden Faktoren.

Der ökologische und ökonomische Maßstab wird wesentlich durch die Dauerhaftigkeit des Gebäudes bestimmt. Haltbarkeit im Betrieb, geringer Energieverbrauch und lange Lebensdauer der Konstruktionen sind sicherzustellen. Die Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit reduzieren ebenfalls den Erhaltungsaufwand für das Gebäude.

Die ZIMA Holding AG als eine der größten Bauträger in Vorarlberg plant die Umsetzung eines Mehrwohnungs-Passivhauses, das nicht nur energietechnisch, sondern auch beim ökologischen und baubiologischen Materialeinsatz zukunftsweisend ist.

Die Planung des Projektes wurde im März 2000 begonnen. Mit der Umsetzung wird noch 2001 begonnen. Insgesamt sollen 8 Wohneinheiten am Standort Dornbirn (Zentrumsnähe!) entstehen.

Folgende Anforderungen an das Projekt werden seitens des Bauherren formuliert:

- Einsatz umwelt- und menschengerechter Baustoffe (Bewertungskatalog)
- Hoher Wohnkomfort durch flexibles Wärmebereitstellungssystem
- Standort hervorragender Infrastruktur sowohl hinsichtlich Individual- als auch öffentlichem Verkehr
- Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen unter Berücksichtigung von Betriebskosten sowie externer Kosten insbesondere durch CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Sozialverträglichkeit und den gesellschaftlichen Entwicklungen angepasste Architektur
- Umsetzung im urbanen Raum
- Entwicklung eines Bausystems zur rationellen und kostengünstigen Multiplizierbarkeit von Passivhäusern als Grundlage für den zukünftigen Baustandard

Passivhäuser werden heute meist noch als Einfamilienhäuser gebaut. Sehr wenige und oft nur halbherzige Umsetzungen im Mehrwohnungsbereich sind heute Realität.

Eine der wichtigsten Forderungen des ökologischen Bauens heißt aber, verdichtet zu bauen, und Zentren zu stärken. Damit können nicht nur Grund und Boden geschont, sondern auch die motorisierte Mobilität gebremst werden.

Es gilt daher Passivhäuser im urbanen Raum zu entwickeln und zu forcieren.

## Bauen in Vorarlberg

Was heißt passiv Bauen im urbanen Raum, speziell im Siedlungsraum Vorarlberg?

Der Siedlungsraum Rheintal ist geprägt von einer extrem hohen Siedlungsdichte. Er erstreckt sich auf Vorarlberger Seite von Bregenz bis Feldkirch. 200.000 Einwohner leben in einer Art suburbanen Struktur. Er ist beschreibbar als Struktur mit offener Bauweise und teilweise sehr hohen Dichten. Vorarlberg ist auch geprägt durch eine hohe Tradition an Holzbaukunst, beispielsweise erkennbar am sogenannten Rheintalhaus.



Abb. 1: Rheintalhaus



Abb. 2: Haus Wachter/Vaduz

Ein besonderes Merkmal dieser Häuser war immer schon eine Orientierung nach Süden.

Ein weiterer Bautyp, der früher in Vorarlberg entstanden ist, sind die sogenannten Arbeiterwohnhäuser, die ersten verdichteten Objekte. Auch sie sind ein Bezugspunkt für das, was wir heute an Mehrfamilienhäusern bauen. In den frühen 60er/70er Jahren entstand die Vorarlberger Bauschule. Zu Beginn der 80er Jahre wurde eine Kooperative gegründet, eine Art Holzbauschool, eine neue Baukonzeption, nach der Skelettbauten errichtet wurden. Diese Häuser wurden dann in Eigenleistung und Selbsthilfe/Nachbarschaftshilfe ausgebaut. Die Häuser haben bereits alle Elemente aufgewiesen, die uns heute wichtig sind: Orientierung nach Süden, Passivorientierung mit Wintergärten und ähnlichen Komponenten, aber auch mit Gemeinschaftsräumen, und also eine hohe Qualität bezüglich sozialer Infrastruktur aufweisen.

### Welche Werte wollen wir schaffen?

Gerade bei der Planung eines Hauses gibt es immer wieder dieselben Diskussionen. Mit welchen Werten wollen wir in Zukunft leben, welche Werthaltung können wir auch gegenüber unseren Nachkommenvertreten?

Die erste Frage gilt dem Nutzwert. Wenn es darum geht, einen möglichst hohen Nutzwert zu erzielen, dann gilt es, ein Gebäude zu optimieren, egal ob das ein Bauernhaus aus dem 15./16. Jahrhundert oder ein Haus ist, das heute gebaut wird.

Der Nutzwert bestimmt, inwieweit die Wohnung die Bedürfnisse der Nutzer überhaupt erfüllt. Wie brauchbar ist eine Wohnung?

Die zweite Frage ist die nach dem Ökologiewert, d.h. wie verträglich innerhalb eines natürlichen Kreislaufes ist das, was heute gebaut wird?

Die dritte Frage ist der sogenannte Preiswert. Was ist mir das Bauen wert? Was ist mir das Wohnen wert?

Letztendlich geht es um die Qualität des Lebensraumes, also um einen Lebenswert.

### Passivhäuser Junkers Bündt

Das Projekt Junkers Bündt wurde interdisziplinär entwickelt. Die Auftraggeber setzten sich das Ziel, den hochwertigen Standort mitten im Rheintal optimal zu nutzen.

Die Projektentwicklung baut auf einer umfassenden Nutzwertanalyse auf. Nach den oben beschriebenen Wertdiskussionen gliedert sich die Nutzwertanalyse in folgende Kategorien:

#### Nutzwert Standort

Wir fragen hier systematisch immer drei Fragen ab:

- Was brauche ich?  
öffentlichen Verkehr, Parkanlage oder Wald, Ortszentrum, Nahversorgung, Quartierspielplatz, Kindergarten, Hauptschule, soziale Einrichtungen, Naherholungsgebiet und Straßenverbindung
- Was spüre ich?  
fühle ich mich hier wohl in diesem Quartier, gibt es Treffpunkte, gibt es einen gewissen Erholungswert, Ausbildungsmöglichkeiten?

#### Nutzwert der Anlage

- Was brauche ich?  
Wohnungsangebot, eventuell zumietbare Büroräume, veränderbare Wohnungsgrößen, Abstellräume, Waschtrockenräume, Mehrzweck- und Gemeinschaftsräume, gemeinsame Abstellräume, Fahrradabstellmöglichkeiten, Autoabstellplätze etc.

## Nutzwert der Wohneinheit

- Was ist notwendig?  
entsprechende Flächen, Räume, Nutzbarkeit, Möblierbarkeit, Belichtung, Situierung des Essbereiches usw.
- Was spüre ich?  
„Was will ich sehen, was will ich hören, was will ich riechen, was will ich fühlen, was will ich tasten?“

Nach einer detaillierten Auseinandersetzung mit den Erkenntnissen der Nutzwertanalyse entstand der Entschluss, ein gesamtökologisches Passivhaus zu entwickeln. Gesamtökologisch meint hier, dass neben einer Standortentscheidung im Zentrum des Ballungsraumes Götzis Mitte (Abb. 3) und der Einhaltung der technischen Mindeststandards für Passivhäuser (Heizwärmebedarf < 15 kWh/m<sup>2</sup>a, Primärenergiebedarf < 120 kWh/m<sup>2</sup>a) vor allem die ökologische und baubiologische Materialauswahl von besonderer Bedeutung im Planungsprozess war.

## Bauliche Umsetzung

Das Projekt wird in Massivbauweise realisiert. Die Außenwände sind bestehen aus gedämmten Kalksandsteinwänden. Decken sind in Beton mit schwimmendem Estrich ausgeführt. In die tragende Struktur werden nicht tragende Kalksandsteinwände eingefügt.

Eine verglaste Verandazone wirkt nicht nur als Klimazone, sondern reduziert auch die Schallimmission. Diese Verandazone ist mit einer speziellen Schiebeglasanlage und speziellen Lüftungselementen ausgeführt. (Abb. 4)

Es gibt grundsätzlich nur Materialien ohne kritische Inhaltsstoffe, ökologische Materialien wie Lehm oder Gipsputze, geölte Klebeparkette bzw. Naturholzfenster und die Fassaden aus geflammter Lärche. Eine elektrobiologische Hausinstallation ist ebenso vorhanden.

Besonderer Wert wurde auch auf eine barrierefreie Ausführung gelegt (Lifterschließung, alle Türen sind breiter als 80 cm etc.).

## Ökologiewert

Die Vorarlberger Wohnbauförderung beinhaltet bereits seit 1997 eine Zusatzförderung für ökologisches Bauen.

Zusätzlich zur Grundförderung von etwa ATS 6.000,-/m<sup>2</sup> (verdichtete Bauweise) können für ökologische Maßnahmen des Bauens neben der klassischen Energiesparförderung bis zu 400 ATS/m<sup>2</sup> lukriert werden. Die Kriterien dieser Wohnbauförderung sind

- die Betriebsenergie sowie die graue Energie,
- der schonende Umgang mit Wasser und Boden,
- der nachhaltige und schonende Umgang mit der Ressource Luft (klar gegliedert in Innenraum und Außenraum),
- der Einsatz von Bauprodukten und natürlich
- die Vermeidung von Abfällen und insbesondere von gefährlichen Abfällen.

Bei dem vorgestellten Projekt wurde darauf geachtet, dass Materialien aus der Region stammen. Es wurde darauf geachtet, dass die Produkte schadstoffarm waren, vor allem beim Innenraum (z.B. genereller PVC-Verzicht; keine lösemittelhaltigen Farben, Lacke oder Kleber etc). Der Umgang mit Wasser und Abwässern, die CO<sub>2</sub>-neutrale Energiebereitstellung durch die Pellets-Heizung und Solaranlage wurden berücksichtigt.



Abb. 3: Lage des Projektes Juncker Bündt im Ballungsraum Götzis Mitte

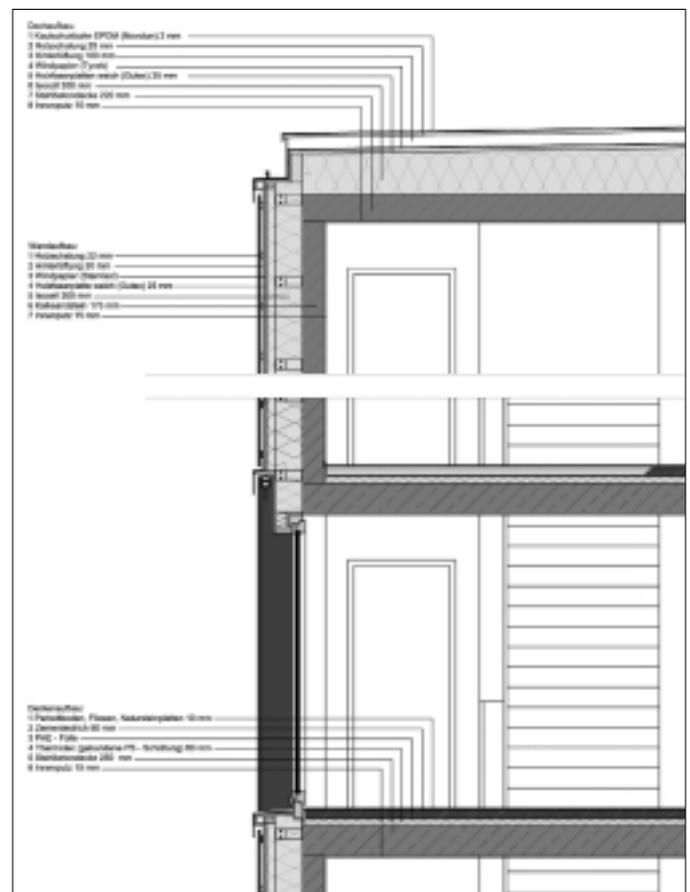


Abb. 4: Fassadenschnitt

## Materialeinsatz

- Außenwände mit Lehmstein oder Kalksandstein
- Wände und oberste Decke mit Zellulosedämmung
- Innenwände mit Lehmbauplatten, Spritzlehmputz
- Innenwände Gipsfaserplatten
- Fassade in Lärche geflämmt
- Dachhaut EPDM
- grundsätzlich lösemittelfreie Farben, Lacke und Anstriche
- Biomasseheizung

## Wärmeschutz

Bauteil	Beschreibung	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Speicherwirksame Masse kg/m <sup>2</sup> (24h)
AW101	KS Zellulosedämmung	0,127	157
AW102	Lehm Zellulosedämmung	0,127	149
DA101	Flachdach hinterlüftet	0,115	271
AF101	3-Scheiben, überdämmter Stockrahmen	0,79	k.A.
AF102	2-Scheiben, Wintergarten	1,6	k.A.
DE101	Wohnungstrenndecke	0,55	155/253
DE102	Decke gg Keller/TG	0,119	157
IW101	Wohnungstrennwand KS 2-schalig	0,573	151
IW102	Leichtwand GK	0,547	22
IW103	Leichtwand Lehmbauplatten	0,592	30

Tab. 1: Thermische Qualitäten der Bauteile

## Energiekonzept

- Passivhauscharakter qH ~ 13 kWh/m<sup>2</sup>a
- Sommertauglichkeit
- Fixverschattung nach Süden
- Speicherwirksame Massen
- techn. Be- und Entlüftung
- 50 m<sup>2</sup> Solaranlage für WW
- Pelletsanlage im Nahwärmeverbund

Die Teilbarkeit oder der flexible Grundriss sollen sicherstellen, dass eine möglichst hohe Langlebigkeit des Objektes gegeben, eine

lange Nutzbarkeit sichergestellt ist und die Luftqualität durch die technische Be- und Entlüftung, aber auch durch den Materialeinsatz sichergestellt wird.

## Preiswert

Das preiswerte Bauen erfordert eine Betrachtung über mehr als nur die Errichtungs- bzw. Anschaffungskosten. Unter Berücksichtigung der Folgekosten aus Betrieb, Erhaltung und Wartung sowie der Beseitigung ergibt sich ein neues Bild, das auch unter betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen dem ökologischen Bauen das Prädikat „preiswert“ verleiht.

Die Fragen „Was ist sozialer Wohnbau, was hat sozialer Wohnbau mit ökologischem Passivhaus zu tun?“ lassen sich aus unserer Sicht nur so beantworten, dass der soziale Wohnbau eigentlich nur der ökologische Wohnbau sein kann, weil gerade diese Haltung in Wirklichkeit auch letztendlich sozial verträglich ist.

Abb. 5: Grundrisse vlnr: Ebene +3, +1); Ebene 0; Ebene +2; Systemgrundriss



## Diskussion

### Frage:

Wie ist der Zusammenhang zwischen Architektur und Passivhaus? Hat sich die Architektur schon völlig von dieser Haustechnik lösen können oder entwickelt sich eine eigene Architektur, die sich aus diesen technischen Anforderungen ergibt?

### Ritsch:

Natürlich wird die Architektur durch das Passivhaus bzw. durch entsprechende Maßnahmen beeinflusst. Aber ich denke, das ist auch ein Teil unserer Kultur, dass darüber nachgedacht wird. Wie kann man energiemäßig günstig bauen? Genauso wie z.B. das Rheintalhaus oder das Bregenzer Wälderhaus aus wirtschaftlicher Notwendigkeit eine Kultur des Sparens entwickelt hat. Diese Häuser, die auch historisch wertvoll sind, sind immer aus einem wirtschaftlichen Zwang, aus einer wirtschaftlichen Notwendigkeit heraus entstanden. Es geht daher um die Frage, ob es uns diese ganze Sache wert ist darüber nachzudenken, d.h. ist es uns wert eine eigene Architektursprache zu entwickeln oder entwickeln wir Formensprachen und Architektursprachen unabhängig von der Notwendigkeit?

Ich bin überzeugt, dass es hier einen Zusammenhang gibt, der eine Herausforderung darstellt. Wir bauen ja auch keinen TGV, der mit Dachziegel eingedeckt ist, denn seine Funktion hat eine logische Konsequenz.

Es gibt natürlich einen großen Spielraum. Genauso wie in der nicht ökologischen und in der nicht energiesparenden Architektur ja auch der Spielraum extrem groß ist. Ich sehe das nicht als grundsätzliche Einschränkung.

### Frage

Ich habe eine Frage bezüglich der ökologischen Zusatzförderung in Vorarlberg. Weiß man die Gründe, warum die Wohnbauträger sie nicht annehmen?

### Ritsch:

Man hat intensiv recherchiert und fand im Wesentlichen 2 Faktoren. Einerseits ist es die Mischung der Förderung zwischen Subjekt- und Objektförderung. D.h. das Objekt muss einen gewissen Qualitätsstandard erfüllen. Die Förderung bekommt nicht der Bauträger, sondern der Nutzer. Das ist ein wirtschaftlicher Sachzwang, der beim Energiesparhaus sehr gut funktioniert hat, aber bei dieser ökologischen Förderung noch nicht funktioniert. Und das zweite ist, dass dieser Förderkatalog die Einfamilienhäuslbauer anspricht und nicht für den Wohnbauträger ausgearbeitet ist, der ja vor der Situation steht, dass er noch vor der Ausschreibung vermarkten muss und viele Faktoren dort noch gar nicht so genau feststehen. Er kann damit die Förderung in der Vermarktung nicht zusagen. Dies stellt einen Unsicherheitsfaktor für den Bauträger dar, der ihn zögern lässt. Aber auch hier wird nachjustiert und ab 2001 eine, wie ich glaube, deutlich verbesserte Form gefunden.

### Frage

Wie schaut das dann aus für den Bauträger, der wird ja 2001 auch nicht wissen, welche Materialien er auf den 100er Plänen einsetzt?

### Ritsch:

Es wird eine Anpassung in der Ausschüttung geben als verlorener Zuschuss. Er wird das also nicht dem Kunden versprechen müssen, der dann beantragt und das Geld bekommt, sondern es wird als verlorener Zuschuss dem Bauträger gewährt. Es ist nicht das Vermarktungsrisiko für ihn gegeben, sondern die Mehrinvestitionen kann er sich dann zu einem Gutteil wieder selbst holen.

### Frage

Ich möchte auf die Kostensituation noch einmal eingehen. Was sind genaue Nettoherstellungskosten einerseits bezogen auf den m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche und andererseits auf die Gesamtbaukosten ohne Grundstück? Gibt es da genaue Zahlen?

### Ritsch

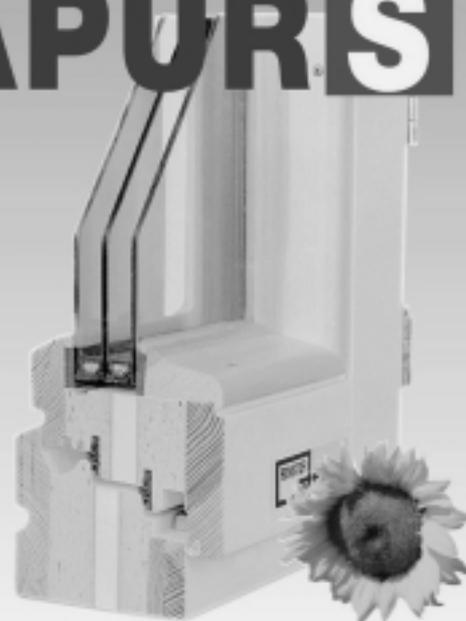
Die Preise sind beim Liechtensteiner Haus ca. 8 % über dem damaligen Marktmittelwert, der in Vaduz deutlich höher liegt als in Vorarlberg. Der Ausführungsstandard dieses Hauses ist aufgrund der Wünsche des Bauherrn bezüglich Schallschutz oder anderen Dingen deutlich höher. So wurden keine Kompromisse eingegangen, beispielsweise gibt es bei den Zimmertüren schallgedämmte Überströmöffnungen, auch die Zuluftführung ist mit Schalldämpfern ausgeführt. Das Liechtensteiner Haus ist nicht als extrem billiges Haus konzipiert. Man hat die üblichen Baukosten ermittelt und der Auftraggeber war bereit, für seinen Mehrkomfort und diese Luftqualität entsprechende Mehrkosten zu investieren.

Das Super-  
Energiespar-  
Fenster

**FENSTER  
STRIEGEL**

# ULTRAPUR<sup>®</sup>S

- Für Niedrigenergie- & Passivhäuser
- Enorme Heizkostenersparnis
- Rahmenkennwert:  
 $U_f = 0,72 \text{ W(m}^2\text{K)}$
- Ökologisch wertvoll  
mit Zertifikat



88348 Bad Saulgau-Bierstetten • Straubweg 3 • Tel. 0 75 83 / 9 41 50  
Fax 94 15 40 • [www.fenster-striegel.de](http://www.fenster-striegel.de) • [fenster.striegel@t-online.de](mailto:fenster.striegel@t-online.de)  
Werden Sie unser Vertriebspartner für Passivhausfenster in Holz und Holz/Alu !

# Ökologische Bewertung von Passivhäusern

Burkhard Schulze Darup

Im Baugeschehen der letzten 20 Jahre setzte sich die Beachtung von ökologischen Rahmenbedingungen zunehmend durch. Diese Anforderungen sind selbstverständlich auf Planungsprozesse für energieeffiziente Gebäude anzuwenden. Erst eine umfassende Betrachtung der Umwelt- und Gesundheitsverträglichkeit lässt eine sinnvolle Beurteilung von Baustandards zu.

Auf der Grundlage eines von der Deutschen Bundesstiftung für Umwelt geförderten interdisziplinären Forschungsvorhabens im Rahmen des Passivhausmodells Nürnberg werden in umfassender Form Kriterien und Qualitätsmerkmale für Energie- und Ressourceneinsparung, Raumlufthygiene und Behaglichkeit überprüft. Beispielhaft werden zu den wesentlichen Punkten Aussagen über die bisherigen Messergebnisse und Auswertungen gemacht [1]. Der Vortrag stellt eine Zwischenbilanz nach Fertigstellung der Gebäude dar und bezieht auch die ökonomischen Rahmenbedingungen mit ein.

## Stadtplanung und Entwurf

Die wichtigsten städtebaulichen Voraussetzungen für ein energiesparendes Gebäude sind weitgehende Südausrichtung, Verschattungsfreiheit und optimierte Gebäudegeometrie.

Diese Anforderungen erschweren die Grundstückssuche bei einem ohnehin geringen Auswahlpotenzial ungemein. Die Arbeitsgruppe suchte 16 Monate nach einem geeigneten und vermarktungsfähigen Standort, wobei zunächst eine Bebauung mit einer Reihenhausezeile mit vier bis sechs Wohneinheiten ins Auge gefasst wurde. Entwürfe wurden gegenübergestellt und Simulationsrechnungen durchgeführt [2]. Die Entscheidung fiel im Dezember 1998 zugunsten eines städtischen Grundstücks in Nürnberg-Wetzendorf, das mit vier Doppelhaushälften zu bebauen war. Der Grundstückszuschnitt erlaubt eine optimale Südausrichtung, die Besonnungssituation ist ebenfalls hervorragend, da südlich eine Wohnstraße anschließt und die Gebäude auf der gegenüberliegenden Seite keine Verschattung verursachen.

Seitens des Stadtplanungsamtes wurde die favorisierte Pultdachbebauung zunächst zugesagt, dann jedoch auf Grund von Nachbareinsprüchen nur die Satteldachform zugelassen. Hieraus ergaben sich Mehrkosten aufgrund von aufwendigeren Detail-Lösungen und der etwas ungünstigeren Gebäudegeometrie. In Abbildung 1 werden die beiden Simulationsrechnungen gegenübergestellt. Die solaren Gewinne bei der Satteldachform sind deutlich geringer als bei der Pultdach-Variante, weil in der dritten Ebene (Spitzboden) keine Südfenster möglich sind. Durch die Verlagerung von Kellerersatzräumen auf die Nordseite des Gebäudes konnte der Satteldachtyp optimiert werden. Dadurch wurden die Transmissionsverluste der Wandflächen so stark gesenkt, dass der Heizwärmebedarf auf den Wert der Pultdachvariante von 13-14 kWh/(m<sup>2</sup>·a) gebracht werden konnte. Abbildung 2 stellt die Bilanzierung nach Passivhaus-Projektierungs-Paket dar [3].

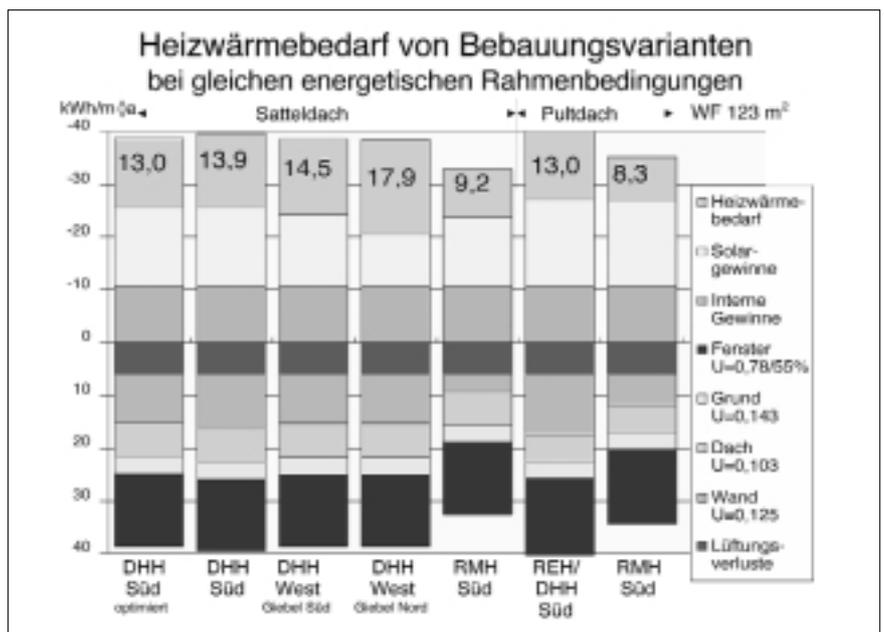


Abbildung 1

## Konstruktions- / Baustoffwahl

Die grundlegende Konstruktionswahl ist stark von der Struktur des jeweiligen Objektes abhängig. Während ab einer Bausumme von ca. 5 Mio. DM (ca. 15-25 Einheiten) Vorfertigung und Transport auch über größere Strecken wirtschaftlich sein können, ist bei kleineren Projekten die regionale Angebotssituation für die Festlegung der Konstruktionsart ausschlaggebend. Da bei innerstädtischen verdichteten Bebau-

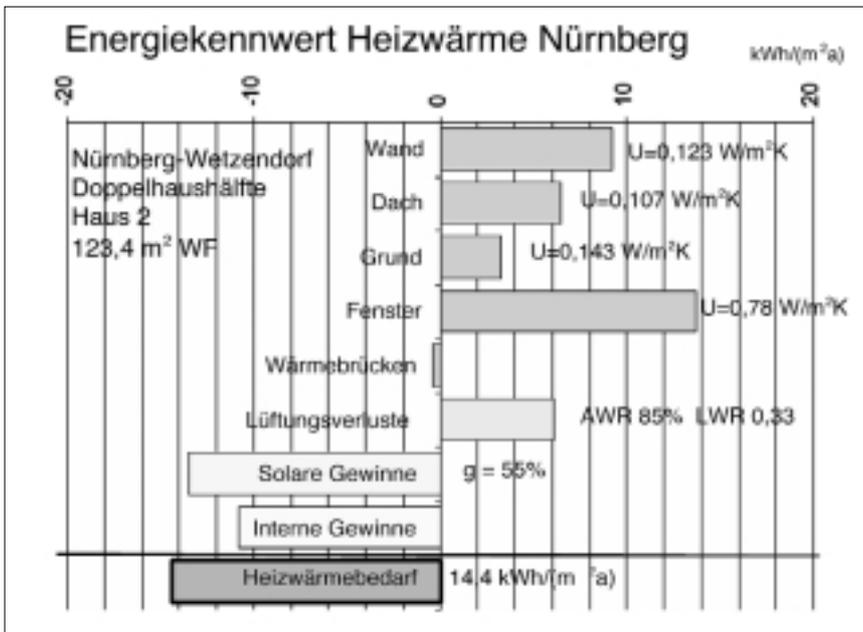


Abbildung 2

Falls ein übliches Ausschreibungsverfahren durchgeführt werden muss, sind folgende Aspekte zu berücksichtigen: Ausschreibung so genau wie nötig, aber so offen wie möglich. Übergenaue Anforderungen, die den Handwerkern nicht geläufig sind, führen zu überhöhten Angebotspreisen.

Die Vergabephase muss genutzt werden, um die ökologischen und passivhauspezifischen Details und Materialfestlegungen möglichst präzise zu formulieren und Gegenstand des Vertrags werden zu lassen. In dieser Phase sind engagierte Firmen dankbar für Anregungen und neue Informationen und können ihrerseits Kontakte zu Herstellern nutzen, um konkrete Aussagen zu den Produkten beizubringen. Die Zahl der Handwerksbetriebe, die ein Öko-Audit durchlaufen haben, ist zur Zeit wachsend, sodass dort zunehmend auf Wissen zurückgegriffen werden kann.

Die systematische Erfassung von Angaben zum Emissionsverhalten der eingesetzten Baustoffe ist eine außerordentlich aufwendige Leistung, die ebenfalls im Zuge der Vergabe durchgeführt werden muss. Neben allgemein zugänglichen Literaturquellen müssen Herstellerangaben abgefragt werden, wobei sehr genau die Herkunft des Informationsmaterials überprüft werden sollte. Eine wichtige Entscheidungsgrundlage können gut gepflegte Datenbanken liefern, die qualitätsgeprüfte Produkte nachvollziehbar zusammenstellen [4].

Ein Beispiel für eine Recherche ist anhand einer auf das Wesentliche reduzierten Matrix in Abbildung 3 am Beispiel der Zimmererarbeiten dargestellt. Man sollte nicht die Illusion haben, ein schadstoffminimiertes Gebäude ohne unangenehme Überraschungen in dem sehr aufwendigen Planungsprozess erstellen zu können.

Abbildung 3

Baustoff-Recherche Zimmererarbeiten				
Bauteil	Material	zu überprüfende Schadstoffe/Zielwerte	Herstellerangaben	Gemessene Werte
Dachtragwerk	TJI-Träger	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's		Formaldehyd 0,01 ppm (LGA)
Aussteifende Schalung	OSB-Platten, Fabrikat Sterling	Formaldehyd < 0,05ppm VOC's	Sterling-OSB 14,4 mg/kg Formaldehyd	
	OSB-Platten, Fabrikat x	Formaldehyd < 0,05ppm VOC's	Formaldehyd 0,05 ppm	Formaldehyd 0,09 ppm (LGA)
	Spanpl. Schlingmann-Natura	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's		Formaldehyd 0,01 ppm (LGA)
Unterdach	Holzweichfaserplatte	Formaldehyd < 0,02ppm VOC's		Formaldehyd 0,008 ppm (LGA)
Holzschutz	Tragwerk	Konstruktiver Holzschutz ohne Biozide	Kein Einsatz von chem. Holzschutz	
	Dachlattung/ Eindeckung	Borsalbasis (DIBt), keine Chromate/ halog.		
Holzschalung außen	Nadelholz/ Naturharzlas.			

ungen dem Schallschutz hohe Priorität zu geben ist, wurde für das Nürnberger Projekt Kalksandstein-Massivbauweise für den Gebäudekern inkl. Stahlbetondecken und Haustrennwände gewählt. Große Teile der Giebelfläche und der nördlichen Wände zu den Kellerersatzräumen wurden in Holzrahmenbauweise ausgeführt. Bei den vorgefertigten Elementen wurde zu großen Teilen zwecks Minimierung von Wärmebrücken mit TJI-Trägern gearbeitet.

Detaillösungen und Materialwahl müssen bereits im Vorentwurfsstadium hinsichtlich der energetischen Optimierung und der emissionsarmen Ausführungsvarianten überprüft werden. Es ist sinnvoll, bereits in dieser Phase ein Bauteam zu bilden und diese Entscheidungen gemeinsam herbeizuführen.

Oftmals können die Produkte nur durch konkrete Messungen überprüft werden. Im Fall der Nürnberger Passivhäuser wurde eine Begleitung durch die LGA-Bayern durchgeführt [5].

Die Qualitätssicherung während der Bauzeit stellt eine unabdingbare Grundlage zur Einhaltung der Zielwerte dar. Dazu ist z. B. sicherzustellen, dass tatsächlich auch die überprüften Produkte eingebaut werden, unterschiedliche Chargen können zu Abweichungen und der unfachgemäße Einsatz von Bauhilfsstoffen kann zu erstaunlichen Ergebnissen bei der Überprüfung der Raumluftqualität führen. Als Beispiel sei der Lehrling genannt, dem beim Pinselreinigen ein Topf mit Lösungsmitteln umfällt.

## Emissionsbilanzen und Raumluftmessungen

Ein gesichertes Planungsinstrumentarium zur Vorabschätzung von Raumluftbelastungen steht derzeit nicht zur Verfügung. Es bleibt dem Gefühl des Planers und Bauherrn überlassen, welche Materialien sie wählen und welche Schadstoff-Fracht mithin in Kauf genommen wird.

Auf der Grundlage der recherchierten Emissionswerte der Baustoffe sollte mittelfristig eine rechnerische Grobabschätzung der Immissions-Situation einzelner Räume durchgeführt werden. Die zugrundeliegende Beispielberechnung berücksichtigt Emissionswerte, Abklingverhalten, Dämpfungsfaktoren, das Verhältnis von Emissionsflächen zum Volumen sowie die Korrelation von nomineller und tatsächlicher Luftwechselrate [6]. Abbildung 4 zeigt die rechnerisch abgeschätzten Belastungen für einen Referenzraum am Beispiel von Formaldehyd. Eine Diskussion darüber, inwieweit solch eine Methode sinnvoll ist, drängt sich zwangsläufig auf. Die Berechnungen sind mit solch einer Unzahl von unsicheren Parametern befrachtet, dass eine realitätsnahe Berechnung extrem schwierig ist. Andererseits kann nur durch ein rechnerisches Verfahren die Grundlage für eine quantifizierbare Beurteilung geschaffen werden. Es wird noch einigen Forschungsaufwand erfordern, um Grundlagen des Emissionsverhaltens einigermaßen umfassend beschreiben zu können. Sobald Berechnungsverfahren und Kontrollmessungen zu ähnlichen Ergebnissen führen, ist vorstellbar, dass ähnlich wie bei der Ermittlung des Primärenergieinhalts von Gebäuden im Zuge des Ausschreibungsverfahrens Aussagen zu den Schadstoffemissionen gemacht werden können. Dies erfordert allerdings ein noch weit komplexeres AVA-Programm mit angehängten Berechnungstools und Betrachtungsmöglichkeiten nach Raumbuch-Schema.

Bei den vier Gebäuden der Nürnberger Passivhäuser werden sowohl modellhafte Berechnungen durchgeführt als auch umfangreiche Raumluftmessungen zu den im Diagramm angegebenen Zeitpunkten. Die Ergebnisse werden im Rahmen des Forschungsberichts detailliert veröffentlicht [7]. Die Raumluftqualität wurde während der Bauzeit wie in der Abbildung dargestellt gemessen. Die Messwerte sind sehr viel schlechter reproduzierbar als im fertigen Zustand, da Luftwechselrate, Temperatur, Sonneneinstrahlung und vor allem zufällige Belastungen durch Montagehilfen und Hilfsmaterialien nicht vollständig überwachbar und abstimmbare sind.

Als Tendenz ist festzustellen, dass trotz des hohen Aufwandes bei der Baustoffauswahl phasenweise hohe Belastungen gegeben sind. Dies betrifft vor allem die VOC's. Insbesondere Lösemittel sind trotz der Auswahl lösemittelminimierter Produkte heftig nachweisbar. Dies ist besonders in der letzten Ausbauphase (Bodenbeläge, z. T. Malerarbeiten, nicht zu vergessen: Reinigungsarbeiten) der Fall. Obwohl die Gebäude subjektiv eine extrem geringe Geruchsbelastung aufwiesen, brachte die Messung vor dem Einzug hohe Werte. Wenn Gebäude ohne emissionsreduzierte Baustoffe erstellt werden, lässt sich aus dieser Erfahrung ableiten, dass dort höchst gravierende und schädliche Belastungen vorherrschen.

Die Belastung mit Formaldehyd war in den Gebäuden zu keiner Zeit im relevanten Bereich. Eine besondere Beachtung wurde den Styrol-Werten zuteil: Bereits bei Einzug lagen die Messwerte unter den angestrebten  $30 \text{ mg/m}^3$ . Auf Grund der Abklingkurve ist davon auszugehen, dass diese Werte noch deutlich unterschritten werden. Allerdings war bereits bei den ersten Messungen im bewohnten Zustand deutlich zu erkennen, dass zusätzliche Belastungen durch Möbel und Nutzereinflüsse gegeben waren. Nach sechs Monaten sanken die TVOCs auf ca.  $300 \text{ mg/m}^3$ . Eine Vergleichsmessung in einem schadstoffoptimierten Holzhaus (AKÖH-Standard) ergab deutlich höher VOC-Werte von über  $1500 \text{ mg/m}^3$ . Die Styrol-Werte lagen für die Passivhäuser bei  $3,5\text{-}5 \text{ mg/m}^3$ , für das Holzhaus bei  $5 \text{ mg/m}^3$ .

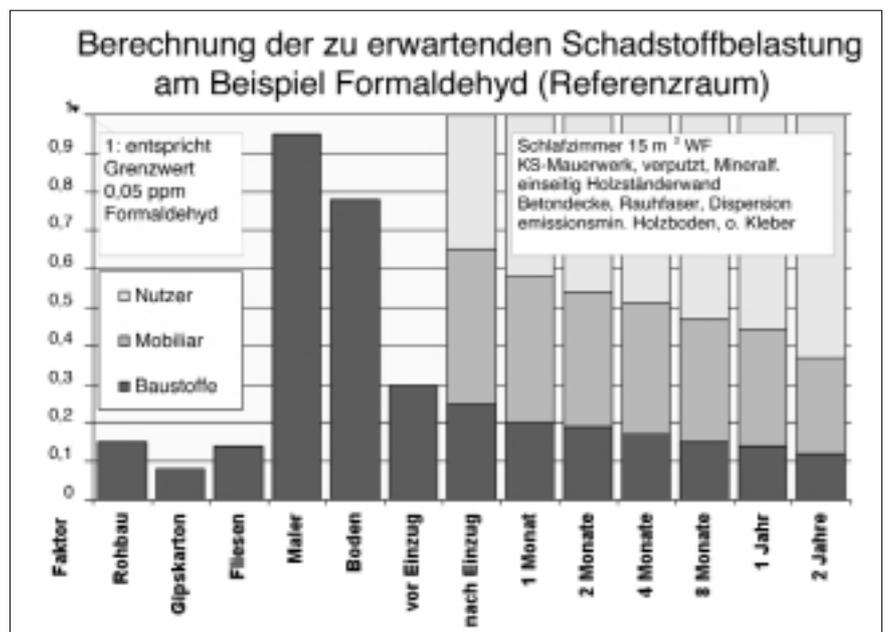


Abbildung 4

### Einfluß der Lüftungsanlagen auf die Raumluftqualität

Die Lüftung der Häuser erfolgt durch eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung. Für die Auslegung der Luftwechselrate wurden  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  pro Person für die Standard-Lüftungsstufe gewählt. Abb. 5 stellt die daraus resultierenden Luftwechselraten (LWR) dar: die frische Außenluft wird in die Aufenthaltsräume mit einer LWR von  $0,66 \text{ h}^{-1}$  eingebracht. In den Abluftbereichen beträgt der Wert  $2,0 \text{ h}^{-1}$ , gerechnet über die Gesamtfläche ergibt sich eine LWR von  $0,4 \text{ h}^{-1}$ . Bei Abwesenheit und in der Nacht kann eine geringere Lüfterstufe mit ca. 75% Durchsatz ( $90 \text{ m}^3/\text{h}$ ) eingestellt werden und bei besonderen Belastungen kurzzeitig bis zu  $300 \text{ m}^3/\text{h}$ . Für die Berechnung des Heizwärmebedarfs ergibt sich daraus eine durchschnittliche Luftwechselrate von etwa  $0,35 \text{ h}^{-1}$ .

Die Qualitätssicherung der Lüftungsanlage wurde durch folgende Messungen vorgenommen:

- Einstellung der Luftmengen pro Raum (Messungen an den Ventilen und an den Übertrittsöffnungen der Räume)
- Einstellung der Balance zwischen Zu- und Abluft
- Überprüfung der Luftverteilung und Durchströmung in den Räumen durch drei verschiedene Messverfahren:
  - Indikatorgas  $\text{CO}_2$
  - Indikatorgas  $\text{CF}_6$
  - Visualisierung durch Einbringen von Nebel (Nebelgenerator).

Als Ergebnis der Untersuchungen lässt sich feststellen, dass eine gute Durchströmung der Räume gegeben ist. Insbesondere der Nebeltest belegte diese Feststellung überzeugend.

Die Lüftungsanlagen werden von den Bewohnern hervorragend angenommen und als angenehm und hilfreich empfunden.

Eine parallel durchgeführte Befragung bei 8 materialgleichen Einfamilienhäusern in Erlangen-Büchenbach mit einem Standard zwischen Niedrigenergiebauweise (mit und ohne AWR (Abluftwärmerückgewinnung)

/  $25\text{-}45 \text{ kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$ ) und Passivhausstandard führte zu dem Ergebnis, daß die Raumluftqualität durch den Einsatz von mechanischen Lüftungsanlagen mit einem Luftaustausch von  $100\text{-}140 \text{ m}^3/\text{h}$  ebenfalls subjektiv als sehr hochwertig eingestuft wurde. Bezeichnend war der Hinweis eines Hauseigentümers, dass bei einem Ausfall der Anlage über mehrere Tage die Luft als deutlich weniger qualitativ empfunden wurde.

### Ausstattung / Möblierung und Gebäudenutzung

Für die Auswahl der Ausstattungsgegenstände wurden Empfehlungen zu Raumladung und Raumzuordnung gegeben. Dabei wird auch die Belastung durch Haushaltschemikalien, belastende Gegenstände, Lebensmittel- und Abfallemissionen berücksichtigt. Die Messungen nach Einzug sollen

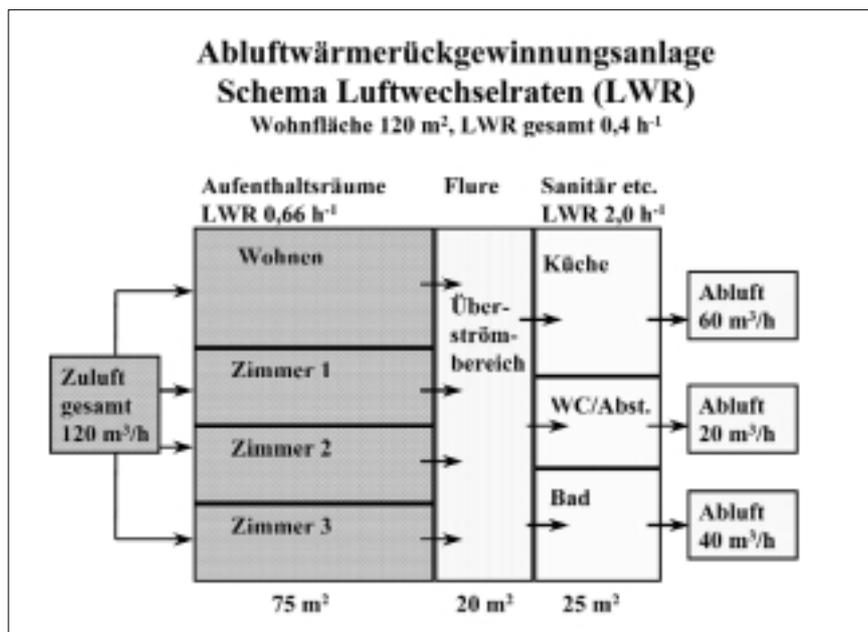


Abbildung 5

len Aufschlüsse über nutzerbedingte Raumluftbelastungen ermöglichen. Allerdings ist es in der Praxis so, dass vorhandene Möbel weitergenutzt werden. Falls die Messungen dort erhöhte Werte aufweisen, wird eine Abstimmung mit den Bewohnern durchgeführt.

Aus der Addition der Emissionen aus Baustoffen, Ausstattung/Möblierung und Nutzung ergeben sich Gesamtbelastungen, die durch effizientes Lüften auf einen Wert gebracht werden müssen, der hygienische Raumluftbedingungen sicherstellt. Dabei sollten als Zielwert alle auftretenden Schadstoffe so weit reduziert werden, daß die  $\text{CO}_2$ -bedingte Mindestluftwechselrate zu ausreichend niedrigen Schadstoffwerten führt. Dies ist der wesentliche Grund, dass energetisches Bauen zugleich immer auch gesundheitsverträgliches Bauen mit emissionsarmen Materialien sein muss.

## Haustechnik und Energieeffizienz

Das Haustechnik-Konzept sieht für jedes Haus eine getrennte Lüftungsanlage mit Abluftwärmerückgewinnung vor und eine zentrale Bereitstellung der geringen Restwärme durch eine Gasbrennwerttherme (5-18 kW) in Verbindung mit einer solarthermischen Anlage mit 18 m<sup>2</sup> Netto-Kollektorfläche, einem Thermosyphon-Solarspeicher mit 750 Liter Inhalt und ebenfalls mit einem Thermosyphonspeicher für Brauchwasser mit 350 Liter Wasserinhalt. Diese Kombination wurde gewählt, um nur die geringstmögliche Menge Frischwasser in erwärmtem Zustand vorzuhalten und die Gefahr von bakterieller Belastung auszuschliessen. Zugleich sollte die gespeicherte Wassermenge gering sein, um Speicherverluste zu minimieren. Auf der anderen Seite war dennoch ein angemessener Komfort für die Bewohner gewünscht. Für die Verbräuche und in geringerem Umfang für die bauphysikalischen Parameter und Temperaturverläufe wird ein Messprogramm durchgeführt [8]. Die ersten Messergebnisse (Januar 2001) lassen Heizenergieverbräuche von 10-13 kWh/(m<sup>2</sup>a) erwarten.

## Primärenergiebilanzierung

Die Bewertung von Passivhäusern kann nicht nur auf die Betriebsphase beschränkt werden, sondern muss die Gebäudeerstellung mit einbeziehen. Der Primärenergieinhalt des Gebäudes und insbesondere die Mehraufwendungen für die Passivhaus-Komponenten müssen in die Gesamtbilanzierung einfließen. Die Berechnung kann nach einer überschlägigen Bauteilmethode durchgeführt werden oder positionsgenau nach den einzelnen Materialien. In diesem Fall wurde die genauere, zweite Möglichkeit gewählt. Grundlage ist das sehr exakte Architekten-Leistungsverzeichnis, das positionsgenau alle Materialien enthält. Die Massen wurden auf das Volumen umgerechnet, wozu Verbundbaustoffe rechnerisch sehr weitgehend in ihre Einzelmaterialien zerlegt wurden. Weiterhin sollte die Berechnung möglichst stimmige Ansätze für die spezifischen Primärenergieinhalte der einzelnen Baumaterialien enthalten [9][10]. Da bei der primärenergetischen Beurteilung von Baustoffen z. Zt. nach wie vor große Bewegung erkennbar ist, wurden in der Tabellenkalkulation die Bezüge so erstellt, dass in einer Zentraldatei die spezifischen Werte geändert werden können und eine Umrechnung mit geringem Aufwand möglich ist.

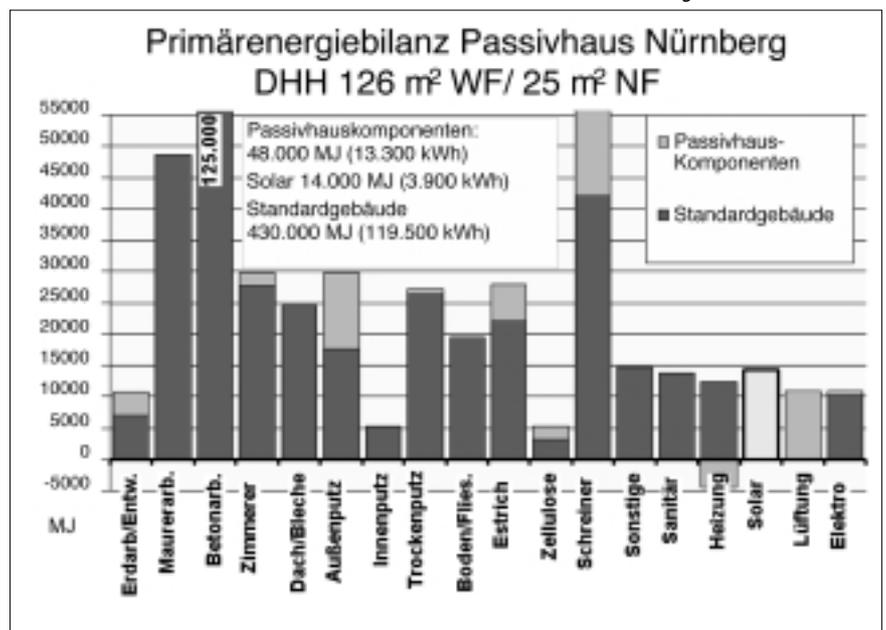
Das Ergebnis für eine Doppelhaushälfte in Nürnberg mit 126 m<sup>2</sup> Wohnfläche und 25 m<sup>2</sup> Nutzfläche korreliert in der Gesamtsumme mit früheren Berechnungen zu anderen Haustypen nach der Bauteilmethode [11]. Der Primärenergieinhalt des gesamten Gebäudes beträgt 430.000 MJ. Dazu kommen für die Passivhauskomponenten 48.000 MJ (11,2 %) und für den Anteil an der Solaranlage 14.000 MJ (3,3 %). Prozentual beträgt der Mehraufwand der einzelnen Maßnahmen bezogen auf die Standardvariante: Außenwände 3,2%, Dach 0,7%, Boden 1,3%, Fenster 3,2%, Lüftungsanlage 2,5%, Erdreichwärmetauscher 0,9% und Heizung (Minderaufwand) -1,0%. Das Ergebnis wird in Abbildung 6 dargestellt.

Wird der Mehraufwand an Primärenergie-Einsatz für die Passivhauskomponenten auf 30 Jahre abgeschrieben, so ergibt sich ein Wert von 3,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a). Das bedeutet, zusammen mit dem Heizwärmebedarf von 13 bzw. 15 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) fällt ein jährlicher Gesamtkennwert inkl. energetischer Abschreibung für die Komponenten von 18,5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) für die Gebäude an. Zum Vergleich: das Standardgebäude nach Wärmeschutzverordnung weist in Abhängigkeit von der Rechenart zwischen 76 und 100 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) auf. Die energetische Amortisationszeit der passivhaus-spezifischen Maßnahmen im Vergleich zum Standard-Neubau beträgt weniger als 1,5 Jahre.

## Kostenbilanzierung

Die Baukosten wurden ebenfalls auf der Grundlage der Positionen des Leistungsverzeichnisses verglichen und die passivhaus-spezifischen Mehrkosten ermittelt. Die Gebäudekosten für das Standardhaus (WSVO 1995) betragen 250.600 DM

Abbildung 6



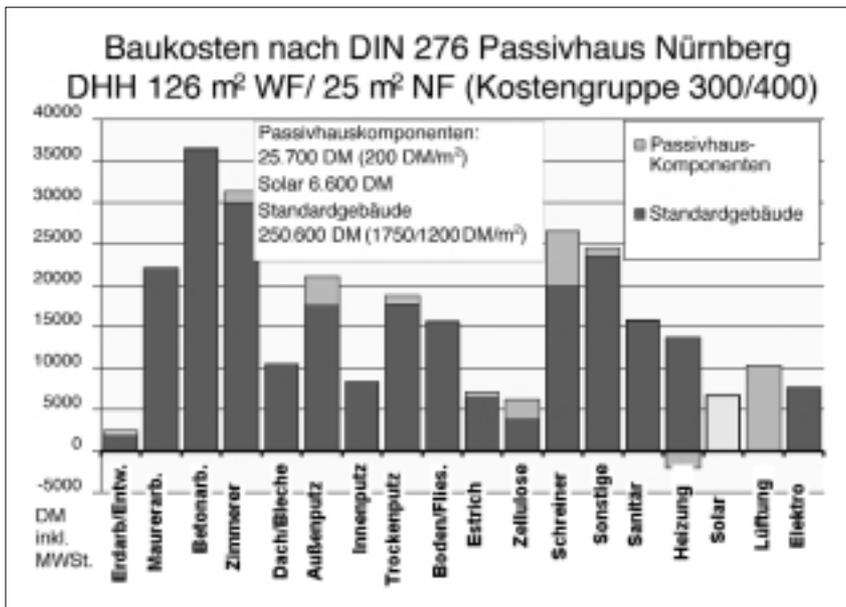


Abbildung 7

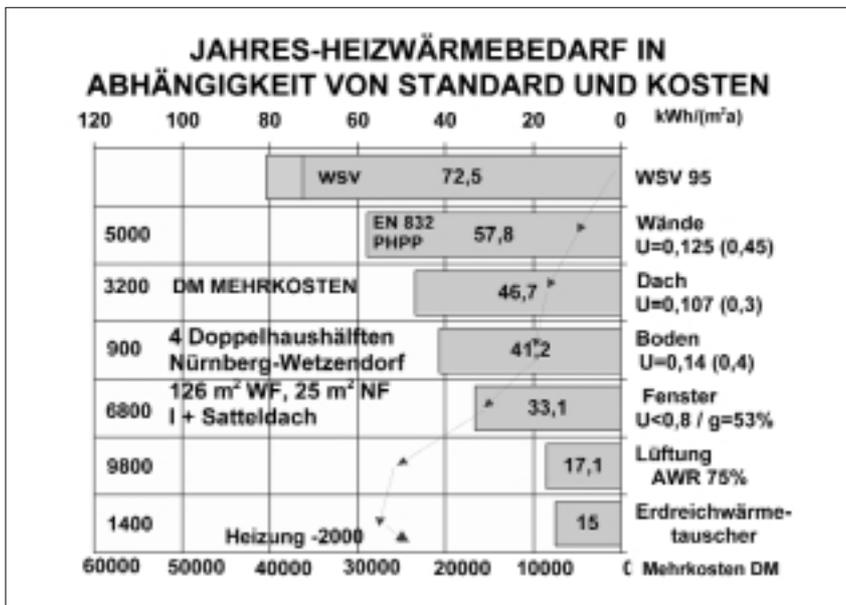


Abbildung 8

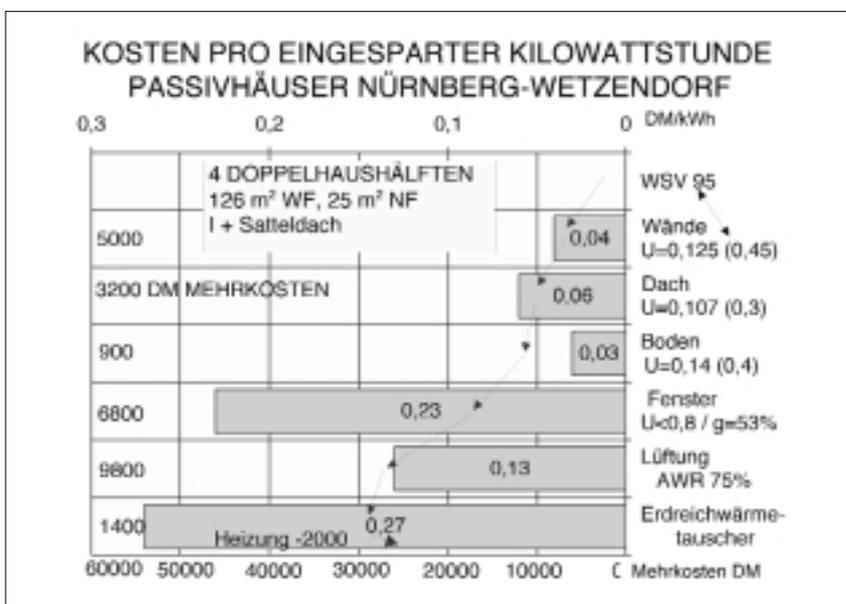


Abbildung 9

(Kostengruppe 300/400 nach DIN 276; inkl. MWSt.). Das entspricht 1.750 DM/m² Wohnfläche und 1.200 DM/m² Nutzfläche. Die Mehrkosten für die Passivhaus-Komponenten betragen pro Gebäude 25.700 DM (200 DM/m²). Im Einzelnen: Außenwände 4.900 DM (2,0%), Dach 3.200 DM (1,3%), Boden 752 DM (0,3%), Fenster 6.700 (2,7%), Lüftungsanlage 9.800 DM (3,9%), Erdreichwärmetauscher 1.200 (0,5%) und Heizung (Minderaufwand) -2.100 DM (-0,8%). Außerdem kostet die Solaranlage 6.600 DM pro Doppelhaushälfte zusätzlich (vgl. Abbildung. 7). In Abbildung 8 wird die Berechnung der einzelnen Passivhaus-Komponenten mit den daraus resultierenden Kosten und Energieeinsparungen dargestellt, Abbildung 9 zeigt die Wirtschaftlichkeit der Einzelmaßnahmen.

Die Gesamtinvestitionskosten für Haus 1 inkl. Grundstück, Erschließung, Außenanlagen und Nebenkosten betragen 570.000 DM. Ohne Passivhauskomponenten wären für ein Standardgebäude 538.000 DM (ohne Solaranlage) angefallen. Der Vergleich der beiden Varianten weist bereits bei den heutigen Rahmenbedingungen eine geringere monatliche Belastung in Höhe von 1.904 DM für das Passivhaus aus (ohne Wartungskosten). Die monatlichen Gesamtkosten für ein baugleiches Standardgebäude liegen bei 2.070 DM. Die Rahmenbedingungen sind in Abbildung 10 ausgewiesen.

#### Zusammenfassung

Die wesentlichen Ziele der Untersuchung sind ökologische und ökonomische Planungsanforderungen, die weitere Optimierung zwischen den konkurrierenden Anforderungen von hygienischen und energetischen Parametern bei der Konstruktionswahl und Lüftungsanlagen-Auslegung, die Darstellung von Stoff- und Energiebilanzen sowie die ökonomische Bewertung.

Folgende Aspekte sind als Zwischenergebnis nach Gebäudefertigstellung besonders hervorzuheben:

- Aus städtebaulicher und objektplanerischer Sicht stellen kompakte Gebäude, möglichst mit Pultdachform die ideale Variante für energiesparendes Bauen dar, mit entsprechendem Mehraufwand lassen sich aber auch andere Bauformen als Passiv-

haus realisieren, wie im beschriebenen Fall die Satteldachform in Nürnberg, die allerdings zu hohem Aufwand hinsichtlich der Luftdichtung führte.

- Während für die energetische Planung sehr weitreichende Instrumentarien zur Verfügung stehen, sind Planungsgrundlagen für die Minimierung der Schadstoffbelastung bisher sehr lückenhaft und stark der subjektiven Bewertung ausgesetzt.
- Qualitätssicherung im Bereich Raumluft ist äußerst aufwendig und kann konsequent nur mit Hilfe von individuellen Schadstoffmessungen durchgeführt werden. Zur emissionsminimierenden Baustoffauswahl

ist die Einrichtung von verlässlichen Datenbanken für die Planer inkl. Überprüfung der zugesicherten Materialqualitäten dringend erforderlich.

- Schadstoffprognosen sind z. Zt. noch mit vielen Unwägbarkeiten behaftet, sollten allerdings einen Forschungsschwerpunkt in Verbindung mit der Raumluftanalytik darstellen und in absehbarer Zeit als Software für die Planer zur Verfügung stehen.
- Mechanische Lüftungsanlagen stellen einen Beitrag zu einer verbesserten Raumlufthygiene dar.
- Die primärenergetische Effizienz von Passivhäusern ist äußerst hoch. Im Vergleich zu Standardgebäuden nach Wärmeschutzverordnung ergeben sich zwar ca. 11% höhere Primärenergieinhalte für die Gebäudeerstellung, die energetische Amortisationszeit für diesen Mehraufwand liegt jedoch unter 1,5 Jahren im Vergleich zum Standardhaus.
- Die Baukosten liegen 200 DM/m<sup>2</sup> über den Standardbaukosten. Das entspricht im aktuellen Fall Mehrkosten von brutto 25.700 DM.
- Die monatliche Belastung aus Betriebskosten und Finanzierungskosten (inkl. Ausschöpfung der üblichen Fördermöglichkeiten) liegt für das berechnete Passivhaus bei 1.900 DM. Das vergleichbare Standardhaus nach Wärmeschutzverordnung kostet 2.070 DM monatlich. Auch bei kleinteiliger handwerklicher Bauweise findet zur Zeit der Übergang zur Wirtschaftlichkeit bei der Passivbauweise statt.

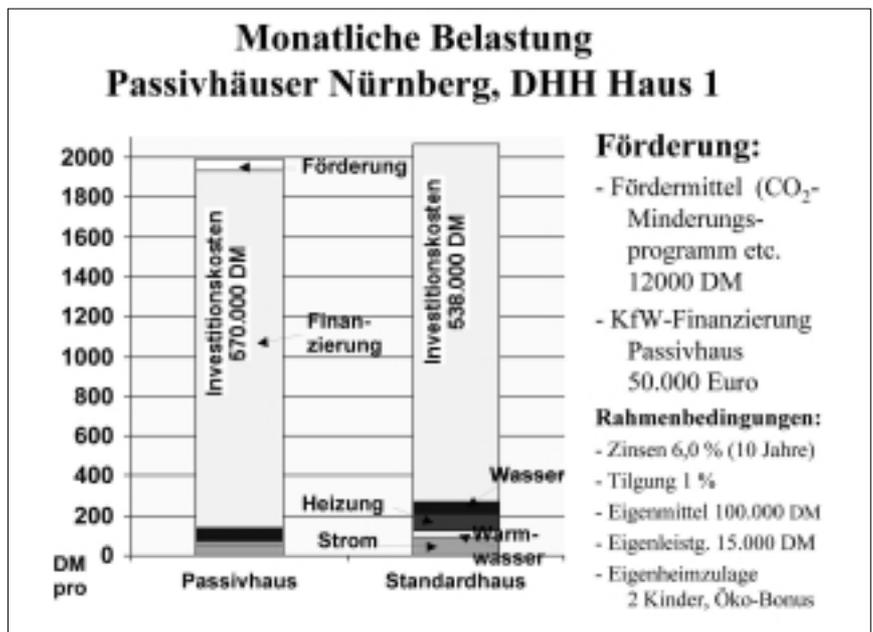


Abbildung 10

## Literatur

- [1] Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. – Projektpartner/Beteiligte: AnBUS (Messtechnik, Raumluftanalytik), Energieagentur Mittelfranken (energetische Qualitätssicherung), EWAG (energetische Messtechnik), LGA (Baustoffbewertung, Raumluftanalytik), Meyer & Schulze Darup, Architekten (Koordination) 1999-2001
- [2] Berechnung mit: Passivhaus Projektierungs Paket 99. – Passivhaus Institut Darmstadt 1999
- [3] Feist, Baffia, Schieders, Pfluger: Passivhaus-Projektierung-Paket. – Passivhaus-Institut Darmstadt 2000
- [4] Datenbank ökologisch geprüfter Produkte, LGA-Bayern, Postfach 3022 90014 Nürnberg/ www.lga.de
- [5] Jungnickel: Schadstoffuntersuchungen. – LGA Bayern 1999/2000
- [6] Jungnickel, Kupfer, Schulze Darup: Berechnungsmodul zur Abschätzung von Raumluftbelastungen. LGA Bayern, Nürnberg 1999
- [7] Messtechnische Evaluierung und Verifizierung der energetischen Einsparpotentiale und Raumluftqualität an Passivhäusern in Nürnberg. – Projektpartner/Beteiligte: AnBUS (Messtechnik, Raumluftanalytik), Energieagentur Mittelfranken (energetische Qualitätssicherung), EWAG (energetische Messtechnik), LGA (Baustoffbewertung, Raumluftanalytik), Meyer & Schulze Darup, Architekten (Koordination) 1999-2001

- [8] Ciolek, Fischer, Schulze Darup: Energetisches Messprogramm. – Begleitende Untersuchung zum Passivhausmodell Nürnberg, unterstützt durch EWAG/Nürnberg und Fa. Viterra 1999-2001
- [9] LGA:Datenbank "Ökologisch geprüfte Bauprodukte", Primärenergieaufwand  
<http://www.lga.d/deutsch/bdb/enerprim.htm>
- [10] Schulze Darup, B.: Bauökologie. – Bauverlag Wiesbaden und Berlin 1996
- [11] Schulze Darup, B.: Optimierung von Niedrigenergiehäusern zu Passivhäusern beim kostengünstigen Bauen. – In: Tagungsreader 2. Passivhaus-Tagung, Hrsg. Dr. Wolfgang Feist, Passivhaus Institut, Darmstadt 1998

### **Diskussion:**

#### **Frage:**

Was kostet 1 m<sup>2</sup> Kalksandsteinmauerwerk vermauert und verputzt?

#### **Schulze-Darup**

1 m<sup>2</sup> kostet zwischen DM 400,- und 450,- + Mehrwertsteuer., Verputz DM 20,- bis 22,- + Mehrwertsteuer. Wärmedämmverbundsystem außen DM 120,- bis 140,-. Im Moment ist aber der Preis für Polystyrol dramatisch angestiegen. Allein der Materialpreis ist um 60 % innerhalb des letzten halben Jahres angestiegen.

Aber es ist auf jeden Fall so, dass die Kalksandsteinwand die kostengünstigste Variante ist, wenn man sie mit den anderen Bauarten vergleicht. Ich unterstütze auch, was Herr Horn gesagt hat, dass prinzipiell massive Häuser günstiger zu erstellen sind. Gerade Holzhäuser mit einem höheren ökologischen Standard sind DM 200,- bis 500,- teurer in der Herstellung.

#### **Frage:**

Wie sind bei Wärmerückgewinnungsanlagen diese Rohre zu reinigen? Wenn Filter vorgesehen sind, wie reinigt man diese?

#### **Schulze-Darup:**

Es gibt ja viele Lüftungsanlagen, die seit Jahren in Betrieb sind. Es ist eigentlich kein Problem. Wenn Filter davor angebracht sind und diese regelmäßig gewartet werden, hat man auch nach 10-20 Jahren keine verschmutzten Leitungen. Aber es kommt vor, dass eben diese Filterüberwachung nicht funktioniert, und dann werden die Möglichkeiten sie zu reinigen relativ kostenaufwendig. Deshalb auch die Anmerkung, dass man die Zuluftleitung möglichst kurz hält, um in so einem Fall kostengünstig Eingriffe machen zu lassen, sei es für die Reinigung oder auch den Austausch von Teilen.

Prinzipiell gibt es mit der Hygiene in den Rohren kein Problem, insbesondere nicht im Bereich des Lüftungssystems des Hauses, weil dort keine Feuchte anfällt und deshalb kein Bakterienwachstum entstehen kann. Problematischer ist es im Erdreichwärmetauscher bei Witterungssituationen wie im Frühjahr, wenn es plötzlich von kalt auf warm umschlägt. Dann kann sich Feuchtigkeit im Erdreichwärmetauscher niederschlagen. Dies gilt insbesondere für schwülwarme Situationen im Sommer. Dafür gibt es den Kondensatablauf und ich informiere meine Bauherren schriftlich, dass sie diesen in gewissen regelmäßigen Abständen überprüfen müssen. Ich persönlich bin ein Anhänger von möglichst kurzen Erdreichwärmetauschern, die man mit einfachen Mitteln überwachen und reinigen kann.

#### **Frage:**

Wie verhält es sich mit der Schallbelastung?

#### **Schulze-Darup:**

Lautstärke ist ein ganz wichtiger Punkt. Den Schallschutz muss man sehr ernst nehmen. Die ersten Anlagen, die ich vor 6-8 Jahren gebaut habe, hatten alle ein Problem. Es war im Schlafzimmer noch ein leichtes Rauschen zu hören. Es waren Werte, die bestimmt unterhalb von 25 dB(A) lagen, trotzdem störte es. Und es gibt immer irgendjemanden in der Familie, der da sensibel reagiert. Ich rate daher, etwas mehr in Schalldämpfer zu investieren, ca. 2 Meter zwischen dem Gerät und dem Raum, in dem es leise sein soll. Damit ist man immer auf der sicheren Seite. Die Überströmöffnung kann man ganz profan durch die Ritze unterhalb der Tür machen, was eine gewisse Schallschutzeinbuße zwischen den Räumen mit sich bringt. Allerdings gibt es auch Überströmöffnungen, die mit einem Schallschutz versehen sind; diese habe ich bisher noch nie eingebaut.

**Frage:**

Was sind genaue Nettoherstellungskosten für das ökologische Passivhaus, die einerseits bezogen sind auf den m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche und andererseits auf die Gesamtbaukosten ohne Grundstück der 3-4 gebauten und gezeigten Beispiele?

**Schulze-Darup:**

Die Mehrkosten lagen bei den Doppelhäusern bei etwa DM 200,-/m<sup>2</sup> Wohnfläche. Die Zahlen vom Gerit Horn heute fand ich sehr richtig. Beim Einfamilienhaus hat man natürlich höhere Kosten; wenn man ein Reihenhaus hat, liegen die Werte tiefer. Dabei ist es so, dass die Mehrkosten für die Lüftungsanlage ungefähr zwischen DM 8.000,- und 12.000,- pro Wohneinheit oder Haus liegen, für die Fenster zwischen DM 7.000,- (Ausführung PVC) und DM 15.000,- (Ausführung Holz) und DM 30.000,- (Ausführung absolut baubiologisch), und bei der Gebäudehülle kann die Abweichung von – bis gehen. Bei einem Reihemittelhaus komme ich bei der Gebäudehülle ohne Fenster mit DM 5.000,- bis 7.000,- Mehrkosten hin. Die gesamten Mehrkosten beim Einfamilienhaus liegen zwischen DM 30.000,- und 50.000,-. Da ist nach oben keine Grenze, und das hängt auch ganz stark davon ab, wie man planerisch vorgeht. Im Grunde muss der planerische Ansatz immer der sein, dass man versucht eine Konstruktion zu bilden, bei der konstruktive Teile nicht kostenträchtiger werden, d.h. kostenneutral den Raum oder den Platz für die Dämmung schaffen, dass man wirklich nur mehr die Dämmung bezahlt und die liegt zwischen DM 120,- und 200,- pro m<sup>2</sup>, was nicht sehr teuer ist.

**Frage:**

Gibt es eine Datenbank, in die ökologische Kriterien eingeflossen sind?

**Arch. Schulze-Darup:**

Beim Passivhaus-Institut sind viele Gebäude dokumentiert, wo auch Kostenangaben enthalten sind. (<http://www.passiv.de>) Eine ökologische Datenbank wird von der LGA-Bayern aufgebaut, die Webadresse lautet lga.de und die Nutzung ist für den Verbraucher kostenlos.



# Zur Integration ökologischer Aspekte in den Planungsprozess durch Anwendung von Bewertungsmethoden und -hilfsmitteln

Thomas Lützkendorf

## Grundlagen, Ziele und Anforderungen

Passivhäuser haben im Rahmen zahlreicher Demonstrationsbauvorhaben ihre technische Machbarkeit unter Beweis gestellt. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitung derartiger Projekte wurden i.d.R. parallel oder auch nachträglich Fragen einer ökonomischen und ökologischen Bewertung untersucht. Im Rahmen einer vollen Markteinführung muss es nun darum gehen, die ökonomische und ökologische Vorteilhaftigkeit untersuchter Varianten bereits in der Planung zu untersuchen, gezielt herbeizuführen und plausibel nachzuweisen. Im Zusammenhang mit einer zunehmenden Sensibilisierung gegenüber Umweltfragen und dem Ziel einer praktischen Umsetzung von Prinzipien der nachhaltigen Entwicklung auch im Gebäudebereich ergibt sich daher bei den am Bau Beteiligten die Notwendigkeit einer Integration von Aspekten des energiesparenden, ressourcenschonenden und gesundheitsgerechten Planens in Prozesse der Entscheidungsfindung. Dies führt zu einem Bedarf an Informationen, Bewertungsmethoden und –maßstäben, der einerseits eine Reaktion auf aktuelle Entwicklungen, gesellschaftliche Ziele und rechtliche Rahmenbedingungen darstellt und andererseits durch bereitzustellende und anwendbare Hilfsmittel umsetzungsorientiert gedeckt werden muss. Einen Ansatzpunkt für die Entwicklung und den Einsatz von (ökologisch orientierten) Bewertungsmethoden und –hilfsmitteln stellt die Europäische Bauproduktenrichtlinie mit ihren Anforderungen im Bereich Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz dar. Die Bauproduktenrichtlinie macht gleichzeitig deutlich, dass die genannten Aspekte Hygiene, Gesundheit und Umweltschutz Teile eines komplexen Anforderungssystems sind, welches insbesondere auch funktionelle, technische und bauphysikalische Bereiche abdeckt.

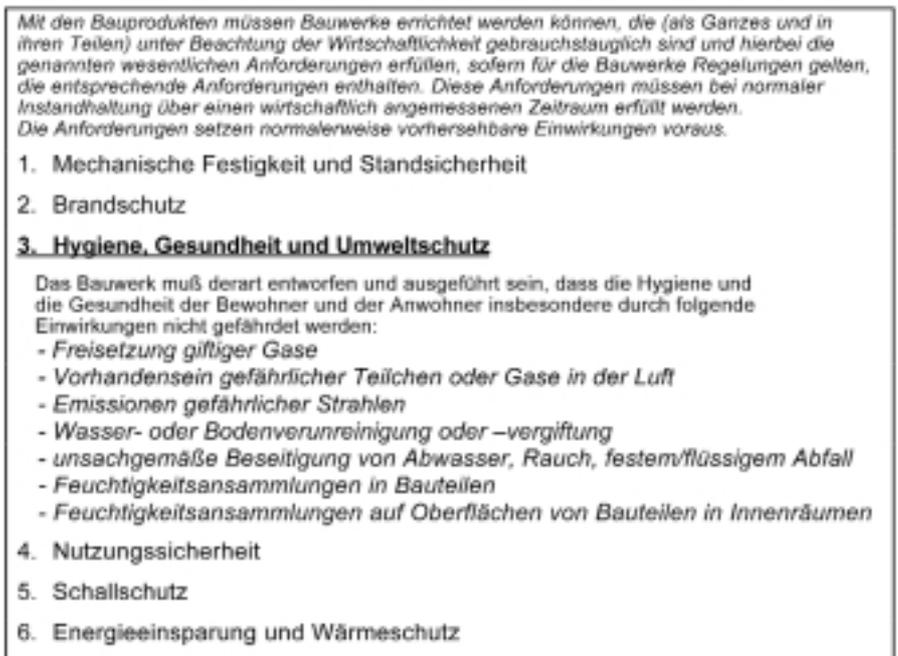


Abb. 1: Wesentliche Anforderungen der Europäischen Bauproduktenrichtlinie [BPR 1989]

Auf der Basis formulierter Ziele zur Umsetzung des Leitbildes einer Nachhaltigen Entwicklung im Bereich Bauen und Wohnen kann eine Erweiterung und Präzisierung des durch geeignete Methoden und Hilfsmittel abzudeckenden Informations-, Bewertungs- und Entscheidungsbedarfes vorgenommen werden.

Unter Hinweis auf die hervorgehobenen Passagen können folgende Anforderungen an Bewertungsmethoden formuliert werden, die den Informations- und Bewertungsbedarf im Zusammenhang mit den Zielen einer Sicherung der Nachhaltigkeit im Baubereich abdecken sollen.

- Erfassung, Beschreibung und Bewertung des vollständigen Lebenszyklus von Bauwerken
- parallele Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte
- Erfassung, Beschreibung und Bewertung globaler und regionaler Energie- und Stoffströme bei gleichzeitiger Beachtung lokaler und punktueller Risiken durch Gefahren- und Schadstoffe

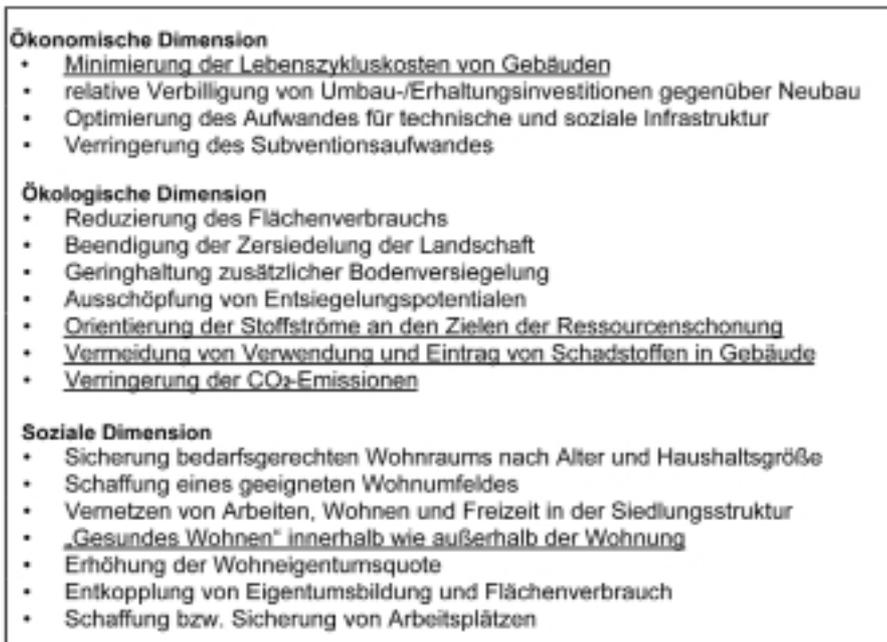


Abb. 2: Ausgewählte Zieldimensionen für das Leitbild der Nachhaltigen Entwicklung im Bereich Bauen und Wohnen [BUND 1997] (Hervorhebungen durch Verfasser)

den können. Zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung liegen die jeweiligen, an den Planungsfortschritt angepassten Informationen und Bewertungsergebnisse vor.

Im Unterschied hierzu sind eine Reihe von ökologisch orientierten Bewertungsmethoden und -hilfsmitteln bisher nicht optimal auf Arbeitsweise, Arbeitsumgebung und Arbeitsablauf von Planern abgestimmt.

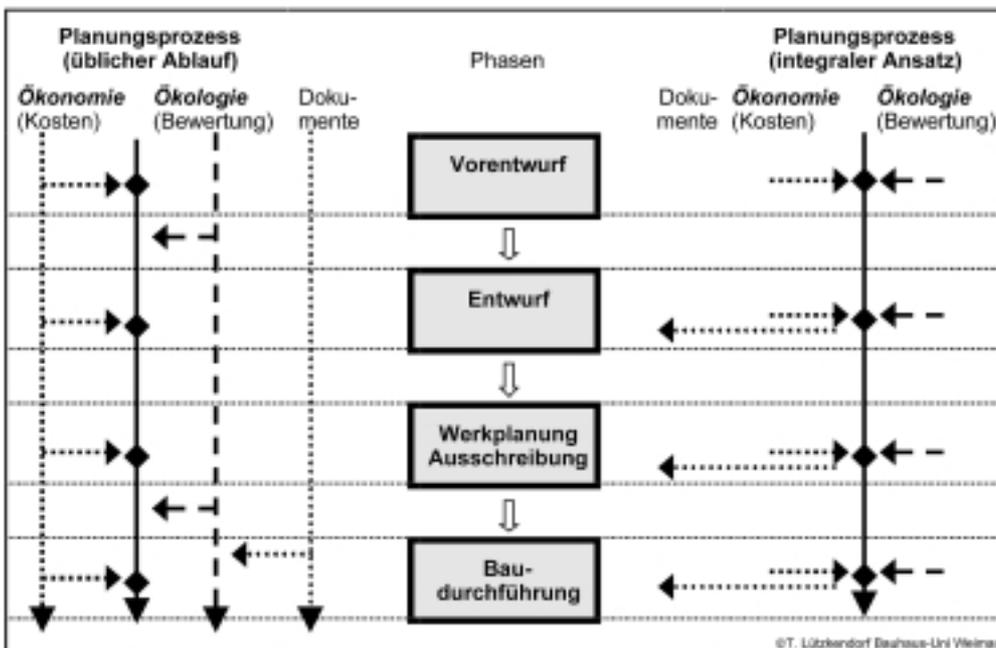


Abb. 3 : Vereinfachte Darstellung des Planungsprozesses mit der Zuordnung der Informationsbereitstellung durch ökonomische/ökologische Bewertungsmethoden und -hilfsmittel

der Informationen und Bewertungsergebnisse vorliegt. Somit werden ökologisch orientierte Bewertungsmethoden und -hilfsmittel benötigt, die auch in frühen Planungsphasen und angepasst an übliche Arbeitsabläufe benötigte Daten und Ergebnisse bereitstellen. Siehe auch Abb. 3.

Ebenso wie bei den Bewertungsaufgaben ist es beim Aspekt der planungsbegleitenden Entscheidungsvorbereitung möglich, komplexe Methoden und Hilfsmittel bzw. einen Satz spezifischer Werkzeuge einzusetzen. Gleichzeitig sollte es möglich sein, benötigte Dokumente (z.B. Gebäudepass) nicht mit gesonderten Werkzeugen und nachgelagerten Aktivitäten, sondern im Sinne einer Dokumentation der Entscheidungsergebnisse zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung (ggf. modular) zu erzeugen.

- parallele Verwendung inputseitiger (Ressourceninanspruchnahme) und outputseitiger (Emissionen) Kriterien
- parallele Beachtung bauökologischer (Energie- und Stoffströme) und bau-biologischer (gesundes Wohnen) Aspekte

Es wird deutlich, dass der Umfang dieser Anforderungen nur durch sehr komplexe Methoden und Hilfsmittel oder durch einen aufeinander abgestimmten Satz jeweils spezifischer Werkzeuge abgedeckt werden kann.

Für die Lösung ökonomischer Fragen hat sich im Prozess der Planung ein fester Ablauf herausgebildet, dem Hilfsmittel zur Kostenschätzung, Kostenberechnung und Kostenfeststellung zugeordnet werden

Häufig wird eine vollständige Zerlegung des zu planenden Bauwerkes in die Einzelbaustoffe als Grundlage für die Bewertung vorausgesetzt, die in frühen Planungsphasen so nicht zu leisten ist. So wurden bisher zwar die Bewertungsmethoden aus wissenschaftlicher Sicht weiterentwickelt, Fragen der Integration in den Arbeitsalltag jedoch nicht immer ausreichend gelöst. Im Sinne einer Gleichbehandlung von ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten bei der Entscheidungsvorbereitung und -findung ist es jedoch notwendig, dass zum Entscheidungszeitpunkt das volle Bild

## Tendenzen im Bereich der Bewertungskriterien

### Baukosten und Baunutzungskosten

Im Bereich Investitions-/Baukosten liegen ausreichend Kennzahlen, Erfahrungswerte und Hilfsmittel für eine Berechnung und Bewertung während der Planung vor. Bauherren und Öffentlichkeit sind noch immer stark auf geringe Baukosten fixiert, ohne die Aspekte der Langlebigkeit der Konstruktion sowie der laufenden Kosten ausreichend zu würdigen. Als nachteilig und wenig zweckdienlich hat es sich erwiesen, Maßnahmen zur weiteren Reduzierung des Energieverbrauches gegenüber einer Basisvariante als Mehrkosten auszuweisen und deren Wirtschaftlichkeit gesondert zu untersuchen. Aus Sicht des Autors besteht das Ziel, bei i.d.R. durch eine maximale Zahlungsbereitschaft vorgegebenen Baukosten eine günstige Verteilung der finanziellen Mittel auf die Bauwerksteile und Haustechniksysteme bei eindeutiger Bevorzugung langlebiger, grundfunktionssichernder und energiesparender Komponenten zu erreichen. Hierbei sollte das Gebäude als komplexe funktionelle Einheit aufgefasst werden.

Im Bereich der (laufenden) Baunutzungskosten bestehen erhebliche Defizite sowohl im Bereich der Bereitstellung von Kennwerten und Hilfsmitteln als auch im Bereich ihrer Anwendung im Planungsalltag. Eine Vorausberechnung zu erwartender Kosten für Beheizung, Beleuchtung, Instandhaltung u.a. ist in der Masse der planerischen Leistungen bisher nicht üblich.

Aus Sicht des Autors besteht ein Bedarf hinsichtlich einer Umorientierung des Bauherren weg von einer Bewertung der Investitionskosten hin zur Beurteilung der monatlichen Gesamtbelastung infolge Baunutzungskosten inklusive Kapitaldienst. Durch eine Umstellung auf ökonomische Bewertungsmaßstäbe eines life cycle costing können Vorteile langlebiger und energiesparender Konstruktionen besser als bisher dargestellt werden. Im Sinne von innovativen Ansätzen existieren u.a. Konzepte für Niedrigenergie- und Passivhäuser, um die Höhe der Heizkosten zu garantieren oder in den Kaufpreis zu integrieren. Auch die z.Z. diskutierten Modelle eines Gebäudeleasing oder einer Warmmiete führen in die Richtung einer stärkeren Beachtung laufender Kosten.

### Energie- und Stoffstrom (inputseitig)

#### Erfassung und Bewertung des Energieaufwandes

Bei der Formulierung und Überprüfung von Anforderungen zur Begrenzung des laufenden Energieaufwandes während der Nutzungsdauer von Bauwerken kann (auch international) ein allmählicher Übergang vom Niveau Nutzenergie auf das Niveau Endenergie festgestellt werden. Dies ist als Fortschritt zu interpretieren, wird doch mit der Ermittlung des Aufwandes an Endenergie (zur Vermeidung von Missverständnissen besser als Aufwand an Endenergieträgern – z.B. Art und Menge von Brennstoffen – bezeichnet) einerseits ein Wert ermittelt, der während der Nutzung überprüft werden kann, und andererseits wird die Ausgangsbasis für eine weitergehende ökonomische (Heizkosten) und ökologische (Ressourceninanspruchnahme, Primärenergie, Emissionen, Wirkungen auf Klima, Umwelt und Gesundheit) Bewertung geschaffen. Die Vorgabe eines Verbrauches an Endenergieträgern eignet sich so u.a. für eine Vereinbarung von Zielwerten zwischen Planer und Bauherren, was ausdrücklich empfohlen wird. Für eine Vergleichbarmachung unterschiedlicher Energieträger ist jedoch mittelfristig ein Übergang zum Bewertungsniveau „Primärenergie“ auch für die Beschreibung und Beurteilung des laufenden Energieaufwandes unverzichtbar. In den nationalen Gesetzgebungen (u.a. Niederlande, Deutschland) zeichnet sich diese Tendenz klar ab.

Auf der Seite der Ermittlung und Bewertung des Energieaufwandes für die Herstellung, Errichtung und Instandhaltung der Bauwerke wird seit über 20 Jahren der Kennwert „kumulierter Aufwand an Primärenergie“ verwendet. Mit der aktuellen Diskussion zur VDI 4600 „Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden“ wird erneut der Versuch unternommen, verbindliche Regeln für die Ermittlung dieses Kennwertes zu vereinbaren.

Der kumulierte Aufwand an Primärenergie erfreut sich einer hohen Akzeptanz bei ökologisch orientierten Planern und Bauherren sowie im Bereich politischer Entscheidungsträger. Aus Sicht des Autors sollte der Kennwert „kumulierter Energieaufwand“ auf einen reinen Energieaspekt zurückgeführt und (ggf.) durch Kriterien zur Erfassung und Bewertung der Ressourceninanspruchnahme ergänzt werden. Sofern bei einer Anwendung des „kumulierten Energieaufwandes“ (gemessen in Primärenergie) im Sinne eines Leitindicators auf die ergänzende Angabe von CO<sub>2</sub>-Emissionen und/oder bewerteten Treibhauspotentialen verzichtet wird, wird eine erkennbare Unterteilung in

- kumulierten Primärenergieaufwand aus erneuerbaren Quellen
- kumulierten Primärenergieaufwand aus nichterneuerbaren Quellen

vorgeschlagen. Diese Vorgehensweise ist im deutschsprachigen Raum inzwischen verbreitet. Einem inzwischen abgeschlossenen Forschungsvorhaben beim Deutschen Umweltbundesamt [KEA 1999] können sowohl methodische Hinweise als auch aktuelle Datengrundlagen entnommen werden. Im Zusammenhang mit einer besonderen Betonung der Teilgröße „kumulierter Primärenergieaufwand aus nichterneuerbaren Quellen“ wird davon ausgegangen, dass diese besser als die bisherige summarische Betrachtung geeignet ist, indirekt die Ressourceninanspruchnahme und den resultierenden CO<sub>2</sub>-Ausstoß zu repräsentieren. Weiterhin wird eine bisher erfolgte „rechnerische“ Benachteiligung nachwachsender Rohstoffe und regenerativer Energien vermieden.

### **Erfassung und Bewertung des Stoffstroms**

Als Beitrag zur Entwicklung eines Ressourcenmanagementes und zur Beförderung eines „ressourcen-optimierten“ Bauens besteht ein Informationsbedarf bezüglich des durch die Errichtung und Nutzung von Bauwerken verursachten (inputseitigen) Stoffstroms. Für einzelne Bauvorhaben kann im Rahmen einer Sachbilanz der Einsatz an Ressourcen erhoben und angegeben werden. Üblich sind Parameter wie „inputseitiger Stoffstrom – total“ bzw.

- Einsatz an biotischen Ressourcen
- Einsatz an abiotischen Ressourcen.

Verfügbare Datenbanken [GEMIS 2000] lassen bereits mit der Angabe des Ressourceneinsatzes an Erzen, Mineralien, Wasser und ggf. auch an Energieträgern für Produkte und Dienstleistungen Teilaussagen zu. Durch ein Zusammenfassen des energetischen und stofflichen Einsatzes von „potentiellen“ Energieträgern zur Ressourceninanspruchnahme wird eine Entlastung des Kriteriums „kumulierter Energieaufwand“ vom Ressourcenaspekt möglich, da dieser nunmehr auf der Seite des Stoffstromes abgebildet wird. Eine Ermittlung und Bewertung eines „kumulierten Stoffstromes“ wird z.Z. diskutiert.

Mit dem MIPS-Ansatz des Wuppertal-Instituts (MIPS = Materialinput pro Serviceeinheit im Sinne eines „ökologischen Rucksackes“) [Bleek 1997] wird bereits versucht, eine Summe inputseitiger Stoffströme einschließlich aller notwendigen Vorleistungen (u.a. Abraum) zu ermitteln und als Indikator für die Beschreibung und Bewertung von Eingriffen in die Natur zu verwenden. Weiterentwicklungen und Modifikationen führten dazu, dass der Materialinput inzwischen hinsichtlich der abiotischen Rohmaterialien, der biotischen Rohmaterialien, der Bodenbewegungen sowie des Aufwandes an Wasser und Luft unterschieden wird.

Bis auf Versuche der Beurteilung des Ressourceneinsatzes über eine Bewertung der Knappheit von Ressourcen werden Angaben zur inputseitigen Ressourceninanspruchnahme i.d.R. als unbewertete Informationen in die Entscheidungsfindung einbezogen.

### **Energie- und Stoffstrom (outputseitig)**

Auf der Seite des outputseitigen Stoffstroms werden Emissionen in Luft und Wasser sowie Abfallmengen und Abraum (ggf. auch ausgedrückt als benötigtes Deponie-Volumen) erfasst. Während die Emissionen i.d.R. zu effektorientierten Summenparametern zusammengefasst werden, erfolgt die Angabe von Abfall- und Abraummengen als unbewertete Information.

#### **a) Bewertung von Wirkungen auf die Umwelt (Teilaggregation)**

Im Zusammenhang mit der Beschreibung und Bewertung von Wirkungen auf die Umwelt ist die Bildung von Summenparametern üblich [Heijungs 1992]. Hierbei werden die in Sachbilanzen ermittelten Emissionen Wirkungskategorien zugeordnet und untereinander gewichtet. Es ist zu erwarten, dass sich in naher Zukunft Möglichkeiten der Überarbeitung und internationalen Harmonisierung der Wichtungsregeln ergeben.

I.d.R. werden bei einer effektorientierten Bewertung folgende Kriterien verwendet:

- Potential der globalen Erwärmung - Treibhauseffekt (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)
- Versauerung (SO<sub>2</sub>-Äquivalent)
- Ozonabbau
- Überdüngung
- Smogbildung
- Ökotoxizität (ggf. getrennt für Luft, Wasser, Boden)
- Humantoxizität

Im Unterschied zu den übrigen effektorientierten Kriterien, deren Aussagekraft unter Hinweis auf eine mangelhafte Datengrundlage häufig umstritten ist, werden CO<sub>2</sub>- und SO<sub>2</sub>-Äquivalente zunehmend als Kriterien akzeptiert und in Bewertungsprozesse integriert. Aus Sicht des Autors ist insbesondere die Ermittlung und Bewertung des verursachten Treibhauseffektes im Sinne eines kumulierten Ausstoßes klimarelevanter Gase eine wesentliche Bewertungsgröße, die zur Befriedigung entsprechender Informationsbedürfnisse beitragen kann – u.a. existierende Anforderungen auf europäischer Ebene zur Verbesserung der Transparenz im Bereich der CO<sub>2</sub>-Belastung (z.B. SAVE II).

Bei den effektorientierten Kriterien werden i.d.R. mögliche Einwirkungen auf die Umwelt im Sinne von Potentialen abgebildet. Zu welchen Auswirkungen und Folgewirkungen in der Umwelt diese führen werden, hängt u.a. von der dort bereits anzutreffenden Situation ab. Aktuelle Ansätze zur Bewertung von Auswirkungen und Folgewirkungen werden u.a. in [Mettier 1998] beschrieben. Es wird der Versuch unternommen, Auswirkungen auf die „Humangesundheit“ bzw. die „Ökosysteme“ abzuschätzen und zu bewerten. Für die Beurteilung von Auswirkungen auf die Humangesundheit wird z.B. das Modell einer Berechnung von verlorenen Lebensjahren (YLL - years of life lost) sowie von Lebensjahren mit Beeinträchtigungen - z.B. schwere Krankheiten (DALYs - disability-adjusted life years) herangezogen [WHO 1989]. Inwieweit derartige Bewertungsansätze Akzeptanz im Bereich von Entscheidungsträgern und zu einer praktischen Anwendbarkeit im Baubereich finden, bleibt abzuwarten.

### **Vollaggregation**

Die seit längerer Zeit in Diskussion befindlichen Ansätze einer Vollaggregation der Wirkungen auf die Umwelt (z.B. UBP-Umweltbelastungspunkte, Eco-Indikator 95 und Eco-Indikator 99 u.a.) werden durch den Autor als problematisch eingeschätzt. Es gibt keinen wissenschaftlich begründbaren Wichtungsfaktor für eine Aggregation von Klimaproblemen und z.B. dem Fischsterben. Gleichwohl ist die Forderung von Industrie und anderen Entscheidungsträgern nach einer Gesamtaussage und einer eindeutigen Handlungsrichtung nachvollziehbar. Hier bleibt nur die Entwicklung abzuwarten und Tendenzen einer Harmonisierung zu unterstützen. Zusätzlich zu prüfen sind die Möglichkeiten einer Ermittlung und Bewertung externer Kosten.

### **Gesundheit und Behaglichkeit**

Die Auflösung eines teilweise konstruierten Konfliktes zwischen Bauökologie (Vorwurf der einseitigen Konzentration auf die Reduzierung von Energie- und Stoffströmen) und Baubiologie (Vorwurf der Überbetonung von Aspekten der individuellen Gesundheit und Behaglichkeit) macht eine (gleichberechtigte) Behandlung von Fragen der Sicherung von Gesundheit und Behaglichkeit sowie deren Integration in Aspekte der Entscheidungsfindung erforderlich.

Im Unterschied zur Ermittlung und Bewertung der Energie- und Stoffströme während der Lebensdauer von Bauwerken auf der Ebene Gesamtgebäude ist die Untersuchung von Aspekten wie Behaglichkeit und Gesundheit auf der Ebene Einzelraum zweckmäßig. Zweckmäßig sind u.a. die Beschreibung und Bewertung der thermischen Qualität sowie der Raumluftqualität. Vom Autor wird vorgeschlagen, durch Nutzung der EN ISO 7730 (1995) „Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit“ und unter Annahme von Nutzungsszenarien bereits in der Planungsphase ein vorausgesagtes mittleres Votum zur thermischen Qualität (PMV) bzw. einen vorausgesagten Prozentsatz Unzufriedener (PPD) zu ermitteln und über erreichte Qualitätsklassen (C,B,A) zu bewerten. Vorgeschlagen wird die Ermittlung und Bewertung vom Niveau der

- Verhältnisse der thermischen Behaglichkeit im Winter
- Verhältnisse der thermischen Behaglichkeit im Sommer.

Für eine Beurteilung der Raumluftqualität liegt mit [Grün 1998] ein Ansatz vor, der sich mit Vorstellungen des Autors deckt. Danach wäre die Luftqualität u.a. hinsichtlich ihrer

- geruchlichen Frische (olf/decipol),
- ihrer Kohlendioxidkonzentration und der festzustellenden Summe flüchtiger organischer Stoffe (TVOC) zu bewerten. Es ist zu prüfen, ob und inwieweit derartige Parameter in Abhängigkeit von Planungsentscheidungen ermittelt und für eine Bewertung bereitgestellt werden können. Realistisch scheint die Angabe und Bewertung einer berechneten (abgeschätzten)
- TVOC-Konzentration in der Raumluft.

Ein vom Autor entwickeltes Konzept eines „ökologischen Raumbuches“ sieht die Verknüpfung von Geometriedaten der Oberflächen im Raum mit Material- und/oder Bauteileigenschaften (berechnete Ober-

flächentemperatur, Beurteilung der Oberflächen mit olf bzw. Angabe der Emissionsfaktoren für TVOC) sowie den konkreten Nutzungsbedingungen (Bekleidung und Aktivität der Nutzer, geplanter Luftwechsel, Art und Menge der Möblierung u.a.) vor. Ziel ist die Abschätzung von Behaglichkeitsklasse und/oder Raumluftqualität bereits in der Planungsphase.

Neben dem Ziel einer Erfassung von Energie- und Stoffströmen und ihrer effektorientierten Bewertung sowie einer raumbezogenen Beurteilung von Aspekten der Behaglichkeit und Gesundheit kann zusätzlich die Lokalisierung von Risiken für Umwelt und Gesundheit bereits während der Planung von Interesse sein. Angestrebt wird die Unterstützung eines präventiven prozess- und produktintegrierten Umwelt- und Gesundheitsschutzes. Zur Sichtbarmachung, Minimierung und Abwehr konkreter Risiken für Umwelt und Gesundheit besteht bei den am Bau Beteiligten folgender Informationsbedarf:

- a1 Risiken und Gefahren für Bauausführende während der Bauprozesse im Rahmen des Errichtens, Instandhaltens und Abreißens von Bauwerkens
- a2 Risiken und Gefahren für die Umwelt während der Bauprozesse im Rahmen des Errichtens, Instandhaltens und Abreißens von Bauwerken
- b1 Risiken und Gefahren für Nutzer während der Nutzungsphase (z.B. Emissionen aus Baustoffen in die Raumluft) bei Normalnutzung und Sonderfällen (u.a. Brand)
- b2 Risiken und Gefahren für die Umwelt während der Nutzung (z.B. Eluate)

Risiken für Umwelt und Gesundheit können u.a. über die Angabe von R-Sätzen (standardisierte Bezeichnung besonderer Gefahren im Zusammenhang mit der gebräuchlichen Handhabung und Verwendung gefährlicher Stoffe und Zubereitungen) beschrieben werden. Im Sinne einer Zusatzinformation können R-Sätze durch die Angabe genormter Sicherheitsratschläge (S-Sätze) ergänzt werden.

### **Zusammenfassung**

In der Entwicklung der letzten Jahre haben sich eine Vielzahl von Bewertungsansätzen herausgebildet, die auf unterschiedliche Art und Weise geeignet sind, die spezifischen Sichten und Interessenlagen der am Bau Beteiligten zu berücksichtigen sowie den umweltbezogenen Aufwand sowie die Wirkungen auf Umwelt und Gesundheit abzubilden und bewertbar zu machen. Aus Sicht des Autors haben die unterschiedlichen Bewertungsansätze daher eine Existenzberechtigung. Insofern sollte nicht der (ggf. aussichtslose) Versuch unternommen werden, das „wichtigste“ Kriterium zu finden, sondern vergleichbar einem Cockpit ein aussagefähiger und durch Planer interpretierbarer Satz an Bewertungskriterien unter Anwendung spezifischer Methoden (ggf. auch allgemein verbindliche bzw. konsensfähige „Pflicht-Kriterien“ und projekt- bzw. situationsabhängige „Kür-Kriterien“) bereitgestellt und angewendet werden. Qualitative Aspekte sind zur Abrundung des Bildes und zur Füllung von Lücken bei quantitativen Aspekten erforderlich. Problematisch ist i.d.R. die computergestützte Weiterverarbeitung von qualitativen Angaben auf nächsthöherer Bearbeitungsstufe (z.B. Informationsübertragung vom Einzelelement auf das Gesamtbauwerk). Vorgeschlagen wird eine arbeitsteilige Vorgehensweise zur Abdeckung unterschiedlicher Informationsbedürfnisse. Quantitative Informationen (Energie- und Stoffstrom) können kumuliert bzw. aggregiert, qualitative Daten wie Risikoangaben vorzugsweise lokalisiert werden.

### **Analyse verfügbarer Bewertungshilfsmittel**

Im Rahmen der Einordnung ökologischer Aspekte in den Planungsprozess ist es wichtig, verfügbare Hilfsmittel an geeigneter Stelle auf der Basis jeweils bereits vorhandener Informationen zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen einzusetzen. Sie stehen in einem engen Zusammenhang mit Bewertungsmethoden und machen diese bzw. deren Ergebnisse i.d.R. für die am Bau Beteiligten erst verfügbar. Heute bekannte Hilfsmittel können u.a. in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Gesetze, Vorschriften, Konventionen
- Leitlinien, Fallbeispiele
- Grenz- und Zielwerte
- Positivlisten / Empfehlungskriterien bzw. Negativlisten / Ausschlusskriterien
- Umweltzeichen, andere Zeichen
- ökologisch orientierte Leistungsbeschreibungen und Ausschreibungstexte
- Gebäudepässe, Energieausweise

- Checklisten
- Qualitätssicherungssysteme, Messverfahren
- Teildeklaration / Volldeklaration / Deklarationsraster
- Energiekennzahlen
- Datenbanken zu Bauprodukten, Gefahrstoffinformationssysteme
- Element-Kataloge
- Sachbilanzen, Ökoinventare, Ökobilanzen
- Komplexe Planungs- und Bewertungswerkzeuge (tools).

Zusätzlich wird zwischen Hilfsmitteln (Energieausweise, Gebäudepässe) und interaktiven Werkzeugen (i.d.R. computergestützt) unterschieden. Durch den Autor wird die Entwicklung eines Leitbildes „Werkzeugkasten“ unterstützt, welches die arbeitsteilige Anwendung der Hilfsmittel illustrieren soll. Mit der nachstehenden Abb. 4 wird aufgezeigt, dass mit heute verfügbaren Hilfsmitteln i.d.R. alle Planungsphasen und –fragen abgedeckt werden können.

Als Ergebnis eines internationalen Forschungsvorhabens im Rahmen der Internationalen Energieagentur (IEA) Annex 31 „energy related environmental impact of buildings“ wurde unter aktiver Mitwirkung des Autors eine Übersicht zu z.Z. international verfügbaren Planungswerkzeugen und ihrer Einordnung in den Planungsprozess erstellt [IEA 1999], [BINE 1999].

Eine Analyse von Planungswerkzeugen im deutschsprachigen Raum mit beispielhafter Anwendung auf Fragen der Bewertung von Passivhäusern liegt mit [SIA 1998] vor.

In Abb. 4 werden Entwicklungstendenzen und anwendungsbereite Beispiele ausgewählter Typvertreter von Planungshilfsmitteln diskutiert.

Planungshilfsmittel	Fallstudien/Objektbeispiele	Checklisten/Handbücher (themenspezifisch)	komplexe Planungs- und Bewertungshilfsmittel	Element-Kataloge	Deklarationsraster/ Gefahrstoffinformationen	ökologische Ausschreibungshilfen	Qualitätssicherungssysteme/Messungen	Energieausweise	Gebäudepässe
Planungsphasen in Deutschland									
1. Grundlagenermittlung	■								
2. Vorplanung		■							
3. Entwurfsplanung		■	■						
4. Genehmigungsplanung		■	■					■	
5. Ausführungsplanung		■	■		■				
6. Vorbereitung der Vergabe		■	■						
7. Mitwirkung bei der Vergabe		■	■						
8. Objektüberwachung		■	■				■		
9. Objektbetreuung/Dokumentation		■	■					■	■

Abb. 4: Zuordnung ausgewählter Hilfsmittel zu den Planungsphasen (Verfasser)

### Element-Kataloge

Mit den Katalogen [SIA 1995], [IBO 1999] und [Katalyse 1999] stehen in der Schweiz, in Österreich und in Deutschland Hilfsmittel zur ökologischen Beurteilung von Baukonstruktionen auf der Element-Ebene zur Verfügung. Sie stellen i.d.R. Bauteile auf „Niedrigenergie-Niveau“ vor und bewerten diese sowohl quantitativ (Energieaufwand, Umweltbelastung) als auch qualitativ. Im Rahmen von [LEGOE 1999] wird derzeit an einem computergestützten Element-Katalog gearbeitet, der zusätzlich Kostenkennwerte für die erfassten Bauteile beinhaltet.

Für passivhausgeeignete Konstruktionen fehlen derartige Kataloge noch, mit [Winter 1999] und [quadriga 1999] liegen jedoch erste Ansätze für die Angabe von Kostenkennwerten bzw. für die Darstellung ökologisch orientierter Bewertungsergebnisse vor. Es muss davon ausgegangen werden, dass zur Bearbeitung von Forschungsvorhaben bei Institutionen, die auch zur Veröffentlichung obengenannter Kataloge beigetragen haben, aufbereitete Bauteil-Datenblätter vorliegen, so dass deren Aufbereitung und Veröffentlichung nur eine Frage der Zeit sein dürfte.

Festzustellen bleibt aber auch, dass die Analysen und Bewertungsergebnisse der Architekten i.d.R. auf mit hohem Aufwand erstellten Einzellösungen zur Ermittlung von Massenbilanzen und einer Verknüpfung mit der Literatur entnommenen Primärenergiekennzahlen beruhen, die nicht immer frei zugänglich sind. Die Anwendung der Element-Methode und von Element-Katalogen beginnt sich erst allmählich im Planungsalltag durchzusetzen.

## Gebäudepässe

Stark diskutiert wird z.Z. die geeignete Form der Dokumentation einer erreichten ökologischen Qualität von Bauwerken – eine Frage, die auch für Passivhäuser relevant ist. Es existieren zahlreiche Ansätze für

Gebäudepässe, Zertifikate und Gütesiegel, die u.a. in [IÖR 1998] vorgestellt werden. In Deutschland wurde die Unterteilung von Gebäudepässen in einen „beschreibenden“ Teil auf der Basis konsensfähiger Merkmale und in einen „bewertenden“ Teil gemäß zu dokumentierender Kriterien und Maßstäbe der Passersteller oder Zeichengeber vereinbart. In der Schweiz beginnt sich die Methode des „e-top rating“ [e-top 1999] durchzusetzen.

Aus Sicht des Autors sollte insbesondere in diesem Bereich der Erarbeitung konsensfähiger Lösungen vorangetrieben und eine voranschreitende Diversifizierung von Ansätzen vermieden werden. Wünschenswert wäre eine Betonung der sowohl arbeitsteiligen als auch spezifischen Aufgaben von Planungswerkzeugen, Qualitätssicherungssystemen und Gebäudepässen bzw. Objektdokumentationen, die erst in ihrer kombinierten Anwendung zu einer Verbesserung der Situation beitragen werden.

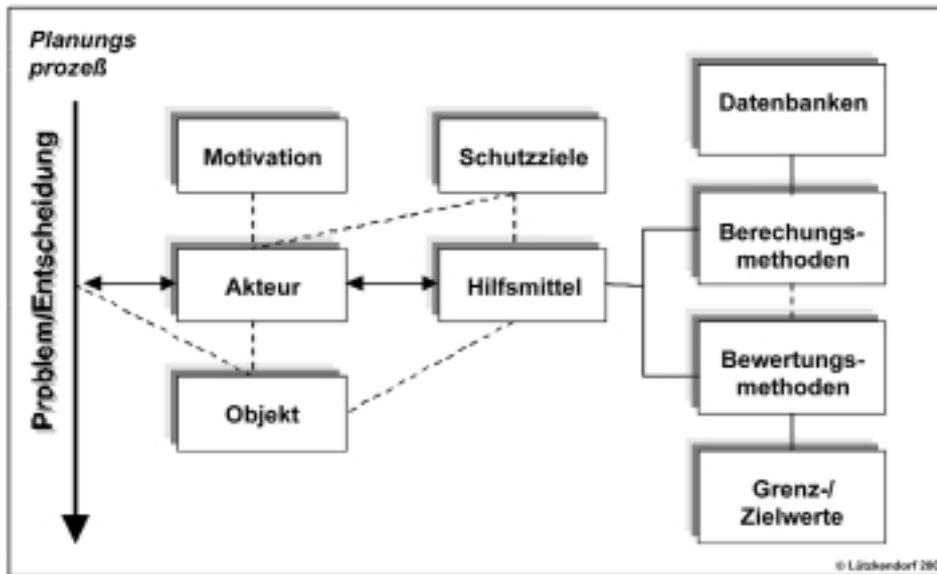


Abb. 5: Einordnung interaktiver Hilfsmittel (Verfasser)

Abb. 6: Darstellung von wesentlichen Eigenschaften komplexer Planungs- und Bewertungshilfsmittel – illustriert am Beispiel von LEGOE [LEGOE 1999]

Eigenschaften zur Charakterisierung von Werkzeugen	dargestellt und illustriert am Beispiel von LEGOE
Bearbeitungs-/Bewertungsgegenstand	Einzelbauwerk
Bearbeitungs-/Bewertungsrahmen	vollständiger Lebenszyklus
Bearbeitungs-/Bewertungsziele	ökonomische/ökologische Bewertung von Lösungen Bauteil- und Bauwerksoptimierung Datenbereitstellung für Zertifikate/Gebäudepässe
Bewertungskriterien	einmalige und laufende Kosten einmaliger und laufender Energieaufwand Ressourceninanspruchnahme/Umweltbelastung Behaglichkeit
Methoden für teilaggregierte Bewertung	Kosten Kumulierter Energieaufwand effektorientierte Bewertung nach Heizungs Behaglichkeitsklassen Netzdarstellung mit Zeitraum
Methoden für vollaggregierte Bewertung	Eco-Indikator (Umweltbelastungspunkte) (externe Kosten)
Bewertungsmaßstäbe	gesetzliche Grundlagen/Anforderungen (z.B. EnEV) Durchschnitts- und Bestwerte individuell mit dem Bauherrn zu vereinbarende Ziele
Ergebnisse	Interpretation/Präsentation am Bildschirm Analysen für Verbesserungsansätze Ergebnisausdrucke
Informationsbedarf	Objektbeschreibung in unterschiedlicher Detaillierung (Geometrie, stofflich-konstruktiv/technische Lösung) Nutzung, Standort
Annahmen/Konventionen	Standardnutzungsszenarien Szenarien zur Reinigung, Instandhaltung Klima
Verknüpfung mit Basisdaten	mit Datenbanken verknüpfte Element-Kataloge (Neubau-, Reinigungs-, Instandhaltungselemente) Datenbanken für Energieträger (Okoinventare)
enthaltenen Berechnungsmöglichkeiten	Baukosten, Baumutzungskosten (LCC) Energieaufwand für Heizung und Warmwasser Stromeinsatz Energie- und Stoffstrom (LCA) Wasserbedarf, Abwasseraufkommen Abfallaufkommen themische Behaglichkeit, Nachhaltigkeit (raumweise)
Anwendungszeitpunkt	ca. Leistungsphase 2 – 6 nach HOAI (je nach Makro-, Grob- bzw. Felementen)
Zielgruppe für Anwendung	Planer
Zielgruppe für Ergebnisse	Planer, Bauherr, Nutzer

## Komplexe Planungs- und Bewertungshilfsmittel

Komplexe Planungs- und Bewertungshilfsmittel sind i.d.R. interaktiv zu nutzende Werkzeuge. Häufig zeichnen sie sich durch eine direkte Verknüpfung mit Datenbanken, Berechnungs- und Bewertungsmethoden sowie mit Grenz- und Zielwerten aus. Siehe hierzu auch Abb. 5.

Die Entwicklung von komplexen computer-gestützten Planungswerkzeugen, die u.a. auf der Element-Methode aufbauen und eine energetische, ökologische und ökonomische Bewertung bereits in frühen Planungsphasen ermöglichen sollen, wird u.a. in der Schweiz und in Deutschland vorangetrieben. Ansätze wie [KOBK 1999], [LEGOE 1999] und [OGIP 1999] stehen bereits an der Schwelle zu einer Marktreife (Abb 6). Es wird empfohlen, die diesbezügliche Entwicklung zu verfolgen. Auch hier bleibt jedoch festzustellen, dass vorhandene Elemente und integrierte Rechenregeln z.Z. noch nicht auf den Anwendungsfall Passivhaus eingehen, dies aber im Rahmen einer Erweiterung und Anpassung leicht möglich sein wird.

In den vergangenen Jahren hat es im Bereich der Entwicklung interaktiver tools international eine beachtliche Entwicklung gegeben. Für die Vielzahl der Ansätze ist es notwendig, ihre Anwendungsziele, -möglichkeiten und -voraussetzungen so zu deklarieren, dass sich ein potentieller Anwender ein Bild machen kann. Nachstehend wird am Beispiel eines komplexen Planungs- und Bewertungshilfsmittels, an dessen Entwicklung der Autor in Kooperation mit mehreren Partnern unmittelbar beteiligt ist, der Versuch unternommen, in Kurzform eine Deklaration von ausgewählten Eigenschaften vorzunehmen. Es wird empfohlen, künftig die Einsatzbereiche von interaktiven Werkzeugen auf diese oder ähnliche Weise zu deklarieren. Internationale Bemühungen hierzu laufen z.Z. unter Beteiligung von Österreich und Deutschland im Vorhaben IEA-task 23.

### Zusammenfassung

Nachstehend wird mit Abb. 6 der Versuch unternommen, einen allgemeinen Ablauf von Prozessen der Entscheidungsvorbereitung und -findung im Planungsablauf zu beschreiben. Dies erfolgt insbesondere, um in der Praxis verwendete Methoden und eingesetzte Hilfsmittel zu identifizieren und innerhalb des Ablaufs zu lokalisieren. Der geschilderte Ablauf der Entscheidungsvorbereitung und -findung versteht sich als allgemeingültige Systematik, die sowohl auf hoher Aggregationsebene (Planung eines Bauwerkes) als auch für die Lösung von Detailfragen (Auswahl eines Materials) angewendet werden kann. Insofern können die handelnden Akteure sowohl Planer, Teams von Planern bzw. Vertragspartner (Auftraggeber/Auftragnehmer) sein.

Für eine Integration von Aspekten des energiesparenden, ressourcenschonenden und gesundheitsgerechten Planens und Bauens in Prozesse der Entscheidungsvorbereitung und -findung eignen sich unterschiedliche Methoden und Hilfsmittel. Ihre Auswahl und ihr Einsatz werden u.a. beeinflusst durch den Informations- und Bewertungsbedarf der Zielgruppe, den erreichten Informationsstand im Planungsprozess sowie den gewünschten bzw. notwendigen Grad der Komplexität der Aussagen. Momentan ist für die Vielzahl der Ansätze eine arbeitsteilige Vorgehensweise zu empfehlen. Unterschiedliche Lösungen haben ihre Berechtigung, da spezifische Informationsbedürfnisse zu bedienen sind. Es wird empfohlen, stärker als bisher vorhandene Hilfsmittel in den Planungsprozess zu integrieren bzw. ihre Anwendung durch Leitfäden, die auf die Möglichkeiten im „Werkzeugkasten“ aufmerksam machen, überhaupt erst zu initiieren. Jede vorhandene Methode und jedes vorhandene Hilfsmittel ist i.d.R. zweckdienlich und findet einen Platz im Gesamtsystem. Mittelfristig werden Entwicklung und Einsatz komplexer Planungs- und Bewertungshilfsmittel empfohlen, die sich unmittelbar in die Arbeitsumgebung und den Arbeitsablauf von Planern einordnen. Abschließend wird auf den Umstand verwiesen, dass in den letzten Jahren nicht immer die Bereitstellung und Veröffentlichung von Daten (z.B. Sachbilanzen) mit der Entwicklung und Weiterentwicklung von Bewertungsmethoden schritt hielt. Durch den Autor werden hierzu – auch und gerade im Europäischen Rahmen – verstärkte Aktivitäten und die Intensivierung von Kooperationsbeziehungen angeregt.

Schritt	Erläuterungen, Hinweise auf Methoden & Hilfsmittel
<b>Problemerkennung</b>	- Erkennen eines Problems - Erzeugen eines „Problembewusstseins“
<b>Problembeschreibung</b>	- Analyse und Beschreibung des Ausgangszustandes - Analyse und Beschreibung der Bedürfnisse
<b>Aufgabenstellung</b>	- Vorgabe eines Anforderungsprogramms - Benennung technischer, rechtlicher Randbedingungen - Benennung ökonomischer, ökologischer Randbedingungen - ggf. Auswertung von <u>Leitlinien</u> - Vorgabe von <u>Bewertungskriterien</u> - Vorgabe von <u>Grenz- und Zielwerten</u> - Veranlassung der Problemlösung
<b>Schaffung von Voraussetzungen</b>	- Auswahl von <u>Berechnungsmethoden und -hilfsmitteln</u> - Auswahl von <u>Bewertungsmethoden und -hilfsmitteln</u> - ggf. Beschaffung von Informationen ( <u>Deklarationsraster</u> ) - ggf. Auswertung von <u>Informationsquellen (Datenbanken)</u> - ggf. Auswertung von <u>Fallbeispielen</u>
<b>Erzeugung von Varianten</b>	- Erarbeitung von Lösungs-Varianten - Beschreibung technischer Parameter - Anwendung von <u>Berechnungsmethoden und -hilfsmitteln</u> - ggf. Erstellung von <u>Sachbilanzen</u>
<b>Bewertung von Varianten</b>	- technische, ökonomische und ökologische Bewertung - Anwendung von <u>Bewertungsmethoden und -hilfsmitteln</u> - ggf. Erstellung von <u>Wirkungsabläufen</u>
<b>Vorauswahl Niveau 1</b>	- Prüfung/Feststellung der „Zulässigkeit“ von Lösungen - Anwendung (technischer) <u>Grenzwerte</u> - Anwendung von <u>Ausschlusskriterien / Negativlisten</u> - Anwendung von <u>Checklisten</u>
<b>Vorauswahl Niveau 2 (*)</b>	- Prüfung/Feststellung der „Vorteilhaftigkeit“ von Lösungen - Anwendung techn./ökonomischer/ökologischer <u>Zielwerte</u> - Anwendung von <u>Empfehlungskriterien / Positivlisten</u> - Einbeziehung extern vorbereiteter Lösungen ( <u>Kataloge</u> )
<b>Entscheidungsfindung</b>	- Auswahl einer (weiterzuverfolgenden) Variante / Abbruch (**) - Anwendung von <u>Methoden</u> der mehrkriteriellen Entscheidung - Anwendung von <u>Entscheidungshilfsmitteln</u> - Dokumentation der Ergebnisse ( <u>Zerfäße</u> , <u>Pässe</u> u.a.)
<b>In besonderen Fällen:</b>	
<b>Vorbereitung der Umsetzung</b>	- Planung von Maßnahmen - technische, rechtliche, organisatorische Absicherung
<b>Umsetzung</b>	- Realisierung
<b>Erfolgskontrolle</b>	- u.a. Überprüfung der Einhaltung von <u>Grenz- und Zielwerten</u>

Abb. 7: Beschreibung von Prozessen der Entscheidungsvorbereitung und -findung (Verfasser)

\*)Die Vorauswahl auf Niveau 2 versteht sich als weitere Einschränkung der Lösungsmenge nach einer Vorauswahl auf Niveau 1. Aus der Menge der (technisch) zulässigen Lösungen werden die hinsichtlich der Einhaltung vereinbarter Kriterien „günstigen“ Varianten ausgewählt. Ziel ist die Einschränkung der Lösungsvarianten bei der endgültigen Entscheidungsfindung auf ein überschaubares Maß.

\*\*)Der Abbruch der Entscheidungsfindung wegen Erfolglosigkeit der Lösungsbemühungen wird der Identifikation eines Problems gleichgestellt und führt zu einem neuen Zyklus der Entscheidungsvorbereitung auf gleichem oder niedrigerem Niveau.

## Literatur

- [BINE 1999] Lützkendorf, T.; Nolte, M. Bewertung der Energie- und Stoffströme im Planungsprozess von Gebäuden, Fachinformationszentrum Karlsruhe, BINE-Informationsdienst; projektinfo 10/99
- [BPR 1989] Richtlinie des Rates vom 21.12.1988 zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedsstaaten über Bauprodukte 89/106/EWG, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft Nr. L 40/12, Anhang I
- [BUND 1997] Konzept Nachhaltigkeit; Zwischenbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Deutscher Bundestag, Bonn 1997
- [Bleek 1997] Friedrich Schmidt-Bleek u.a.; Das Wuppertal-Haus – ein MIPS-Konzept zum experimentellen Bauen und Wohnen, Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie 1997
- [e-top 1999] Methode „e-top rating“ des Programmes ENERGIE 2000 der Schweiz (<http://www.energie2000.ch/OEKOBAU>)
- [GEMIS 2000] Öko-Institut Darmstadt; GEMIS Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme, [www.oeko.de/service/gemis](http://www.oeko.de/service/gemis)
- [Grün 1998] Grün, Lothar; Luftqualität im Passivhaus, Tagungsband zur 2. Passivhaus-Tagung, Darmstadt 1998, S. 331 ff.
- [Heijungs 1992] Heijungs, R. u.a.; Environmental life cycle assessment of products – guide & background, Holland Center of Environmental Science, Leiden 1992
- [IEA 1999] Lützkendorf, T. Tanz, K.; Übersicht zu Planungswerkzeugen sowie zu Grenz- und Zielwerten in Prozessen der Entscheidungsfindung, Deutsche Teilbeiträge zum IEA-Annex 31, Gefördert durch BMBF und BMWi, koordiniert durch BEO Jülich, unveröffentlichte Arbeitsunterlagen, Anfragen bitte direkt an den Autor
- [IBO 1999] IBO & Donau-Universität Krems; Ökologischer Bauteilkatalog – bewertete gängige Konstruktionen, Springer-Verlag, Wien 1999
- [IÖR 1998] Blum, Deilmann, Neubauer, Grundlagen eines Umweltgütesiegels für Gebäude, Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden, 1998
- [KEA 1999] Öko-Institut Darmstadt; Uni Karlsruhe; Uni Weimar; Arbeitsergebnisse zum UBA-Projekt Kumulierter Energieaufwand KEA, [www.oeko.de/service/kea](http://www.oeko.de/service/kea)
- [Mettier 1998] Mettier, Thomas; Bewertung von ökologischen Schäden in Ökobilanzen, Diskussionsbeitrag zum 9. Diskussionsforum Ökobilanzen, ETH Zürich – UNS, 1998
- [Katalyse 1999] Bauteilplanung mit ökologischen Baustoffen, Landesinstitut für Bauwesen NRW, Heft 1.41 – 1999
- [KEA 1999] Öko-Institut Darmstadt; Uni Karlsruhe; Uni Weimar, Arbeitsergebnisse zum UBA-Projekt Kumulierter Energieaufwand KEA, <http://www.oeko.de/service/kea>
- [KOBK 1999] Methode zur kombinierten Berechnung von Energiebedarf, Umweltbelastung und Baukosten in frühen Planungsstadien, Uni Karlsruhe; Uni Weimar (<http://www.ifib.uni-karlsruhe.de/kobek>)
- [LEGOE 1999] Planungswerkzeug zur Erfassung, Beschreibung und Bewertung des Lebenszyklusses von Gebäuden unter ökologischen Gesichtspunkten, LEGOE GmbH i.Gr. (<http://www.legoe.de>)
- [OGIP 1999] Planungswerkzeug zur Beurteilung und Optimierung von Kosten; Energieaufwand u. Umweltbelastung im Lebenszyklus von Gebäuden, BFE & BBL & EMPA & CRB der Schweiz (<http://www.ogip.ch>)
- [quadriga 1999] Beschreibung und Bewertung von Passivhaus-Bauteilen, quadriga Heft 5/1999 S. 11 - 12
- [SIA 1995] SIA-Dokumentation 123; Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten
- [Winter 1999] Winter, Stefan; Auf Heller und Pfennig – was kostet die Holzbauhülle? 10. euz Baufachtagung Passivhäuser in Holzbauweise, Hannover 1999

## Diskussion

### Frage:

Im Spinnenweben-Modell von OGIP\* sind die einzelnen Kriterien alle auf eins normiert. Können Sie ganz kurz erklären, mit welchen Methoden hier somit eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Kriterien erreicht wurde.

### Lützkendorf:

Zunächst zum Hintergrund der Frage: Sowohl die Planungs- und Bewertungshilfsmittel LEGOE und Ogip als auch inzwischen weitere Analysewerkzeuge verwenden für die komplexe Darstellung von Bewer-

\*) Darstellung der Kriterien im Netzmodell

tungsergebnissen im Rahmen einer mehrkriteriellen Entscheidungsfindung die Darstellungsform eines Netzes. Es handelt sich also um eine Darstellungsform – nicht um eine gesonderte Bewertungsmethode. Sie wird – als Alternative zu einem Bewertungsprofil (z.B. Balkendiagramm) – verwendet, wenn auf eine vollaggregierte Bewertungsaussage verzichtet und das Ergebnis bei Einzelkriterien transparent dargestellt werden soll. Die Darstellungsform wurde bereits in den sechziger Jahren entwickelt. Damals wurde die Größe der entstehenden Fläche interpretiert und zur Bildung einer Gesamtaussage herangezogen. Die Frage, wie die einzelnen Kriterien noch gegeneinander gewichtet werden sollen, um die resultierende Fläche ggf. zu beeinflussen, verfolgt diese Netzdarstellung seit vielen Jahren, was zu Missverständnissen und Manipulationsmöglichkeiten geführt hat.

Es geht bei dieser Netzdarstellung in der heute verwendeten Form nicht mehr darum, die größte oder kleinste Fläche als Nachweis für die Vorteilhaftigkeit einer Lösung zu interpretieren. Es geht einzig und allein darum, einen „Zielrahmen“ zu definieren und zu schauen, ob man mit den konkreten Werten eines Gebäudes diesen Zielrahmen erreicht. Insofern entfällt aus meiner Sicht die Notwendigkeit, die einzelnen Kriterien zu werten und zu wichten.

Der Zielrahmen wird durch die Grenz- oder Zielwerte für die dargestellten Einzelkriterien gebildet. Nicht für alle Kriterien existieren bereits konsensfähige Grenz- oder Zielwerte. Als Orientierungswerte können Gesetze, Durchschnittswerte oder Basis- bzw. Vergleichsvarianten herangezogen werden. Allmählich werden sich jedoch anerkannte Orientierungs-, Grenz- oder Zielwerte herausbilden, wie sie Herr Kollege Bruck in seinem Beitrag am Beispiel der Bewertungsmaßstäbe für CO<sub>2</sub>-Äquivalente aufzeigte.

**Frage:**

Was sind die Grundlagen für die Zielwerte von LEGOE ?

**Lützkendorf:**

Unsere Frage bei der Erstellung von LEGOE war tatsächlich, was wir denn nun als Rahmenbedingungen oder Grenzwerte annehmen sollten. Dort wo man Gesetze oder international abgestimmte Grenzwerte hat, nimmt man diese. Für einen relativen Vergleich können die Werte von Standardlösungen oder von Vergleichsgebäuden herangezogen werden.

Man kann jedoch auch – und das ist ausdrücklich das Ziel von LEGOE und OGIP – in einer frühen Phase mit dem Bauherren individuelle Einzelziele vereinbaren. Wir möchten damit einen Dialog Planer/Bauherr herausfordern und unterstützen. Dies betrifft sowohl die Auswahl der Bewertungskriterien an sich als auch die Vereinbarung individueller Zielwerte – z.B. bei den Baukosten. Zumindest LEGOE enthält alle klassischen Bewertungsmethoden und Sie können aus ca. 40 existierenden Kriterien die allgemein anerkannten oder individuell ausgewählten 8 Hauptkriterien an die Oberfläche holen und darstellen. Die ausgewählten und mit Zielwerten belegten Kriterien werden u.a. in einer Netzdarstellung mit den berechneten Daten verknüpft und für eine Interpretation zur Verfügung gestellt.

**Frage:**

Gehe ich recht in der Annahme, dass dieses Programm auf ein im Vorhinein festgelegtes Projekt angewendet wird und man nachher die Ergebnisse betrachtet? Oder werden eher ganz gewisse Zielvorstellungen angegeben und das Programm optimiert das Projekt dann in diesem Bereich? Oder muss man selber zuerst ein Beispiel machen und es selbst optimieren?

**Lützkendorf:**

Also keinesfalls möchten wir den Planern und den Beratern z.B. mit LEGOE Arbeit wegnehmen. Und ich möchte auch vermeiden, dass man jeweils hofft, es gäbe Programme, in die man vorne Ziele hineinschreibt und hinten kommen die Pläne heraus. Das ist genau das, was wir nicht wollen. Wir wollen vielmehr den Planer oder den Berater unterstützen. Die Idee ist entweder allgemein anerkannte Ziele oder individuell zu vereinbarende Ziele vorzugeben, dann entwurfsbegleitend zu kontrollieren, ob der konkrete Entwurf diesen Zielen genügt oder unter Verwendung von Analysemöglichkeiten zu schauen (wenn bei Kriterien Ziele nicht erreicht werden), welche Komponenten ausgetauscht und verbessert werden müssten, um das Ziel zu erreichen. Wir müssen dabei aber alle anderen Kriterien mit im Auge behalten, um nicht an einer anderen Stelle bereits wieder negative Seiteneffekte zu haben. Der Schwerpunkt liegt im planungsbegleitenden Ansatz, der erlaubt, das Erreichen vorgegebener Ziele gezielt anzusteuern. Letztlich handelt es sich um ein Arbeits- und Bewertungshilfsmittel, welches den versierten Planer sowohl unterstützt als auch voraussetzt.

**Anregung:**

Sie haben in Ihrer Folie den Planungsprozess mit dem Vorentwurf begonnen. Wenn die Auswahl für den Vorentwurf getroffen ist, sind aber schon viele Vorentscheidungen gefallen. Ich denke, man müsste auch den Bereich vor dem Vorentwurf untersuchen, nämlich die Grundlagenermittlung und vor dieser Grundlagenermittlung die Frage der Planungsphilosophie stellen. Bei öffentlichen Auftraggebern findet hier zum Beispiel irgendein dubioser Vorentscheidungsprozess statt, bevor überhaupt ein Architekt oder irgend jemand beauftragt wird. Bauherrn sollten für diese Phase vor dem Vorentwurf entsprechend motiviert oder sensibilisiert werden.

**Lützkendorf:**

Auf der präsentierten Folie war nicht genug Platz für die Darstellung des sehr komplexen Planungsprozesses. Jeder Architekt würde sich auch gegen diese Step-by-Step-Darstellung wehren, weil sie vielleicht ganz anders vorgehen. Mir ging es darum zu zeigen, dass es eine gewisse Systematik gibt, dass man diesen Planungsschritten unterschiedliche Planungswerkzeuge oder Abschnitte komplexer Planungshilfsmittel zuordnen kann und dass man bei den Planungswerkzeugen berücksichtigen muss, dass sie für die unterschiedlichen Phasen der Planung auch verwertbare Ausgangsinformationen benötigen.

In sehr frühen Phasen kann man mit Fallbeispielen arbeiten, oder mit Makro- oder Grobelementen abschätzen, welche Bauweise sich wie auswirken wird.

Für Grundsatzfragen existieren u.a. Werkzeuge der Universität Karlsruhe, Institut für Industrielle Bauproduktion. Sie untersuchen z.B. die Frage: „Soll ich sanieren oder abreißen?, inklusive der Frage „Erzeuge ich damit mehr oder weniger Verkehr?“ um also die Situierung des Gebäudes auch mit zu bewerten. Wir sollten anerkennen, dass es für die verschiedenen Fragestellungen unterschiedlich geeignete Hilfsmittel geben kann. Momentan gibt es mehrere Forschungsvorhaben und -ergebnisse, die den Planern eine Art „Werkzeugkasten“ vorschlagen möchten.

# Gebäude-Qualitätszertifikat – Bewertung von Gebäuden als Grundlage für die Erstellung von Qualitätszertifikaten

Susanne Geissler

Das im Folgenden dargestellte Projekt „ECO-Building – Optimierung von Gebäuden“ soll die Ansätze, die in den Beiträgen von Dr. Lützkendorf und Dr. Bruck präsentiert worden sind, harmonisieren.

Bei der Gebäudebewertung und Gebäudezertifizierung geht es um folgende Themenbereiche: Daten und Fakten zum Gebäude, Nachweis der Richtigkeit dieser Informationen, Verdichtung und Interpretation dieser komplexen Informationen für eine bessere Kommunizierbarkeit.

Die Gebäudebewertung und -zertifizierung kann

- als Information für den Konsumenten
- als Marketinginstrument für den Verkäufer
- als Lenkungsinstrument für den Umweltschutz dienen.

Im Folgenden wird ein Prozedere vorgestellt, das im Rahmen eines Projektes im Haus der Zukunft unter dem Titel „ECO-Building - Optimierung von Gebäuden“ entwickelt wurde. Es ist aus der Zusammenarbeit mit einer internationalen Projektgruppe zur Gebäudebewertung entstanden. Das Projekt wird vom Ökologieinstitut in Kooperation mit der Kanzlei Dr. Bruck und anderen Fachinstitutionen, die für Expertenfragen zugezogen werden, durchgeführt.

Bei dem Konzept werden keine Einzelaspekte wie die energetische Bewertung, Materialfragen oder Flächenfragen in den Mittelpunkt gestellt. Brennpunkt ist das Total Quality-Konzept, das im Beitrag von Dr. Bruck vorgestellt wird. D.h. es wird sowohl für den Planungs- und Errichtungsprozess als auch den Nutzungsprozess ein integrierter Ansatz angelegt.

## Vorgangsweise

In der Abbildung 1 ist der für ein Gebäudezertifikat erforderliche Vorgang dargestellt. Grundlage des Zertifikates ist die Datensammlung, d.h. die Ermittlung von Zahlen und Fakten zum Gebäude hinsichtlich der Qualitätskriterien, die im Beitrag von Dr. Bruck erläutert wurden. Wichtige Faktoren sind die Kosten und die Ressourcenschonung. Die Ressourcenschonung untergliedert sich in die Bereiche Energieverbrauch, Materialqualität, Bodenverbrauch und Wasserverbrauch. Weiters werden Faktoren, welche die Belastungen von Mensch und Umwelt beschreiben, bewertet, wie zum Beispiel Ökotoxizität, Humantoxizität und CO<sub>2</sub>. Letztendlich sind der Nutzerkomfort, die Langlebigkeit, die Sicherheit, die Planungsqualität und die Qualitätskontrolle während der Errichtung von großer Bedeutung.



Abbildung 1

Für alle diese Daten gibt es Nachweise, d.h. die Kriterien sind so formuliert, dass sie von einer objektiven Einrichtung überprüft werden können. Das Ergebnis sind überprüfte Zahlen und Fakten zum Gebäude, die anschließend in die Bewertung eingehen. Die Bewertung ist ein Verfahren zur Verdichtung und zur Interpretation der Information. Die Ergebnisse aus dem gesamten Prozess (die überprüften Zahlen und Fakten und das Bewertungsergebnis) können wieder in eine Gebäudedokumentation für Eigentümer und Bewirtschafter oder in ein Gebäudezertifikat einfließen.

Manche Informationen werden besser nicht verdichtet, weil sie dadurch ihren Informationsgehalt verlieren. Für Bewohner ist es zum Beispiel wichtig, wie viel Sonne im Winter in ihre Wohnung dringt und wie hoch der Tageslichtquotient ist. In solchen Fällen ist es günstiger, z.B. die Sonnenscheindauer anstelle einer Punktezahl anzugeben. Umgekehrt gibt es Konsumenten, die ein Gebäude mit einem niedrigen Energieverbrauch und einer guten Umweltperformance suchen, ohne an den Details interessiert zu sein. In einem Gebäudequalitätszertifikat könnte für diese Gruppe eine Umweltqualitätszahl angeführt sein, die eine verdichtete Information hinsichtlich Wasserverbrauch, Bodenverbrauch, Energieverbrauch und Materialqualität enthält. Weiters gibt es noch die Möglichkeit, das Bewertungsergebnis in eine Auszeichnung überzuführen. Dies ist der höchste Grad an Informationsverdichtung. In den USA werden Gold-, Silber- und Platin-Auszeichnungen für Gebäude vergeben. Dabei werden die Informationen zum Gebäude zu Zahlen hochaggregiert und in die entsprechenden Klassen eingeteilt.

Die Zahlen und Fakten sind ebenso wie das Bewertungsergebnis und die angeführten Produkte nur dann vergleichbar, wenn der Datensammlung, den Prüfungen und der Bewertung ein normiertes Verfahren zugrunde liegt.

Unsere Aufgabe in dem Projekt ECO-Building ist es, die Grundlagen für diesen normierten Prozess zu erarbeiten, unter der Auflage, dass sich diese normierten Prozesse für die Benutzer so anwenderfreundlich wie möglich gestalten. Für dieses Unterfangen wird zur Informationserfassung ein Dateneingabeblatt erarbeitet, das automatisch mit einem Bewertungsverfahren gekoppelt ist, das im Hintergrund läuft, ohne dass der Benutzer es bemerkt. Als Anleitung, wie die Daten einzugeben sind, gibt es ein Planungstool. Dabei greifen wir auf bereits bestehende Werkzeuge zurück.

Wir haben uns die Anforderung gestellt, vor allem eine praktikable Vorgangsweise zu entwickeln. Es gibt sehr ausgefeilte Gebäudebewertungsinstrumente, die aber einen unglaublichen Aufwand an Datenerfassung benötigen. Wir dagegen haben uns bemüht, das System betreffend der Anzahl der Qualitätskriterien überschaubar, den Aufwand für die Datenbeschaffung in einem machbaren Rahmen und das Bewertungsverfahren nachvollziehbar zu halten. Außerdem müssen die Ergebnisse dieses Prozedere möglichst vielfältig nutzbar sein.

Im Beitrag von Dr. Bruck wurden bereits die Faktoren erläutert, welche die Qualität eines Gebäudes bestimmen. Der Schlüsselpunkt dafür, ob etwas auch als Kriterium gilt, ist, ob erstens ein Nachweis führbar ist und zweitens ob dieser Nachweis an den Planungsprozess anknüpfbar ist.

### **Datenbeschaffung**

Der Aufwand für die Datenbeschaffung ist dann gering, wenn sie bereits planungsbegleitend erfolgt. D.h. Ziel ist nicht, fertige Gebäude zu bewerten und im Nachhinein zu erkennen, was alles besser gemacht werden hätte können. Die Kriterien dienen nicht nur der Gliederung des Qualitätspasses oder der Bewertung, sondern sind auch als Planungsziele formuliert. Sie dienen als Checkliste für die Projektdefinition. Zu den einzelnen Kriterien werden von uns Ziele und Vorschläge, was wir als Bestwertung ansehen würden, vorgegeben. Es liegt dann am Planungsteam und am Bauherrn die für das jeweilige Vorhaben relevanten Zielwerte zu definieren. Ein Planungsvorhaben eines Gebäudes ist immer ein Kompromiss. Es nützt nichts, ausgezeichnete Energiewerte zu erreichen, wenn für die Dämmung Materialien oder ein System verwendet wurde, das in einigen Jahren als Sondermüll deponiert werden muss.

Das Schlagwort ist also planungsbegleitende Datenbeschaffung. Wer das System von Beginn an verwendet, weiß, welche Daten er für die Nachweise braucht. Die Datenbeschaffung verursacht so wenig Zusatzaufwand, und zwar auch deshalb, weil sich die Nachweise an gängigen Normen, Rechenverfahren und Datenbanken orientieren. Unser Harmonieansatz verpflichtet uns, soweit wie möglich bereits vorhandene und anerkannte Verfahren zu verfolgen, einzig in jenen Bereichen, wo diese noch fehlen, müssen neue eingeführt werden.

### **Das Bewertungsverfahren**

Eine gängige Definition von Bewertung ist, dass sie der Verdichtung von Information dient, um sie leichter kommunizierbar zu machen. Viele Personen verlangen dezidiert eine Bewertung. Es genügt ihnen, sich auf das Urteil von Experten verlassen. Andere wiederum möchten sich aufgrund der Basisinformation ihre eigene Meinung bilden. Ein Bewertungsverfahren ist per se immer mit einer Wertung verbunden. Dahinter stehen gesellschaftliche und persönliche Werthaltungen. Aus diesem Grund werden Bewertungsverfahren noch oft als nicht seriös bezeichnet. Ich bin der Meinung, dass Objektivität an sich recht

fraglich ist und dass es immer eine Frage der Seriosität ist, Verfahren offen zu legen. Ich persönlich habe dann kein Problem mit Bewertungsverfahren, wenn das Verfahren dokumentiert und nachvollziehbar ist.

### **Vom Arbeiten mit ECO-Building**

Das System, das wir entwickeln, ermöglicht alle Datenaggregationsniveaus von der Datenbasis bis zur Gebäudeauszeichnung. Alle Niveaus können extrahiert und einzeln ausgedruckt werden.

Für das Arbeiten mit ECO-Building bemühen wir uns die Gratwanderung zwischen Vereinfachung, Überschaubarkeit und Brauchbarkeit zu schaffen. Zur Zeit liegt eine Testversion vor. Das Datenerfassungsblatt sollte vom Planungsteam oder dem Projektmanager ausgefüllt werden. Dabei werden Daten in Felder eingetragen. Andere Felder enthalten Berechnungsergebnisse, die automatisiert im Hintergrund ablaufen, um das Ausfüllen möglichst einfach zu gestalten. Z.B. wird der Versiegelungsgrad aufgrund von Flächenangaben automatisch berechnet. Eine Spalte gibt automatisch den Punktwert aus. Für diejenigen, die sich mit der Bewertung detailliert befassen wollen, gibt es eine genaue Methodendokumentation mit sämtlichen Zielwerten, Skalenwerten und Gewichtungen.

Das Bewertungsverfahren arbeitet mit Skalen, mit deren Hilfe qualitative und quantitative Kriterien in eine vergleichbare Einheit (Punkte) übergeführt werden. Diese Punkte werden anschließend gewichtet, damit die einzelnen Unterkriterien bei Bedarf zu Kategorien wie z.B. zu Energien und in der nächsten Stufe zu Ressourcenschonung zusammengefasst werden können. Wie bereits gesagt, lassen sich aber Informationen auf allen Aggregationsebenen ausgeben, d.h. die bloße Information, die Punktebewertung und die Gewichtung. Diese Informationen können in Form von Zahlenangaben oder Bewertungsergebnissen auch in ein Qualitätszertifikat eingehen. Es sei nochmals erwähnt, dass der zentrale Punkt des Systems ist, dass es sich um überprüfte bzw. um überprüfbare Information handelt. Damit soll eine ähnliche Entwicklung wie in Deutschland oder im Bereich der Energiekennzahlen verhindert werden, wo unterschiedlichste Rechenverfahren im Umlauf und die Zahlen im Endeffekt nicht vergleichbar sind.

Das Planungstool wurde in die Website [www.ISWB.at](http://www.ISWB.at) (Informationsservice Wohnen und Bauen) eingefügt. Auf dieser Webseite befindet sich eine Beschreibung des Projektes und ein Überblick über die Gebäudebewertungssysteme, die weltweit in Bearbeitung sind bzw. auch schon angewendet werden, wie z.B. in der USA oder in England. Es handelt sich dabei meist um umweltorientierte Gebäudebewertungssysteme. Unser österreichisches System ist meines Wissens nach das erste, das sich wirklich bemüht, die traditionellen Ansätze der Immobilienbewertung und die ökologische Bewertung zusammenzuführen.

### **Diskussion**

#### **Frage:**

Hr. Lützkendorf hat die Bewertung auf verschiedenen Ebenen angesprochen, während Sie, Frau Geissler, eher die Richtung vertreten haben, alles in eine Einheit und einen Wert zu fassen, obwohl bei Ihnen auch dahinter alle Einzelschritte abfragbar sind. Allgemein stehe ich auf dem Standpunkt, dass es - so wie in der Statik eine Autobahnbrücke mit Vorspannung der Statiker verstehen muss - auch in der Bewertung Leute geben muss, die dann wirklich bewerten und das System verstehen. Ich halte nichts davon, wenn plötzlich Planer ein Instrument verwenden, computermäßig einen Wert bekommen und das anwenden.

#### **Geissler:**

Aus diesem Grund ist das Bewertungsverfahren vorgegeben, d.h. der Planer kann nicht selber bewerten, sondern das Verfahren läuft automatisch im Hintergrund und ist von Experten erarbeitet. D.h. wir nehmen dem Planer genau diese Expertenleistung ab.

#### **Erwiderung:**

Das funktioniert glaube ich nicht.

#### **Geissler:**

Ich mache selber keine Materialbewertung, sondern ich verlasse mich darauf, dass das Institut für Baubiologie und -ökologie oder das Institut in Karlsruhe seriöse Arbeit leisten und bediene mich der Datenbanken, die es gibt.

**Erwiderung:**

Bis zu einem Schritt gebe ich Ihnen vollkommen recht, das machen ja die Statiker auch, sie verlassen sich auf die Zementwerte, auf die Betonwerte etc.; aber dann kommt der regionale Zusammenhang. Wir haben verschiedene Windlasten, wir haben verschiedene Schneelasten und dieser regionale Zusammenhang verlangt Experten vor Ort, die eben die Statik der Natur berechnen.

**Geissler:**

Das ist absolut richtig. Aus diesem Grund haben wir uns auch bemüht, Faktoren, wo der Einfluss der regionalen Lage sehr groß ist, nicht aufzunehmen. Das Verfahren, das wir hier erarbeiten, nimmt niemandem Arbeit weg, es verursacht etwas zusätzliche Arbeit. Es dient hauptsächlich als Instrument zur Verbesserung der Qualität des Produktes Gebäude. Ich glaube, dass eine Planung unbedingt im Team erfolgen sollte, dass von Anfang an Planungsziele festgelegt werden sollen. Dies passiert viel zuwenig, ist aber ausschlaggebend für die Gebäudequalität. Es nützt nichts, die Einzelkomponenten zu optimieren. Das Gebäude als Gesamtheit hat noch einmal eine eigene Qualität. Unser Tool kann auch als Instrument dazu dienen, diese Zusammenarbeit zu fördern, weil manche Bestwerte werden Sie nur erreichen, wenn Sie sich im Team darüber unterhalten, wie Sie dazu kommen. Im Endeffekt dient das Verfahren auch dazu, dem Bauherrn ein Marketinginstrument in die Hand zu geben und dem Kunden eine Nutzerinformation. Es ist irgendwie paradox: Zu jedem Produkt gibt es eine Information, eine Gebrauchsanweisung, für Gebäude gibt es das nicht.

**Frage:**

Das Bewertungsmodell erinnert an ein klassisches Verfahren, die Nutzwertanalyse. Bei dieser Methode kann man ebenfalls Punkte vergeben und es besteht ein von Experten erstelltes Bewertungsraster dahinter. Es gibt verschiedene politische Motive, ebenso wie es verschiedene politische Bauordnungen oder Wohnbauförderungen gibt. Gibt es für befugte Experten eine Möglichkeit, diese Bewertung auch an individuelle Anforderungen anzupassen? In der Bewertung der einzelnen Punkte, in der gegenseitigen Gewichtung liegt ja das Geheimnis der Nutzwertanalyse, da liegt der ganze Trick versteckt. Die Gewichtung kann von Experten festgelegt werden, kann aber auch ganz andere Motive haben. Ist es möglich und unter welchen Umständen ist es möglich, dieses Verfahren an individuelle Interessen anzupassen?

**Geissler:**

Das kommt darauf an, wofür es eingesetzt wird. Grundsätzlich kann das Excel-Sheet entweder mit einem Blattschutz belegt werden oder nicht. Wir haben uns bemüht, die Bedienung möglichst einfach und möglichst für jeden anwendbar zu machen. Wir sind leider nicht ohne Makros ausgekommen, wir hätten es uns gewünscht. Mit einem Excel-Programm sollte jeder umgehen können. Es gibt ein Programmblatt, in dem auch die Gewichtungen und Skalen veränderbar sind.

Wir haben uns in der Entwicklungsphase sehr viel mit den Fördergebern in den Bundesländern unterhalten, die für die energiesparrelevante Wohnbauförderung zuständig sind, die mittlerweile auch in einigen Bundesländern auf eine ökologische Wohnbauförderung ausgeweitet wird. Diese haben sich zum Teil möglichst einfache, aggregierte Zahlen gewünscht, die den Verwaltungsaufwand minimieren. – Nicht alle, einige. Wenn ECO-Building dafür verwendet werden soll, muss man die Gewichtungen natürlich vorgeben. Sie könnten zum Beispiel in einem Prozess mit dem Bundesland in einer Fokusgruppendifkussion bestimmt werden, wie das vielfach üblich ist. Wenn ECO-Building für die Zielbestimmung für ein konkretes Planungsprojekt dient, wird man es wahrscheinlich freigeben, d.h. dass das Planungsteam mit den Gewichtungen probieren kann, welche Effekte durch verschiedene Gewichtungen verursacht werden. Wenn ECO-Building in der Immobilienwirtschaft eingesetzt werden soll, wie Gespräche mit Bauträgern ergeben haben, könnte es z.B. eine Einzahlbewertung geben. Es würde dann z.B. die Punktzahl 50 vergeben und mit der Kategorisierung A, B, C verknüpft

**Frage:**

Wie sieht es mit der Seriosität dieses Qualitätszertifikates aus? Wir sind ISO-zertifiziert und wir wissen, dass solche Qualitätszertifikate sehr leicht manipulierbar sind und wahrscheinlich von den meisten Firmen als Marketinginstrument verwendet wird. Ich befürchte, dass dieses Zertifikat zahnlos ist. Ist daran gedacht, es in einer gewissen Weise extern zu kontrollieren? Wenn ein

Planer die Möglichkeit hat, die Zahlen eigenhändig einzugeben, kann er sie so manipulieren, dass die gewünschten Werte herauskommen.

**Geissler:**

Genau aus diesem Grund gibt es die Nachweispflicht. Es gibt für jedes Kriterium einen Nachweis, der zu führen ist, entweder eine Plandarstellung oder ein Rechenverfahren, ein Messergebnis wie z.B. das Ergebnis einer Blower-door-Messung oder einer Thermographie. Dieser Nachweis ist so gestaltet, dass er von einer unabhängigen Stelle überprüfbar ist. Soweit sind wir aber noch nicht, muss ich auch dazu sagen.

**Frage:**

Gerade Blower-door-Messungen sind extrem manipulierbar. Wer kontrolliert diese Messungen?

**Geissler:**

Es gibt akkreditierte Institute, die eine nachgewiesene Qualität bei diesen Verfahren haben. Darauf muss ich mich verlassen. Das ist sicher ein Unsicherheitsfaktor, wenn Sie so wollen.

**Frage:**

Sie haben gerade ein Zertifikat dargestellt. Herr Prof. Dr. Lützkendorf zeigte eine Aufstellung, welche Gebäudebriefe, Zertifikate und ähnliches gerade in Deutschland angeboten werden. Ich selbst kenne mindestens 10. Gibt es Bestrebungen in irgendeiner Form eine Einheitlichkeit in die gesamte „Qualitätszertifizierung“ von Häusern zu bekommen, damit z.B. ein Hersteller für sein Haus nicht alle Zertifikate vorweisen muss, um seine Kunden auch zu gewinnen? Wie werden diese Zertifikate dem Kunden und Nutzer vermittelt, denn es sind ja sehr komplexe Themen und die einen Zertifikate beschränken sich z.B. mehr auf irgendwelche Baustoffqualitäten und andere eben auf weitergehende, so wie Sie es dargestellt haben? Ich hätte gerne eine Auskunft von Ihnen oder vom Herrn Prof. Lützkendorf über die Bestrebungen, eine allgemeine Anerkennung solcher Untersuchungsmethoden und Zertifizierungen zu schaffen, damit wir - wenn wir uns die Mühe machen – mit diesem Instrument auch unsere Gebäude zertifizieren und sie beim Kunden entsprechend unterbringen.

**Geissler:**

Ich darf die Frage gleich an den Herrn Kollegen Lützkendorf weitergeben.

**Lützkendorf:**

Frau Kollegin Geissler wurde Ihnen als Miss Greenbuilding Challenge Österreich vorgestellt und das ist genau der Ansatz, nach dem Herr Horn fragt. Im Moment gibt es durchaus internationale Bemühungen ein Kriterienraster zu harmonisieren, aber – aus meiner Sicht – richtigerweise mit nationalen Grenz- und Zielwerten zu untersetzen. International einigen wir uns auf ein Raster, welche Kriterien wichtig sind, welche Gruppierungen und welche Teilkriterien wir bilden. Natürlich spielt es beim Energieverbrauch eine Rolle, ob es hier in Österreich oder in einem ganz anderen Land ist. Was ist viel, was ist wenig, was ist gut, was ist böse? Das wird wohl so bleiben müssen.

Um den kleinen Widerspruch zwischen Frau Geissler und mir aufzulösen: Ich hatte Ihnen ein Planungswerkzeug für den Architekten vorgestellt, damit er planungsbegleitend seine Lösung verbessern kann. Dort lohnt es sich unter Umständen bei Teilkriterien Halt zu machen und zu beurteilen, ob das Licht gut und die Baustoffauswahl günstig ist. Während Frau Geissler Ihnen ein Instrument vorstellte, das dann diese Informationen hochverdichtet an den Kunden weitergibt. Dort mag es ein berechtigtes Interesse geben, eine Botschaft zu erhalten, dass alles in Ordnung ist und man nicht nachfragen muss. Diese Zielgruppe gibt es auch und deren Informationsbedürfnis ist mit derselben Berechtigung zu bedienen.



# Das Niedrigstoffhaus – Ein stoffeffizientes Bauwerk im regionalen Ressourcenhaushalt eingebettet

Richard Obernosterer

## Kurzfassung

Aufbauend auf ausgewählte regionale, betriebliche und produktbezogene Güter- und Stoffbilanzen wurde von der Ressourcen Management Agentur (RMA) das Konzept des Niedrigstoffhauses entwickelt. Das Konzept des Niedrigstoffhauses beinhaltet zusätzlich zu den Kriterien der Energie- und Materialeffizienz die Stoffeffizienz. Dies bedeutet, dass Anforderungen aufgestellt werden, aus welchen Stoffen (chemischen Elementen und chemischen Verbindungen) ein Bauwerk zusammengesetzt werden muss, um den Kriterien "langfristig umweltverträglich" und "ressourcenschonend" zu entsprechen. Untersuchungen zeigen deutlich, dass die Ergebnisse der Bewertung bezüglich der Umweltverträglichkeit und der Ressourcenschonung von Region zu Region stark unterschiedlich sein können. Deshalb wird beim Niedrigstoffhaus eine stoffbezogene Bewertung des gesamten Bauwerkes im regionalen Zusammenhang durchgeführt. Dabei wird besonders darauf geachtet, lokale Stoffsenken zu vermeiden, damit die Gefahr einer langsamen flächenhaften Schadstoffkontamination von Siedlungsgebieten abgewendet wird.

So zeigen Untersuchungen bezüglich des Gefahrenstoffpotentials von Bauwerken, wie sich als Folge der Korrosion von zinkbeschichteten Dachflächen der Stoff Zink im Sickerwasserkörper (Senke) anreichert. Auch im Erdreich verlegte bleiummantelte Kabel des Infrastrukturnetzes geben in Folge Bodenkorrosion Blei in den umliegenden Boden ab. Ein weiteres bekanntes Beispiel für diffuse Stoffverluste während der Gebäudenutzung sind FCKW Diffusionsverluste aus den heute noch vorhandenen FCKW-Lagern in den Dämmstoffen des Bauwesens. Die Verringerung bzw. Vermeidung von diffusen Stoffverlusten während der Gebäudenutzung ist einer der zentralen Bestandteile des Niedrigstoffhauses. Weiters fließen bei der Planung des Niedrigstoffhauses die Erfahrungen aus der Abfallwirtschaft ein (design for disposal). Die derzeitige Entsorgungspraxis zeigt, dass in mechanischen Bauschutt-sortieranlagen kaum eine gezielte Trennung von Schadstoffen aus den Baurestmassen möglich ist. Daraus ergibt sich die Forderung bereits bei der Planung möglichst auf den Einsatz von Schadstoffen zu verzichten bzw. Stoffe bautechnisch so einzusetzen, dass sie leicht rückgebaut werden können, damit die Stofftrennung beim Abbruch oder Umbau von Gebäuden ermöglicht wird.

Neben der Reduzierung des Gefahrenstoffpotentials ist ein weiteres wesentliches Ziel im Konzept des Niedrigstoffhauses das Ressourcenpotential der eingebauten Stoffe nutzbar zu machen. Beispielsweise reicht das Potential an Blei, das im Wiener Wasserleitungsnetz eingebaut ist theoretisch aus, um 1,6 Millionen PKW- Bleiakumulatoren herzustellen. Dieser mögliche Abbau von Rohstoffen aus Bauwerken kann als Pendant zum traditionellen Bergbau als City Mining bezeichnet werden. Praktisch kann diese Chance heute aus ökonomischen Gründen noch nicht genutzt werden, da die Kosten für den Ausbau von Stoffen aus dem Bauwerk höher sind als der zu erwartende Erlös für den gewonnenen Rohstoff. Dies ist ein weiterer Grund bei Niedrigstoffhäusern leicht rückbaubare Baukonstruktionen zu wählen. Weiters werden Aufzeichnungen über Ort und Menge an eingesetzten Stoffen geführt (Stoffbuchhaltung). Damit wird die Chance bedeutend erhöht, zukünftig Rohstoffe aus den Bauwerken auch gewinnbringend rückbauen zu können (design for recycling).

Kurz umschrieben kann festgehalten werden, dass ein Niedrigstoffhaus der ersten Generation folgende Komponenten beinhaltet:

- Stoffeffizienz. Berücksichtigung stofflicher Parameter bei der Bewertung. Ziel einer stoffeffizienten Bauweise ist die zukünftige Nutzung des verbauten Rohstoffpotentials und die Vermeidung bzw. Verringerung des Gefahrenstoffpotentials.
- Ressourcennutzung. Das Haus wird so geplant, dass es als Rohstofflager für die Zukunft angesehen werden kann. Dazu wird eine Stoffbuchhaltung geführt, die den Ort und die Menge an verbauten Stoffen enthält. Baukonstruktionen, die sich leicht rückbauen lassen, werden bevorzugt. Eine Kontamination von recyclingfähigen Massenrohstoffen (bspw. Schotter, Beton) muss vermieden werden. Es wird dadurch eine Erhöhung des Recyclinganteiles bei Reduktion der Entsorgungskosten und des Gefahrenstoffpotentials erreicht (design for disposal bzw. design for recycling).

- Standortbewertung. Einbettung des gesamten Bauwerks in die Region und Bewertung am Standort (v.a. Stoffsenken). Ähnlich der Bemessung des Fundamentes in der Baustatik, die sich der Tragfähigkeit des Untergrundes anpassen muss, müssen sich auch die Stoffflüsse des Bauwerkes der regionalen Tragfähigkeit der Umwelt anpassen.
- Umweltneutrale Gebäudehülle. Ziel ist die Verringerung bzw. Vermeidung von diffusen Schadstoffverlusten während der Nutzungsphase. Die erste Generation von Niedrigstoffhäusern konzentriert sich auf den Bau einer umweltneutralen Gebäudehülle. D.h. die Stoffflüsse von der Oberfläche des Bauwerkes während der Nutzungsphase werden den natürlichen geogenen Stoffflüssen der umgebenden Ökosphäre angepasst.

## Einleitung

Ein ökologisches Bauwerk beinhaltet derzeit vor allem die Komponenten der Energieeffizienz (Niedrigenergiehäuser, Passivhäuser), der Materialeffizienz (Faktor 4 Haus, MIPS) und des Flächenverbrauches. Im folgenden Beitrag wird eine weitere Komponente, die Stoffeffizienz, eingeführt. Dies führte zum Konzept des Niedrigstoffhauses. Beim Konzept des Niedrigstoffhauses ergeben sich zusätzlich zu den derzeit bestehenden Kriterien Anforderungen, aus welchen Stoffen (chemischen Elemente und chemischen Verbindungen) ein Bauwerk zusammengesetzt werden soll. Ebenso wird die Bedeutung der Region bei der ökologischen Bewertung von Baumaterialien und das Konzept einer zukünftigen Ressourcennutzung aus Bauwerken diskutiert.

## Methodischer Hintergrund

Die methodische Grundlage, auf der das Konzept des Niedrigstoffhauses basiert, bildet die Stoffflussanalyse [Brunner et al., 1990; Baccini and Brunner, 1991]. Die Stoffflussanalyse ist eine Methode zur Erfassung, Beschreibung und Interpretation des Stoffhaushaltes von Produkten, Betrieben und Regionen. Es handelt sich um ein naturwissenschaftliches Verfahren, das für einen definierten Raum in einer bestimmten Zeitperiode (Systemgrenzen) den Stoffumsatz quantifiziert. Stoffflussanalysen geben demnach einen Überblick über die Materialflüsse (Güter- und Stoffflüsse) und die Materiallager (Güter- und Stofflager) eines bestimmten Systems. In einer Stoffbilanz werden die Zu- und Abflüsse eines Systems bilanziert, wobei Lagerveränderungen berücksichtigt werden. Für das System gelten die physikalischen Gesetze der Massen- und Energieerhaltung.

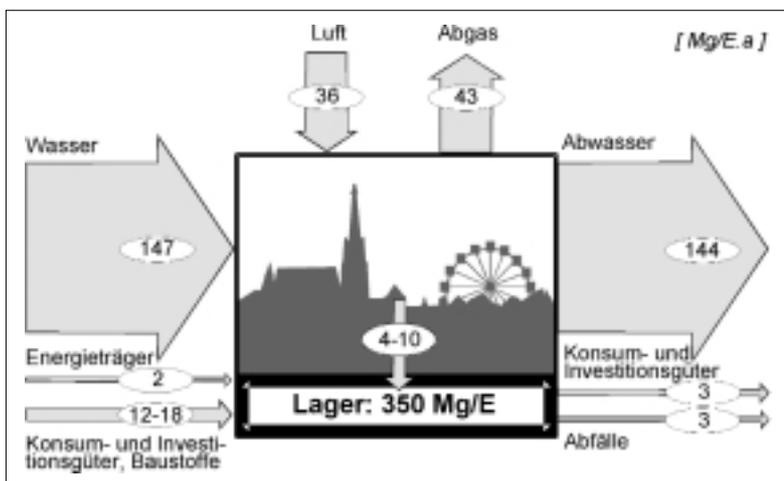
## Phänomenologischer Hintergrund

Folgende Beispiele, die vorwiegend Forschungsarbeiten des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien darstellen, bilden den phänomenologischen Hintergrund, auf dem das Konzept des Niedrigstoffhauses basiert.

Abb. 1: Der Güterhaushalt der Stadt Wien 1991. [Daxbeck et al. 1996]. Flüsse in (Mg/E·a); Lager in (Mg/E), 1,5 Mio. Einwohner

## Urbaner Stoffhaushalt

Abbildung 1 zeigt den Güterhaushalt der Stadt Wien. Städte sind in erster Linie „Durchflussreaktoren“ für die bedeutendsten Massengüter. Durch die Stadt Wien fließen jährlich etwa 150 Mg/E (Megagramm bzw. Tonne pro Einwohner) an Wasser und etwa 40 Mg/E an Luft [Daxbeck et al. 1996]. Der Wasser- und der Luftdurchfluss stellen die Förderbänder für gasförmige, flüssige und feste Abfallstoffe der Stadt dar, in denen die Abstoffe der Städte verdünnt und an das Hinterland abgegeben werden. Bei den vorwiegend festen Gütern (Konsum-, Investitions- und Produktionsgütern) kommt es zum Phänomen der Lagerbildung (in erster Linie durch Baumaterialien). Das bedeutet, dass der Input an festen Gütern in die Stadt größer ist als deren Output. In Städten hat die Menge an akkumulierten Gütern 350 Mg pro Einwohner erreicht. Neben den Massengütern haben einzelne anorganische wie auch organische Stoffe einen hohen Stoffumsatz erreicht.



Während der Güterumsatz des modernen Menschen etwa 10 mal größer ist als derjenige eines Jäger und Sammlers [Daxbeck & Brunner 1992], ist beispielsweise der pro Kopf Bleiverbrauch in den letzten 6.000 Jahren um den Faktor 10.000 gestiegen [Settle & Pattersen 1980]. Dies zeigt, dass die stoffliche Komponente eine große Bedeutung haben kann, der man sich in ökologischen Bewertungsfragen widmen muss. Das Lager an Gütern und Stoffen muss zukünftig bewirtschaftet werden, um ihr Gefahrenpotential gering zu halten und ihr Ressourcenpotential zu nutzen [Brunner et al. 1998]. Bemerkenswert ist, dass sich 90 % des städtischen Metalllagers in der gebauten Stadt selbst und lediglich etwa 10 % in ihren Deponien befinden (siehe Abbildung 2).

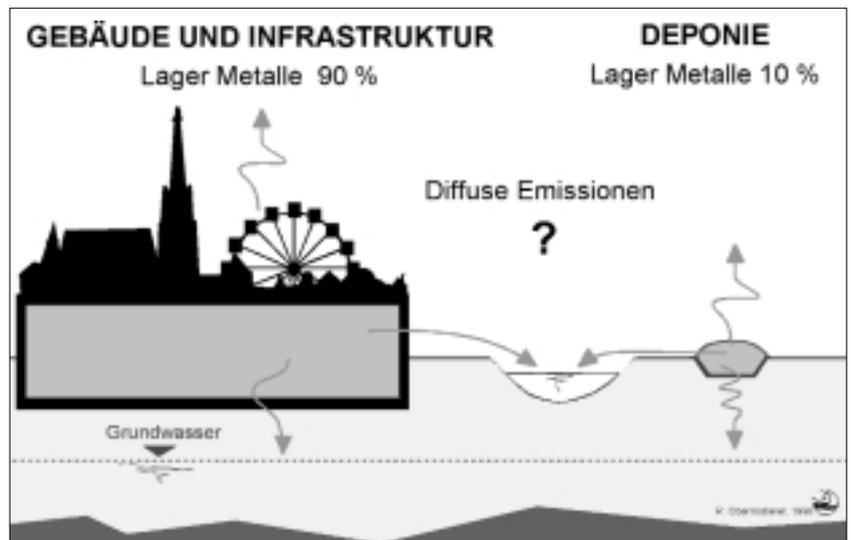


Abb. 2: Metalllager der Stadt Wien und Darstellung der potentiellen diffusen Emissionen [Obernosterer et al. 1998]

### Ressourcenpotential des Lagers

In Zukunft gilt es, diese über lange Zeiträume in die Stadt verlagerten Güter- und Stoffmengen besser zu nutzen. Die Ausbeutung von Rohstoffen im Bergbau könnte zukünftig durch die Gewinnung von Ressourcen im „Stadtbergbau“ (city mining) [Obernosterer et al. 1998], [Obernosterer & Brunner 2000] ergänzt werden. So sind derzeit im Wiener Wasserleitungsnetz etwa 20.000 t Blei eingebaut [Möslinger 1998]. Das Ressourcenpotential dieser Menge würde ausreichen um 1,6 Millionen PKW- Bleiakkumulatoren herzustellen [Obernosterer et al. 1998]. Diese Überlegung zeigt, dass auch die Ressourcenfrage stofflich orientiert ist und dass dem Lager eine größere Bedeutung im Ressourcenmanagement eingeräumt werden muss.

### Gefahrenstoffpotential des Lagers

Ein heute kaum beachtetes Gefahrenstoffpotential geht von den diffusen Stoffverlusten während der Nutzungsphase aus. Bestehende gesetzliche Maßnahmen konzentrieren sich vorwiegend auf Punktmissionen, wie beispielsweise Produktionsbetriebe, Deponien oder Abfallbehandlungsverfahren. Das (im Vergleich zu den Deponien) große Lager der gebauten Stadt selbst zeigt die Notwendigkeit, die diffusen Stoffverluste aus den Lagern während der Nutzung zu erfassen und zu bewerten. So zeigt eine Untersuchung aus Schweden, daß sich Chrom im Boden der Stadt Stockholm auf Grund der Stoffverluste aus den verbauten Metalllagern stark anreichert. Prognosen zeigen, daß die Konzentration an Chrom im Boden der Stadt Werte erreichen wird, die heute in Böden von Industriegebieten gemessen werden [Bergbäck et al. 1989].

### Beispiele für diffuse Emissionen

#### FCKW Emissionen aus Dämmstoffen

Durch die internationalen und nationalen Verbote wurde der Einsatz von FCKW stark eingeschränkt. Trotzdem befinden sich durch die jahrzehntelange Verwendung dieser Stoffe noch bedeutende Mengen im Gebrauch. Das größte FCKW-Lager in Österreich befindet sich im Bauwesen [Obernosterer 1994]. Der relativ geringe jährliche Einsatz von FCKW-geschäumten Dämmstoffen (Konsum) hat in einer Zeitperiode von 30 Jahren zu einem im Vergleich großen Lager geführt. Beachtenswert ist der daraus folgende lange Zeitraum, in dem zukünftig Emissionen anfallen werden (Abbildung 3).

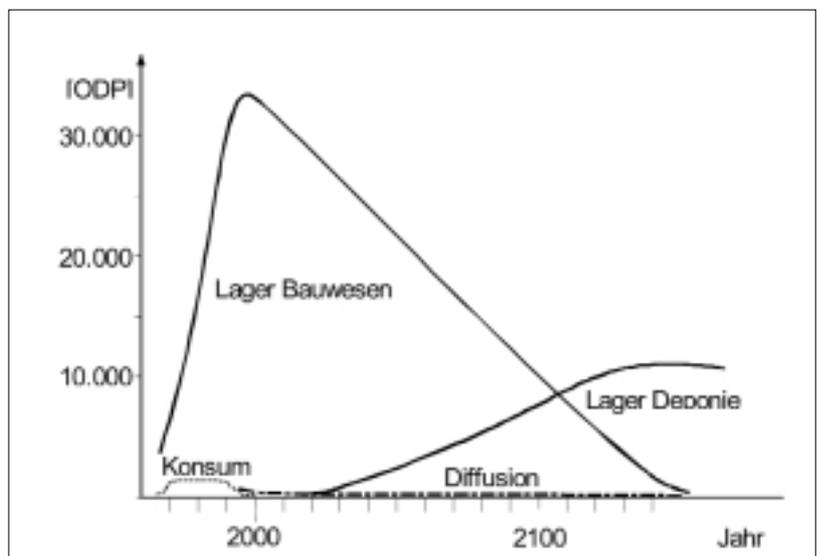


Abb. 3: Schematische Darstellung des Konsums, der Emissionen (Diffusionsverluste) und der zu erwartenden Lagerveränderung (incl. der Lagerverschiebung auf die Deponie) von FCKW-geschäumten Dämmstoffen, wenn keine gezielten Entsorgungsmaßnahmen gesetzt werden [Obernosterer & Brunner, 1997].

## Bleiummantelte Energieträger- und Kommunikationskabel

In Wien sind 60.000 Tonnen Blei in Form von bleiummantelten Energieträger- und Kommunikationskabeln im Erdreich verbaut [Möslinger 1998]. Auf Basis dieser Untersuchung und einer angenommenen Korrosionsrate von  $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-1} \text{ g/m}^2\text{d}$  wurde eine jährliche Bleifracht in den Wiener Untergrund von 1 bis 80 Tonnen ermittelt [Obernosterer 2000]. Im Vergleich mit der Bleideposition auf den Wiener Boden von 6 Tonnen pro Jahr [Paumann et al. 1997] zeigt sich, dass sich der Wert aus der Kabelkorrosion in der selben Größenordnung befindet.

## Überlegungen zur MIPS-Berechnung von Freileitungsmasten

Nach der MIPS Methode wurden zwei Freileitungsmasten aus Beton und Stahl miteinander verglichen [Liedtke et al. 1995]. Der Vergleich zeigt, dass der Spannbetonmast bis zur Aufstellung ungefähr 3 mal mehr Primärrohstoffe als der Stahlgittermast verbraucht, mit dem Einsatz von Sekundärrohstoffen 2 mal soviel. Dieser Vergleich basiert auf den Material Inputs inklusive Energie, ohne der zur Herstellung benötigten Mengen an Wasser und Luft.

	Primärrohstoffe	mit Einsatz von Sekundärrohstoffen
Spannbetonmast	95 Mg	40 Mg
Stahlgittermast	39 Mg	21 Mg

Tabelle 1: Vergleich zweier Freileitungsmasten nach der MIPS Methode [Liedtke et al. 1995], Material Inputs inklusive Energie, ohne Wasser und Luft.

Ohne an dieser Stelle eine gesamte Stoffbilanz der Freileitungsmasten zu untersuchen, sei für die Erklärung des Konzeptes des Niedrigstoffhauses folgende Überlegung angestellt [entnommen aus Obernosterer 2000]. Stahlgittermasten sind in der Regel verzinkt oder mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen. Auf Grund der Korrosion des Korrosionsschutzes kommt es zu Stoffverlusten und zu einer Kontamination des umliegenden Erdreiches. Bei Regenfällen werden die, in den Tropfen gelösten Korrosionsprodukte einerseits durch Abrinnen über die Mastfüße und andererseits durch Abtropfen und Windverfrachtung in das umliegende Erdreich gelangen. Würde man nun dieses kontaminierte Bodenvolumen in den Vergleich einrechnen, könnte die Interpretation der Ergebnisse zu anderen Schlüssen führen. Schon bei einer Annahme einer Fläche von 10 mal 10 Metern und einer Eindringtiefe des Zinks in den Boden von 30 cm beträgt das kontaminierte Bodenvolumen  $30 \text{ m}^3$  (ca. 55 Mg). Das Beispiel zeigt, dass die Bedeutung der Stoffflüsse, die von einem Bauwerk in die umgebende Region gelangen, festzustellen ist. Das MIPS Konzept stellt einen guten Indikator für den Ressourcenverbrauch dar, der aber zur vollständigen Bewertung mit anderen Indikatoren kombiniert werden muss (beispielsweise durch die Kriterien der Stoffeffizienz).

## Metallische Oberflächen und deren Korrosionsprodukte

Metallische Gebäudeoberflächen haben Korrosionsprodukte zur Folge, die in die Umwelt gelangen. Ein Vergleich der Zinkfrachten von einer Geschosswohnsiedlung mit einer Einfamilienhaussiedlung zeigt die Bedeutung der gewählten Materialien der Gebäudehülle auf die resultierenden Umwelteinflüsse [Obernosterer et al. 1997]. Vor allem in Abhängigkeit von der Dachform (Saum- oder Vollverkleidung) betragen in der Einfamilienhaussiedlung die Korrosionsfrachten jährlich zwischen 210 und 840 g Zn/ Haushalt und in der Geschosswohnsiedlung zwischen 140 und 280 g Zn / Haushalt. Die Siedlungsentwässerung hat einen wesentlichen Einfluss auf die regionale Stoffverteilung. Die in der Studie errechneten Korrosionsfrachten gelangen in die Dachabwässer. Werden diese Abwässer zum Bewässern der Grünflächen verwendet, führt dies langfristig zu einer unerwünschten Metallanreicherung des Bodens. Die Versickerung der Dachabwässer in einer Sickergrube vor Ort führt zu Metallanreicherungen im Sickerkörper. Bei der Ableitung der Abwässer im Kanal gelangt das Zink bei Trennkanalisation unmittelbar in den Vorfluter, bei Mischkanalisation gelangt über die Kläranlage ein Teil in den Klärschlamm und ein zweiter Teil in den Vorfluter.

## Das Konzept des Niedrigstoffhauses

Das Konzept des Niedrigstoffhauses basiert auf der wesentlichen Säule der regionalen Stoffeffizienz mit den 2 Zielen, das Gefahrenstoffpotential möglichst gering zu halten und das in den Gebäuden verbauete Rohstoffpotential nach einem Gebäudeumbau oder -abbruch nutzbar zu machen.

Das Ressourcenpotential der vor Jahrzehnten dem Stand der Technik entsprechenden Freileitungen aus obigen Beispiel kann heute nicht effizient genutzt werden, da die Kosten für den Ausbau aus dem Bauwerk höher sind als der zu erwartende Erlös für den gewonnenen Rohstoff. Um die Voraussetzungen für

ein zukünftiges rentables Recycling zu schaffen sind beim Niedrigstoffhaus zwei grundsätzliche Anforderungen erfüllt: 1. werden sowohl Ort und Menge an verbauten Stoffen registriert und 2. werden bereits bei der Planung mögliche Rückbaumaßnahmen berücksichtigt.

Zu 1.) Beim Bau des Niedrigstoffhauses wird eine Stoffbuchhaltung geführt, die neben den Plänen, die den Ort anzeigen, die Menge an verbauten Stoffen angibt. Bei der Wahl der Baumaterialien wird jenen der Vorzug gegeben, für die heute bereits Recyclingmöglichkeiten bestehen. Deshalb wird in der Stoffbuchhaltung festgehalten, welche Wiederverwertungs- oder Entsorgungsmöglichkeiten zum Zeitpunkt der Planung für die eingesetzten Güter und Stoffe bereits heute existieren.

Zu 2.) Es werden jene Bauweisen bevorzugt, bei denen einzelne Baumaterialien möglichst einfach und daher kostengünstig aus dem gesamten Bauwerk ausgebaut werden können. Durch diese Rückbaustrategie kann das Niedrigstoffhaus als Rohstofflager für kommende Generationen angesehen werden. Es wird eine Erhöhung des Recyclinganteiles bei Reduktion der Entsorgungskosten erreicht. Damit können Rohstoffe, die heute noch aus weiten Teilen der Welt importiert werden, in Zukunft in unmittelbarer Nähe gewonnen werden („mining cities instead of nature“).

Zur Verringerung bzw. Vermeidung des Schadstoffpotentials basiert das Niedrigstoffhaus auf den oben dargestellten Erkenntnissen. Es werden die Stofflager des Hauses und die daraus resultierenden diffusen Stoffverluste während der Nutzungsphase erfasst und die ökologischen Folgen der Stoffflüsse in den Stoffsenken bewertet. Die Verringerung bzw. Vermeidung von diffusen Stoffverlusten ist einer der zentralen Bestandteile des Niedrigstoffhauses. Damit wird die Gefahr einer langsamen flächenhaften Kontamination großer Gebiete, insbesondere der Siedlungsgebiete abgewendet. Ein Vorteil der zuvor erwähnten Stoffbuchhaltung ist ihre Anwendung im Gefahrenstoffmanagement. Sollte ein nach heutigem Stand unbedenklicher Stoff plötzlich als Gefahrenstoff erkannt werden, ist im Niedrigstoffhaus ein rasches Handeln möglich. Da der Ort und die Menge der eingesetzten Stoffe bekannt ist, kann rasch eine Gefahrenstoffanalyse durchgeführt werden. Da Baukonstruktionen, die leicht rückgebaut werden können, eingesetzt wurden, ist ein gezielter und damit auch ein verhältnismäßig rascher und kostengünstiger Ausbau der Gefahrenstoffe möglich. Eine effiziente Rückbaustrategie ist auch im Hinblick auf die Entsorgung wichtig. Problemstoffe können heute in Bauschutt-sortieranlagen in nicht nennenswerter Weise von dem zur Wiederverwertung bestimmten Baumaterial getrennt werden [Schachermayer et al. 1998]. Das Inputmaterial in eine Anlage bestimmt die Sauberkeit des Outputmaterials und damit die Qualität des Recyclinggutes. Das bedeutet, dass möglichst sauberes Material in die Bauschutt-aufbereitung geliefert werden muss. Eine Forderung, die sich mit einem Rückbaukonzept erfüllen lässt, da hier die einzelnen Komponenten des Bauwerkes getrennten Entsorgungswegen zugeführt werden können. Deshalb müssen die Voraussetzungen zum Recycling bereits in der Planung geschaffen werden (design for recycling). Das bedeutet, dass beim Niedrigstoffhaus mit der Berücksichtigung eines Rückbaukonzeptes Schadstoffanreicherungen in den Recyclingmaterialien der Zukunft verhindert oder zumindest verringert werden.

Die obigen Beispiele zeigen deutlich, dass die Ergebnisse der Bewertung bezüglich der Umweltverträglichkeit von Region zu Region stark unterschiedlich sein können. So kann der Einsatz einer 20 m<sup>2</sup> metallischen Dachfläche in der Region A zu einem Umweltproblem führen, in der Region B hingegen spricht nichts gegen eine derartige Dachdeckung, da es aufgrund der regionalen natürlichen und technischen Gegebenheiten über Jahrzehnte oder Jahrhunderte zu keinen Schadstoffsenken kommt.

Daraus kann folgende Leitlinie abgeleitet werden:

Ähnlich der Bemessung des Fundamentes in der Baustatik, die sich der Tragfähigkeit des Untergrundes anpassen muss, müssen sich auch die Stoffflüsse des Bauwerkes der regionalen Tragfähigkeit der Umwelt anpassen.

## **Niedrigstoffhaus 1. Generation**

Für praktische Erfahrungen mit diesem neuen Baukonzept ist eine schrittweise Vorgehensweise bei der Realisierung vorteilhaft. Deshalb hat sich die Ressourcen Management Agentur entschlossen, das heute ohne großen Mehraufwand umsetzbare Wissen im „Niedrigstoffhaus der ersten Generation“ zu bündeln. Die Grundlagen zum Bau eines Niedrigstoffhauses der ersten Generation sind heute vorhanden und konzentrieren sich vor allem auf die Nutzungsphase des Bauwerkes und die Gebäudehülle.

Aus den oben angeführten Phänomenen wurden zur Realisierung des Niedrigstoffhauses der ersten Generation folgende allgemeine Leitlinien formuliert:

- Es wird eine Reduktion oder Vermeidung diffuser Emissionen des Hauses bzw. deren Komponenten durch entsprechende Konstruktion bzw. Wahl der Baumaterialien angestrebt. Die Anforderung, das Bauwerk als Ganzes in die umgebende Region zu integrieren und zu bewerten, konzentriert sich bei der ersten Generation von Niedrigstoffhäusern auf die Gebäudehülle. Deshalb ist eine möglichst umweltneutrale Gebäudehülle anzustreben. D.h. die Stoffflüsse von der Oberfläche des Bauwerkes während der Nutzungsphase werden den natürlichen geogenen Stoffflüssen der umgebenden Ökosphäre angepasst.
- Auf den Einsatz von Stoffen mit nicht abschätzbarem Gefahrenstoffpotential wird verzichtet. Es wird eine Verringerung oder Vermeidung des Einsatzes von Problemstoffen (geringerer Stoffeinsatz, stoffeffiziente Baukonstruktionen) angestrebt. Deshalb wird inerten Baumaterialien (Steine) und nachwachsenden Rohstoffen (Holz) der Vorzug gegeben. Generell wird versucht Baumaterialien auch möglichst unbehandelt einzusetzen.
- Die diffusen Verluste aus der Nutzung dürfen in den Senken auch langfristig zu keinen Umweltproblemen führen (Kontaminationen: langfristige Sicherstellung zum Einhalten von Grenz- und Richtwerten). Neben der Gebäudehülle werden unter diesem Punkt auch erste ausgewählte Stofffrachten aus dem Inneren des Gebäudes erfasst und bewertet (z.B. aus dem Wasser- und Abwassernetz).
- Über die eingesetzten Stoffe wird Buch geführt. Baumaterialien werden möglichst so eingesetzt, dass sie aus dem Bauefüge leicht rückgewonnen werden können.

## Literatur

- Baccini, P. and Brunner, P.H. (1991) *Metabolism of the Anthroposphere*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 154 pages.
- Brunner, P.H., Daxbeck, H., Henseler, G., von Steiger, B., Beer, B. and Piepke, G. (1990) *RESUB - Der Regionale Stoffhaushalt im unteren Bünztal*. ETH Zürich, EAWAG, Abt. Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, Dübendorf, Schweiz, 59 pages.
- Brunner, P.H., Baccini, P., Deistler, M., Lahner, Th., Lohm, U., Obernosterer, R. and Voet, E. van der (1998) *Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy*, Summary Report. Institute for Water Quality and Waste Management, Vienna University of Technology, Vienna.
- Bergbäck, B., Anderberg, S. and Lohm, U. (1989) *Water, Air and Soil Pollution* 48, S. 391-407.
- Daxbeck, H. & Brunner, P.H. (1992) *Regional Material Balance as a Tool for Environmental Monitoring*. Symposium Proceedings, International Symposium on Environmental Contamination in Central and Eastern Europe, Budapest '92, Seiten 474 - 476, Budapest, Hungary.
- Daxbeck, H., Lampert, Ch., Morf, L., Obernosterer, R., Rechberger, H., Reiner, I. & Brunner, P.H. (1996) *Der anthropogene Stoffhaushalt der Stadt Wien*, Projekt Pilot. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, Wien.
- Liedtke, C., Merten, T. & Schmidt-Bleek, F. (1995) *Materialintensitäten von Grund-, Werk- und Baustoffen (1)*. Die Werkstoffe Beton und Stahl. Materialintensitäten von Freileitungsmasten. Wuppertal Papers Nr. 27, Wuppertal Institut (Hrsg.).
- Möslinger J. (1998) *Stadtstrukturbezogene Analyse des Güter- und Stoffhaushaltes der Stadt Wien - Ein Beitrag zur Entwicklung eines Ressourcenkatasters*. Diplomarbeit, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien, Wien.
- Obernosterer R. & Brunner P. H. (accepted December 2000) *Urban Metal Management - The Example of Lead*. In: *Water, Air, and Soil Pollution*.
- Obernosterer, R. (2000, in Ausarbeitung) *Methodisches Vorgehen zur Erfassung und Bewertung diffuser Emissionen aus metallischen urbanen Lagern am Beispiel von Blei und Zink*. PhD Theses.
- Obernosterer, R., Brunner, P.H., Daxbeck, H., Gagan, T., Glenck, E., Hendriks, C., Morf, L., Paumann, R. and Reiner, I. (1998) *Materials Accounting as a Tool for Decision Making in Environmental Policy - Case Study Report - The City of Vienna*. Institute for Water Quality and Waste Management, Technical University of Vienna, 133 pages.
- Obernosterer, R. & Brunner, P.H. (1997) *Baurestmassen als zukünftige Hauptquelle für FCKW in der Abfallwirtschaft*, Müll und Abfall 1/97, 29. Jahrgang, S. 89-95.

- Obernosterer R., Möslinger J. & Brunner P.H. (1997) Der Einfluss der Raumplanung auf den regionalen Stoff- und Energiehaushalt, Ein Beitrag zur Bestimmung und Quantifizierung, Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, Wien.
- Obernosterer, R. (1994) Flüchtige Halogenkohlenwasserstoffe - FCKW, CKW, Halone - Stoffflußanalyse Österreich. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, TU-Wien, Wien.
- Paumann R., Obernosterer R. & Brunner P.H. (1997) Wechselwirkung zwischen anthropogenen und natürlichem Stoffhaushalt der Stadt Wien am Beispiel von Kohlenstoff, Stickstoff und Blei. Hrsg. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, Wien.
- Settle, D.M. & Pattersen, C.C. (1980) Lead in albacore: guide to lead pollution in America. Science, 207, S. 1167 - 1176.
- Schachermayer, E., Lahner, Th. & Brunner, P.H. (1998) Stoffflußanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen, 99 UBA Monographien, Umweltbundesamt Wien.

## Diskussion

### Frage:

Welche Materialien soll man für ein Niedrigstoffhaus verwenden?

### Obernosterer:

Der Architekt entwirft nach wie vor und wählt die Form und die Baustoffe aus. Er trifft diese Wahl nach den bekannten Katalogen, die derzeit am Markt sind. Wir untersuchen erst anschließend die Stoffeffizienz mit der Analysemethode oder der Stoffstromanalyse.

### Frage:

Welche Baustoffe können Sie konkret einem Bauträger vorschlagen?

### Obernosterer:

Ich kann keinen Baustoff vorschlagen, weil ich Baustoffe im regionalen Zusammenhang betrachte. Von leicht flüchtigen organischen Stoffe, deren letzte Senke nicht bekannt ist, kann ich relativ leicht abraten. Bezüglich Zinkdachflächen ist die Aussage nicht so leicht zu treffen. 5 - 10 m<sup>2</sup> Zink oder Kupfer sind grundsätzlich mit dem Niedrigstoffhaus vereinbar. Mit dem Hersteller ist abzuklären, wie viel Blei im Zink enthalten ist, welches Herstellungsverfahren angewandt wird und welche Korrosionsraten das eingesetzte Zinkblech hat. Auf Basis dieser Daten kann ich die Senken für das Zink berechnen. Kommt es in diesen Senken in den nächsten 300 Jahren zu keiner wesentlichen Kontamination kann das Zink eingesetzt werden.

### Frage:

Nach diesen Ausführungen müsste eigentlich der moderne Lehm- und Holzbau in Kombination mit einem Grasdach z.B. mit Abstand am besten abschneiden. Beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen bleibt nur mehr das EPDM von der Folie über. Haben Sie das so konkret einmal betrachtet?

### Obernosterer:

Zum Teil stimmt das, Gras- und Lehm- und Holzbauweisen entsprechen von der Gebäudehülle her sehr weitgehend diesen Kriterien, weil die Emissionen, die ich angesprochen haben, nicht stattfinden. Ich glaube aber, dass die Freiheit gewährleistet werden sollte, auch andere Gebäudehüllen zu machen, die nicht nur aus Gras und Lehm bestehen.

Die vorherigen Fragen zielen darauf ab, die wissenschaftliche Arbeit in eine baupraktische Arbeit zu übersetzen, Lösungen zu finden und gemeinsam herbeizuführen. Das kann z.B. sein, dass es ein Zinkdach gibt, das über eine Regenrinne irgendwo in ein Absetzbecken entwässert wird, wo es auf irgendeine Art zu reinigen ist oder wo diese Absetzmengen erfassbar sind, also wo eine kontrollierte Senke z.B. auftritt. Es geht darum, durch Zusammenarbeit zwischen Baupraktikern und Wissenschaft solche Lösungen voranzutreiben und ins Baugeschehen einfließen zu lassen.



# Ökologische Konstruktion in Passivhäusern, Neubau und Sanierung

Thomas Zelger

## Faktor 10 durch ökologische Konstruktionen?

Das Passivhaus hat uns ca. 90 % Einsparungen an Heizwärmebedarf und Umweltbelastungen gebracht. Das bedeutet, dass sich die Umweltbelastungen beim Betrieb eines Gebäudes um den Faktor 10 verringert haben. Weiteres Reduktionspotential liegt in einer ökologischen Bauweise, die auch ökologische Eigenschaften von Gebäudeerrichtung, -nutzung, -instandhaltung und -rückbau berücksichtigt.

Das Bauwesen hat sehr hohe Stoffflüsse zur Folge. Obwohl durch die Bautätigkeit ein riesiges Zwischenlager an Stoffen aufgebaut wird, kommen dennoch ca. ein Viertel der jährlich anfallenden Abfälle aus dem Bauwesen (ohne Berücksichtigung des Bodenaushubs). Bauen und Wohnen verursacht einen hohen Energieverbrauch und auch hohe Schadstoffemissionen, insbesondere bei der Benutzung. Neue Bau- und Bauhilfsstoffe haben auch eine Zunahme an toxischen Bauhilfsstoffen, (z.B. Polyurethanschäume) gebracht. Bedauerlicherweise ist die Lebenserwartung von neuen Baukonstruktionen oft kürzer als die bei alte und bewährten Bauweisen. Welche Maßnahmen führen nun zu einer nachhaltigen Bau- und Wohnweise? Besonders hohe Wirkungen auf eine ökologische Wende könnten folgende Maßnahmen haben:

- Die Weiternutzung und Adaptierung von bestehenden Gebäuden und den Baustoffen, aus denen sie bestehen;
- Vermeidung von ökologisch oder toxikologisch problematischen Inhaltsstoffen, Produktionsverfahren etc.;
- Auswahl von Produkten, bei denen das Störfallrisiko minimiert ist;
- Nutzung von erneuerbaren Materialien, von Recyclingmaterialien und von regional verfügbaren Rohstoffen und Baustoffen;
- Gut trennbare Konstruktionen;
- Vermeidung von Verpackungen.

Ist der Faktor 10 auch durch ökologische Bauweise möglich? Können wir auch in diesem Bereich die Umweltbelastungen so drastisch reduzieren? Die Einsparungen gegenüber ungünstigen konventionellen Bauweisen zeigt Abbildung 1 anhand einiger ökologischer Kriterien.

Hier ist erkennbar, dass beim Treibhauseffekt und beim Primärenergiebedarf beträchtliche Reduktionen möglich sind. Ebenso können die Schadstoffemissionen durch geeignete Auswahl insbesondere der Oberflächenbauteile stark verringert werden, aber auch bei den Kriterien Trennbarkeit/Wiederverwendung sowie Transporte und Behaglichkeitskriterien, wie z.B. Schallschutz und wirksame Speichermasse, und vor allem in der Erhöhung der Nutzungsdauer liegen große Reduktionspotentiale.

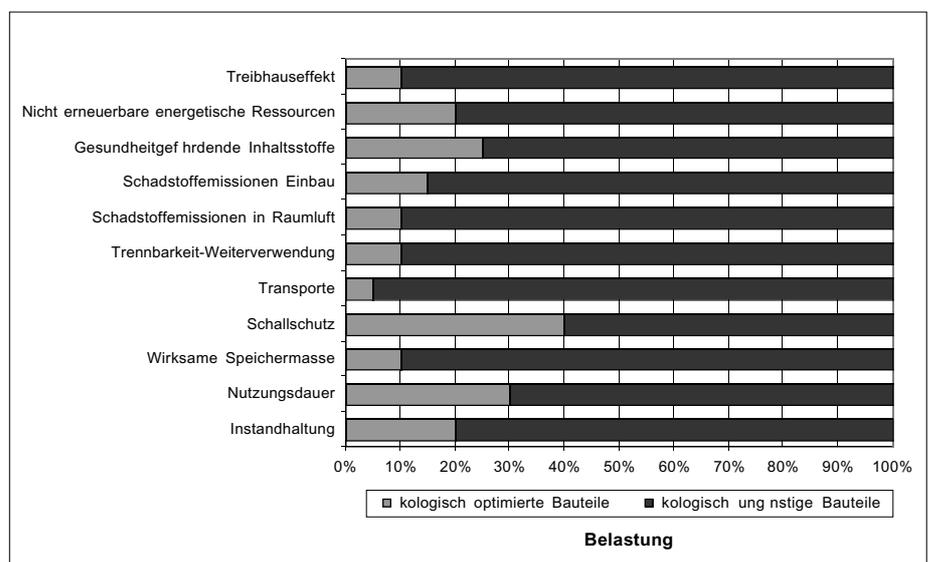


Abb. 1: Faktor 10 durch ökologische Bauweise?

## Ökologische Bewertung

### Methoden zur Ökologischen Bewertung von Gebäuden: Ökobilanzen und Lebenszyklusanalyse

Zur Beurteilung der Umweltauswirkungen von Gebäuden dienen Ökobilanzen. Lebenszyklusanalysen sind Ökobilanzen, die den gesamten Lebenszyklus von Gebäuden berücksichtigen: Rohstoffgewinnung, Produktion, Transport, Einbau der Baustoffe, die Nutzung, Instandhaltung, Umnutzung, Sanierung des Gebäudes, Rückbau und Weiterverwertung sowie -verwendung. (Abb. 2)

Als Schutzziele von Ökobilanzen gelten die menschliche Gesundheit, die Umwelt und die natürlichen Ressourcen. Durch Bauen und Wohnen soll die menschliche Gesundheit nicht geschädigt und nach Möglichkeit sogar gefördert werden. Das gilt nicht nur für den Bewohner, sondern auch für Verarbeiter und Personen, die in der Nähe eines Produktionswerkes wohnen, oder auch zum Beispiel für den Landwirt, der nachwachsende Rohstoffe erzeugt. Die Bewertung kann z.B. durch die sogenannten „Dadies“ erfolgen. Dabei wird bewertet, ob die Emission bestimmter Substanzen beispielsweise die Lebenszeit verkürzt

oder eine Belastung durch chronische Krankheiten wie z.B. Asthma verursacht.

Die ökologische Gesundheit ist mindestens ebenso wichtig. Denn das menschliche Überleben ist auf eine nachhaltige Nutzung der Natur angewiesen: Aus diesem Grunde muss die Vielfältigkeit ökologischer Systeme gefördert werden. Beispielsweise soll die Artenvielfalt erhalten bleiben, die Versauerung der Böden muss vermieden werden.

Als drittes zentrales Schutzziel gilt es die Bewahrung der Ressourcen,

damit diese auch zukünftigen Generationen noch zur Verfügung stehen. Das betrifft insbesondere Metalle, aber auch primärenergetische Ressourcen wie Rohöl und Erdgas.

Ziel von Ökobilanzen ist es zu beurteilen, inwieweit ein Gebäude oder ein Bauteil diesen Schutzziele entspricht. Dafür ist es zunächst notwendig, den Bewertungsgegenstand, die Dienstleistung genau zu definieren. Die Dienstleistung des Gebäudes ist z.B. der Schutz vor der Witterung oder Lärm einer viel befahrenen Straße, oder die Einhaltung von einer Mindesttemperatur von 20 °C und einer maximalen von 26 °C. Bauteile tragen zur Gebäudedienstleistung in unterschiedlichen Ausmaß dazu bei, z.B. durch den Wärmeschutz oder der speicherwirksamen Massen. Neben der ökologischen Wertigkeit Durch diese Dienstleistungen unterscheiden sich Bauteile voneinander. Diese Dienstleistung muss mit einer Bezugseinheit ausgedrückt werden. Sehr häufig ist die Bezugseinheit in Gebäuden 1 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, z.B. beim Heizwärmebedarf. Es ist aber auch denkbar den Wohnraum für eine Person einzubeziehen, denn ein Haus, in dem sehr viele Leute wohnen können, bringt natürlich eine höhere Dienstleistung als eine Einfamilienvilla, in der zwei Personen wohnen. Es ist ökologischer, dieses Wohnvolumen 10 Leuten zur Verfügung zu stellen, da dieselbe Infrastruktur (Heizsystem, Außenmauern etc.) bereitgestellt werden muss als nur für 2 Personen. Bleibt man bei der Bezugseinheit m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche, wird nicht berücksichtigt, dass diese zwei Bewohner der Einfamilienvilla durch die hohe m<sup>2</sup> Zahl eine höhere ökologische Belastung produzieren

Eine weitere Bezugseinheit, auf die ich mich hauptsächlich bei der Bauteilbewertung beziehen werde, ist 1 m<sup>2</sup> Bauteil. D.h. wir berücksichtigen lediglich den m<sup>2</sup> Bauteil, vernachlässigen die ganzen Anschlussproblematiken oder führen diese nur qualitativ aus. Die Problematik der Vergleichbarkeit ökologischer Belastungen pro m<sup>2</sup> Bauteil liegt in den unterschiedlichen Dienstleistungen der Bauteile. Beispielsweise ist bei einer Massivwand aus Beton üblicherweise ein sehr guter Schallschutz zu erwarten, bei einer einschaligen Leichtbauwand ist er wesentlich geringer; oder die wirksamen Speichermassen unterscheiden sich stark und damit der Einfluss auf die thermische Behaglichkeit. Das muss man natürlich immer berücksichtigen, wenn man die ökologische Bewertung dieser Bauteile interpretiert.



Abb. 2: Ökobilanz Gebäude

Die Vorgehensweise in der Ökobilanzierung ist durch SETAC und ISO 14040ff normiert worden. Die einzelnen Schritte sind:

- Zieldefinition (Funktionseinheit, Dienstleistung, Systemgrenzen)
- Sachbilanz (z.B. kg Kohlendioxid, Anzahl Personenkilometer)
- Wirkbilanz (z.B. Treibhauseffekt in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, kg Sondermüll)
- Bewertung (z.B. Expertenpanel, hochaggregierende quantitative Verfahren wie z.B. Umweltbelastungspunkte)

In der Zieldefinition werden neben der genauen Definition von Ziel und Zweck der Studie die Bezugseinheit (Dienstleistung, Funktionseinheit) und die Systemgrenzen (Ort, Zeit, bewertete Lebensphasen) festgelegt. Gemäß dieser Zielvorgaben werden in der Sachbilanz alle Daten gesammelt. Dabei werden alle Prozessschritte über den betrachteten Lebenszyklus aufgelistet. All diese Prozessschritte kosten Rohstoffe, Energie, Umwelt und Flächen. Auf der Output-Seite finden in all diesen Prozessen Emissionen in die Luft, ins Wasser und in den Boden statt. Diese Emissionen können gemessen und den Prozessen z.B. für Bauteilherstellung in Form von Gramm CO<sub>2</sub> oder anderem zugeordnet werden.

Die Daten (Beispiel: kg Methan-Emissionen) werden im Zuge der Wirkbilanz bestimmten Wirkungen zugeordnet (Beispiel: Treibhauspotential) und mit Gewichtungsfaktoren versehen. Das Ergebnis sind unterschiedliche Wirkbilanzen, z.B. Treibhauseffekt oder Kilogramm Sondermüll für eine bestimmte Dienstleistung z.B. für einen m<sup>2</sup> Bauteil, der bestimmte Anforderungen an den U-Wert und an den Schallschutz erfüllen muss. Als letztes können die Ergebnisse der Wirkbilanz noch einer Bewertung zugeführt werden, indem ihre Auswirkungen untereinander gewichtet werden. Das bedeutet, die Wirkungen müssen in wichtiger/unwichtiger oder besser/schlechter eingeteilt werden. Für diese Gewichtung liegt noch kein allgemein akzeptierter Ansatz vor, daher ist diese meist sehr umstritten.

Die Kriterien sind teilweise quantitativ, z.B. ist der Treibhauseffekt in Zahlen ausdrückbar. Insbesondere in der toxikologischen Bewertung gibt es auch semiquantitative Kriterien, d.h. es gibt Grenzwerte, aber auch toxikologische Studien zu Migration von Schadstoffen, die schlussendlich qualitativ zusammengefasst werden müssen; und es gibt rein qualitative Bewertungsmethoden. Die Bewertung kann stark verdichtet werden, dabei gehen aber viele Informationen zugunsten einer einzelnen Zahl verloren.

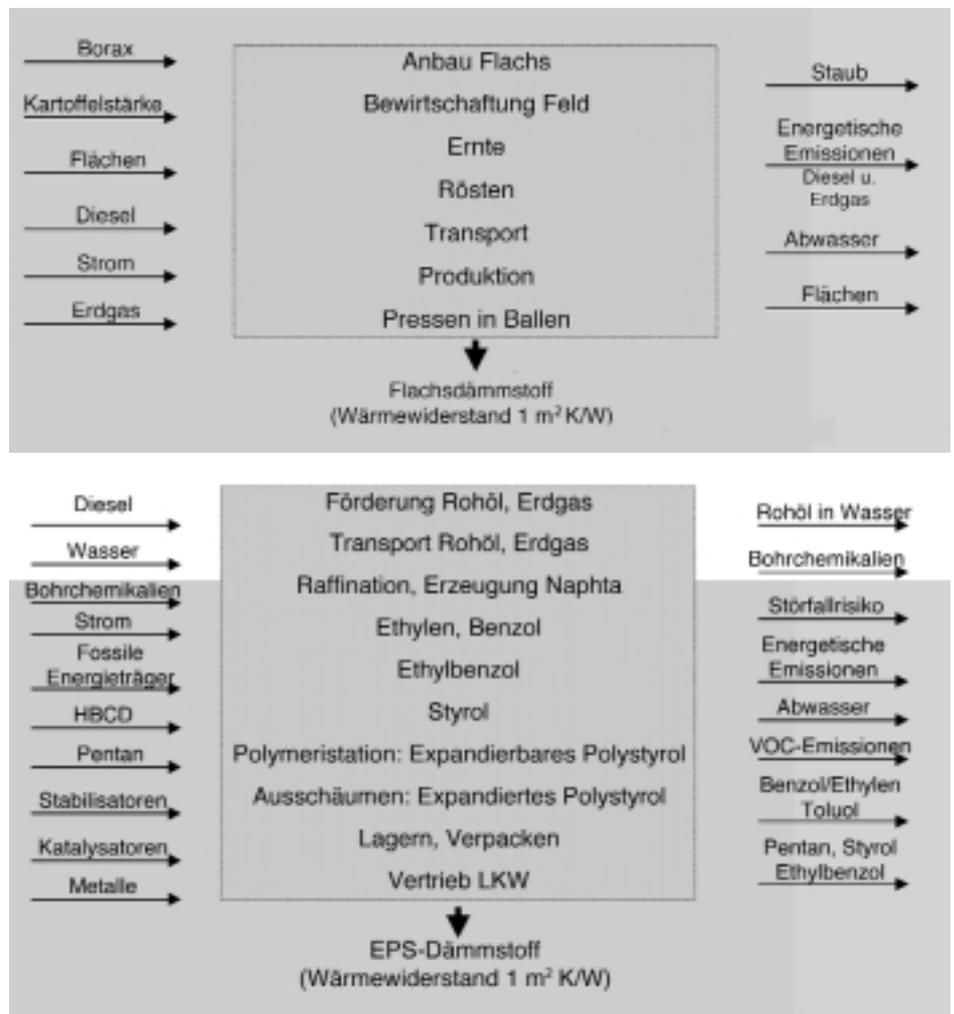


Abb. 3 + 4: schematische Darstellung der Sachbilanzen von Flachs (oben) und EPS (unten)

### Ökologische Bewertung von Flachs- und EPS-Dämmstoff: ein Beispiel

Die Methode der Ökobilanz wird im Folgenden am Beispiel von zwei Dämmstoffen, einem Flachs- und einem EPS-Dämmstoff, verdeutlicht. Dämmstoffe sind für Passivhäuser wegen der hohen Bedeutung des Wärmeschutzes sehr wichtig. Abbildung 3 und 4 stellen schematisch die Sachbilanzen der beiden Dämmstoffe dar.

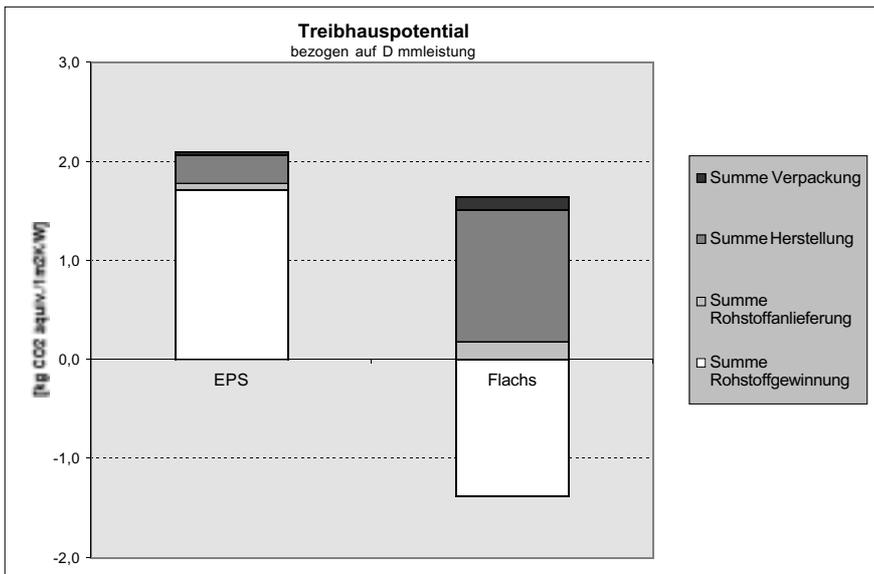


Abb. 4: Vergleich Treibhauspotential Flachs/EPS

Die Abbildung 4 zeigt einen Vergleich zwischen Flachs und EPS für das Treibhauspotential. EPS hat eine sehr niedrige Dichte, ist also sehr ressourceneffizient. Es muss aber mit einem sehr viel höheren Energieaufwand als Flachs produziert werden. Auch die Rohstoffbereitstellung, d.h. die Herstellung des Styrols erfordert einen sehr hohen Energieeinsatz und setzt auch sehr viele Emissionen frei, ist allerdings schon sehr gut optimiert. So werden z.B. in der chemischen Industrie Abfallstoffe wieder als Energieträger genutzt. Beim Flachs ist das Treibhauspotential der Rohstoffgewinnung negativ. Das ist dadurch möglich, dass die Pflanze während ihres Wachstums CO<sub>2</sub> bindet und daher dem anthropogenen Treibhauseffekt entgegenwirkt, d.h. ein negatives Treibhauspotential hat. Bei der Produktion weist Flachs deutlich höhere Werte auf, insbesondere durch den Stromaufwand, der hier als europäischer Strommix gerechnet wurde, d.h. mit einem hohen Anteil an kalorischen Kraftwerken und daher einer hohen Umweltbelastung. Der Unterschied zwischen EPS und Flachs in der Umweltkategorie Treibhauspotential beträgt einen Faktor 10. Für die meisten anderen Kategorien ist er geringer bis deutlich geringer.

Wir müssen aber auch eine Reihe von qualitativen Kriterien berücksichtigen, die auszugswise in der Tabelle Abb. 5 dargestellt sind.

Kriterium	Flachs (Tragstruktur Holz, HWL verputzt)	EPS (WDVS)
Rohstoffe/Energieträger	Erneuerbar, regional verfügbar/großteils nicht erneuerbare Energieträger (Strommix!)	Nicht erneuerbar, große Transportdistanzen/nicht erneuerbare Energieträger
Produktionsprozeß	Mechanische Bearbeitung	Komplexer, vielstufiger Produktionsprozeß, sicherheitsoptimiert
Gesundheitsgefährdung Herstellung	Borax	Benzol, Styrol
Ökotoxikologische Risiken	Biologischer Anbau keine, ansonsten Herbizide	Tankerunfälle und -reinigung, Sommersmog durch Pentanemission
Einbau	Eigenes Tragsystem, Putzträger, geringe Staubbelastung möglich, bei Vorfertigung Aufwand beschränkbar	Kleber, einfache Anwendung
Nutzung	Emissionsfrei, guter Schallschutz	Anfänglich geringe Styrolemissionen möglich, feuchtebeständig
Trennbarkeit/ Weiterverwendung	Leichte Trennbarkeit und weiterverwendbar	Schwer trennbar, Fraktionen teilweise recycelbar

Abb. 5 : Qualitative Kriterien Flachs/EPS

Eine Vielzahl von Kriterien ist in der ökologischen, aber auch in der Gesamtbetrachtung eines Baustoffes zu berücksichtigen. Die Beschränkung auf wenige quantitative Kennzahlen ist daher nicht empfehlenswert.

### Ökologische Bewertung von Bauteilen

Im ökologischen Bauteilkatalog des IBO wurden jeweils drei Profile für einen Bauteil erstellt: das ökologische, das baubiologische und das bauphysikalische Profil. Im ökologischen Profil werden Fragen beantwortet, wie zum Beispiel: Wie bilanzieren Bau- oder Bauhilfsstoffe über den gesamten Lebenszyklus?, Wie sind Bauteile dimensioniert? Wie lang können sie genutzt werden? Wie können sie repariert, instandgehalten, getrennt und wiederverwendet werden? Besonders interessant ist die Dimensionierung: Bauteilschichten können sehr energieaufwendig produziert werden, wie beispielsweise eine PE-Dampfbremse. Die PE-Dampfbremse wird allerdings nur in sehr kleinen Mengen eingesetzt, sodass die Verwendung vor allem bei guter Trennbarkeit gesamt gesehen ökologisch sinnvoll sein kann.

Das baubiologische Profil umfasst die Wechselwirkung zwischen Nutzer und Bauwerk. Hier geht es bei-

spielsweise um Schadstoffemissionen in die Raumluft, um das Raumklima, den thermischen Komfort, die Raumakustik etc.

Das bautechnische Profil beschreibt die Gefahren von Verarbeitungsmängeln, Anschlussproblematik, Schadensanfälligkeit und Sicherheit der Konstruktion.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist, dass das Flächenverhältnis der Bauteile zueinander bei sehr großen kompakten Gebäuden oder sehr kleinen Einfamilienhäusern grundsätzlich anders ist. (Abb. 6) Bei großen Gebäuden haben die Innenbauteile den größten Flächenanteil, bei kleinen Einfamilienhäusern sind die Außenbauteile sehr wichtig, denn dort machen Außenwände, Dach, Kellergeschossdecke etwa zwei Drittel der Gesamtflächen aus. Bei der Planung eines großen Geschosswohnbaus als ökologisches Passivhaus ist es also trotzdem von besonderer Bedeutung, die Innenbauteile zu optimieren. Beim Einfamilienhaus hingegen muss das Hauptaugenmerk auf die Verbesserung der Außenbauteile gelegt werden.

Auch die Baustoffauswahl hat einen sehr großen Einfluss, denn die einzelnen Produkte können sich je nach Hersteller deutlich voneinander unterscheiden, weil vielleicht das Produktionsverfahren anders ist oder weil ein anderer Energieträger eingesetzt wird. Hilfen sind Positivlisten, Negativlisten und ökologische Prüfzeichen, etwa das IBO-Prüfzeichen und das gerade in Entwicklung befindliche europäische Prüfzeichen ecoNcert, das vom IBO gemeinsam mit deutschen Instituten entwickelt wird.

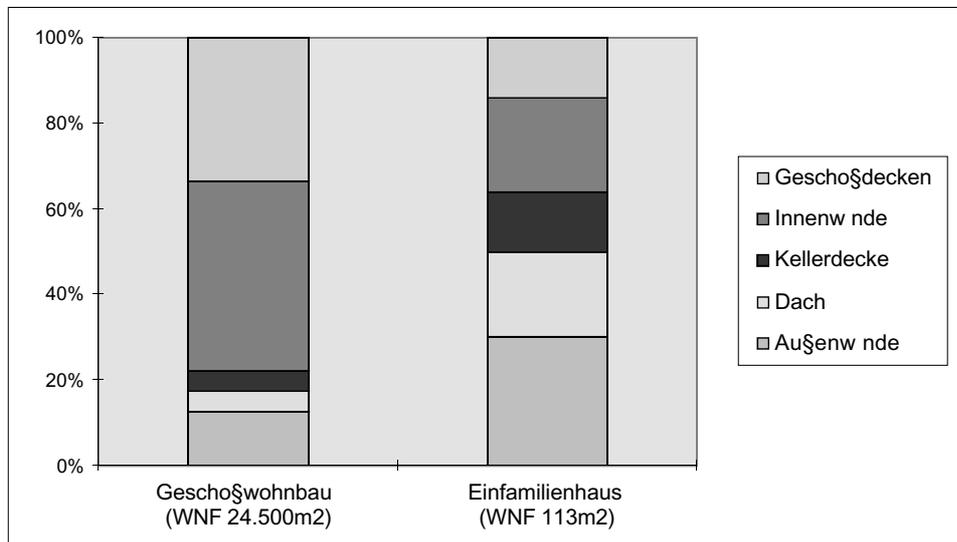


Abb. 6: Gebäude: Anteil der Bauflächen

## Ökologische Optimierung von Bauteilen anhand von Beispielen

Passivhäuser unterscheiden sich von konventionellen Gebäuden aus bauökologischer Sicht (ökologische Qualität der Materialien und der Zusammenfügung zum Gebäude) im Prinzip nur in den folgenden Punkten:

- Die Dämmstoffstärken sind deutlich höher (bauliche Seite, Haustechnik).
- Die Anforderungen an die Luftdichtheit sind sehr hoch.
- Passivhäuser müssen eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung besitzen.

Einige ökologische Aspekte von Dämmstoffen und Abdichtungen möchte ich Ihnen im Folgenden vorstellen, bevor wir anhand einiger Bauteile das ökologische Optimierungspotential betrachten.

### Exkurs Dämmstoffe: Funktion und Wirkung von Dämmstoffen

Die Vorteile der erhöhten Dämmstoffstärke im Passivhaus, aber nicht nur im Passivhaus, sind die Verminderung des Heizenergiebedarfes, behagliche Oberflächentemperaturen, Vermeidung von bauphysikalischen Schäden, Verkleinerung des Wärmereizers oder gar Wegfall eines eigenen Heizsystems. Allerdings entstehen auch höhere Aufwände bei der Herstellung und Errichtung der (dickeren) Dämmung. Diese Umweltbelastungen kann man den Vorteilen der Dämmung, insbesondere der Heizenergieeinsparung, gegenüberstellen und darauf beruhend eine ökologische Amortisationszeit ausrechnen. Auf der einen Seite stehen die Umweltbelastungen, die durch die Erzeugung von 40 cm Dämmstoff entstehen, auf der anderen Seite die Entlastung durch die zusätzliche Einsparung von Heizenergie. Diese Beiträge werden dann über eine gewisse Nutzungszeit angesetzt, in unserem Beispiel für 80 Jahre.

Die entscheidende Frage ist, bei welcher Dämmstoffdicke liegt das Optimum zwischen Einsparung und zusätzlicher Belastung?

Die optimale Dämmstoffdicke kann immer nur für ein bestimmtes Heizsystem, einen bestimmten Dämmstoff und eine bestimmte Umweltkategorie angegeben werden. Generell kann man sagen, dass die opti-

malen Dämmstoffstärken fast durchwegs jenseits von 40 cm liegen, in einigen Fällen sogar deutlich über 100 cm. Im Einzelnen können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

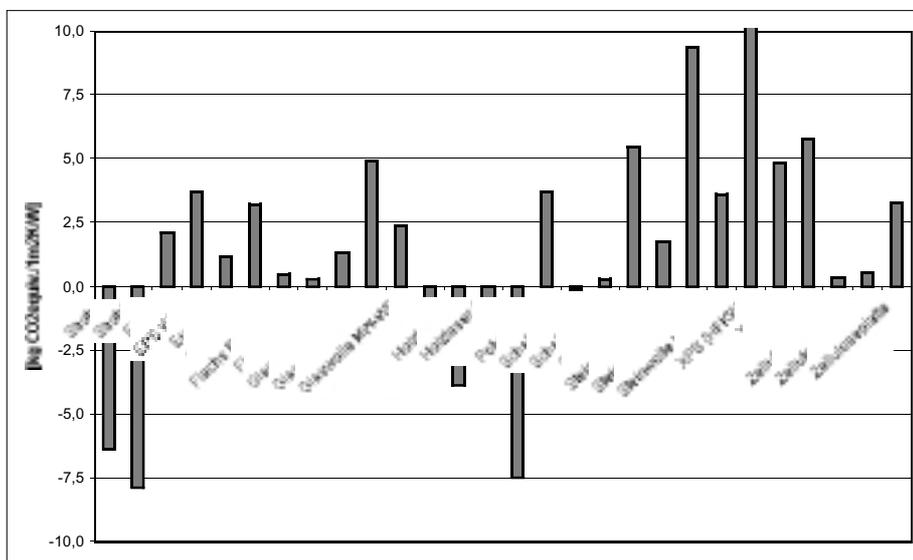
- Mit fossilen Brennstoffen betriebene Heizungen verlangen aus ökologischer Sicht durchwegs hohe Dämmstoffstärken von 30 – 50 cm.
- Der Betrieb von modernen Holzheizungen hat insbesondere in den Kategorien Treibhauspotential, nicht erneuerbarer Primärenergiebedarf und Ozonabbau deutlich geringere optimale Dämmstoffstärken zur Folge. Die Einbeziehung aller Kategorien und des möglichen späteren Umstiegs auf fossile Brennstoffe legt jedoch Dämmstoffstärken von mindestens 20 cm, besser 30 cm nahe.
- Für Wärmedämmsysteme mit besonders geringem Herstellungsaufwand wie Zellulosefaserflocken, hinterlüftet, liegen die ökologisch optimalen Dämmstoffdicken für die fossilen Heizsysteme deutlich über 1 m.
- Spezifische ökologische Schwächen von Dämmstoffen wie beispielsweise das Photosmogpotential von Polystyrol oder die Versauerung von Steinwolle führen in diesen Kategorien zu geringeren optimalen Dämmstoffstärken, die allerdings noch immer deutlich über dem Mindestwärmeniveau liegen. Bei Einbeziehung aller Umweltkategorien sind allerdings ebenfalls Passivhaus-Dämmstoffstärken von über 30 cm empfehlenswert.

Die Aufwendungen für die Herstellung der Zellulosedämmung liegen selbst bei Dämmstoffstärken von über 150 cm noch deutlich unter den Einsparungseffekten (zumindest bezogen auf den Primärenergiebedarf). Bei Steinwolle liegt der maximale ökologische Nutzen bei 50 cm Stärke, sodass sich eine Dämmung für ein Passivhaus mit ca. 30 - 40 cm auf jeden Fall amortisiert. [IBO/ZBU, Ökologie der Dämmstoffe, Springer 2000]

Diese Beispiele wurden mit einer klassischen Gasheizung und den dadurch verursachten Umweltbelastungen gerechnet. Wird ein Heizungstyp verwendet, der beim „Primärenergiebedarf nicht erneuerbar“ deutlich günstiger abschneidet, z.B. eine Holzheizung, verkürzt sich die Amortisationszeit. Es kann auch sinnvoll sein, ein bisschen weniger zu dämmen und ein ökologisch günstigeres Heizsystem einzusetzen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in anderen Umweltkategorien die Ergebnisse unterschiedlich sein können. Zum Beispiel weisen Holzheizungen beim Primärenergiebedarf sehr günstige, beim Versauerungspotential aber relativ ungünstige Werte auf.

Wir haben für unsere Studie „Ökologie der Dämmstoffe“ sehr viele Beispiele berechnet und können deswegen sagen: Passivhaus-taugliche Dämmstoffstärken amortisieren sich aus ökologischer Sicht praktisch immer, das gilt auch für nicht so ideale Dämmstoffe wie beispielsweise EPS oder Steinwolle. Ökologische Schwächen von Dämmstoffen gibt es meistens nur in einzelnen Kategorien. Ausnahmen sind HFKW-geschäumtes extrudiertes Polystyrol wegen seines sehr hohen Treibhauspotentials und aufwendig hergestellte Dämmstoffe bei ökologisch günstigem Heizsystem. Auch wenn sich ökologisch nicht so günstige Dämmstoffe amortisieren, so können durch eine ökologisch ausgerichtete Dämmstoffwahl weitere Umweltbelastungen vermieden werden.

Abb. 7: Dämmstoffvergleich  
Treibhauseffekt



In den Abbildungen 7 und 8 finden Sie Ergebnisse aus dem Buch „Ökologie der Dämmstoffe“, wo die Unterschiede der Dämmstoffe in den Umweltkategorien – immer bezogen auf den gleichen Wärmewiderstand – ersichtlich sind. Aufgrund der starken Unterschiede ist es nicht einfach zu beurteilen, welcher Dämmstoff nun der Beste ist, denn der Beste in der Kategorie Versauerung, kann in der Kategorie PEI deutlich schlechter aussehen. Die Umweltbelastungen von einigen Produkten sind stark vom Anwendungszweck bzw. der Rohdichte abhängig, beispielsweise beim Einsatz



steinmauerwerk, das mit EPS verputzt ist, also um einen klassischen Aufbau. Da der Kalksandstein ja einige sehr gute ökologische und auch bauphysikalische Eigenschaften hat, haben wir ihn beibehalten und eine hinterlüftete Konstruktion mit Zelluloseflocken mit Lärchenschalung vorgesetzt. Diese Veränderung hat relativ hohe Einsparungen von 30 - 50 % bei den hier ausgewählten Umweltwirkungen zur Folge, beim Treibhauseffekt sogar einen negativen Beitrag durch das eingesetzte Holz. Vorteile dieser Konstruktion sind gute bauphysikalische Kennwerte des Kalksandsteines (Schallschutz, wirksame Speichermassen), die Emissionsfreiheit gegenüber der EPS-Fassade, die Trennbarkeit der vorgesetzten Fassade mit Zellulosefaserflocken und die leichte Reparierbarkeit der äußeren Wetterschicht aus Lärchenschalung. Zusätzlich werden erneuerbare Baustoffe verwendet. Nachteilig ist die Staubbelastung beim Einblasen der Zellulose. D.h.: wenn wir die ursprüngliche Außenwand optimieren wollen, können wir sehr gut auf hinterlüftete Konstruktionen zurückgreifen.

Wenn der Kalksandstein durch eine außen verputzte Holzrahmenbauweise (innen Gipsfaserplatten) ersetzt wird, können wir noch weitere Einsparungen erzielen, allerdings nicht mehr in so großem Ausmaß wie durch die hinterlüftete Konstruktion. Außerdem handeln wir uns bei einer einschaligen Leichtbauweise natürlich auch einige Nachteile ein, beispielsweise ist der Luftschallschutz gering, die wirksame Speichermasse ist gering und gerade für die Luftdichtigkeit ist natürlich eine solide Planung und Ausführung notwendig, die ohne Verklebung nicht auskommt. Holzschutzmittel sind durch vorbeugenden Holzschutz vermeidbar, ebenfalls Emissionen an die Raumluft bei entsprechender Auswahl der Innenschicht. Diese Nachteile der Leichtbaukonstruktion lassen sich natürlich verbessern, z. B. wenn wir innen einen Lehmputz verwenden. Dadurch erzielen wir eine relativ gute Speichermassenwirkung und darüber hinaus verbessert sich auch der Schallschutz ein wenig. D.h. wir können auch durch eine Holzrahmenbauweise bei den hier gewählten Umweltwirkungen gegenüber konventionellen Systemen wie etwa Kalksandstein deutlich Umweltbelastungen einsparen.

Auch bei Massivbaustoffen sind Verbesserungen möglich. Zum Beispiel wurden bei einem Dachbodenausbau die Vollziegel der alten Attikamauer wiederverwendet und damit Umweltbelastungen eingespart. Eine andere gute Möglichkeit ist die Wiederverwertung von Ziegelsplitt als Recyclingmaterial für die Herstellung von Speicherziegel, der aus Recyclingziegelsplitt mit Beton gebunden ist. So werden bereits vorhandene Ressourcen weiter genutzt. Bei ökologischen Bewertungen schneiden Massivbaustoffe meistens ein bisschen schlechter als Leichtbauweisen ab. Andererseits weisen Massivbaustoffe eine Reihe von wohngygienischen und auch von bauphysikalischen Vorteilen auf, wie beispielsweise hohe Speichermasse, hohen Luftschallschutz, Nichtbrennbarkeit, Feuchteunempfindlichkeit, die Luftdichtigkeit ist im Vergleich zu Leichtbauweisen leichter erreichbar.

## Dächer

Ansatzpunkte für ökologische Verbesserungen bei Dächern sind

- die Form: Steildach oder Flachdach,
- die Dacheindeckung: Bleche oder mineralische Materialien sind lokal reparierbar
- die Bauweise: massiv oder leicht
- die inneren Schichten für das Raumklima und die Bearbeitbarkeit
- die Materialien: Herstellung und Wiederverwertbarkeit

Als Beispiele habe ich 3 Dächer ausgewählt:

Die erste Konstruktion ist ein Steildach in Leichtbauweise mit Dachziegeln, Sparren als Tragsystem und dazwischen Dämmung.

Die zweite Konstruktion ist ein Steildach massiv ausgeführt, d.h. auf der Stahlbetonplatte sind Doppel-T-Träger anstelle der Sparren aufgelegt mit dazwischenliegender Dämmung, die ebenfalls mit Ziegel eingedeckt sind.

Als dritte Konstruktion haben wir ein Flachdach in Massivbauweise mit Korkdämmung oben und Kieseindeckung ausgewählt.

Alle diese drei Konstruktionen erreichen einen U-Wert von  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Wie groß sind die Umweltbelastungen, die durch die Herstellung dieser unterschiedlichen Bauteile entstehen? In Abbildung 10 sind die Umweltbelastungen anhand von Treibhauspotential und Versauerung dargestellt. Das Treibhauspotential ist für das leichte Steildach negativ wegen der Kohlendioxidspeicherung durch das Holz. Aber auch die beiden massiven Konstruktionen unterscheiden sich relativ stark voneinander aufgrund der Abdich-

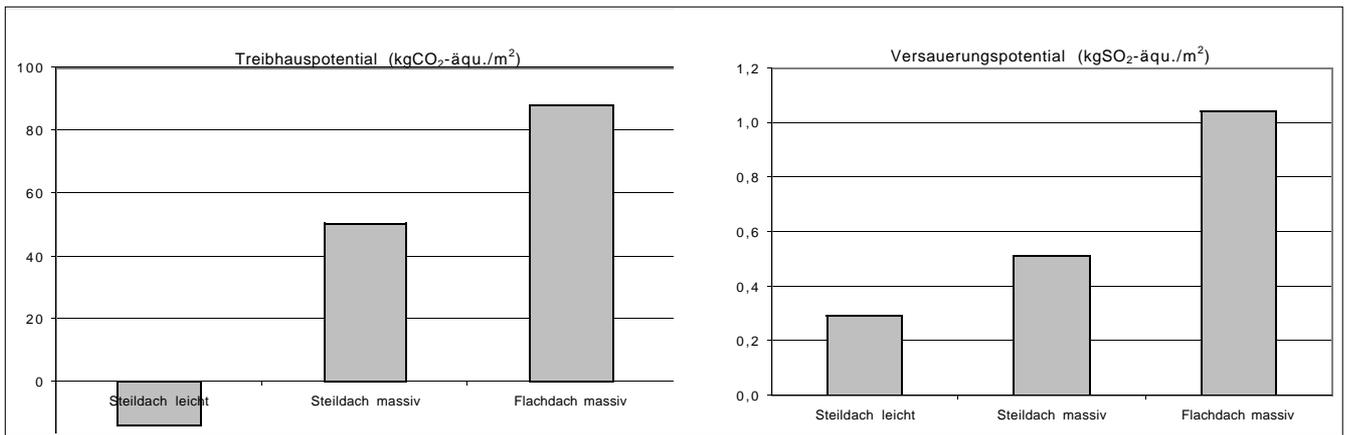


Abb. 10: Vergleich Steildach/Flachdach

tungen: Für ein Flachdach werden sehr aufwendige Abdichtungen benötigt, dasselbe gilt für die Dampfbremse, eine Aludampfbremse. Die Abdichtung hält nur ca. 50 Jahre und muss danach relativ aufwendig erneuert werden.

Beim Steildach wird die Ziegeleindeckung ebenfalls nach 50 Jahren erneuert.

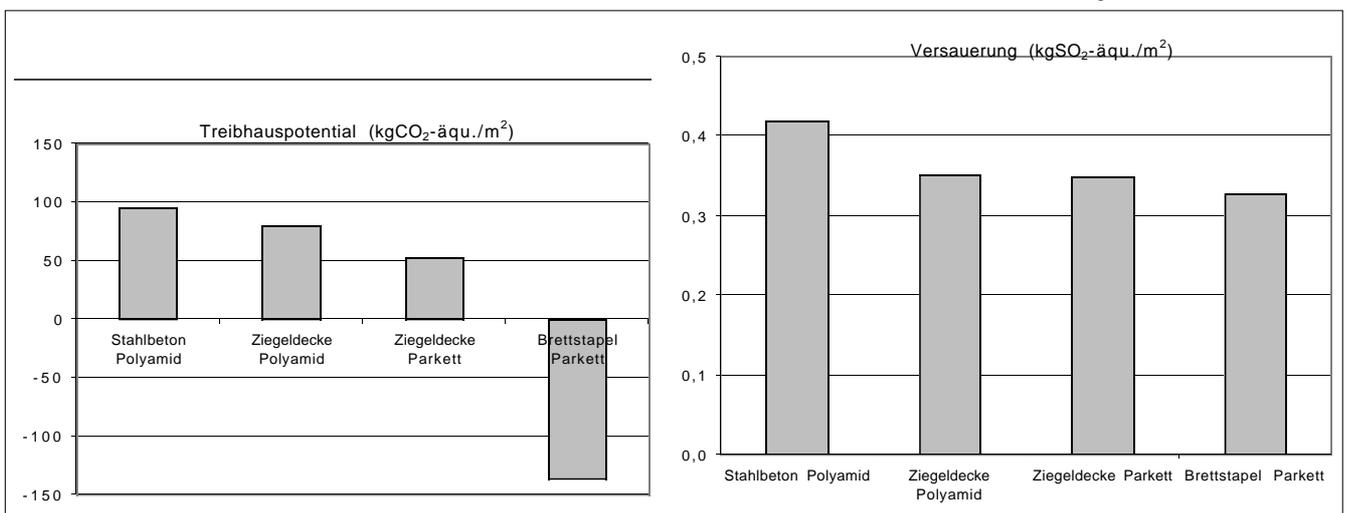
Die Frage ist aus ökologischer Sicht daher nicht nur, baue ich ein Leicht- oder ein Massivdach, sondern ob es ein Steil- oder ein Flachdach sein soll. In anderen Worten: besser ableiten als abdichten. Ein Flachdach erzeugt also durch die Abdichtungen und einige andere Faktoren sehr hohe Belastungen. Das soll jetzt nicht heißen, dass man keine Flachdächer mehr ausführen soll, es wäre allerdings möglich, sie anders zu konstruieren. Wenn man aber ein Flachdach in dieser konventionellen Weise konstruiert, sollte man in anderen Bauteilen umso mehr an ökologischen Belastungen einsparen. Wir wollen ja das gesamte Gebäude optimieren, d.h. wir können uns auch Schwachstellen leisten, wenn wir an anderen Stellen verstärkt Verbesserungen anstreben.

### Geschoßdecken

Die Geschoßdecken haben gerade bei sehr großen Gebäuden wegen ihres hohen Flächenanteils einen großen Einfluss auf die ökologische Qualität des Gebäudes. Wichtige Einflussgrößen auf die ökologische Wertigkeit sind:

- die Bauweise:
  - massiv oder leicht
- der Fußbodenaufbau:
  - trocken oder nass
- die Bodenbeläge:
  - mechanische oder chemische Verbindung, lokal reparierbar, leicht austauschbar, Beanspruchbarkeit, Nutzungsdauer, Reinigung, Schadstoffemissionen, Behaglichkeit/Haptik
- Äußere Schichten:
  - Raumklima

Abb. 11: 4 Geschossdecken im Vergleich



In Abb 11 sind 4 unterschiedliche Konstruktionen dargestellt:

1. eine Stahlbetondecke mit Estrich und Polyamid-Teppich.
2. die Stahlbetondecke wird durch eine Ziegeldecke ersetzt.
3. Zusätzlich wird der Polyamid-Teppich durch einen Parkettboden ersetzt.
4. Als Primärkonstruktion wird eine Brettstapeldecke eingesetzt.

Das Treibhauspotential reagiert relativ sensibel auf Änderungen des Fußbodenbelages. Es ergeben sich deutliche Einsparungen durch die Verwendung von Holz bei der Brettstapeldecke, wobei diese Brettstapeldecke mit Holz gedübelt ist und nicht genagelt oder mit Polyurethan (PU) verklebt.

Beim Versauerungspotential sind die Unterschiede relativ gering.

Neben den ökologischen Kennwerten muss eine Reihe weiterer wichtiger Kriterien bewertet werden: So ist ein Teppichboden fußwärmer als ein Parkettboden, dieser ist üblicherweise höher beanspruchbar und hat eine deutlich höhere Lebensdauer in Abhängigkeit der Oberflächenbehandlung; aus den Teppichen können Schadstoffemissionen aus dem Kleber oder aus dem Schaumstoff an die Raumluft abgegeben werden, ähnliches gilt für bestimmte Parkettöle und -versiegelungen. Die Bewertung muss besonders in diesem Fall anhand konkreter Produkte erfolgen, zu stark sind die Unterschiede innerhalb einzelner Fußbodenbeläge.

Auch der Schallschutz der 4 Konstruktionen oder die wirksame Speichermasse unterscheidet sich wesentlich voneinander. Beim Einsatz einer Brettstapeldecke ist es beispielsweise deutlich schwieriger, einen akzeptablen Trittschallschutz zu erreichen als bei einer Stahlbetondecke.

Die Einstufung der einzelnen Geschoßdecken hängt also stark von den Rahmenbedingungen und Anforderungen ab. Jedenfalls sind die Unterschiede bei den ökologischen Kennwerten so groß, dass die Planung auch darauf auszurichten ist.

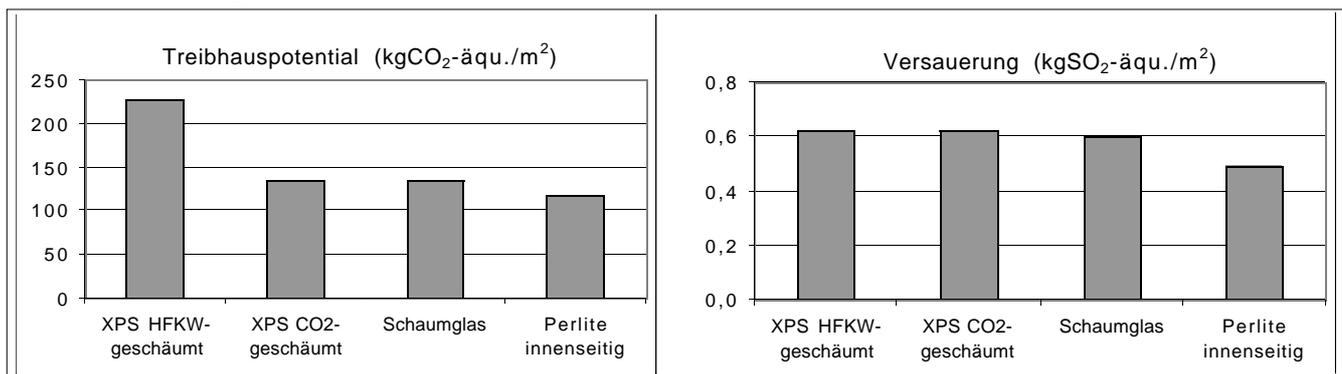
### Bodenplatte

Als wichtige Einflussfaktoren können genannt werden:

- die Dämmanordnung: innen- oder außenseitig
- die Bauweise der Wände: leicht oder massiv
- die Fundamentierung: Streifenfundamente oder Platte
- die Abdichtung: Betonqualität/Anstriche/Folien

Wir haben 4 unterschiedliche Aufbauten für eine Fundamentplatte gewählt. Eine Dämmung unterhalb der Fundamentplatte ist bauphysikalisch von Vorteil, da müssen allerdings ökologisch bedenklichere Dämmstoffe eingesetzt werden. Hierfür wurden 3 unterschiedliche Dämmstoffe ausgewählt, Extrudiertes polystyrol (XPS) HFKW-geschäumt, XPS CO<sub>2</sub>-geschäumt und Schaumglas. Die vierte Konstruktion ist ein alternativer Aufbau mit einer innenseitigen Dämmung aus Perliten. In Abb. 12 sind die ökologischen Auswirkungen auf 2 ökologische Kennwerte dargestellt. Durch die Vermeidung HFKW-geschäumter Platten ist eine sehr große Einsparung des Treibhauspotentials erzielbar. Der Dämmstoff kann also einen hohen Einfluss auf die Bauteilqualität haben, trotz der sehr aufwendigen Bauweise mit Folienabdichtungen, Stahlbeton etc. Bei der Versauerung sind die Unterschiede deutlich geringer, durch den Einsatz von Perliten können ca. 20 % eingespart werden, da die Perlitedämmung eine deutlich geringere Umweltbelastung hat als die außenseitig eingesetzten Dämmstoffe.

Abb. 12: 4 Bodenplatten/Fundamente im Vergleich



## Fenster

Fenster haben im Passivhaus eine besondere Bedeutung, da sehr hohe bauphysikalische Anforderungen an Verglasung und Rahmen gestellt werden.

Aus ökologischer Sicht können unter anderem folgende wesentliche Einflussgrößen identifiziert werden:

- Primärmaterial: Holz, PVC, Aluminium, Polyurethan
- Dämmung: Konzept, Material und Anordnung, Trennbarkeit
- Wetterschutz: Anstriche/Verblechung etc.
- Fenstertyp: Fixverglasungen, Dreh-Kipp, Auswirkung auf Rahmenanteil, Beschläge
- Raumklima: Schadstoffemissionen

Als anschauliches Beispiel haben wir einen gerade neu entwickelten Vollholzrahmen aus Vorarlberg einem klassischen Passivhaus-Fenster gegenübergestellt. Das klassische Passivhausfenster ist ein Holzfenster mit einem Polyurethanrahmen, wogegen der Vollholzrahmen keine Dämmung aufweist.

Das Treibhauspotential ist durch den Holzanteil (Kohlenstoffspeicherung) negativ, durch den Polyurethanrahmen wird es doch deutlich erhöht, ist aber immer noch negativ (Abb.13). Die Versauerung ist für beide Fenstertypen annähernd gleich, allerdings nicht so stark wie in anderen Beispielen. Wir müssen aber auch qualitative Kriterien miteinbeziehen: Vorteile der Vollholzlösung sind beispielsweise die ausschließliche Verwendung eines regional verfügbaren Rohstoffs, geringere Schadensanfälligkeit durch homogenen Aufbau und gute Weiterverwertbarkeit als Rohstoff für Holzwerkstoffe usw.

Ein Vorteil bei Passivhaus-tauglichen Fensterrahmen mit Polyurethanrahmen ist zumeist ein verbesserter Wär-

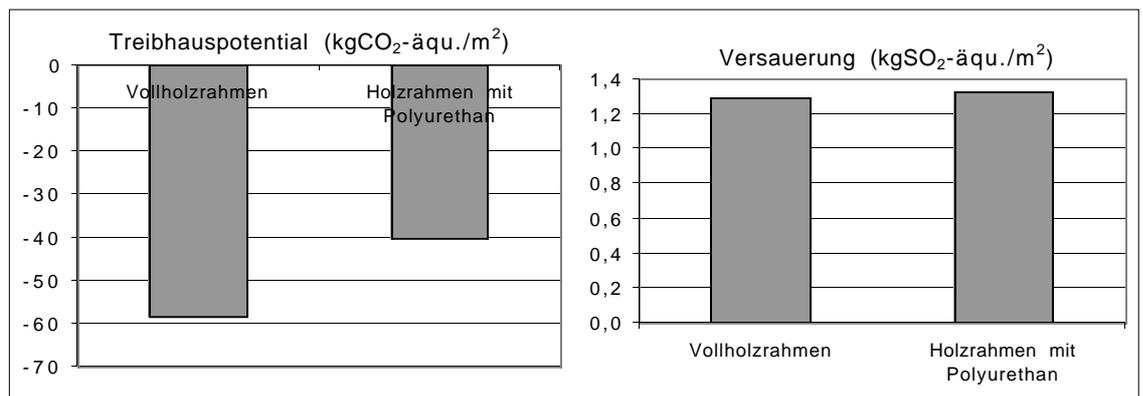


Abb. 13: 2 Fenstertypen im Vergleich

meschutz. Es handelt sich allerdings um eine Verbundkonstruktion, die schlecht trennbar ist und daher schwieriger weiterverwendet werden kann. Der Dämmstoff Polyurethan ist in seiner hochkomplexen, vielstufigen Herstellung mit einer Reihe von toxikologisch sehr problematischen Zwischenprodukten verbunden. Es handelt sich um sicherheitsoptimierte Produktionsverfahren, die allerdings wegen der problematischen Zwischenprodukte im Fall von Störfällen mit einem hohen Risikopotential verbunden sein können.

## Schlussfolgerung

Ist Faktor 10 durch bauökologisch intelligente Bauweise möglich? Für einige Bauteile ist Faktor 10 in wichtigen Umweltkategorien erreichbar. Auch für bestimmte Bauteilschichten sind derartige Einsparungen möglich, beispielsweise kann für einen bestimmten vorgegebenen Wärmewiderstand Faktor 10 zwischen ungünstiger und ökologisch optimierter Konstruktion erreicht werden. Bezogen auf den gesamten Bauteil und alle quantitativen und qualitativen Bewertungskriterien reduzieren sich allerdings die möglichen Einsparungen auf Faktor 2 - 5. Durch eine ökologisch optimierte Bauweise könnten wir also gegenüber einer ökologisch ungünstigen Bauweise 50 - 80 % an Umweltbelastungen heute und für die Zukunft einsparen. Dieses beachtliche Potential müssen wir nutzen. Wir sollten den erfolgreichen Weg des Passivhauses konsequent weitergehen, indem wir auf ökologisch optimierte Baustoffe, Bauteile und Gebäude setzen.

## Diskussion

### Frage:

Wie kann man die CO<sub>2</sub>-Konzentration negativ rechnen, denn CO<sub>2</sub> geht ja nicht verloren, sondern es bleibt ja da, wird entweder verbrannt oder wird zu Erdöl? Also ich verstehe das immer noch nicht warum das negativ gerechnet wird.

### Zelger:

Das wird deswegen negativ gerechnet, weil durch das Wachstum der Pflanzen CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen wird, d.h. es wird weniger. Lassen Sie mich das anhand von Flachsdämmstoff verdeutlichen. Das Kohlendioxid wird während des Wachstums als Kohlenstoff im Flachs gebunden, d.h. es wird der Atmosphäre entzogen. Die Flachsdämmung wird in ein Gebäude eingebaut, das 100 Jahre genutzt wird, dann rückgebaut, und da gut trennbar im neuerrichteten Gebäude wieder für weitere 100 Jahre eingebaut wird. Danach wird es verbrannt und erst dann wird der Kohlenstoff als Kohlendioxid in die Atmosphäre emittiert. Und das in einer Zeit, wo die wesentlichen Erdöl- und Erdgasquellen schon versiegt sind. Durch diese Kohlendioxidspeicherung erhalten wir für die Dämmstoff-Nutzungsdauer eine Entlastung, wobei der Temperaturanstieg gerade wegen seiner Geschwindigkeit große Probleme für die Anpassung von Pflanzen und Tieren bringt. Auf die Ewigkeit bezogen wird dieser negative CO<sub>2</sub>-Beitrag natürlich wieder neutralisiert, aber es ist ja besonders wichtig, wenn das Treibhauspotential für mindestens 100 Jahre oder länger verringert wird, gerade in dieser nächsten besonders kritischen Zeit. Es ist halt ein Unterschied, wenn Sie Holz als Brennholz nutzen, dann geht das CO<sub>2</sub> sofort in die Luft hinauf, aber wenn es im Baustoff gespeichert ist, habe ich für diese 100 Jahre einen negativen Beitrag für diese CO<sub>2</sub>-Bilanz von diesem Baustoff. Wichtig ist, dass wir jetzt negatives Treibhauspotential erzeugen, denn in den nächsten 100 Jahren werden wir besonders mit dem Treibhauseffekt Probleme haben. Die negative Bilanzierung entspricht also auch einer sehr vorsorgeorientierten ökologischen Bewertung. Wir führen gerade ein Forschungsprojekt durch, wo wir versuchen, eine wissenschaftliche Basis für einen möglichst realitätsnahen Wert für die CO<sub>2</sub>-Speicherung zu erarbeiten.

Aus diesem Grund haben wir auch das CO<sub>2</sub> nicht angerechnet, das durch die Verbrennung z.B. vom EPS entsteht. Bei einer CO<sub>2</sub>-neutralen Bilanzierung von erneuerbaren Rohstoffen müsste beispielsweise dem EPS auch der Treibhauseffekt bei der Verbrennung angelastet werden. Auch wenn wir noch nicht wissen, wie lange der fossile Kohlenstoff im EPS verbleibt.

### Frage:

Die ökologische Amortisationszeit der Dämmstärken ist natürlich abhängig vom Heizsystem. Was ist aber, wenn ich das beste Heizsystem verwende, also das ökologischste, also keine Heizung, erhöht sich dann die Amortisation der Dämmstärke wieder?

### Zelger:

Wenn ich keine Heizung habe, dann habe ich auch keine Amortisation, da ich nicht die Umweltbelastungen durch den Dämmstoff den Umweltbelastungen durch die Beheizung gegenüberstellen kann. Allerdings können Sie ein Gebäude ohne Heizung in unseren Breiten sicherlich nur mit hohen Dämmstoffstärken zusammenbringen und am vernünftigsten mit einem ökologisch günstigen Dämmsystem.

### Frage:

Zur negativen Berechnung vielleicht noch eine weitere Frage. Was ist, wenn ich jetzt z.B. Holz wiederverwende, kann ich es dann ein zweites Mal negativ berechnen oder muss ich's dann Null rechnen und bin damit eigentlich schlechter als wenn ich ein neues Holz verwende?

### Zelger:

Das kann ich nicht ein zweites Mal rechnen, weil die Pflanze entzieht der Atmosphäre nur einmal das CO<sub>2</sub> und das bleibt dann halt solange gespeichert bis es durch Verbrennung oder aus irgendeinen anderen Grund wieder in die Atmosphäre gesetzt wird. Das ist ein Problem, denn am besten wäre es, entsprechend der Kohlenstoff-Speicherdauer den jeweiligen Produkten den negativen CO<sub>2</sub>-Effekt zuzuordnen. Das können wir jetzt allerdings nicht wissen. Bei der Weiterverwendung sind allerdings alle anderen Umweltkategorien und der Treibhauseffekt durch die Herstellung viel niedriger oder annähernd Null.

# Planung von Wohnungs-Lüftungsanlagen

Norbert Stärz

## Einleitung

Der Passivhausstandard für Wohngebäude erfordert den Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, da diese Anlage wesentlich zur Erreichbarkeit des energetischen Standards beiträgt.

Dabei darf durch die Lüftungsanlage in keinem Fall eine Verschlechterung der Luftqualität und der Wohnhygiene hervorgerufen werden. Vielmehr ist eine Verbesserung des Wohnkomforts und des Raumklimas anzustreben. Dies ist mit sorgfältig geplanten und ausgeführten Anlagen auch zu erreichen.

Neben den hygienischen Anforderungen und Auswirkungen sind grundlegende Fragen der Materialauswahl und der Anlagenkonzeption zur Erreichung des angestrebten Ziels zu beachten.

Die Materialauswahl betrifft alle Komponenten der technischen Anlage, die mit dem Luftstrom in Kontakt kommen, hier sind insbesondere Filter, Schalldämpfer, Leitungs- und Gehäusewerkstoffe zu betrachten und zu bewerten.

In der Anlagenplanung gilt es zum einen, luftqualitätsverbessernde Maßnahmen wie Filter richtig anzuordnen. Zum anderen ist die Leitungsführung und Lufterbringung/-absaugung so zu konzipieren, dass Geräusche kaum hörbar sind; die Luftführung im Raum ist so zu gestalten, dass keine negativ empfundenen Strömungen oder Toträume entstehen. Die einzubringende bzw. auszutauschende Luftmenge ergibt sich aus der Nutzung der einzelnen Räume, der Betrieb der Anlage soll wechselnder Nutzungsintensität anpassbar sein.

Neben den technischen und hygienischen Anforderungen muss die Anlage den Wohnanforderungen gerecht werden, und leicht zu bedienen sein, um Akzeptanz bei den Nutzern zu finden.

## Energiebilanz

An Passivhäuser werden verschiedene Anforderungen an Energiekennwerte gestellt, sodass möglichst niedrige Energieverbräuche erzielt werden und somit das Prinzip „Passivhaus“ eingelöst wird.

### Energetische Anforderungen an das Passivhaus:

Energiekennwert Heizwärme	< 15 kWh/(m <sup>2</sup> a)
Primärenergie-Kennwert	< 120 kWh/(m <sup>2</sup> a)

Durch den Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) lässt sich der Heizwärmebedarf eines Gebäudes deutlich reduzieren. Bei Passivhäusern stellt diese Anlage einen grundlegenden und unverzichtbaren Bestandteil dar.

Zur Erreichung dieser Anforderungen müssen gerade die Lüftungsanlagen ordnungsgemäß und vor allem genauestens auf das Gebäude abgestimmt geplant und ausgeführt werden.

### Energetische Anforderungen an die Lüftungsanlage:

Rückwärmzahl der Lüftungsanlage	> 75 %
Stromverbrauch Anlage (Ventilatoren + Regelung)	< 0,4 Wh/m <sup>3</sup> geförderte Luft

Der Stromverbrauch der Anlage ist zwar nicht von grundsätzlicher Relevanz für die genannten Energiekennwerte, aber von hoher Bedeutung für die Energieeffizienz der Anlage: Mit einer Stromeffizienz von 0,4 Wh/m<sup>3</sup> ergibt sich bei 120 m<sup>3</sup> geförderte Luft pro Stunde eine Leistungsaufnahme für Zu- und Abluftventilator einschl. Steuerung von 50 Watt. Der Wärmetauscher mit 75 % Rückwärmzahl holt aus der Abluft (bei -10 °C Außentemperatur, 120 m<sup>3</sup>/h) ca. 920 W an Wärmeleistung zurück, das Verhältnis zurückgewonnener Wärme zu eingesetztem Strom (Arbeitszahl) liegt somit etwa bei 17 (zum Vergleich: Elektro-Wärmepumpen erreichen Arbeitszahlen zwischen 3 und 4).

Bei gut geplanten und ebenso ausgeführten Anlagen liegt das Verhältnis von aufgewandter zu eingesparter Energie über das Jahr betrachtet besser als 15. Wir haben Anlagen realisiert, die bei 20 und noch besser liegen.

Je nach Bauart des Wärmetauschers werden unterschiedliche Rückwärmzahlen erreicht: Einfache Kreuzstrom-Wärmetauscher erreichen eine Rückwärmzahl von lediglich maximal ca. 65 % und sind somit nicht passivhaustauglich, da die Mindestanforderung von 75% nicht erreicht wird. Kreuzgegenstrom-Wärmetauscher erreichen Werte von maximal ca. 75 %, Platten-Gegenstromwärmetauscher von maximal ca. 80 % und Kanal- Gegenstromwärmetauscher von maximal ca. 90 %. Wesentlich für die Höhe der Rückwärmzahl ist die Führung der Luftströme, die Ausbildung der Luftkanäle und die Größe der wärmetauschenden Fläche.

Diese Zahlenwerte sind tatsächlich zur Verfügung stehende Werte. In Herstellerprospekten stehen oft nicht nachvollziehbare und technisch-wissenschaftlich nicht begründbare Werte, selbst für einen Kreuzstromwärmetauscher sind Rückwärmzahlen von bis zu 90 % zu finden.

Eine sehr hohe Rückwärmzahl erfordert daher einen vergleichsweise großen Wärmetauscher und damit ein großes Gerätegehäuse. Kleine, kompakte Geräte bieten sicherlich Vorteile bei der Positionierung im

Gebäude, weisen in der Regel jedoch nicht die erforderliche energetische Qualität auf. In Abbildung 1 wird gezeigt, wie sich die Rückwärmzahl des Wärmetauschers und der Wirkungsgrad eines Erdreichwärmetauscher bei gleichbleibenden U-Werten auf den Heizwärmebedarf eines beispielhaft ausgewählten Einfamilienhauses auswirken.

Durch den Einsatz eines passivhaustauglichen Kreuz-Gegenstromwärmetauschers ohne Erdreichwärmetauscher lässt sich der Heizwärmebedarf von ca. 37 kWh/m<sup>2</sup>a um mehr als die Hälfte auf ca. 16,5 kWh/m<sup>2</sup>a reduzieren. Eine Unterschreitung der 15 kWh/m<sup>2</sup>a Grenze ist bei dem hier beispielhaft ausgewählten Gebäude allerdings

erst in Kombination mit einem Erdreichwärmetauscher erreichbar. Eine weitere Reduktion ergibt sich bei Einsatz eines Kanal-Gegenstromwärmetauschers, ein zusätzlicher Erdwärmetauscher erbringt hingegen kaum eine zusätzliche Energieeinsparung.

Im Rahmen der Vorplanung ist es demnach sinnvoll, in enger Zusammenarbeit mit dem Architekt die Bauteilaufbauten (U-Werte) und die energetische Güte der Wärmerückgewinnung auf der Basis einer Energiebilanzberechnung aufeinander abzustimmen.

Bei dem hier ausgewählten Einfamilienhaus ist der Passivhausstandard beispielsweise durch folgende Kombinationen erreichbar (jeweils mit EWT 26%):

**Variante 1: WRG 75 %, Dämmung Außenfassade 350 mm (U-Wert 0,096 W/m<sup>2</sup>K)**

Heizwärmebedarf: 14,5 W/m<sup>2</sup>a

**Variante 2: WRG 90 %, Dämmung Außenfassade 275 mm (U-Wert 0,121 W/m<sup>2</sup>K)**

Heizwärmebedarf: 14,1 W/m<sup>2</sup>a

Verschiedene Betrachtungen bieten sich an:

- Die eingesparte Menge Dämmstoff führt zu einer Kostenreduktion, und ebenso zu einem geringeren Primärenergieaufwand bei der Erstellung des Gebäudes.
- Durch die Reduzierung der Dicke der Außenfassade um 7,5 cm kann bei dem Beispielgebäude eine Wohnflächenvergrößerung von ca. 2,5 m<sup>2</sup> pro Geschoss erreicht werden. Eventuell anfallende Mehrkosten des höherwertigen Lüftungsgerätes von bis zu 1.000,- DM werden durch den höheren Nutzwert des Gebäudes aufgrund der zusätzlich gewonnenen Wohnfläche leicht amortisiert.

Geräte mit einer höheren Rückwärmzahl sind in der Regel teurer, so dass sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit stellt: 90 % Rückwärmzahl ermöglicht gegenüber 75 % eine Einsparung von ca. 2,6 kWh/m<sup>2</sup>a, bei 150 m<sup>2</sup> Wohnfläche somit ca. 400 kWh/a. Nutzwärmekosten von 15 Pfennig zugrundegelegt, bedeutet dies eine jährliche Einsparung 60,- DM. Auf eine Nutzungsdauer von 15 Jahren gerechnet würden

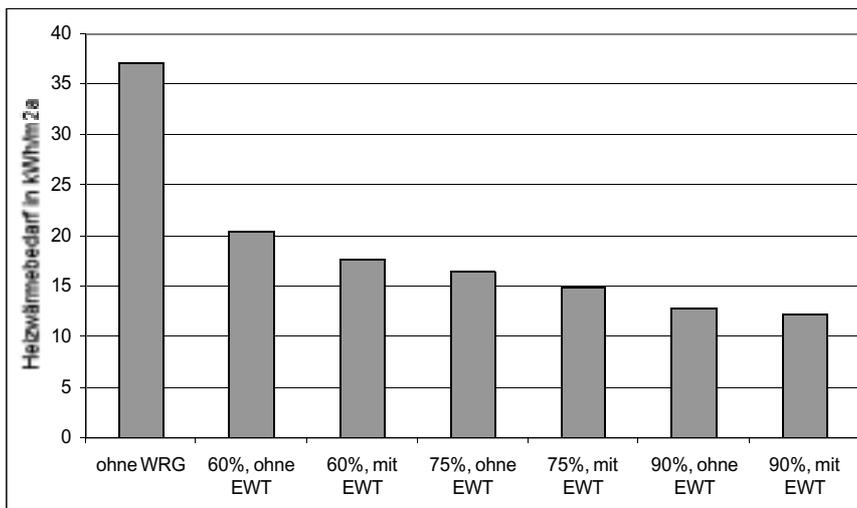


Abb. 1: Einfluss Wärmerückgewinnungs(WRG)-Güte mit und ohne Erdwärmetauscher / Heizwärmebedarf

sich somit Mehrkosten für die effizientere Wärmerückgewinnung in Höhe von bis zu 900,- DM amortisieren.

Bei Mehrfamilienhäusern weisen z.B. außenliegende Wohneinheiten in Dachgeschossen (oftmals auch als Maisonette-Wohnungen) oder im Erdgeschoss einen erheblich höheren spezifischen Wärmebedarf auf als alle anderen Wohneinheiten in diesem Gebäude.

Da hier eine Variation der Dämmstärke für die Außenwände und das Dach nicht immer oder nur schlecht durchführbar ist, ist hier der Einsatz von Wärmetauschern verschiedener Güte denkbar: zentral im Gebäude gelegene Wohneinheiten mit einer Lüftungs-Wärmerückgewinnung von 75 %, außenliegende Wohneinheiten mit einer Wärmerückgewinnung von 90 %.

Durch die Güte des Wärmetauschers wird zudem die Zulufttemperatur entscheidend beeinflusst. Bei bekannter Rückwärmzahl lässt sich diese wie folgt berechnen:

$$t_{Zuluft} = \phi \cdot (t_{Abluft} - t_{Frischluf}) + t_{Frischluf}$$

$\phi$  = Rückwärmzahl des Wärmetauschers

Die unter extremen Außenbedingungen minimal zu erwartenden Zulufttemperaturen in Abhängigkeit unterschiedlicher Rückwärmzahlen ist in Abbildung 2 dargestellt.

Aus Behaglichkeitsgründen sollte eine Zulufttemperatur von etwa 16°C nicht unterschritten werden. Wie aus dem Diagramm ersichtlich, wird dies nur durch Einsatz eines Wärmetauschers mit einer Rückwärmzahl größer gleich 90 % erreicht. Neben der Höhe der Zulufttemperatur aufgrund der Güte der Wärmerückgewinnung ist jedoch noch zu beachten, dass über das Zuluftrohrnetz im Gebäude eine weitere Erwärmung um 2 - 4 Kelvin erfolgt. Auch mit einer WRG von 75 % ist also das Behaglichkeitskriterium einhaltbar, sicher nicht jedoch mit einer Rückwärmzahl von 60 %. Für Passivhäuser wird demnach eine Rückwärmzahl von größer gleich 75 % gefordert.

Ein weiterer Effekt der Güte der Wärmerückgewinnung ist zu beachten: Bei Rückwärmzahlen über 60 % kann bei niedriger Außentemperatur die Fortluftseite des Wärmetauschers vereisen; um dies zu vermeiden, wird auf der Frischluftseite eine elektrische Frostsicherung oder auch ein Erdreich-Wärmetauscher installiert. Der Energieaufwand für die elektrische Frostsicherung ist mit ca. 60 kWh/a (nach Berechnungsvorgabe PHI) gering im Vergleich zur zusätzlich zurückgewonnenen Wärme (7,5 kWh/m²a bzw. 1.125 kWh/a bei einem Gebäude von 150 m² Wohnfläche) durch die Anlage mit 90 % Rückwärmzahl gegenüber 60 % (Abb 3).

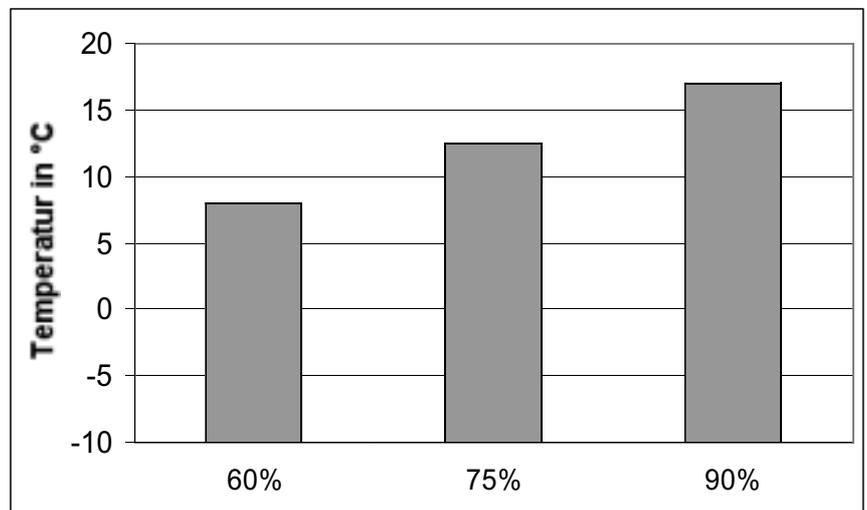
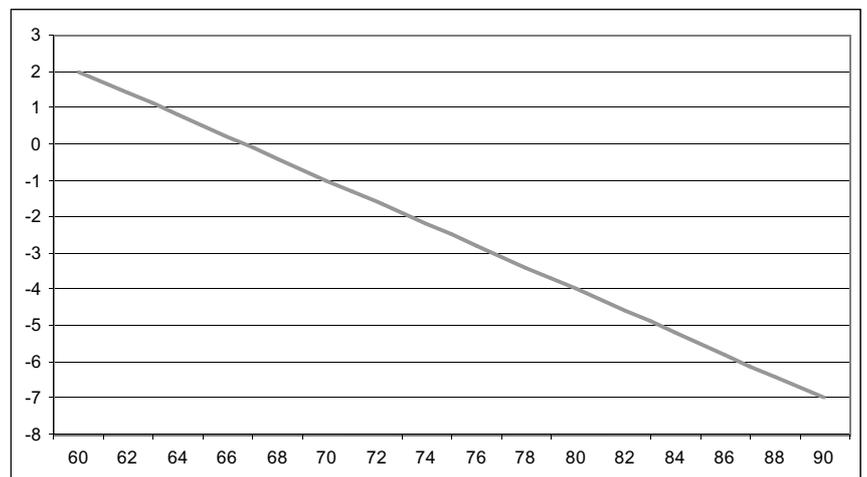


Abb. 2: Zulufttemperatur bei Wärmetauschern mit verschiedenen Rückwärmzahlen berechnet für eine Außentemperatur von -10 °C und eine Ablufttemperatur von 20 °C.

Abb. 3: Fortlufttemperatur/ Rückwärmzahl



## Grundsätzlicher Aufbau einer Lüftungsanlage

Die Planung einer Lüftungsanlage für ein Passivhaus lässt sich oftmals nicht einfach auf andere Gebäude ähnlicher Bauart übertragen. Geänderte Nutzerbedingungen, bauliche Vorgaben etc. machen häufig eine individuelle Planung unumgänglich.

Im Rahmen einer ersten Planungsstufe müssen zunächst die gebäudespezifischen Gegebenheiten sowie die bewohnerspezifischen Anforderungen an die haustechnische Planung geklärt werden.

Im Zuge dessen werden folgende Festlegungen getroffen:

### Definition von Zu- und Ablufträumen, sowie Überströmzonen:

- Ablufträume: in der Regel Küchen und Bäder
- Zulufräume : Schlaf- und Wohnräume
- Überströmzonen: Flure

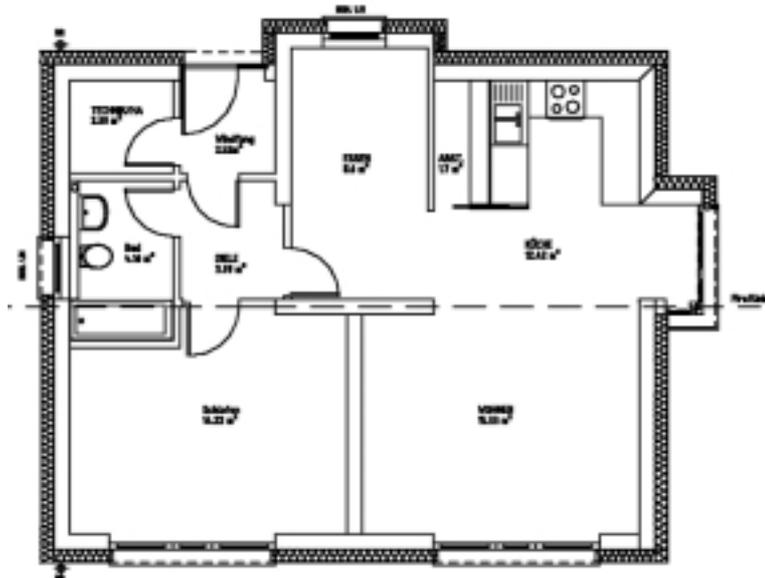


Abb. 4: Grundriss

Eine möglichst klar strukturierte Anordnung der Räume ist anzustreben. Neben den angeführten Räumen, die in die Luftführung eingebunden sind, sind bestimmte Räume auch bewusst aus der Luftführung herauszunehmen: so zum Beispiel ein Windfang, der nach Möglichkeit tatsächlich einen Pufferraum darstellen sollte.

### Einzubringende bzw. auszutauschende Luftmenge

Bei Festlegung des Nennvolumenstroms müssen drei Kriterien beachtet werden:

- 1) Aus Luftqualitätsgründen (CO<sub>2</sub>-Kriterium) ist pro Person ein Volumenstrom von 20 m<sup>3</sup>/h ausreichend. Nach gültiger Norm (DIN 1946) werden 30 m<sup>3</sup>/h gefordert.
- 2) Der auf das Gesamtgebäude bezogene Luftwechsel soll einen Wert von 0,3 1/h nicht unterschreiten.

- 3) Zu berücksichtigen ist ebenfalls der Volumenstrom für die Ablufträume, 60 m<sup>3</sup>/h für Küchen, 40 m<sup>3</sup>/h für Bäder und 20 m<sup>3</sup>/h für WC's/Abstellräume.

In der Regel lassen sich die Anforderungen nicht in Übereinstimmung bringen, sodass der Planer hier abwägen muss. Das sollte jedoch primär auf einen möglichst kleinen Volumenstrom ausgerichtet sein.

Wichtig ist bei der Festlegung der Volumenströme für die einzelnen Räume die Ausgeglichenheit zwischen Zu- und Abluftvolumenstrom für die betrachtete Nutzeinheit, für ein Geschoss oder ein Gebäude.

Für den Beispiel-Grundriss angewendet:

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 1a) 2 Personen in WE: 2 x 30 m <sup>3</sup> /h  | ⇒ 60 m <sup>3</sup> /h  |
| 1b) 2 Personen in Raum: 2 x 20 m <sup>3</sup> /h                                      | ⇒ 40 m <sup>3</sup> /h  |
| 2) 60 m <sup>3</sup> x 2,5 m Raumhöhe = 150 m <sup>3</sup> x 0,3                      | ⇒ 45 m <sup>3</sup> /h  |
| 3) Küche 60 m <sup>3</sup> /h, Bad 40 m <sup>3</sup> /h, Abstell 10 m <sup>3</sup> /h | ⇒ 110 m <sup>3</sup> /h |

Die drei Kriterien führen zu völlig unterschiedlichen Luftmengen, die jedoch in der Planung zu einem Ausgleich zu bringen sind:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| Zuluft Schlafen 40, Wohnen 30, Essen 20 m <sup>3</sup> /h | ⇒ 90 m <sup>3</sup> /h |
| Abluft Küche 40, Bad 40, Abstell 10 m <sup>3</sup> /h     | ⇒ 90 m <sup>3</sup> /h |

Ebenso kann hier bereits geprüft werden, ob die Luftmenge zur Beheizung ausreichen kann:

90 m<sup>3</sup>/h x 30 K (mögliche Temperaturerhöhung) x 0,34 Wh/m<sup>3</sup> (Wärmekapazität Luft) ⇒ ca. 1.000 W; bezogen auf die Wohnfläche von 60 m<sup>2</sup> ergibt sich eine spezifische Leistung von 16 W/m<sup>2</sup>. Diese liegt deutlich über dem üblichen Leistungsbedarf von Passivhäusern von 10 W/m<sup>2</sup>, sodass hier eine Beheizung mit der Zuluft problemlos realisierbar ist.

## Betriebsbedingungen für die Anlage

Bereits während der frühen Planungsphasen müssen die für den bestimmungsgemäßen Betrieb der Lüftungsanlage notwendigen Anwendungsfälle berücksichtigt werden. Diese sind im Wesentlichen nachfolgend aufgeführt:

- Einstellung der Luftvolumenströme für die wechselnden Nutzungsintensitäten (Lüftungsstufen)
- Besondere Anforderungen einzelner Räume
- Wärmeverteilung über die Lüftungsanlage und die hieraus entstehende Problematik der sich einstellenden Lufttemperaturen z.B. in Schlafräumen; ev. ist eine Aufteilung auf verschiedene Heizregister bzw. Zonen zweckmäßig.
- Planmäßiger Sommerbetrieb der Lüftungsanlage, evtl. mit Kühlung über Erdreich – Wärmetauscher, evtl. nur Abluftbetrieb (bei innenliegenden Sanitäräumen)
- Einfacher Anlagenaufbau, Bedienung und Wartung, damit die Lüftungsanlage eine Akzeptanz beim Nutzer erhält. Hierzu gehört auch beispielsweise eine Funktionsanzeige für die Ventilatoren, eine Filterwechselanzeige, eine vernünftige Platzierung des Bedien- und Anzeigeteils im Aufenthaltsbereich der Bewohner.

## Aufstellung des Lüftungsgerätes

Damit Wärmeverluste so gering wie möglich gehalten werden, ist die Aufstellung innerhalb der thermischen Gebäudehülle empfehlenswert. Meist werden als Aufstellungsorte Kellerräume oder Spitzböden gewählt.

Die Positionierung des Lüftungsgerätes im Kellergeschoss oder im Erdgeschoss macht es einfacher, die Wärme eines Erdwärmetauschers einzubringen. Wird das Lüftungsgerät im Dachboden positioniert, muss die im Erdreich vorgewärmte Luft mit einer Leitung bis in das Dachgeschoss hochgeführt werden. Diese Leitung muss sehr gut wärmedämmt werden: bei einem Rohr mit Nennweite 200 und einer Wärmedämmung von 50 cm Durchmesser, das in diesem Fall durch das Gebäude geführt werden müsste.

Beachtet werden sollte bei Auswahl des Raumes vor allem die mögliche Anordnung der Frischluftansaugung bzw. des Fortluftausblases mit einer möglichst kurzen Leitungsführung innerhalb der thermischen Gebäudehülle.

Nach Empfehlung der DIN 1946, Teil 2 (Raumluftechnik) sollte eine Ansaughöhe von mindestens 3 m über dem Erdreich eingehalten werden, was praktisch allerdings nicht immer realisierbar ist. Sinnvoll für Wohnungslüftungsanlagen ist bei Anordnung der Ansaugung an der Außenfassade eine Ansaughöhe von mindestens 1,5 m über Erdreich. Auch bei Dachhauben sollte ein Abstand von min. 0,5 m von der Dachfläche eingehalten werden, damit weder Schneelast den Querschnitt vermindert noch eventuelle Ablagerungen auf dem Dach angesaugt werden können.

Zwischen Frischluftansaugung und Fortluftausblasung sollte ein Abstand von mindestens 1,5 m eingehalten werden, damit ein Wieder-Ansaugen der Fortluft durch einen Kurzschluss unmöglich ist.

Ansaug- und Ausblasöffnung einer Lüftungsanlage müssen – um unterschiedliche Winddruckverhältnisse auf die Öffnungen auszuschließen – immer in die gleiche Windrichtung zeigen bzw. an der gleichen Fassadenseite liegen.

## Einsatz Erdreichwärmetauscher

Um den Wärmetauscher des Lüftungsgerätes vor Einfrieren zu schützen, darf die Frischlufttemperatur je nach Bauart des Wärmetauschers einen Wert von  $-2$  bis  $-4$  °C nicht unterschreiten. Dies lässt sich durch den Einsatz einer Frostschutzheizung oder eines Erdreichwärmetauschers erreichen.

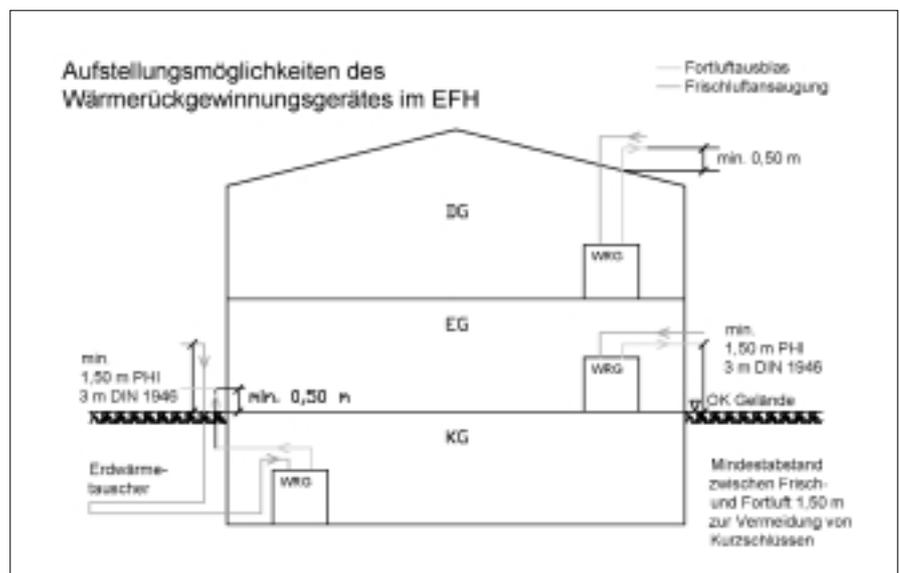


Abb. 5: Aufstellungsvarianten des Lüftungsgerätes

Ist ein Erdreichwärmetauscher gewünscht, so muss anhand der örtlichen Gegebenheiten (Bodenart, Grundstücksgrenzen) geklärt werden, ob eine Verlegung möglich bzw. sinnvoll ist. Im Rahmen der Berechnung wird anschließend die Länge hinsichtlich Wirkungsgrad, Austrittstemperatur sowie Druckverlust optimiert. Bei der Verlegung muss auf ein kontinuierliches Gefälle des Erdreichwärmetauschers zum Haus hin sowie auf die Möglichkeit eines Kondensatablaufes geachtet werden, hier ist die Gebäudeeinführung über die Kellerwand von Vorteil.

Wie Abbildung 6 zeigt, beeinflusst die Bodenart die Wirksamkeit des Erdwärmetauschers erheblich. Bei ansonsten gleichen Bedingungen für Luftmenge, Querschnitt und Verlegelänge differiert die minimale Austrittstemperatur um ca. 5 Kelvin.

### Anordnung Luftventile im Raum

Lüftungsauslässe für Zuluft müssen in den Räumen so angebracht werden, dass eine Verteilung der Luft im gesamten Raum gewährleistet ist. Dies ist vor allem bei größeren Räumen nur durch den Einsatz mehrerer Ventile und sogenannten Weitwurfdüsen durchführbar. Gerade bei gerichteten Strahlen von Weitwurfdüsen

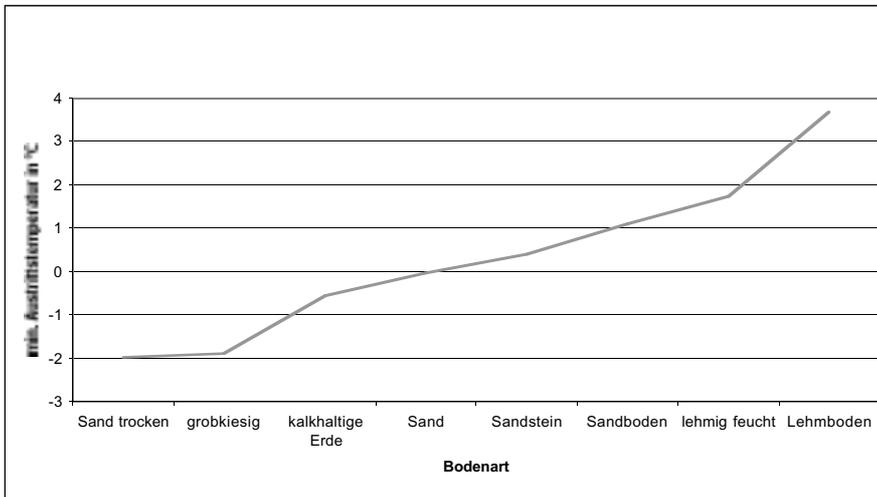


Abb. 6: Austrittstemperaturen aus Erdreich – Wärmetauscher

müssen aufgrund der höheren Luftgeschwindigkeiten Zegerscheinungen im Raum durch eine gute Anordnung der Düsen im Raum vermieden werden.

Bei einer kleinen Zuluftmenge von 20 m<sup>3</sup>/h ist es kritisch mit einer Weitwurfdüse zu arbeiten, weil die Wurfweite aufgrund des geringen Luftvolumenstroms sehr gering ist. Eine bessere Durchströmung wäre in diesem Fall mit einem Tellerventil auf der der Tür gegenüberliegenden Raumseite zu erreichen. 40 m<sup>3</sup>/h lassen sich über ein Zuluftelement energieeffizient (d.h. mit relativ niedrigem Überdruckbedarf) und entsprechend den Schallschutzanforderungen einbringen; bei größerem Volumenstrom sollten zwei Zuluftelemente eingesetzt werden.

Die Luftabsaugung muss ebenfalls so angeordnet werden, dass eine vernünftige Raumdurchströmung erfolgen kann. Ein gerichteter „Abluftstrahl“ kann hier allerdings nicht auftreten. Ziel ist immer eine ordentliche Querlüftung in den Räumen.

Zum Beispiel ist es von Vorteil, im Bad die Absaugung entgegengesetzt der Tür anzubringen, weil sonst ein direkter Kurzschluss verursacht würde.

### Festlegung Leitungsführung

Der Planungsgrundsatz für die Leitungsführung muss aus energetischen und ökonomischen Gründen in jedem Fall lauten, lange Rohrwege zu vermeiden. D.h. ein kurzes und einfach aufgebautes Rohrnetz ist anzustreben. Daher sollten die Schächte zur vertikalen Leitungsführung in die einzelnen Geschosse möglichst zentral angeordnet sein.

Zur Verteilung der Volumenströme in den einzelnen Geschossen besteht die Möglichkeit, die Leitungen unter der Decke oder auf dem Fußboden zu verlegen.

### Hygienische und gesundheitliche Anforderungen an Lüftungsanlagen

Durch den Einsatz einer Lüftungsanlage lässt sich sowohl die Lufthygiene als auch der Wohnkomfort steigern. Im Folgenden sind die wesentlichen Punkte aufgelistet.

Außereinwirkungen direkt durch Lüftungsanlage beeinflussbar:

- Sporen, Ruß, Pollen

Diese Luftbestandteile werden bei Einsatz eines entsprechenden Filters nahezu vollständig aus der angesaugten Luft herausgefiltert.

- Lärm  
Da bei Einsatz einer Lüftungsanlage auf die übliche Fensterlüftung verzichtet werden kann, reduziert sich der sonst über die geöffneten Fenster ins Gebäude eintretende Lärmpegel von beispielsweise stark befahrenen Straßen beträchtlich.
- Die vor allem im Winter auftretenden Zuglufterscheinungen können durch Verzicht auf die Fensterlüftung vermieden werden.
- Da nicht mehrmals am Tag zum Zwecke der Stoßlüftung die Fenster geöffnet werden müssen, sondern die Lüftungsanlage kontinuierlich einbläst bzw. absaugt, herrscht eine ausgeglichene Raumtemperatur.

Inneneinwirkungen indirekt durch Lüftungsanlage beeinflussbar:

- Luftschadstoffe (Möbel, Bodenbeläge), Rauch sowie sonstige Gerüche werden bei Einsatz einer Lüftungsanlage kontinuierlich aus den Räumen abgesaugt.
- Da die Lüftungsanlage mit verringertem Volumenstrom auch bei Abwesenheit der Bewohner weiter betrieben wird, ist bei Wiedereintritt in das Gebäude keine stickige Luft zu erwarten.
- Neben den Gerüchen wird vor allem aus den Bädern die feuchtigkeitsbeladene Luft abgesaugt.

Aus gesundheitlichen Aspekten heraus muss in diesem Zusammenhang die sich in Passivhäusern einstellende Luftfeuchtigkeit im Winter angesprochen werden: Durch die kontinuierliche Luftzu- und -abführung würde sich bei einem nicht bewohnten Passivhaus sehr bald ein absoluter Feuchtegehalt einstellen, wie ihn die Außenluft besitzt.

In bewohnten Gebäuden erfolgt eine Zuführung von Feuchtigkeit hauptsächlich durch die Bewohner und durch Pflanzen. Daher besteht bei geringer Nutzung des Gebäudes, wenn die Bewohner zum Beispiel tagsüber nicht im Haus sind, und dem Nichtvorhandensein von Pflanzen die Möglichkeit, dass sich relativ niedrige Raumluftfeuchten einstellen, die zu Unbehaglichkeit und im Extremfall bei Luftfeuchten unter 30 % auch zu gesundheitlichen Problemen führen können.

Zur Abhilfe kann hier auf technischer Seite insbesondere die zeitweise Reduzierung des Luftvolumenstroms vorgenommen werden, wodurch eine Erhöhung der relativen Feuchte im Raum um 10 – 15 % erfolgt.

Eine technisch aufwendigere Lösung, aber machbare Lösung stellt der Einbau einer Kleinst-Luftbefeuchtungsanlage dar, welche auch nachträglich in Lüftungsanlagen integriert werden kann. Damit Probleme mit Legionellen und Verkeimung nicht entstehen, sind hier Dampfbefeuchter den üblicheren Zerstäubungsbefeuchtern vorzuziehen.

Hygienisch unbedenklich und auch der einfachere Weg ist natürlich das Aufstellen von Pflanzen in den Wohnräumen.

## Technische Anforderungen an Lüftungsanlagen

Die Materialauswahl betrifft alle Komponenten der technischen Anlage, die mit dem Luftstrom in Kontakt kommen; hier sind insbesondere Filter, Schalldämpfer, Leitungs- und Gehäusewerkstoffe zu betrachten und zu bewerten.

### Luftfilter

Filter dienen zum einen zur Verbesserung der Luftqualität und zum anderen zur Vermeidung von Verschmutzungen des Wärmetauschers, der Ventilatoren und des Kanalnetzes.

Bei vielen Wärmerückgewinnungsgeräten sind Frischluft- und Abluftfilter mit Filterklasse G4 bereits im Gerät integriert. Beide dienen in erster Linie zum Schutz der Anlagenteile vor Verunreinigungen. Allergieauslösende Stoffe wie Pollenteile und Sporen können mit diesen Filterklassen kaum herausgefiltert werden. Daher ist zur Verbesserung der Zuluft-Qualität der Einbau eines Filters mindestens der Filterklasse F7 zu empfehlen. Dieser kann meist anstelle des Standard-Frischluftfilters (G4) in das Gerät eingesetzt werden, zumindest während der entsprechenden Pollenflugzeiten. Allerdings weist ein solcher Filter dann relativ kurze Nutzungszeiten auf, da er bei gleicher Filterfläche wesentlich mehr Bestandteile aus der Frischluft herausfiltert, und daher häufiger gewechselt werden muss. Wartungsfreundlicher sind hier separate Filterkästen.

Ist ein Erdreichwärmetauscher vorgesehen, ist die hochwertige Filterung in jedem Fall anfangsständig vorzusehen und ganzjährig zu betreiben.

In der Abbildung 7 ist dargestellt, welche Schadstoffe in der „normalen“ Luft durch verschiedene Filterarten (G4 / F7) herausgefiltert werden können.

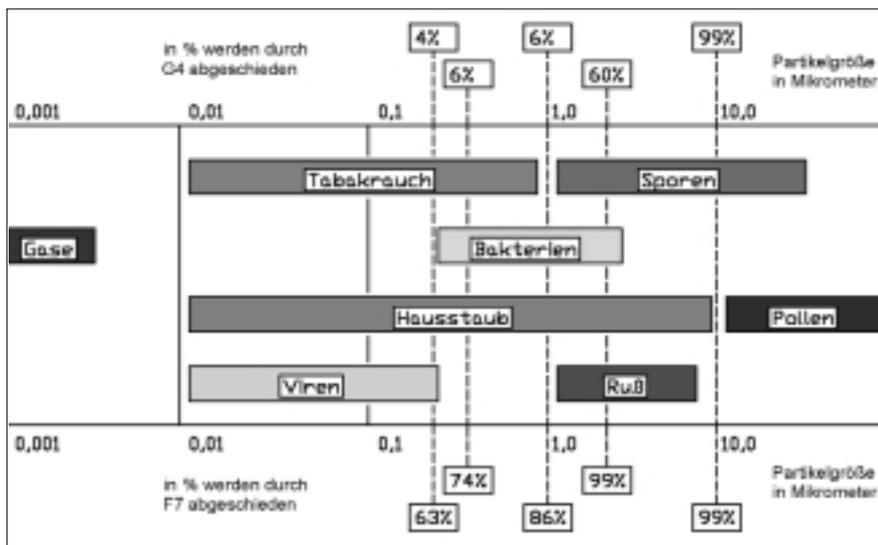


Abb. 7: Abscheidegrad G4 / F7 Filter

Als Beispiel: Partikel mit einer Größe von 1 Mikrometer werden durch einen G4-Filter zu 6%, durch einen F7-Filter hingegen zu 86 % herausgefiltert.

Pollen mit einer Größe über 10 Mikrometer werden durch beide Filter nahezu vollständig herausgefiltert. Trotzdem ist der G4-Filter kein „Pollenfilter“, da gerade die allergenen Bestandteile der zersprengten Pollen mit einer Kleinheit von bis zu 0,3 Mikrometer durch den G4-Filter nur zu 4%, durch den F7-Filter immerhin zu 63 % herausgefiltert werden. Erst ein F7-Filter (oder höherwertig F8, F9) führt daher zu einer Verbesserung der Atemluft für Pollen-Allergiker.

Alle Filter müssen in regelmäßigen Abständen auf ihren Verschmutzungsgrad hin überprüft werden. Zu lange Standzeiten verringern die Filterwirkung und erhöhen den Druckverlust, was entweder eine Verminderung des Luftvolumenstroms oder eine Erhöhung der Stromaufnahme der Ventilatoren zur Folge hat.

Üblich ist bei vielen Geräten eine elektronische Laufzeitkontrolle, die dem Benutzer auf dem Bediengerät die Notwendigkeit des Filterwechsels nach einer vorgegebenen, eingestellten Laufzeit der Lüftungsanlage angibt. Eine differenzdruckgesteuerte Filterwechselanzeige ist hier die genauere aber auch kostenintensivere Lösung.

Bei Auswahl und Montage des Filters empfiehlt es sich, auf eine leichte Austauschbarkeit zu achten, damit für spätere Nutzer eine problemlose Wartung gewährleistet ist.

Neben dem geräteinternen Abluftfilter sollte in stark belasteten Räumen wie z.B. der Küche ein Abluftelement mit Fettfangfilter eingebaut werden, um eine Verschmutzung des Kanalnetzes zu verringern/vermeiden. Diese Filter sind zumeist aus einem Edstahlgewebe und können per Hand oder in der Spülmaschine nach Bedarf gereinigt werden.

Empfehlungen für Luftfilter:

- Montage in gut zugänglichem Bereich
- Filterklasse mindestens F7 für Zuluft
- $\Delta p_{\text{Filter}} < 10 \text{ Pa}$  im sauberen Zustand
- Filterwechsel mind. alle 3 Monate

### Schalldämpfer

Schalldämpfer dienen zur Reduzierung der Ventilatorgeräusche und zur Schalldämpfung der Räume untereinander (Telefonieschall).

In der Regel bestehen die Schalldämpfer aus einem Außenrohr und einem perforierten Innenrohr. Der Zwischenraum ist mit Mineralwolle, Schaumstoff (Melaminharz) oder anderen schalldämpfenden Materialien ausgefüllt, und zum Luftstrom mit einem verdichteten Vlies oder einer Kunststoffolie abgedeckt. Die üblichen Packungsdicken betragen 25 oder 50 mm, die erhältlichen Baulängen liegen zwischen 500 und 1500 mm.

Bei Mineralwolle-Schalldämpfern mit Vliesabdeckung kann die Auslösung von Teilchen nicht völlig ausgeschlossen werden. Ein geringer Einblas dieser (nach Herstellerangabe nicht lungengängigen) Teilchen in die Räume ist daher nicht völlig auszuschließen.

Soll aus diesen Gründen auf mineralwollehaltige Schalldämpfer verzichtet werden, so ist ebenso auf das Material des in manchen Wärmerückgewinnungsgeräten bereits integrierten Schalldämpfers zu achten.

Schalldämpfer sollen so geplant werden, dass die in Tabelle 1 aufgeführten empfohlenen Schalldruckpegel in Wohnungen eingehalten werden.

Die Werte der erhöhten Anforderungen sind bei guter Planung der Anlagen problemlos erreichbar. Die Lüftungsanlagen sind somit nicht hörbar bzw. wahrnehmbar. Bei offener Grundrissgestaltung sind die erhöhten Anforderung von 20 dB(A) auch für Küchen einzuhalten. Neben den durch die Schalldämpfer erreichbaren Schallpegelreduzierungen können und müssen bei Lüftungsanlagen auch die Einfügungsdämpfung und der Eigenschallpegel des Kanalnetzes und der Auslässe berücksichtigt werden. Zusätzlich ist auf die Körperschallentkopplung der Ventilatoren zum Kanalnetz und des Kanalnetzes zum Bauwerk zu achten.

Raum	Schalldruckpegel dB(A)	
	Gesetzliche Anforderung nach [DIN 4109] bzw. VDI [4100] SSt II	Erhöhte Anforderung Nach [VDI 4100] SSt III (Forderung PHI)
Schlafräum	25	20
Wohnraum	25	20
Arbeitszimmer	30	20
Bad, WC, Küche	35	30

Tabelle 1

Hocheffiziente Lüftungsgeräte mit entsprechend energieeffizienten Ventilatoren haben von sich aus schon sehr geringe Schallemissionen. Minderwertigere Geräte mit hohem Stromverbrauch verursachen in der Regel auch eine wesentlich höhere Schallfreisetzung in die angeschlossenen Rohrleitungen; entsprechend sind vermehrt Schalldämpfer erforderlich.

Bei der Auswahl eines Lüftungsgerätes empfiehlt es sich, die Schallemission des Gerätes nicht nur über den mittleren Schalldruckpegel, sondern vielmehr über das gesamte Frequenzband zu kontrollieren.

Die verschiedenen Wirkungen von unterschiedlichen Schalldämpfern sind nachfolgend angeführt:

- Hohe Frequenzen (1000 – 8000 Hz, Bereich des Sprach-Schalls) können durch dünnes Absorptionsmaterial gut gedämpft werden. Eine dickere Packung verbessert die Wirkung nicht.
- Tiefe Frequenzen (125 – 250 Hz, häufig Bereich von Ventilatoren) werden durch dicke Packungen besser gedämpft als durch dünne.
- Je länger ein Schalldämpfer ist, desto besser ist die Dämpfung. Die Dämpfungszunahme ist jedoch mit der Länge nicht proportional, da die beiden Öffnungen die Dämpfung besonders verstärken.
- Je kleiner der Durchmesser des Schalldämpfers, desto größer ist die Schalldämpfung.
- Kulissenschalldämpfer dämpfen besser als kulissenlose Schalldämpfer.
- Glaswolle dämpft in tiefen Frequenzen (125 Hz) besser als Steinwolle.
- Durch die Verlegung im Bogen erhöht sich die Schalldämpfung gegenüber einer geraden Verlegung

Empfehlungen für Schalldämpfer:

- Auslegung nach Frequenzband des Geräusches
- Eigendämpfung anderer Anlagenteile beachten
- $\Delta p_{\text{Schalldämpfer}} < 3 \text{ Pa} / \text{Stück}$
- $\Delta p_{\text{gerade Leitung}} < 1 \text{ Pa} / \text{m}$
- $v_{\text{max}} < 5 \text{ m/s}$

## Leitungen

Rohrleitungen und Formstücke werden aus verschiedenen Materialien angewendet.

Kunststoffrohrleitungen werden normalerweise für den Erdreichwärmetauscher eingesetzt, da hier eine Materialbeeinträchtigung durch das Erdreich vermieden werden muss. Es bieten sich flexible PE-Rohrleitungen (z.B. Kabelschutzrohre) an. Aus gesundheitlichen Aspekten gibt es nach Herstellerangaben keine Bedenken in Bezug auf Ausgasung.

Für die Lüftungstechnik in Gebäuden wird der Verzicht auf PVC-haltige Materialien empfohlen, da sowohl bei der Herstellung als auch im Brandfall gesundheitsschädliche Chlorgase freigesetzt werden; das Material ist somit aus ökologischen Gründen nicht geeignet.

Zur Anwendung bieten sich starre Wickelfalzrohrleitungen und passende Formteile in verschiedenen Bauformen (rund, oval) an. Wegen ihrer geringen Oberflächenrauigkeit können sich hier kaum Ablagerungen bilden und die Druckverluste bleiben gering, eine Reinigung ist problemlos möglich. Flexible Rohrleitungen sollten aus vorgenannten Gründen nicht oder nur für sehr kurze Strecken (Anschlüsse an Lüftungsgerät oder Ventile) eingesetzt werden.

Für kleinere Nennweiten und Volumenströme werden auch Rohrleitungen in eckiger Form aus Polyethylen angeboten. Hier gelten die selben Punkte in Bezug auf Hygiene und Ökologie wie bereits eingangs genannt.

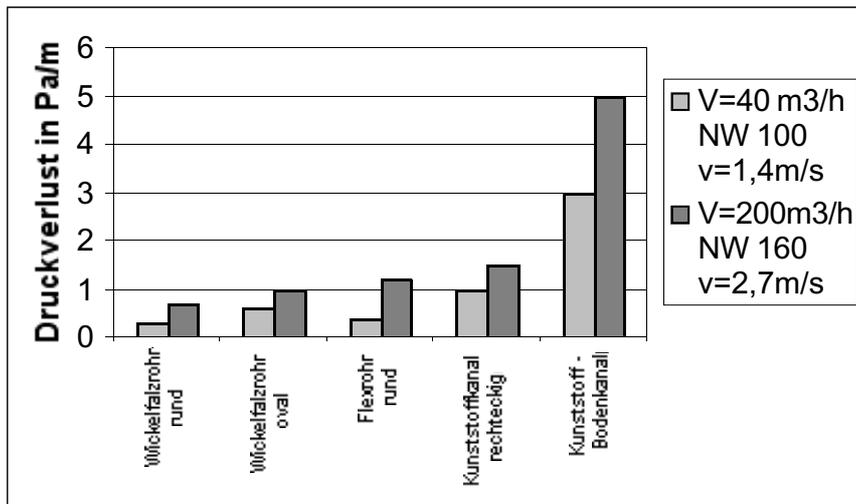


Abb. 8: Druckverlust von geraden Rohrleitungen

Der Druckverlust der Rohrleitungen kann bei den verschiedenen Systemen sehr unterschiedlich sein (siehe Abbildung 8).

Bei kleiner Nennweite mit geringem Volumenstrom ist der Druckverlust eines Rechteckkanals etwa 3-mal so hoch wie der eines Rundrohres; bei größerer Nennweite/Volumenstrom immer noch doppelt so hoch.

Bei sehr flachen Kanälen (Breite zu Höhe größer 5) wird der Druckverlust wesentlich höher, sodass mit einem solchen Kanal sicher keine gute Energieeffizienz erreicht werden kann. Der Leitungsverlegung im Fußbodenaufbau sind daher sehr enge Grenzen gesetzt.

Bei der Auswahl von Formstücken muss darauf geachtet werden, dass auch hier strömungstechnisch günstige Querschnitte und Formen zum Einsatz kommen. Die Verwendung eines Hosenstücks ist z.B. besser als die eines normalen T-Abzweiges, der Einbau von zwei 45°-Bögen ist besser als der einer Doppelbogens (90°).

Deutlich zu erkennen ist auch, dass der Druckverlust von Formstücken (Abbildung 9 Rohrbogen) deutlich höher liegt als der einer 1 m geraden Rohrleitung. Die Verwendung eines 90°-Bogens entspricht etwa der Verlegung von 3 Meter gerader Rohrstrecke. Ein Ziel der Planung muss somit, neben der generell gültigen Forderung nach kurzen Rohrleitungswegen, die Vermeidung von Formstücken sein.

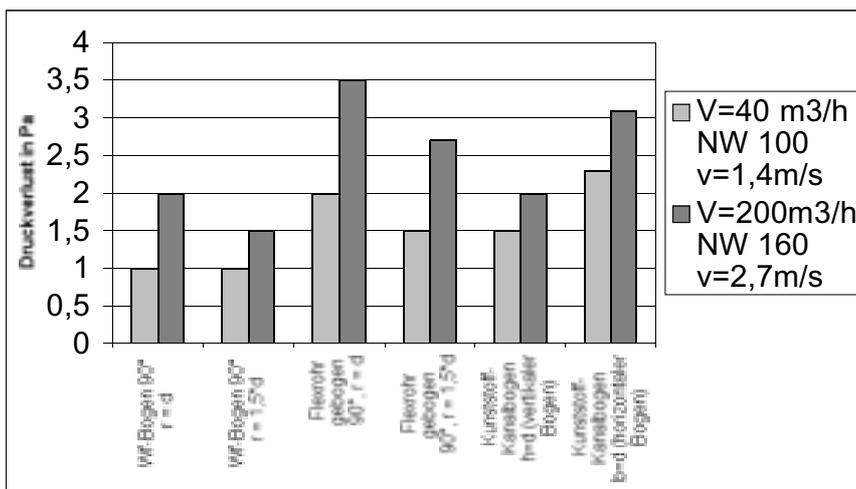


Abb. 9: Druckverlust von Formstücken

### Heizregister

Die Auswahl der Heizregister hängt im Wesentlichen vom Rest-Heizwärmebedarf des Gebäudes ab. Zur Dimensionierung ist aus hygienischen Gründen eine maximale Zulufttemperatur von etwa 50°C einzuhalten, da über dieser Temperatur Staubverschmelzungen auftreten.

Bei der Auslegung ist neben dem luftseitigen Strömungswiderstand vor allem auch die Wärmeleistung bei den gegebenen heizseitigen Anbindungen zu beachten. Die Hersteller geben oftmals die Wärmeleistung nur bei einer Systemtemperatur an, Umrechnungsfaktoren auf andere Temperaturen fehlen.

Die korrekte Auslegung erfolgt mit den technischen Anlagendaten Luft-Volumenstrom, erforderliche Heizleistung, Zuluft-Eintrittstemperatur nach der Wärmerückgewinnung und Wasser-Eintrittstemperatur.

Der heizwasserseitige Widerstand spielt eine untergeordnete Rolle, da die benötigte Wassermenge bei relativ kurzer Anbindung (Wärmezeuger und Nacherhitzer in einem Raum) gut auch durch die kleinsten derzeit lieferbaren Umwälzpumpen erbracht werden kann. Als problematisch erweist sich hier lediglich eine Brauchwasser-Vorrangschaltung, da hier sofort die eventuell erforderliche Erwärmung der Luft entfällt und die Zulufttemperaturen bis auf 16 °C fallen können.

Die Ausführung des Nachheizregisters sollte in der Nennweite gleich der Rohrnennweite sein. Statt einer Vergrößerung der Nennweite kann bei Bedarf bei einigen Herstellern auch eine weitere Registerreihe eingebaut werden. Wichtig ist jedoch auch eine wärmedämmte Ausführung des Heizregisters. Eine nachträgliche Wärmedämmung ist nur mit größerem Aufwand realisierbar.

Empfehlungen für Heizregister:

- Auslegung abgestimmt auf Wärmeleistung
- $D_{p_{\text{Heizregister, einreihig}}} < 15 \text{ Pa / Stück}$
- $D_{p_{\text{Heizregister, zweireihig}}} < 20 \text{ Pa / Stück}$
- Heizregister werkseits wärmegeklärt

## Zusammenfassung

Das passivhaus-geeignete Lüftungsgerät weist eine Rückwärmzahl von mindestens 75 % auf, dies ermöglicht eine hohe Behaglichkeit im Wohnraum und sichert den niedrigen Heizwärmebedarf.

In einer frühzeitigen Abstimmung zwischen baulichem (U-Werte) und technischem (Rückwärmzahl) Standard, im Sinne einer integralen Planung, kann ein energetisches und finanzielles Optimum erreicht werden.

Ein Erdwärmetauscher kann insbesondere bei günstigen Bodenverhältnissen den Energiekennwert weiter verbessern, hat aber bei einer Geräte-Rückwärmzahl von 90% keine hohe Zusatznutzung in der Heizperiode. Ein Kühleffekt von einigen hundert Watt Leistung kann im Sommer helfen, die Spitztemperatur im Wohnhaus zu mindern.

Die Hygiene wird wesentlich durch einen hochwertigen Filter beeinflusst, ein großzügig dimensionierter F7-Filter sollte zum Standard eines Passivhauses gehören.

Die Luftmenge, die mit der Lüftungsanlage ausgetauscht wird, orientiert sich an dem gebäude- bzw. wohnungsbezogenen Personenkriterium von 30 m<sup>3</sup>/h. Mit dieser Luftmenge ist es in der Regel möglich, zugleich den Wärmebedarf des Passivhauses sicherzustellen, sodass keine separaten Heizflächen erforderlich sind.

Entsprechend den wechselnden Nutzungsanforderungen kann der Bewohner den Luftaustausch in verschiedenen Stufen variieren; eine nutzerfreundliche Positionierung der Bedienelemente ist durch die Planung sicherzustellen.

Die Luftführung im Gebäude erfolgt hygienisch einwandfrei mit metallischen Rohrleitungen; Rundrohre ermöglichen deutlich geringere Druckverluste und damit einen geringeren Stromverbrauch als Rechteck- oder Flachkanäle. Ein kurzes Rohrnetz mit wenigen Formstücken ist anzustreben.

## Literatur

[DIN 1946] Raumluftechnik, insbesondere Teil 2, gesundheitliche Anforderungen

[DIN 4109] Wärmeschutz im Hochbau

[VDI 4100] Schallschutz von Wohnungen – Kriterien für Planung und Ausführung

## Diskussion

Frage:

Entsteht stickige Luft auch in einem voll biologisch-ökologischen Raum, der keine emittierenden Materialien enthält? Was ist eigentlich stickige Luft?

Stärz:

Die Frage kann sicher ein Hygieniker besser beantworten. Auch eine Temperatursteigerung im Raum, einfallendes Sonnenlicht in den Raum zum Beispiel, führt dazu, dass die Luft unangenehmer wird und verursacht eben das Stickigkeitsempfinden. Im normalen bewohnten Haus sind es einfach auch Freisetzung aus Kleidungsstücken, die herumliegen, Geschirr, das herumsteht, oder Bettwäsche, die zu einer stickigen Luft im Gebäude führen. Diese Freisetzungen können durch den kontinuierlichen Austausch sicher abgeführt werden.

Frage:

Hr. Dipl.-Ing. Stärz, Sie haben uns jetzt in beeindruckender Weise alles rund um den Wärmetauscher bzw. die Wärmerückgewinnungsanlage erklärt. Können Sie uns bitte noch etwas zur Hygiene des Erdwärmetauscher-Material selbst etwas sagen?

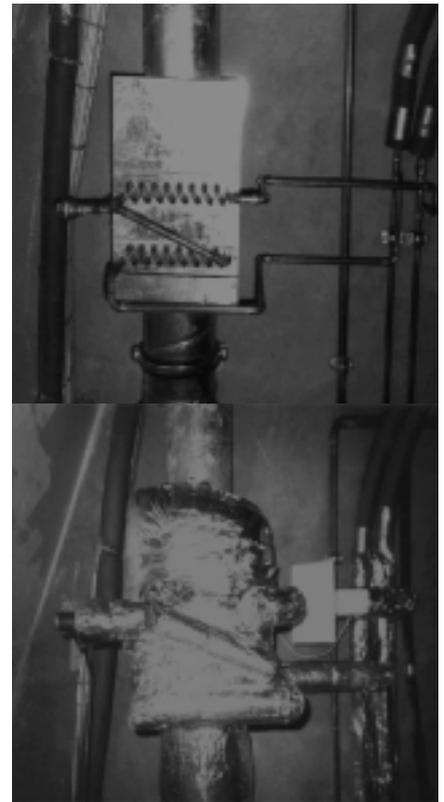


Abb. 10: Heizregister ohne und mit bauseitiger Dämmung

**Stärz:**

Die Materialfrage wird im Manuskript behandelt. Wir vermeiden z.B. PVC-haltige Rohre sowohl im Innenbereich als auch im Bereich des Erdreichwärmetauschers aus ökologischen Gründen wegen der Chlorchemie, mit der der Produktionsprozess verbunden ist. Man kann im Bereich des Erdreichwärmetauschers für diese Wohnungslüftungsanlagen sehr gut PE-Rohre einsetzen, die es als Kabelschutzrohre auch in relativ großen Nennweiten bis 200 gibt. Ebenso sind PE-Rohre als Stangenware mit entsprechender Muffenverschweißung als Elektroverschweißungen durchaus gängige Produkte. Bei großen Anlagen im gewerblichen Bereich, Bürogebäude mit Produktion, setzen wir dann auch Betonrohre als Erdwärmetauscher ein.

**Frage:**

Sie haben erläutert, dass man gegen das Problem der zu trockenen Luft in wenig genutzten Räumen in Abwesenheit den Luftdurchsatz drosseln kann. Kommt man hier im luftgeheizten Passivhaus erfahrungsgemäß nicht in Konflikt mit der Auskühlung durch verminderte interne Lasten und gleichzeitig Minderung der Luftheizung oder funktioniert das?

**Stärz:**

Sie sprechen den kritischen Punkt an. Im Extremfall ist es tatsächlich so, dass, wenn das Passivhaus mit Luft beheizt wird und die Luftmenge zu stark abgesenkt wird, weniger Wärmeleistung in den Raum geliefert wird. Das kann im Einzelfall schwierig sein, nach meiner bisherigen Erfahrung jedoch nicht. Es reicht immer aus, denn mit der Reduktion des Luftwechsels sinkt auch der Wärmebedarf des Raumes. Man muss in diesem Fall allerdings unter Umständen über das Kriterium 50 °C Zulufttemperatur hinausgehen. Dies ist aber bei entsprechend hochwertigen Frischluftfiltern mit der F7-Qualität auch wiederum kein Problem, da praktisch kein Staub mehr in der Luft ist, der verschwelen kann. Theoretisch besteht dieses Problem, in der Praxis ist es meiner Meinung nach kein Problem.

**Frage:**

Sie hatten im Vortrag erwähnt, dass eine Luftbefeuchtung durch einen Verdampfer erfolgen könnte. Welche Energiemenge verbraucht so ein Verdampfer im Zuluftstrom?

**Stärz:**

Die Frage kann ich hier nicht genau beantworten. Wir haben diese technische Lösung bei einem Gebäude mit Büronutzung vorgeschlagen, in dem aufgrund der hohen Raumbelastung ein relativ hoher Luftwechsel gefahren werden musste. In solchen Fällen geht es in erster Linie um die Sicherstellung der Behaglichkeit, über den tatsächlichen Energieverbrauch habe ich jetzt keinen Wert parat. Man wird mit einem Dampfbefeuchter aber sicher nicht wesentlich mehr Energie verbrauchen als man zum Verdampfen des Wassers braucht.

**Frage:**

Was halten Sie von einfachen Lüftungsanlagen, die nur aus einem Gerät bestehen und über die Nachströmung funktionieren, also eine reine Abluftanlage, die in der Außenwand montiert ist? Die hereinkommende Außenluft wird hinterm Heizkörper erwärmt und die Abluft nach außen über WC, Küche und Bad abgeführt. Sind diese Passivhaus-geeignet oder wo kann man sie einsetzen?

**Stärz:**

Eine solche „Lüftungsanlage“ ist eigentlich nur eine Abluftanlage mit einer kontrollierten oder regelbaren Zuluft im einzelnen Bereich. In dem gezeigten Beispiel des Einfamilienhauses (Abb. 1) liegen Sie im Energieverbrauch bei knapp 40 kWh, auch wenn Sie alle anderen Bauteile des Gebäudes schon im Passivhaus-Standard haben. Auch durch eine Verbesserung der Wärmedämmung von 30 auf 60 cm oder ähnliche Maßnahmen wird es nicht möglich sein den Passivhausstandard zu erreichen. Dies ist ganz explizit nur mit Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung möglich.

**Frage:**

... die Wärmerückgewinnung erfolgt doch über eine Abluftwärmepumpe, die dann sozusagen Wärme aus der Luft wieder herausholt.

**Stärz:**

In dem Moment wird aber direkt elektrische Energie über die Wärmepumpe eingesetzt und im Regelfall die Wärme dieser Wärmepumpe zur Brauchwasserbereitung benutzt und nicht ins Lüftungssystem eingespeist. Somit entsteht das Problem, dass die Zuluft sehr kalt einströmt und es zu Unbehaglichkeiten kommen kann. Diese Einsatzmöglichkeiten sehe ich weder im Passivhaus noch für normale Wohngebäude, die vielleicht nur im Niedrigenergiehaus-Standard sind, als eine geeignete Lösung an. Ich würde die richtige Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung bevorzugen und in diesem Fall nicht die Wärmepumpe einsetzen. Es gibt andere Wärmepumpenkonzepte, die in dem nachfolgenden Vortrag von Herrn Bühring auch dargestellt werden, wo man mit Wärmepumpentechnologie sehr effizient auch Lüftungsanlagen betreiben kann.

**Krapmeier:**

Es müsste dazu mittlerweile ein Bericht verfügbar sein über die größte - zumindest Wien publiziert das immer wieder – die größte Suncity Europas, die genau nach diesem Konzept gebaut ist. Aber eine Ergänzung noch dazu. Sie wollen natürlich mit Ihrer Anregung zahlreiche Gutachter und zahlreiche Rechtsanwälte brotlos machen. Denn hätten gemeinnützige Wohnbauträger und private Wohnbauträger das in ganz normalen Wohnhausanlagen längst schon eingebaut, dann würden nämlich diese ganzen Schimmelschäden alle beseitigt. Das würde die grundsätzliche Lüftung gewährleisten.

**Frage:**

Auf der Suche nach einem günstigen zweckmäßigen Rohrmaterial sind wir auf ein Kunststoffrohr gekommen, ein Dreischichtmaterial, das nicht auf PVC-Basis, sondern auf Polypropylenbasis unter anderem auch in Österreich produziert wird. Die Rohre sind steckbare Verbindungen, wie sie im Kanalbau bekannt sind. Gibt es damit Erfahrungen?

**Stärz:**

Verbundrohre setzen wir sehr ungern ein, gleichgültig in welchem Bereich, da sie immer einen Materialmix darstellen, der im Normalfall nur sehr schlecht recyclefähig ist. Das erfordert dann spezielle Anlagen. Dies ist auch der Grund, warum wir als Haustechnikplaner diese Verbundmaterialien auch im Sanitärleitungsbereich nicht oder nur sehr ungern einsetzen.

Wenn dieses Rohr aus einem Nicht-Lüftungsbereich stammt, ist ein Problem in den tatsächlichen Durchmesser oder Geometrieabmessungen zu sehen. Die Zuluft- und Abluftelemente haben Nennweite 100. Es wird Probleme bereiten, ein Abwasserrohr, das DN 100 ist und einen Außendurchmesser von 108 mm hat, auf das Abluftelement luftdicht zu montieren. Gerade in den Übergängen zwischen lufttechnischen Komponenten, die unvermeidbar notwendig sind, Messblenden etc. und einem Rohrmaterial aus einem anderen Anwendungsbereich sehe ich Probleme. Meiner Einschätzung nach ist es so, dass mit den Wickelfalzrohrsystemen und den entsprechenden Formstücken ein sehr kostengünstiges Material vorliegt, das auch problemlos über entsprechende Großhandlungen zur Verfügung steht.

**Frage:**

Was halten Sie von der Quelllüftung?

**Stärz:**

Quelllüftung betrifft eigentlich mehr die Luftausbreitung in Versammlungsstätten. Größere Räume, die mit größeren Volumenströmen beaufschlagt werden, müssen z.B. im engeren Geometriebereich vor dem Luftauslass das Sitzen von Personen ermöglichen, ohne dass Zuglufterscheinungen auftreten. Diese spielen im Einfamilienhausbereich eigentlich keine Rolle. Es ist keine Notwendigkeit für Quellauslässe gegeben. Die Lösung mit Weitwurfelementen ermöglicht im Regelfall ein kurzes Netz und eine sehr angenehme Luftverteilung im Raum.

**Frage:**

Die Idee der Quelllüftung war, die Luftzufuhr im unteren Bereich zu machen. Die verbrauchte schlechte und auch warme Luft steigt wie bei einer Rauchentwicklung nach oben und wird an der Decke abgesaugt.

**Stärz:**

Quelllüftung in dem Sinne, wie Sie es jetzt schildern als Verdrängungslüftung, wird bei den Wohnungs-



# Praxis der Wärmeversorgung mit Lüftungskompaktgeräten für Solar-Passivhäuser, Erfahrungen vom Teststand, einem frei stehenden Einfamilienhaus und einer Reihenhauszeile

Andreas Bühring

## Einstimmung

Im folgenden Beitrag kann ich Ihnen eine Erfolgsgeschichte darstellen, die sich in den letzten 4 Jahren abgespielt hat und an der wir das Glück hatten, beteiligt zu sein. Diese Erfolgsgeschichte handelt vom Passivhaus, wie es ursprünglich von Wolfgang Feist entwickelt wurde. Es geht dabei um ein Gebäudekonzept, das ökonomisch so günstig liegt, dass es den Massenmarkt im Wohnungsneubau erreichen kann, aber gleichzeitig auf der Errichtung von extrem energieeffizienten Gebäude beruht.

Die ökonomischen Zusammenhänge sind in Abbildung 1 dargestellt: Die Energiekosten sinken mit sinkendem Heizwärmebedarf von konventioneller Bauweise über Niedrigenergiebauweise bis zu Passiv- und Nullenergiehäusern. Gleichzeitig steigen die Investitionskosten, um diese niedrigeren Energieverbrauchsstandards zu erreichen. Diese Investitionskosten steigen allerdings nicht linear, sondern jede eingesparte kWh wird immer teurer. Die in der Abbildung dargestellten Gesamtkosten sinken daher bis zum Niedrigenergiehaus, da mehr Energiekosten eingespart werden können als zusätzliche Investitionen aufgewendet werden. Eine weitere Reduktion des Heizwärmebedarfs ist derzeit allerdings nicht mehr wirtschaftlich. Das war auch die Krux von vielen Solarpassiv- oder Solarhäusern, die wir betreuten: Die Gebäude benötigen zumeist neben der aufwendigen teuren Gebäudehülle eine sehr aufwendige Technik. Diese Gebäudekonzepte sind für Einzelpersonen umsetzbar und sehr schöne Demonstrationsprojekte, sie sind allerdings nicht massenmarktfähig.

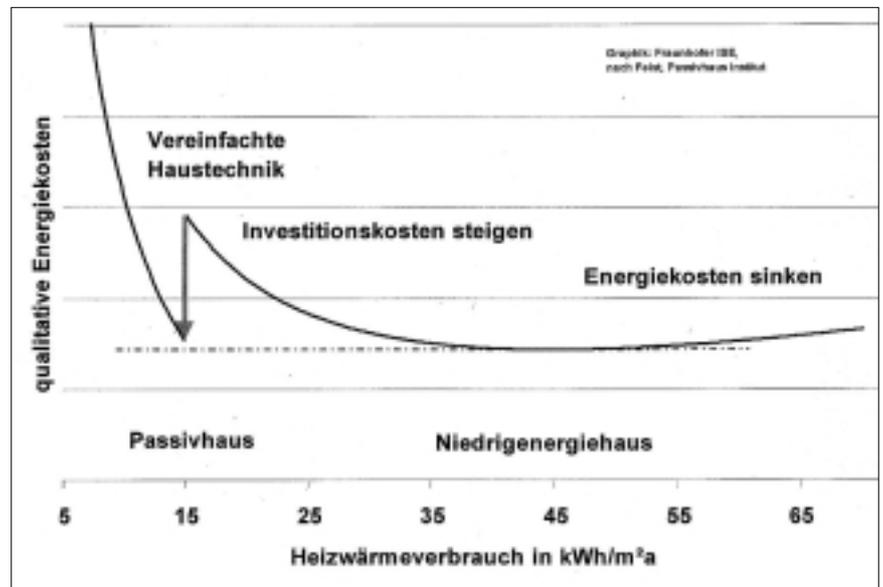


Abb. 1: Kostenausgleich durch integrale Haustechnik

Hier setzt die Überlegung von Wolfgang Feist an, und das ist eigentlich das große Verdienst der Idee des Passivhauses: Der Heizwärmebedarf und die Heizlast werden soweit reduziert, dass die Haustechnik durch den Wegfall eines konventionellen, hydraulischen Heizsystems extrem vereinfacht werden kann und dadurch Investitionskosten wegfallen.

Die vereinfachte Haustechnik besteht darin, dass das Lüftungssystem, das in sehr guten Niedrigenergiehäusern vorhanden sein muss, auch als Heizwärmeverteilsystem genutzt wird. Das Passivhaus verfügt also über eine Heizung, hat aber keine Heizkörper mehr. Die Heizwärmeverteilung erfolgt über das Lüftungssystem. Das ist die Grundidee, ein ökonomischer Ansatz, der eine vereinfachte Haustechnik vorsieht, keine Technikschlacht. Die Heizung ist ja eigentlich nur dazu da, einen Mangel des Hauses auszugleichen, ein „schlechtes“ Haus zu beheizen. Und genau diese konventionelle Heizanlage wird eingespart, man erreicht das Kostenniveau vom Niedrigenergiehaus – das Passivhaus ist wirtschaftlich.

Diese Idee griffen wir vor 4 Jahren auf und arbeiteten gemeinsam mit Industrieunternehmen an einer technischen Lösung, den sogenannten Lüftungs-Kompaktgeräten. Diese fungieren als konventionelles Lüftungsgerät, zusätzlich ist aber eine kleine Wärmepumpe integriert, die die in der Abluft vorhandene Wärme nutzt, das Gebäude oder die Wohnung zu beheizen und mit Warmwasser zu versorgen.

Der folgende Beitrag spannt den Bogen vom ersten Konzeptentwurf über erste Geräte und Teststand-

messungen, Pilot- und Demonstrationsprojekte bis zu Erfahrungen mit der Markteinführung und zu zukünftigen Entwicklungen und Trends in der Gerätetechnik.

### Konzeptentwurf und Simulation

Die wesentlichen Bestandteile des Lüftungs-Kompaktgerätes sind in Abbildung 2 schematisch dargestellt (grau unterlegter Bereich): Das Lüftungsgerät ist mit einem Plattenwärmetauscher mit einer Rückwärmezahl von 70-80 % ausgerüstet und besitzt als wesentliche Komponente eine kleine Wärmepumpe.

Diese Wärmepumpe ist allerdings nicht vergleichbar mit den Wärmepumpen in Bestandsgebäuden oder Niedrigenergiehäusern, die eine sehr aufwendige Wärmequelle brauchen, üblicherweise das Erdreich, um eine ausreichend hohe Arbeitszahl zu erreichen.

Die Erschließung des Erdreiches für eine Wärmepumpe ist sehr teuer. Die Erdwärme wird entweder mittels Erdsonden oder durch oberflächennahe Absorber genutzt, die Erschließungskosten liegen in der Größenordnung von DM 10.000,- (ATS 70.000,-). Das System kann daher wirtschaftlich nicht mehr mit einem konventionellen Heizsystemen konkurrieren.

Der entscheidende Unterschied zu konventionellen Wärmepumpensystemen liegt darin, dass die Heizleistung so gering ist, dass es ausreicht, wenn die Wärmepumpe nur noch jene Wärme zur Verfügung hat, die in der Abluft aus den Wohnräumen enthalten ist. Die Abluft übergibt zuerst einen Teil der Wärme an die vom Erdreichwärmetauscher vorgewärmte Außenluft. Sie

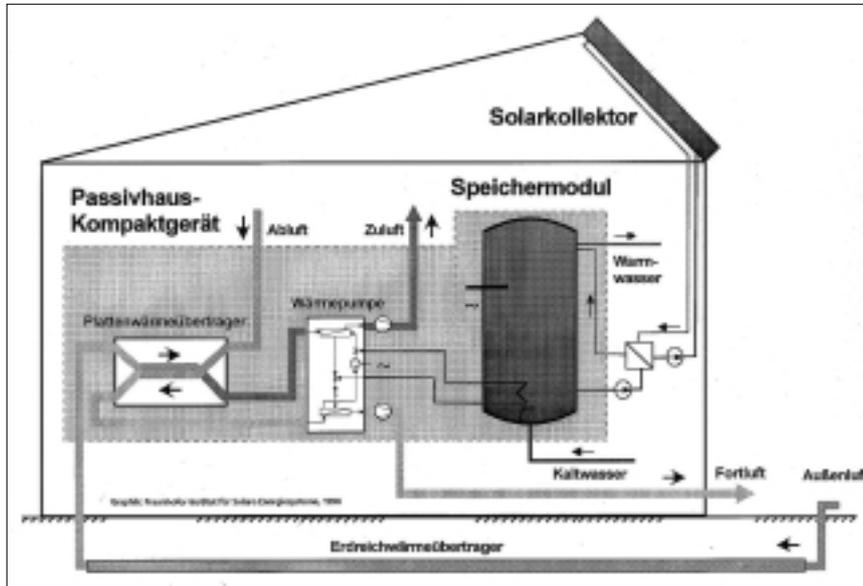


Abb. 2: Anlagenkonzept mit Abluftwärme

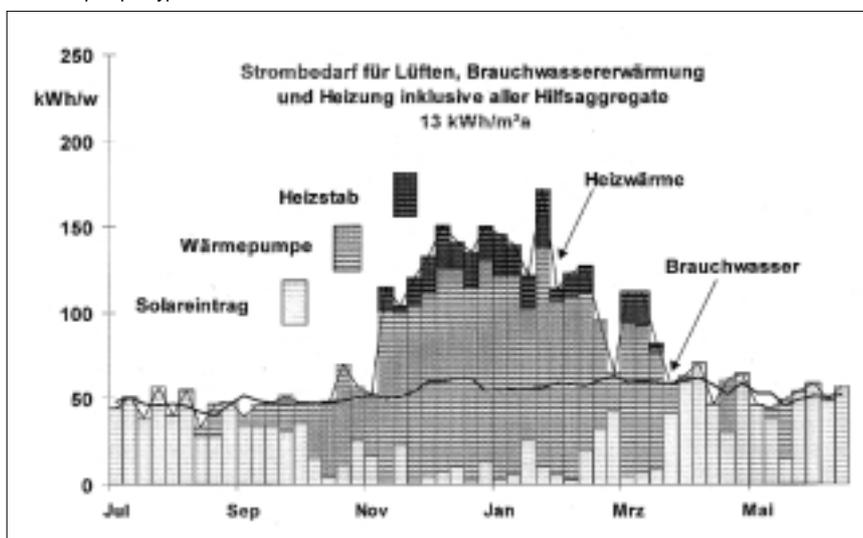
besitzt danach immer noch ein Temperaturniveau von 8-12 °C und enthält noch im Wesentlichen die gesamte Feuchte, die in den Wohnräumen produziert wurde. Das entspricht einer Wärmeleistung in der Größenordnung von 800 W, die die Wärmepumpe entnimmt und im Heizfall an die Zuluft abgibt. Über die Zuluft wird die Heizwärme in den Wohnräumen verteilt. Wenn kein Heizbedarf da ist, heizt die Wärmepumpe den Trinkwasserspeicher auf, der auch von einer thermischen Solaranlage beladen werden kann. Dieses Energiekonzept geht tatsächlich erst beim Passivhaus auf. Gebäude mit höheren Heizlasten haben Arbeitszahlen des Lüftungsgerätes zur Folge, die nicht mehr akzeptabel sind.

Dieses Anlagenkonzept haben wir vor 3 Jahren mit Hilfe eines neuen Simulationsmodells für das Simulationsprogramm TRNSYS geprüft. Ein simulierter Jahresverlauf für ein typisches Passivhaus ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Warmwasserverbrauch verläuft ziemlich gleichförmig über das Jahr hinweg, der

Heizwärmebedarf fällt in ca. 4 Monaten der Heizperiode an. Insgesamt dominiert der Warmwasserverbrauch, weshalb ein Anlagenkonzept, das nur den Heizwärmebedarf sinnvoll deckt und das Warmwasser direkt elektrisch erwärmt, am eigentlichen Problem vorbeigehen würde.

Die Restheizbedarf, der nicht mehr durch die Solaranlage und die Wärmepumpe gedeckt werden kann, wird mit einem Heizstab direkt elektrisch zugeführt. Dieser Beitrag ist der kritischste Teil und sollte wegen des hohen Primärenergieinhalts von elektrischem Strom in der Größenordnung von ca. 10 % des Gesamtwärmebedarfs bleiben.

Abb. 3: Simulation mit neuer Wärmepumpentype in TRNSYS



Insgesamt wurde ein Strombedarf von 13 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr simuliert, also im Bereich von 10-15 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr für Heizung, Lüftung und Warmwasser. Dieser Endenergiebedarf hat einen ungefähr um den Faktor 3 höheren Verbrauch an Primärenergie zur Folge (Deutscher Kraftwerkmix, dieser entspricht in etwa dem westeuropäischen), also ca. 30 - 45 kWh Primärenergie/m<sup>2</sup> und Jahr als Grenzwert. Der Passivhausgrenzwert für die Haustechnik liegt bei 65 kWh Primärenergie/m<sup>2</sup> und Jahr. Die TRNSYS-Simulation zeigt, dass dieser Grenzwert beim Einsatz eines Lüftungs-Kompaktgerätes im Passivhaus deutlich unterschritten werden kann.

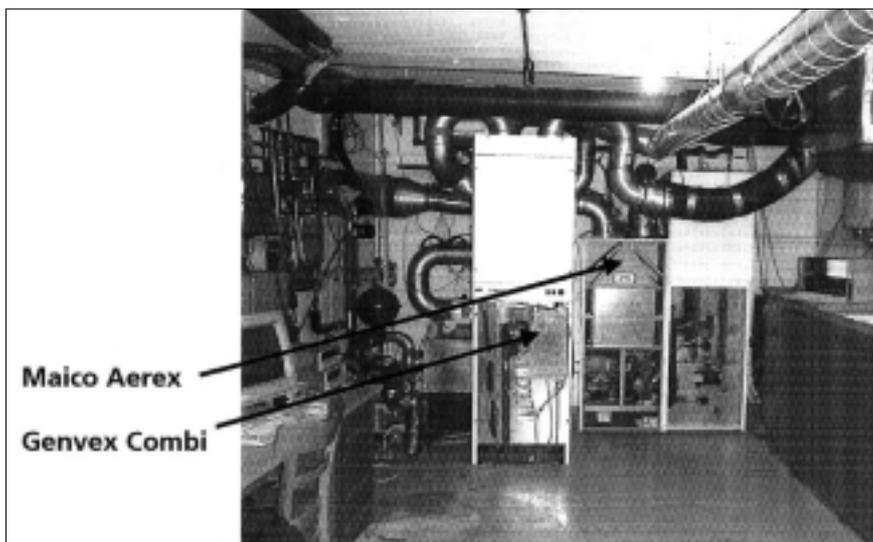


Abb. 4: Teststand für Lüftungs-Kompaktgeräte

### Messungen am Teststand

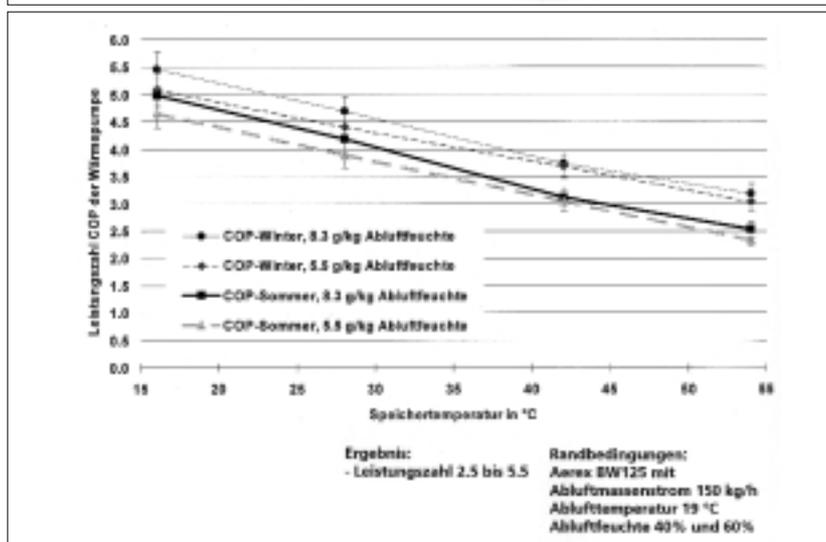
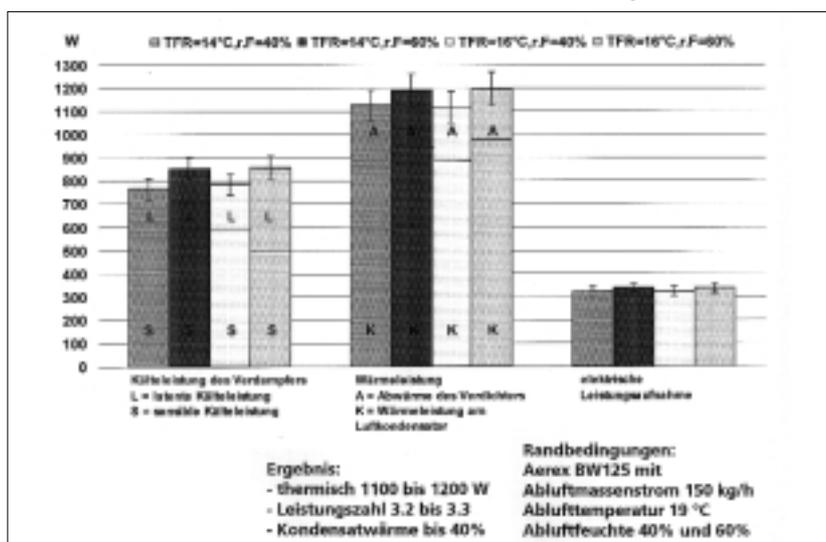
Auf der Basis der ermutigenden Simulationsergebnissen wurde ein Teststand aufgebaut, auf dem Lüftungskompaktgeräte getestet werden können. In Abbildung 4 ist dieser Teststand dargestellt. Das Kompaktgerät Maico Aerex (Fa. Drexel, Voralberg), welches auch in den beiden bewohnten Projekten sehr intensiv vermessen wurde, lieferte im Heizbetrieb in typischen Betriebspunkten Leistungszahlen von über 3 (siehe Abbildung 5). Auch im Bereich der Brauchwassererwärmung wurden bei Speichertemperaturen bis ca. 45 °C Leistungszahlen von 3 gemessen (siehe Abbildung 6). Das bedeutet, dass die Wärme, die im Kraftwerk für die Herstellung von Strom aufgewendet wurde (Primärenergiefaktor 3), mit Hilfe des Lüftungskompaktgerätes wieder vor Ort an Heiz- und Brauchwasserwärme zur Verfügung gestellt werden kann.

### Pilotprojekt Einfamilienhaus Büchenau

Die Teststandmessungen waren die Basis dafür, dass das ISE als Forschungsinstitut es auch Bauherrn „zumuten“ konnte, diese ersten Lüftungsgeräte in Gebäuden mit „gewöhnlichen Bewohnern“ einzusetzen. Im Gegenzug dafür, dass diese Bauherrn zu dem bisschen technischen „Schabernack“ bereit waren, hat das ISE die Verantwortung dafür übernommen, bei Problemen einzuspringen. Das ISE unterstützte die Bauherrn/frauen bei der Haustechnikauslegung, dafür erhielt es die Einwilligung, das eingesetzte Lüftungs-Kompaktgerät für ein detailliertes Messprogramm auszurüsten.

In Abbildung 7 ist das Solar-Passivhaus dargestellt. Es steht in Büchenau, nördlich von Karlsruhe in Deutschland. Es handelt sich um ein freistehendes Einfamilienhaus mit 120 m<sup>2</sup> Wohnfläche, das als Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem errichtet wurde. Der Heizwärmebedarf wurde vom Architekten mit 17 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr berechnet, befindet sich also in der Nähe eines Passivhauses.

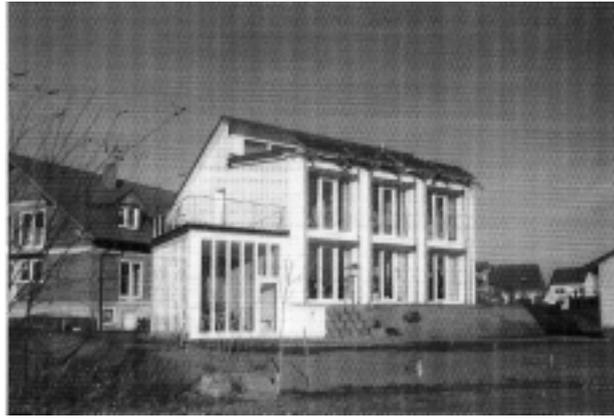
Messergebnisse auf dem Teststand Abb. 5: Luftheizung (oben) Abb. 6: Brauchwassererwärmung (unten)  
Die Leistungszahl gibt das Verhältnis aus gelieferter Wärme zum eingesetzten Strom an.



120 m<sup>2</sup> Wohnfläche

Massivbau mit  
Wärmedämm-Verbundsystem:  
- U<sub>opakt</sub> < 0.13 W/m<sup>2</sup>K  
- U<sub>Fenster</sub> = 0.80 W/m<sup>2</sup>K  
- g<sub>Fenster</sub> = 0.60

8 m<sup>2</sup> Solarkollektor,  
30 m Erdwärmetauscher  
Lüftungs-Kompaktgerät Maico  
Aerex



Architekt: Schuster, Karlsruhe  
Wohnende: Steuernagel / Hauth

Abb. 7: Solarpassivhaus  
Büchenau

Er liegt ca. 1,5 m tief, wobei ca. 1 m davon die aufgeschüttete Terrasse ist. Es war also nur ein Erdgraben von 0,5 m Tiefe zu ziehen, also eine sehr einfache Lösung. Der Bauherr sagte, ihm hätte der Erdwärmetauscher DM 500,- (ca. 3500,- ATS) für die Komponenten und eine Kiste Bier für die Freunde gekostet.

Die thermische Solaranlage ist mit 8 m<sup>2</sup> relativ groß dimensioniert, um das Dach architektonisch wie ein Satteldach aussehen zu lassen, eine Anforderung der Baubehörde. Der Erdreichwärmetauscher wurde mit wenig Aufwand unter der aufgeschütteten Terrasse verlegt. Er besitzt eine Gesamtlänge von 30 m, ist als Kabelschutzrohr ausgeführt, wobei sich durch ca. 10 m parallele Führung eine tatsächlich durchströmte Länge von ca. 20 m ergibt.

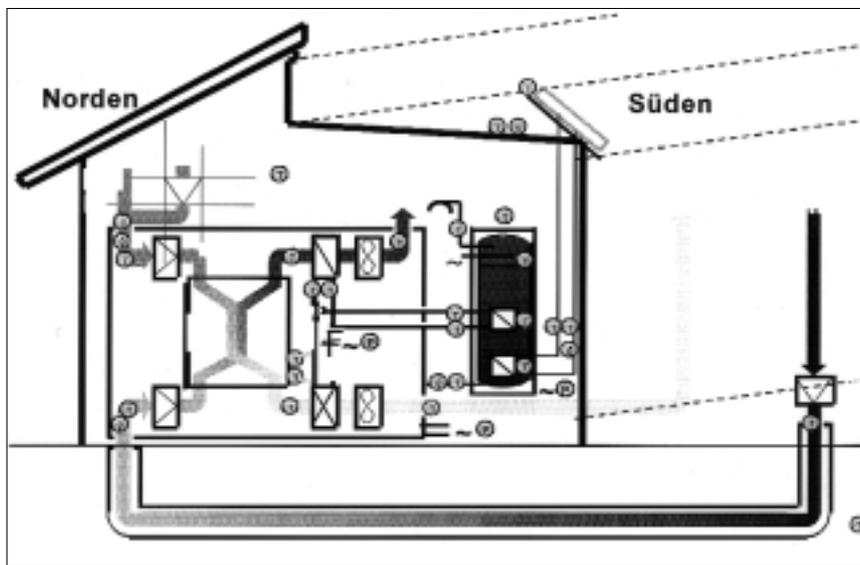


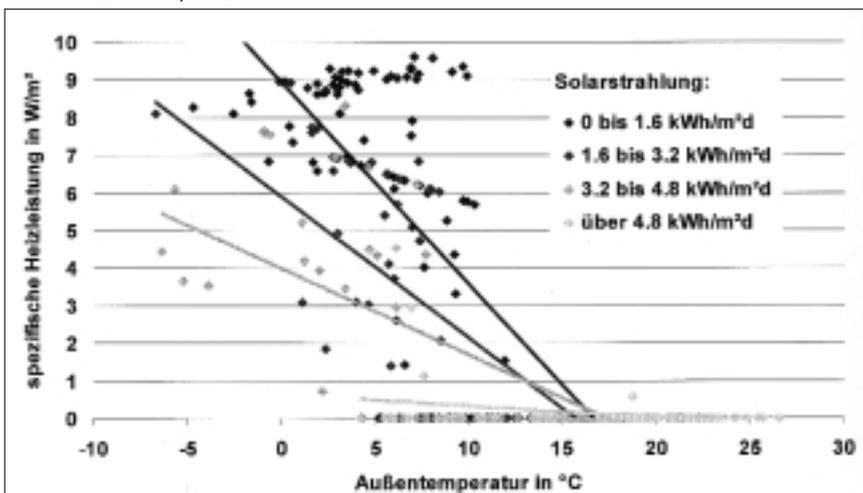
Abb. 8: Solarpassivhaus  
Büchenau, Messkonzept

Das Lüftungscompactgerät ist im unbeheizten Keller installiert. Das ist nicht sinnvoll, man sollte es in der thermischen Zone aufstellen, um die verlorene Wärme für die Beheizung nutzbar zu machen. Da die Grundrisse bereits fertig waren, als der Bauherr an uns herantrat, konnte keine integrale Planung mehr stattfinden und einfach kein Platz mehr in der beheizten Zone für das Compactgerät gefunden werden. Abbildung 8 zeigt schematisch das Messkonzept, es wurden insgesamt 35 Sensoren eingebaut. Neben den Wetterbedingungen wie Sonnenstrahlung und Außentemperaturen wurden alle Kenngrößen ermittelt, um eine detaillierte Energiebilanz des Compactgerätes erstellen zu können, und den Einfluss der einzelnen Komponenten abzubilden.

Damit sollten auch Verbesserungspotentiale aufgedeckt werden.

Die Ergebnisse der Messungen einer vollständigen Heizperiode sind in den Abbildung 9-14 dargestellt. Die spezifische Heizleistung pro Tag (den Tagesmittelwert) bildet Abbildung 9 in Abhängigkeit von der Außentemperatur ab. Die für Zuluftheizungen angestrebte maximale spezifische Heizleistung von 10 W/m<sup>2</sup> wird unterschritten. Deutlich sichtbar wird auch, dass die Heizkurve umso niedriger liegt, je sonniger der

Abb. 9: Solarpassivhaus  
Büchenau, Heizkurven



Tag ist, obwohl in diesen Fällen auch die Außentemperaturen besonders tief liegen. Der Solareintrag senkt den Heizwärmeverbrauch also sehr viel stärker als in einem Niedrigenergiehaus oder in einem Bestandsgebäude, wo der höhere Transmissionswärmeverlust die solaren Gewinne überlagert. Die besonders kalten Tage sind also sehr sonnige Tage, es gibt keine sehr kalten und gleichzeitig sonnenarme Tage. Somit wäre es für ein Passivhaus völlig unsinnig, das Heizsystem gemäß DIN 4701 oder ÖNORM M 7500 auf die Normaußentemperatur (in Büchenau -10 °C) auszulegen. Ein Solar-Passivhaus hat den höchsten Heizwärmeverbrauch, die höchste Heizleistung in Tem-

peraturbereich von ca. 0 - 5 °, nämlich an kühlen, aber nebligen Tagen, auf diese muss ein Solar-Passivhaus ausgelegt werden. Diese relevanten Außentemperaturen hängen natürlich vom Standort und von der Bauweise (solar optimiert oder nicht) ab. Das Haus Büchenau steht im Oberrheingraben, wo 1-3 Wochen Nebel vorherrschen kann und die Solareinträge fehlen.

Abbildung 10 stellt die Wirkungsweise des Erdreichwärmetauschers dar. Deutlich wird der dämpfende Einfluss des Erdreichwärmetauschers. Die am Standort Büchenau auftretenden Mindesttemperaturen von -7 °C (vergleichsweise mildes Klima) werden auf +3 bis +4 °C angehoben. Nur an wenigen Tagen liegt die Zulufttemperaturen unter 5 °C, d.h. dieser Erdreichwärmetauscher sorgt absolut sicher für Frostfreiheit und wärmt die Luft ausreichend für das Kompaktgerät vor.

Die Wirkung des Lüftungs-Kompaktgerätes ist in Abbildung 11 festgehalten, wobei die Abkühlung der Abluft durch die Wärmepumpe in 3 Minutenschritten dargestellt ist. Die Lufttrittstemperatur liegt zwischen 13 und 10 °C, die Austrittstemperatur zwischen -2 und +2 °C. Diese Abkühlung unter 0 °C ist ein ganz wichtiges Merkmal für Lüftungs-Kompaktgeräte, sie können die Wärmeanforderungen nur dann erfüllen, wenn auch der Bereich der Vereisung genutzt wird. Das untersuchte Lüftungsgerät wird bewusst in die Vereisung hineingefahren und dann in bestimmten Zyklen abgetaut. Es wird deutlich, dass die Abluft umso weniger abgekühlt wird, je höher ihr Feuchtegehalt liegt. Die Feuchte wird von der Wärmepumpe ähnlich einem Brennkessel auskondensiert und sorgt dafür, dass die Temperatur nicht zu weit absinkt. Damit liegen für die Wärmepumpe bessere Betriebsbedingungen vor, die dadurch eine höhere Leistungszahl erreichen kann.

Das Zusammenwirken von Speicher und Wärmepumpe kann anhand eines typischen Tagesverlaufs an einem Wintertag verdeutlicht werden (siehe Abbildung 12 und 13). Es handelt um einen sonnigen, kühlen Tag. Deutlich sichtbar ist in Abbildung 12 die thermische Schichtung im Speicher. Sichtbar ist auch die solare Beladung des Speichers durch die Solaranlage, sodass er in den Abendstunden weitestgehend bis auf 50 °C aufgeladen ist. In den Abendstunden ist ein deutlicher Temperaturabfall im unteren Speicher-Bereich erkennlich, der durch das Duschen der Bewohner verursacht ist. Der obere Speicher-Bereich hat keine Einbuße, d.h. die thermische Schichtung im Speicher bleibt also auch bei Entnahme von Warmwasser erhalten. Der solare Anteil ist allerdings nur die halbe Wahrheit an einem Wintertag. Die Solaranlage allein kann das Haus nicht mit Wärme ver-

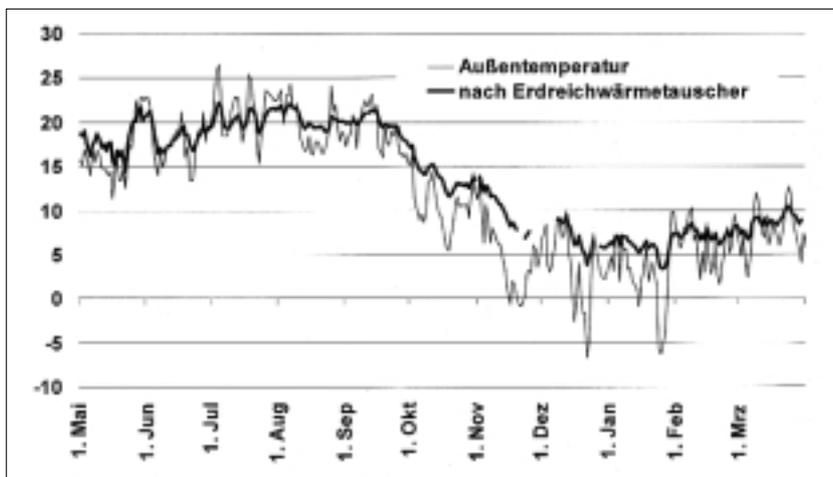


Abb. 10: Solarpassivhaus Büchenau, Austrittstemperatur aus Erdreichwärmetauscher

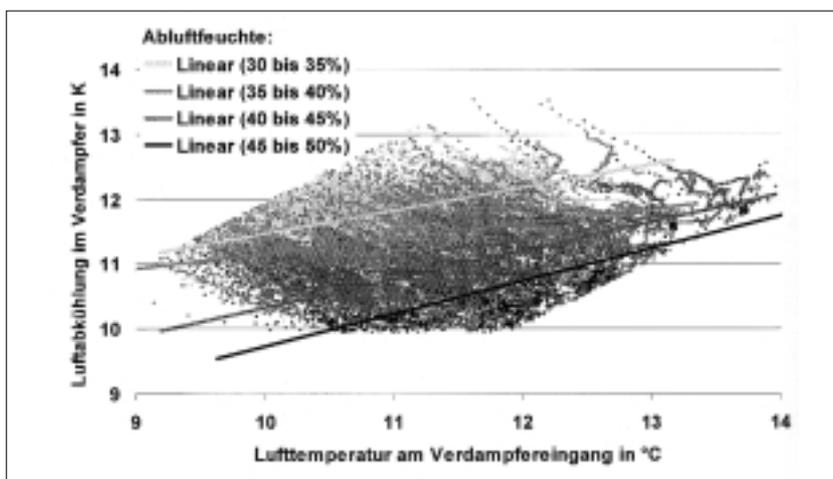


Abb. 11: Solarpassivhaus Büchenau, Messungen am Maico Aerec

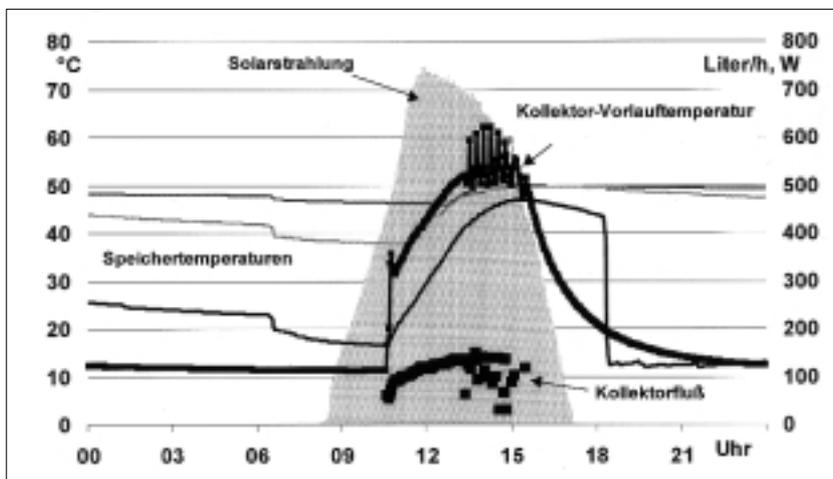


Abb. 12: Solarpassivhaus Büchenau, Solargewinn im Winter

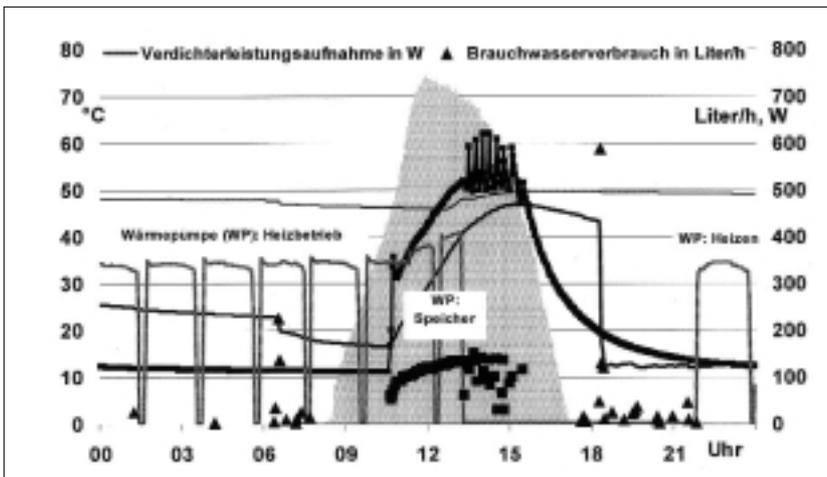


Abb. 13: Solarpassivhaus Büchenau, Wärmepumpe für Restwärme

Aus-Signal an die Wärmepumpe gegeben werden kann. Die Wärmepumpe bleibt bis in die späten Abendstunden ausgeschaltet, dazwischen findet rein solare Versorgung statt.

sorgen, es braucht eine Restheizung. In Abbildung 13 ist die Leistungsaufnahme des Verdichters der Wärmepumpe zusätzlich dargestellt. Die Wärmepumpe schaltet ungefähr alle 2 Stunden zum Abtauen aus. Es handelt sich dabei nicht um ein Takten des Gerätes, sondern um einen kontrollierten Betriebszustand. Bis ca. 11 Uhr fährt das Lüftungs-Kompaktgerät im Heizbetrieb, danach werden die Wohnräume ausschließlich passiv über die Sonne beheizt. Die Wärmepumpe schaltet, da für die Beheizung nicht mehr benötigt, auf Speichere Erwärmung um. Um 13 Uhr geht die Wärmepumpe vollständig aus, die Solaranlage hat den Speicher soweit erwärmt, dass auch dort das

Es wird allerdings auch deutlich, dass die Wärmepumpe schon in den Morgenstunden hätte ausgeschaltet werden können. Es war unsinnig, dass sie den Speicher aufgeheizt hat, das hätte die Solaranlage alleine geschafft. Dieses Optimierungspotential könnte durch einen prädiktiven, einen vorausschauenden Heizungsregler, ausgeschöpft werden: Dieser erkennt am Morgen, dass die Solarstrahlung ansteigt und dass es wahrscheinlich so weitergehen wird, und gibt der Wärmepumpe das Aussignal. Dadurch kann noch ein wenig Strom gespart werden. Diese Anregung aus den Messungen wurde an den Hersteller weitergegeben, der wahrscheinlich ab dem Frühjahr 2001 ein Lüftungs-Kompaktgerät mit prädiktivem Regler anbieten wird.

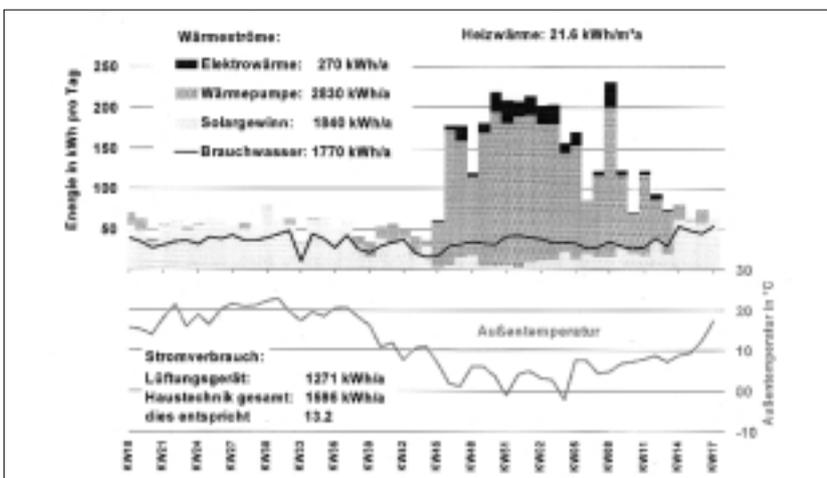


Abb. 14: Solarpassivhaus Büchenau, Wärmeströme in Tageswerten

Die Jahresenergiebilanz des Passiv-Solarhauses Büchenau ist in Abbildung 14 und Tabelle 1 dargestellt. Messungen und TRNSYS-Simulation liefern sehr ähnliche Ergebnisse. Der Heizwärmeverbrauch von knapp 22 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr liegt allerdings ca. 40 % über dem rechnerischen Bedarf. Es handelte sich um einen Härtefall für das Lüftungs-Kompaktgerät, da das Gerät auf 17 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr ausgelegt wurde. Diese Härteprüfung wurde problemlos bewältigt. Andererseits entsprechen 40 % mehr Heizwärmeverbrauch ca. 5 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr, im Vergleich zum Gebäudebestand mit teilweise 300 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr ist dieser Mehrbedarf vom energetischen her völlig belanglos. Der Mehrbedarf von 40 % Heizwärme entsteht dadurch, dass die Raumtemperatur ungefähr 2 °C höher war als die in der Planung verwendeten 20 °C, die im Passivhaus-Projektierungspaket verwendet werden. Dies beobachten wir in vielen Projekten, 20 ° sind

unrealistisch: Die BewohnerInnen sitzen im Winter nicht mehr mit dem Pullover vor dem Fernseher, sondern im T-Shirt und möchten daher eine höhere Raumtemperatur haben. Wenn man realistische Werte erhalten will, ist es deswegen sinnvoll mit einer höheren Raumtemperatur zu rechnen, typisch für ein Passivhaus sind 21 °C. Diese um 1 °C höhere Raumtemperatur führt ungefähr zu 20 % mehr Heizwärmebedarf, nicht zu 6 % wie in einem Niedrigenergiehaus. Energetisch ist dieser Mehrbedarf allerdings nicht relevant.

Tab. 1: Messergebnisse Solar-Passivhaus Büchenau

Heizwärmeverbrauch	21,6 kWh/m <sup>2</sup> und Jahr
Solaranlage	75% des Speichereintrags
Wärmepumpe	20% des Speichereintrags 95% des Heizwärmeverbrauchs
Direktstromwärme	5% der Wärme
Speicherverluste	28% des Wärmeeintrags
Jahresarbeitszahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wärmepumpe Heizung 3,1</li> <li>• Wärmepumpe Warmwasser 3,3</li> <li>• Lüftungs-Kompaktgerät 3,9</li> <li>• Gesamte Haustechnik 5,0</li> </ul>
Stromverbrauch Haustechnik	Endenergie 13,2 kWh <sub>elektrisch</sub> /m <sup>2</sup> und Jahr Primärenergie 39,2 kWh <sub>primärenergie</sub> /m <sup>2</sup> und Jahr

Insgesamt wurde ein Stromverbrauch des Lüftungs-Kompaktgerätes von unter 1.300 kWh gemessen, für die gesamte Haustechnik inklusive aller Hilfsantriebe für Heizen, Warmwasser, Solarumwälzung usw. wurden ungefähr 1.600 kWh verbraucht, das entspricht ca. 13,2 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. Dies entspricht trotz des hohen Heizwärmeverbrauches der Größenordnung des simulierten Wertes. Der entsprechende Primärenergiekennwert liegt unter 40 kWh Primärenergie/m<sup>2</sup> und Jahr, also deutlich unter dem geforderten Grenzwert von 65 kWh Primärenergie/m<sup>2</sup> und Jahr.

Neben den in Tabelle 1 dargestellten Ergebnissen ergaben sich folgende Charakteristika aus den Messungen des Solar-Passivhauses Büchenau:

- elektrische Effizienz der Lüftung: 0,37 Wh/m<sup>3</sup>
- Wärmebereitstellungsgrad Aerex: 74 %
- Fensteröffnungen minimal
- Mittlere Raumtemperatur ca. 22 °C
- Thermischer Komfort sehr hoch
- Warmwasserkomfort durchgehend gegeben
- Frostfreiheit nach Erdreichwärmetauscher
- Bereits mit einer relativ kleinen Photovoltaik-Anlage von 13-15 m<sup>2</sup> könnte ein Nullemissionshaus erreicht werden (ohne Haushaltsstrom).

### Demonstrationsprojekt Neuenburg mit 7 Reihenhäusern

In Neuenburg wurde eine Reihenhauszeile mit 7 Wohneinheiten in Passivhausbauweise errichtet (siehe Abbildung 15). Jedes Haus für sich ist mit thermischer Solaranlage, Erdreichwärmetauscher und Lüftungs-Kompaktgerät, das in einem Technikraum oben unter dem Dach installiert ist, ausgerüstet.

Das ISE hat das Projekt messtechnisch begleitet. Die Reihenhaussiedlung wurde von ganz „normalen“ Bewohnern bezogen, die nicht aus Forschungsinteressen oder aus ökologischen Interessen eingezogen sind. Sie wählten diese Häuser, weil sie kostengünstig waren und an einem Ort errichtet wurden, in dem sie ein Haus suchten und weil ihnen die Architektur gefiel. Diese Bewohner verhalten sich dementsprechend ganz

„normal“: Ein Teil von ihnen lüftet auch im Winter das Schlafzimmer über die Fenster, die meisten Bewohner haben das allerdings aufgegeben, allerdings nicht deswegen, weil sie es nicht mehr dürften, sondern weil sie spüren, dass sie auch, ohne das Fenster zu öffnen, frische Luft bekommen. In Abbildung 16 ist der monatliche Heizwärmeverbrauch eines ausgewählten Hauses aus der Heizperiode von Oktober 1999 bis April 2000 dargestellt. Über die Heizsaison werden 8 kWh/m<sup>2</sup> Heizwärme verbraucht, ein Wert für normale (Passiv-)Häuser mit ganz normalen Bewohnern.

In einem ausgewählten Haus wurde die Zeit gemessen, in der Fenster geöffnet war. Die Ergebnisse sind gemeinsam mit den Raumtemperaturen in Abbildung 17 dargestellt. Im November waren die Raumtemperaturen durch einige sonnige Tage erhöht, diese Wärme wurde über die Fenster weggeführt. Mit zunehmendem Abnehmen der Außentemperaturen und der Solarstrahlung wurden auch die Fenster von den Bewohnern viel weniger geöffnet, da das Bedürf-

**Kern in Massivbau, Außenwände als Holzleichtbau:**  
 - U<sub>opak</sub> < 0.12 W/m<sup>2</sup>K  
 - U<sub>Fenster</sub> = 0.80 W/m<sup>2</sup>K  
 - g<sub>Fenster</sub> = 0.60

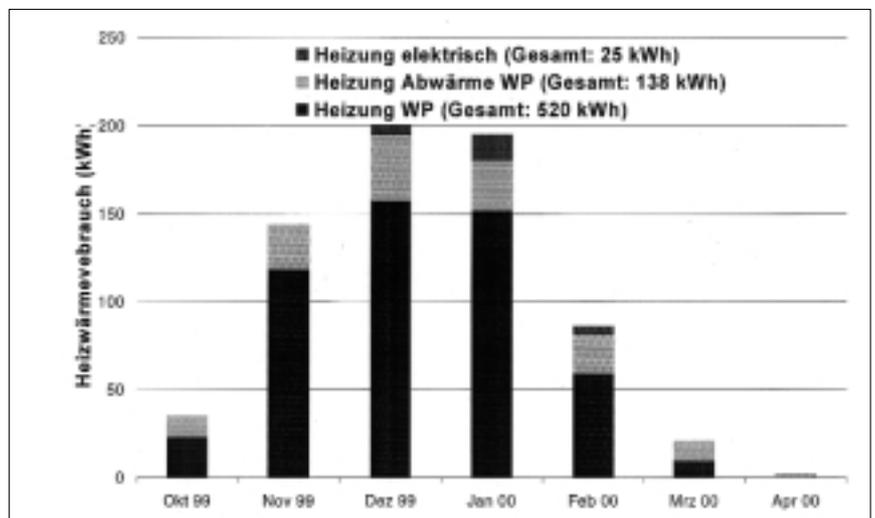
**jeweils:**  
 5 m<sup>2</sup> Solarkollektor,  
 60 m Erdregister  
 Lüftungs-Kompaktgerät Aerex

Architektur und Bauträger:  
 phosca, Freiburg & Grenz, Darmstadt



Abb. 15: Solarpassivhäuser Neuenburg

Abb. 16: Solarpassivhäuser Neuenburg, Deckung der Brauchwasserwärme



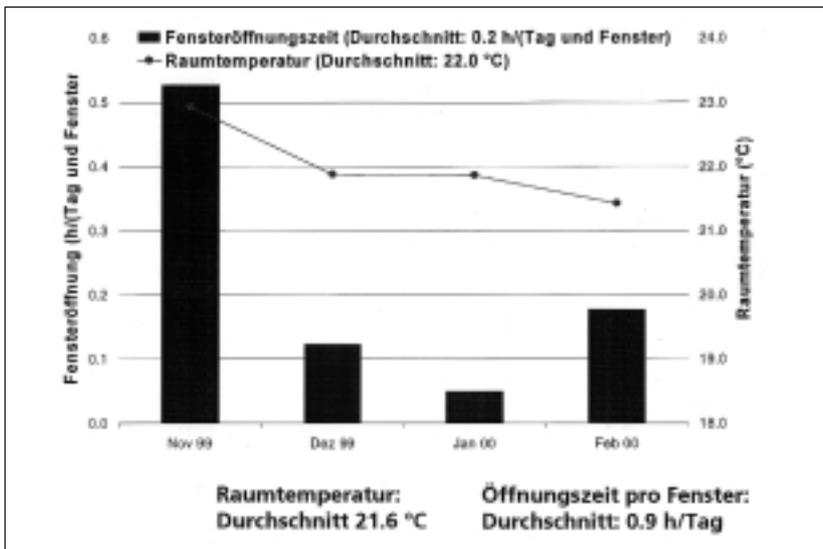


Abb. 17: Solarpassivhäuser Neuenburg, Fensteröffnung und Raumtemperatur in Kernheizperiode

Aus den Untersuchungen der Reihenhauszeile in Neuenburg können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

nis nicht mehr da war. Deutlich wird auch, dass die Raumtemperaturen immer im Bereich um 21 - 22 °C lagen und daher ein hoher thermischer Komfort geboten wurde.

Die Solaranlage konnte im Schnitt der Häuser ca. 45 % des Warmwasserbedarfs in den 7 winterlichen Monaten decken. Ein erstaunlich hoher Wert für knapp 5 m<sup>2</sup> thermische Solaranlage (siehe Abbildung 18). Die Wärmepumpe konnte mit 54 % fast den gesamten Restbedarf decken, die fehlenden 1 % an Wärmebedarf wurden mittels Heizstab zugeführt. Aufgrund des geringeren Heizwärmeverbrauches war also fast kein Heizstabeinsatz im Speicher notwendig.

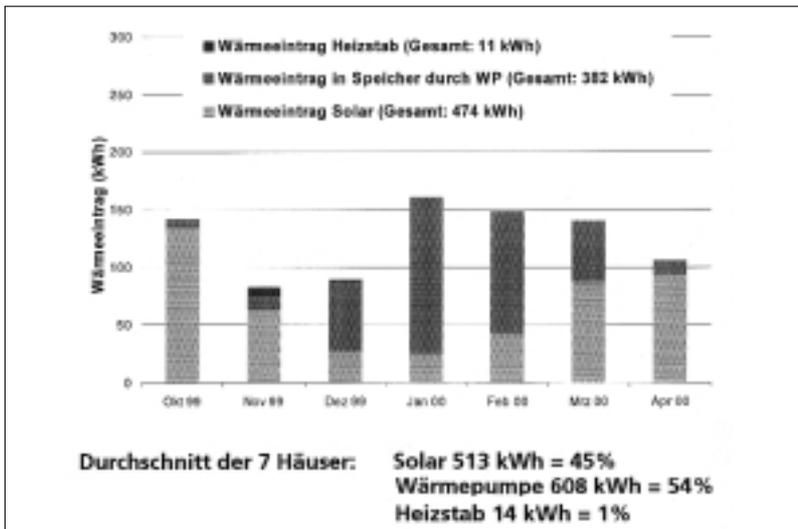


Abb. 18: Solarpassivhäuser Neuenburg, Deckung Brauchwasserwärme

- Die Bewohner kommen mit den Gebäuden und der installierten Technik gut zurecht.
- Die winterlichen Raumtemperaturen lagen in der gemessenen Heizperiode im Schnitt bei 21,6 °C
- Die Öffnung der Fenster hängt stark von den Außentemperaturen ab. Die meisten Bewohner haben bei tiefen Außentemperaturen kein Bedürfnis, die Fenster zu öffnen, da die Frischluft von der Lüftungsanlage eingebracht wird. Einzelne Bewohner öffnen die Fenster auch im Winter verstärkt. Das führt zu unwesentlich erhöhtem Heizwärmeverbrauch führt, da das System gar keine Reserven hat, die Solltemperatur zu halten. Die Folge ist eine etwas abgesenkte Raumtemperatur, die gerade von den Bewohnern gewünscht wird. Es handelt sich daher um keinen schädlichen Effekt, sondern ist durchaus zulässig und sogar gewünscht.
- Der Heizwärmeverbrauch liegt im Mittel bei 8,1 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr.
- Der Stromeinsatz für die gesamte Haustechnik liegt im Mittel bei 9 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr.
- Der Primärenergieverbrauch der Haustechnik lag in der Messperiode von Oktober 1999 bis April 2000 bei 27kWh/m<sup>2</sup> und Jahr. In den Sommermonaten wurden die Lüftungsanlagen vielfach ausgeschaltet, so dass sich ein Jahresstromverbrauch im Bereich von 10 bis max. 11 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr ergeben hat, womit sich ein Primärenergieverbrauch der Haustechnik von rund 30 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr ergibt, also weniger als die Hälfte des Passivhaus-Grenzwertes.

### Markteinführung mit Messungen

In Baden-Württemberg wurde vom Stromversorger Energie Baden-Württemberg ein Förderprogramm für Passivhäuser aufgelegt, die mit einer thermischen Solaranlage und einem Lüftungs-Kompaktgerät ausgerüstet sind. Die insgesamt 100 Häuser werden mit jeweils DM 10.000,- Investitionszuschuss (entspricht ca. 70.000,- ATS) subventioniert. Das ISE bekam den Auftrag, in diesen Häusern eine Verbrauchserfassung über 2 Jahre durchzuführen. Eine Intensivmessung wird in denjenigen Gebäuden durchgeführt, in denen Lüftungs-Kompaktgeräte ähnlichen Typs, aber anderer Hersteller eingesetzt werden. Durch die Erfahrungen können Optimierungsvorschläge auch an andere Hersteller weitergeleitet werden, so dass sich ein Anbietermarkt entwickeln kann.

## Schlussfolgerungen und Trends

Aus den realisierten und gemessenen Passivhaus-Projekten der letzten Jahre können also folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die zusätzlichen Investitionskosten für Passivhäuser gegenüber Gebäuden nach Wärmeschutzverordnung liegen derzeit noch in der Größenordnung von DM 250.– bis 350.–/m<sup>2</sup>, also zwischen ATS 1700.– bis 2500.– (rund 10 %). (Die Schwankungsbreite zwischen unterschiedlich ausgeführten Gebäuden nach Wärmeschutzverordnung ist allerdings viel größer!)
- Lüftungs-Kompaktgeräte haben sich im Praxiseinsatz bewährt
- Es gibt bereits Lüftungs-Kompaktgeräte einer Reihe von anderen Herstellern. Das ISE unterstützt diese in der Weiterentwicklung und führt Teststandsmessungen durch
- In Baden-Württemberg werden 100 Passivhäuser durch einen Stromversorger gefördert und vom ISE vermessen
- Für ungefähr DM 11.– Mehrkosten im Monat (entspricht ATS 77.–) werden Passivhäuser mit Lüftungskompaktgerät durch Bezug von Ökostrom zum Null-Emissionshaus
- Eine solare Volldeckung der Haustechnik kann durch eine Photovoltaikanlage mit 1,5 kWp erreicht werden (entspricht ca. 15m<sup>2</sup> Solarzellenfläche)

Insgesamt haben wir mit dem derzeitigen Stand der Gerätetechnik von Kompakt-Lüftungsgeräten eine gute Möglichkeit für Passivhäuser entwickelt, tatsächlich zu einer Kostendegression zu kommen, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Damit wäre das Passivhaus nicht nur die ökologisch vernünftigste Lösung, sondern auch die wirtschaftlichste.

## Diskussion

### Frage:

Sie haben vor 3 Jahren eine TRNSYS-Simulation gemacht. Haben Sie diesen prädikativen Regler mitsimuliert, um zu wissen, wieviel er bringen würde?

### Bühring:

Nein, bisher noch nicht. Da haben wir noch ein bisschen etwas zu tun.

### Frage:

Was sind die Klimadaten von Büchenau, wie viel Heizgradtage gibt es dort?

### Bühring:

Das sind 72 kKh/Jahr (entspricht 3000Kd). Im Passiv-Projektierungspaket stehen 84.

### Nachfrage:

Bei uns in Österreich ist das Klima im Durchschnitt deutlich kälter. Unsere Klimadaten für die Hauptbesiedelungsgebiete liegen bei 3.500 bis ungefähr 3.800 Heizgradtagtagen. Wie würde das Kompaktgerät da funktionieren?

### Bühring:

Die Simulationen, die ich anfangs gezeigt habe, wurden auch mit dem Würzburger Datensatz durchgeführt, der 3.500 Heizgradtage enthält. Das Ergebnis war eine Heizung mit verbrauchten 15 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr, in der Realität hatten wir 3.000 Kd (Heizgradtage) und kamen auf die entsprechenden 22 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr.

### Nachfrage:

Würde das auch funktionieren?

### Bühring:

Ich denke es würde immer noch funktionieren. Ich denke man müsste für ein deutlich kälteres Klima den Erdreichwärmetauscher dann etwas größer dimensionieren als nur die 20 m durchströmte Länge, ansonsten meine ich, dass es immer noch funktionieren würde.

**Frage:**

Sie haben davon gesprochen, dass dieser Kaufpreis der Neunburger Häuser sehr günstig war. Wissen Sie zufälligerweise Kaufpreis?

**Bühring:**

Der Kaufpreis ist unterschiedlich weil die Häuser unterschiedliche Wohnflächen von 80 bis 120 m<sup>2</sup> hatten, liegt aber ungefähr bei DM 300.000,- bis 350.000,-. (entspricht 2,1 bis 2,45 Mio ATS).

**Frage:**

Es könnte sein, dass die guten Werte, die Sie gezeigt haben, dadurch zustande gekommen sind, dass der Haushaltsstromverbrauch normal war, das wären ungefähr 4.000 kWh. Ist es so?

**Bühring:**

In Büchenau ist der Haushaltsstromverbrauch ein sehr normaler, nämlich ziemlich genau 3.500 kWh, das entspricht einem deutschen Durchschnittshaushalt. Es gibt zwei Kleinkinder im Haushalt. Leider stehen die zwei wesentlichen Stromverbraucher, nämlich die Waschmaschine und der Wäschetrockner, in der kalten Zone. Diese beiden verbrauchten mehr als ein Drittel des Haushaltsstromverbrauches, so dass die inneren Wärmequellen unter 1,4 W/m<sup>2</sup> lagen.

**Nachfrage:**

Also damit relativ unbeeinflusst war. Der Haushaltsstrom ist zwar hoch aber hat nicht geholfen, die Wärmepumpe sozusagen zu reduzieren. Also das ist damit ein positives - das ist positiv zu sehen, nur von der Haushaltsstromseite her negativ. Gut. Und bei den Neunburger Häusern?

**Bühring:**

Die Neunburger Häusern haben in diesen 7 Monaten ungefähr 2.000 kWh Strom verbraucht, d.h. über das Jahr hinweg werden sie im Haushaltsstrom ebenfalls auf ungefähr 3.500 kWh kommen. Also auch dort ziemlich durchschnittliche Haushalte. Bei diesen Häusern sind allerdings die Heizgeräte – diese Haushaltsgeräte sind tatsächlich Heizgeräte – innerhalb der thermischen Zone. Das merken wir auch sehr deutlich. Also es gibt einen Haushalt mit 3 Kindern, wo es einen elektrischen Wäschetrockner innerhalb der thermischen Zone gibt, der einen Heizwärmeverbrauch von 2 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr hat.

**Anmerkung:**

Eine Anmerkung noch zu den internen Wärmequellen. Das ist in der Tat ein ganz wichtiges Thema. 3.500 bis 4.000 kWh ist der durchschnittliche Haushaltsstrombedarf in Deutschland. Die Häuser sind allerdings sehr klein, d.h. die kWh Haushaltsstromverbrauch pro m<sup>2</sup> und damit auch die internen Wärmequellen sind relativ hoch bzw. sie sind eben überdurchschnittlich groß, weil im Durchschnitt die Wohnflächen größer sind. Solche Häuser sollte man – unabhängig davon, ob ein Aerex-Kompakt-Lüftungsgerät drin ist oder nicht – nach unseren Erfahrungen gerade, wenn es Einfamilienhäuser sind, auf jeden Fall simulieren. Es wird in der Literatur öfter gesagt, es reicht das mit PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket) auszurechnen, nach unseren Erfahrungen ist das nicht der Fall. Passivhäuser funktionieren, wenn sie sehr gut geplant sind und das sind sie, wenn sie gut simuliert sind. Und dann gehören solche Fragen, wie nach dem Klima und den internen Wärmequellen dazu.

**Bühring:**

Das finde ich auch eine wichtige Anmerkung von Ihnen. Deswegen rechne ich auch ungern mit dem Gesamtprimärenergieverbrauch von 120 kWh/m<sup>2</sup> und Jahr, wo dann eben der Haushaltsstrom mit drin ist, der dann eben impliziert, dass es einen Niedrigenergiehaushalt gibt von der haushaltsgerätetechnischen Seite, weil das kann man als Planer nicht beeinflussen, das weiß man nicht. Wichtig ist aber, dass das Haus funktioniert, wenn der Stromverbrauch so gering ist, dass man nicht mit höheren inneren Wärmequellen rechnet oder darauf baut, dass ineffiziente Geräte betrieben werden. In dem Büchenau-Haus hatten wir einen Normalhaushalt, einen normalen Stromverbrauch, aber leider soviel außerhalb der thermischen Zone, dass dann eben tatsächlich die 1,4 W/m<sup>2</sup> wie im Passivhaus-Projektierungspaket rauskommen. Aber völlig richtig, man darf ein Passivhaus nicht mit ineffizienten Geräten beheizen.

# Markteinführung von Passivhäusern

## Das Modellvorhabens 5-Liter-Haus Wittlich

Martin Ploß

### Zusammenfassung

Als Ergebnis von Forschungs- und Demonstrationsprojekten sind in den vergangenen Jahren in fast allen Bundesländern Wohngebäude entstanden, deren Endenergiebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung um mehr als 80% unter dem üblicher Neubauten liegt. Die Erfahrung beim Bau dieser Einzelprojekte – sogenannter Passivhäuser – zeigt, dass derartige Energieeinsparungen bei kompetenter Planung schon heute wirtschaftlich realisiert werden können. Der derzeitige Marktanteil von Passivhäusern ist trotz überdurchschnittlicher Wachstumsraten noch verschwindend gering. Die Markteinführung von energie- und kosteneffizienten Bauweisen kann forciert werden, wenn es gelingt, die Erkenntnisse aus dem Bau von Einzelgebäuden bei der Planung von Neubausiedlungen zu berücksichtigen und alle Baubeteiligten bei der Realisierung von Gebäuden mit niedrigstem Energiebedarf zu beraten.

Wichtige Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit energiesparender Bauweisen können schon in der Bauleitplanung geschaffen werden. Die Berücksichtigung energetischer Aspekte bereits im städtebaulichen Maßstab ist eine neue Herausforderung für Kommunen und Stadtplaner. Neben neuen Planungsinstrumenten zur energetischen Optimierung gilt es vor allem, Gesamtkonzepte zur Integration der neuen Fachdisziplin „Energieplanung“ in den Planungsprozeß zu entwickeln.

Ein Beispiel für ein solches Gesamtkonzept ist das vom Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz und der Stadt Wittlich finanzierte Modellvorhaben „5-Liter-Haus Wittlich“. Das Gesamtkonzept für das Modellvorhaben wurde vom Büro bau.werk, Kaiserslautern entwickelt. Die gesamte Projektabwicklung von der energetischen Optimierung eines Teilbereichs des Bebauungsplangebietes „Bölinger Flur“ bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Gebäude wird ebenfalls von bau.werk durchgeführt. Dabei werden im Rahmen der wissenschaftlichen Begleitung sowohl in der städtebaulichen Phase als auch zur energetischen Optimierung der Einzelprojekte neue Planungsinstrumente wie dynamische Gebäudesimulation und Wärmebrückenberechnungen eingesetzt. Die Architekten und Planer der Einzelprojekte werden in einfache, computergestützte Programme zur Abschätzung des Energiebedarfs eingewiesen.

Durch die energetische Optimierung im städtebaulichen Maßstab konnten Heizenergieeinsparungen von 20 bis 30% gegenüber der ursprünglichen Planung erzielt werden, ohne dass Mehrkosten für die Bauherren entstanden.

Als Resultat des Gesamtkonzepts entstehen ca. 13 zum Großteil von Planern aus der Region individuell geplante Projekte mit etwa 30 Wohneinheiten, die im Vergleich zu architektonisch identischen Gebäuden nach WSV0'95 mindestens 60% weniger End- und Primärenergie für Heizung und Warmwasser benötigen.

Knapp die Hälfte der in unterschiedlichen Bauweisen errichteten Gebäude erreicht Einsparungen von mehr als 80% und damit das Passivhausniveau. Ein solcher Erfolg ist nur möglich, wenn es im Rahmen der Projektbegleitung durch die Energieexperten gelingt, Vorurteile und Bedenken gegen den Bau von Passivhäusern abzubauen.

Die Baukosten der im Rahmen des Modellvorhabens geplanten Gebäude liegen zum Teil deutlich unter den durchschnittlichen reinen Baukosten für Einfamilien- und Doppelhäuser in Rheinland-Pfalz lt. Statistischem Landesamt.

### Konzepte zur Markteinführung energieeffizienter Bauweisen – die Rolle der Kommunen

Die Markteinführung energieeffizienter Bauweisen ist auf den ersten Blick keine originär kommunale Aufgabe. Sollen jedoch die in den 90er Jahren im politischen Konsens beschlossenen Klimaschutzziele erreicht

werden, so sind neben weiteren Forschungsanstrengungen zur Verbesserung der Energieeffizienz Konzepte zur Markteinführung verfügbarer Techniken von zentraler Bedeutung. Die Randbedingungen für diese Markteinführung werden von den verschiedenen politischen Ebenen mitbestimmt. Eine mögliche Aufgabenverteilung zwischen den politischen Ebenen wird im folgenden skizziert:

### **Bund**

Der Bund hat durch Gesetze und Verordnungen die Möglichkeit, Grenzwerte für Energiebedarf und Schadstoffemissionen zu setzen. Er kann darüber hinaus durch gezielte Programme Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz oder zur Nutzung erneuerbarer Energien, fördern. Beispiele im Bereich des Bauwesens sind energetische Mindeststandards, die in der Wärmeschutzverordnung und ab 2001 in der Energieeinsparverordnung bundesweit einheitlich festgesetzt werden. Fördermaßnahmen sind etwa die Ökocomponenten im Rahmen des Eigenheim-Zulagengesetzes für Niedrigenergiehäuser oder Solaranlagen oder zinsvergünstigte Kredite der Kreditanstalt für Wiederaufbau für Photovoltaikanlagen oder Passivhäuser. Der Bund kann ferner mit den Mitteln der Steuergesetzgebung indirekt auf die Wirtschaftlichkeit von Energiesparmaßnahmen Einfluss nehmen: die Verteuerung fossiler Brennstoffe („Ökosteuern“) verbessert die Chancen von Maßnahmen zur effizienten Energienutzung.

### **Länder**

Auch die Bundesländer haben über Gesetze und Verordnungen sowie über Förderprogramme die Möglichkeit, günstige Randbedingungen für die Umsetzung von Klimaschutzzielen zu ermöglichen. So werden etwa in einigen Bundesländern Mittel für den sozialen Wohnungsbau nur vergeben, wenn ein energetischer Mindeststandard (strenger als nach den bundesweiten Regelungen der Wärmeschutzverordnung) eingehalten wird. Die Initiative einiger Bundesländer (Hessen, NRW) zur Qualifizierung von Architekten, Planern und Bauschaffenden in Impulsprogrammen zeigt weitere wichtige Gestaltungsmöglichkeiten der Länder auf.

Große Bedeutung haben landesweite, dezentral durchgeführte Demonstrationsvorhaben, in denen der Bevölkerung innovative Konzepte nahegebracht werden können. Wie das Beispiel „50 Solarsiedlungen NRW“ zeigt, sollten die Länder dabei mit Kommunen kooperieren und kommunale Demonstrationsvorhaben finanziell und organisatorisch unterstützen.

### **Kommunen**

Die von Bund und Ländern initiierten Anstrengungen zur Markteinführung energieeffizienter Bauweisen bedürfen der Umsetzung auf lokaler Ebene. Den Kommunen kommt daher eine wichtige Rolle zu. Im folgenden sind die wichtigsten kommunalen Einflussmöglichkeiten dargestellt.

### **Städtebauliche Instrumente**

Die Kommunen verfügen mit ihrer Planungshoheit über vielfältige Möglichkeiten (FNP, Bebauungsplan...), mit denen die Energieeffizienz von Siedlungen und Einzelgebäuden beeinflusst werden kann. Die Nutzung dieser Möglichkeiten – etwa durch die energetische Optimierung von Bebauungsplänen – schafft die Voraussetzungen für die wirtschaftliche Realisierung energieeffizienter Einzelgebäude. Durch die energetische Optimierung im städtebaulichen Maßstab kann der Heizwärmebedarf von Siedlungen um bis zu 15% gesenkt werden.

### **Bodenmanagement**

Durch ein aktives Bodenmanagement können Kommunen ihren Handlungsspielraum bei der Umsetzung von Klimaschutzzielen erheblich steigern: In privatrechtlichen Verträgen zwischen Kommune und Grundstückskäufer können auch energetische Ziele – etwa in Form von Höchstwerten für den spezifischen End- und Primärenergiebedarf – verbindlich festgesetzt werden.

### **Informations- und Beratungsdienstleistungen**

Die städtebaulichen Instrumente sind jedoch nur ein Teil der kommunalen Möglichkeiten, günstige Randbedingungen für die Markteinführung von energieeffizienten Bauweisen zu schaffen: Idealerweise zieht sich die von der Kommune koordinierte energetische Optimierung wie ein roter Faden durch alle Planungsphasen von der Flächennutzungsplanung über die Bebauungsplanung und die Planung der Einzelgebäude bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Gebäude.

Diese zusätzlichen Dienstleistungen der von den Kommunen koordinierten energetischen Optimierung in allen Planungsphasen sollte an spezialisierte Planungsbüros extern vergeben werden.

### **Vorgehensweise bei der energetischen Optimierung von Siedlungen am Beispiel des Modellvorhabens 5-Liter-Haus Wittlich**

Die Vorgehensweise bei der energetischen Optimierung von Siedlungen wird nachfolgend am Beispiel des Modellvorhabens 5-Liter-Haus Wittlich vorgestellt.

Der beschriebene Ablauf der energetischen Optimierung von der städtebaulichen Ebene bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Einzelgebäude ist kein starrer Rahmen, er hat sich jedoch in der Praxis bewährt und kann als Checkliste für kommunale Projekte zur Realisierung energieeffizienter Siedlungen verwendet werden.

#### **Zielsetzung**

Inhaltliches Ziel des Modellvorhabens ist es, am Beispiel von etwa 30 Wohneinheiten zu demonstrieren, dass Endenergieeinsparungen von mehr als 60% im Vergleich zu Neubauten nach Wärmeschutzverordnung '95 bei kompetenter Planung schon heute wirtschaftlich realisiert werden können. Weiterhin soll aufgezeigt werden, dass die energetischen Anforderungen weder die gestalterische Freiheit einengen, noch bestimmte Konstruktionsarten voraussetzen.

Methodisches Ziel ist es, ein Gesamtkonzept zur Berücksichtigung energetischer Aspekte in allen Planungsphasen vom Städtebau bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Einzelgebäude zu entwickeln. Bei der Entwicklung dieses Gesamtkonzepts spielt die Baustruktur in Rheinland-Pfalz, als vorwiegend ländlich geprägtes Flächenland mit dem höchsten Anteil an Einfamilienhäusern im gesamten Bundesgebiet, eine wesentliche Rolle:

Eine wichtige Vorgabe für die Umsetzung der inhaltlichen Projektziele ist deshalb die Einbeziehung von möglichst vielen Architekten, Planern, Bauhandwerkern und Bauträgern aus der Region. Durch das Modellvorhaben soll der Wissenstransfer von der Forschung in die Praxis der Architekten, Planer und Handwerker vor Ort beschleunigt werden.

Die frühzeitige Beschäftigung mit dem Thema des energie- und kosteneffizienten Bauens soll letztlich zur Sicherung und Schaffung von zukunftsfähigen Arbeitsplätzen in der Baubranche beitragen. Durch die intensive projektbegleitende Öffentlichkeitsarbeit soll das Interesse am Thema des energie- und kostengünstigen Bauens gesteigert werden.

#### **Plangebiet und wichtige Randbedingungen**

Die Kreisstadt Wittlich ist mit knapp 18.000 Einwohnern und ca. 16.000 Beschäftigten ein wichtiges Mittelzentrum zwischen Trier und Koblenz. Das Plangebiet liegt in Wengerohr, dem mit etwa 2.600 Einwohnern größten der 1969 eingemeindeten Ortsteile. Wengerohr ist ländlich geprägt und verfügt über eine gute Anbindung sowohl an den öffentlichen Verkehr – der Hauptbahnhof von Wittlich liegt in Wengerohr - als auch an das überörtliche Straßennetz.

Für das Modellvorhaben stellt die Stadt Wittlich etwa 30 der insgesamt ca. 70 Grundstücke zur Bebauung mit freistehenden Einfamilienhäusern, Doppel- und Reihenhäusern zur Verfügung. Das gesamte Gelände wurde im Rahmen des Bodenmanagements vor der Überplanung von der Stadt Wittlich erworben.

Zum Zeitpunkt der Beauftragung zur energetischen Optimierung und zur wissenschaftlichen Begleitung des Projekts bestand bereits ein rechtskräftiger Bebauungsplan, in dem Teilbereiche für ein noch nicht genau definiertes Modellvorhaben vorgesehen waren. Das vorgesehene Gestaltungskonzept wurde als Resultat der energetischen Optimierung verändert. Abbildung 1 zeigt das Gebiet des Bebauungsplans „Bölinger Flur“. Die mit den Ziffern 7/1, 7/2 und 7/3 gekennzeichneten Flächen wurden von der Stadt für das Modellvorhaben reserviert, die vierte gekennzeichnete Fläche steht als Vorbehaltsfläche für weitere Interessenten zur Verfügung. Da das Modellvorhaben auf reges Interesse stieß, werden auch auf diesen Flächen Energiesparhäuser entstehen.

Das Gelände ist annähernd eben.



Abb. 1: Bebauungsplangebiet  
„Bölinger Flur“

Der größte Teil des Baugebiets liegt in Wasserschutzzone 3, ein kleinerer Teil in Wasserschutzzone 2. Die Beheizung mit Öl ist aus Gründen des Wasserschutzes im Bebauungsplan ausgeschlossen. Um die Deckschicht nicht zu durchbrechen, ist eine Unterkellerung der Gebäude nicht zulässig.

Die Durchführung eines Modellvorhabens zum Thema des energie- und kosteneffizienten Bauens wurde von Anfang an von allen im Stadtrat vertretenen politischen Parteien unterstützt und vom Stadtplanungsamt forciert.

### Organisation und zeitlicher Ablauf

Erste Gespräche bezüglich der wissenschaftlichen Projektbegleitung fanden Ende Juli 1997 statt. Da die Erschließung des Gebiets durch das Modellvorhaben zum energieeffizienten Bauen nicht verzögert werden sollte, war die schnelle Umsetzung von Anfang an ein wichtiges Ziel der Stadt Wittlich. Erste Aufgabe nach Beauftragung war die Ausarbeitung der genauen Zielsetzung, der Organisation des Projekts sowie des Zeitplans. In enger Abstimmung mit der Stadtverwaltung wurde im September 97 ein Antrag auf Förderung im Rahmen des ExWoSt-Programms beim Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz gestellt. Die ersten Vorstellungen des Projekts in Planungsausschuß und Stadtrat sowie erste Informationsveranstaltungen für Bauinter-

interessenten fanden im Oktober 97 statt, der ExWoSt-Antrag wurde im Dezember 97 angenommen. Das Modellvorhaben wird vom Ministerium der Finanzen und der Stadt Wittlich gemeinsam finanziert.

Der ursprünglich vorgesehene Baubeginn im Laufe des Jahres 1998 konnte nicht eingehalten werden, da sich bei der Erschließung des Gebiets unvorhergesehene Verzögerungen einstellten. Nach Abschluß der Erschließungsarbeiten konnte im Mai 1999 mit dem Bau der ersten Wohneinheiten begonnen werden, weitere Projekte folgten im Laufe des Jahres 2000.

### Projektstruktur und Vorgehensweise

Der Erfolg von Projekten zur energetischen Optimierung von Neubausiedlungen hängt in erheblichem Maße von der Strukturierung der fachlichen Arbeiten und von der Abstimmung zwischen allen Projektbeteiligten ab. Da sich die energetische Optimierung idealerweise als roter Faden durch alle Planungs- und Realisierungsphasen von Neubausiedlungen, also von ersten städtebaulichen Ideen bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Einzelgebäude ziehen sollte, muss die Projektstruktur sehr genau die wichtigsten örtlichen Randbedingungen berücksichtigen.

Die Struktur von zwei Projekten mit gleicher inhaltlicher Zielsetzung wird wegen der individuell verschiedenen Randbedingungen unterschiedlich ausfallen müssen.

Die wichtigsten bei der Konzeption der Projektstruktur für das Modellvorhaben in Wittlich zu berücksichtigenden Randbedingungen sind:

- Eigentumsverhältnisse im Plangebiet (Privatbesitz oder städtischer Besitz)
- kommunalpolitische Akzeptanz des Vorhabens
- Akzeptanz des Vorhabens in den beteiligten Ämtern der Stadtverwaltung
- Akzeptanz des Projekts bei Bauinteressenten
- Planungsphase, ab der die energetischen Optimierung berücksichtigt werden kann
- Geplante Art der Realisierung der Einzelgebäude (Einzelbauherren oder Bauträger)
- Geplante Bebauungsstruktur (EFH, DH, RH, MFH)
- Wissensstand der beteiligten Architekten, Planer und Bauhandwerker zum energie- und kosteneffizienten Bauen
- Höhe des Projektetats und Möglichkeiten zur Umlegung der Planungskosten.

Das Konzept zur energetischen Optimierung des Modellvorhabens „5-Liter-Haus Wittlich“ wird im Folgenden erläutert. Die Darstellung ist in etwa chronologisch aufgebaut, die Teilleistungen der einzelnen Phasen greifen ineinander und sind aufeinander abgestimmt.

### **Phase 1: Energetische Optimierung des Bebauungsplans**

Wichtige Randbedingungen für die Wirtschaftlichkeit der Realisierung von energieeffizienten Gebäuden werden schon in der Ebene der Bauleitplanung festgelegt. Die im Bebauungsplan festgesetzten Parameter wie Bebauungsdichte, Gebäudetyp, Anzahl der Geschosse, Dachneigung, Gebäudeabstand und Orientierung beeinflussen nicht nur die städtebauliche Gestalt und die Baukosten der Gebäude, sondern auch deren Wärmeverluste und solare Wärmegewinne und damit ihren Heizwärmebedarf.

Für die Teilbereiche des vorhandenen Bebauungsplans „Bölinger Flur“, die für das Modellvorhaben reserviert wurden, wurde deshalb mit Hilfe dynamischer Gebäudesimulationsprogramme eine energetische Optimierung durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Teilaspekte untersucht:

- Einfluss des Gebäudetyps (freistehendes Einfamilienhaus, Doppelhaus, Reihenhaus) auf den Heizwärmebedarf.
- Einfluss der Orientierung der Gebäudehauptfassade auf den Heizwärmebedarf und die Behaglichkeit im Gebäude.
- Einfluss der gegenseitigen Gebäudeverschattung auf den Heizwärmebedarf.

Der Einfluss der Verschattung durch die Topographie musste wegen der Lage des Gebiets in der Ebene nicht untersucht werden.

Da das energetische Niveau der geplanten Gebäude zum Zeitpunkt der energetischen Optimierung des Bebauungsplans noch nicht endgültig festgelegt werden konnte, wurden die Untersuchungen für Beispielgebäude in unterschiedlichen energetischen Niveaus durchgeführt. Der Schwerpunkt lag auf Gebäuden, die gegenüber architektonisch identischen Gebäuden nach WSVO '95 einen um etwa 50 bis 60% reduzierten Heizwärmebedarf haben. Vergleichsberechnungen wurden aber auch für Gebäude nach WSVO '95 und für Passivhäuser durchgeführt.

Im Folgenden wurden mit Hilfe von dynamischen Simulationsprogrammen die gewählten Beispielgebäude (Einfamilienhaus, Doppelhaus, Reihenhaus) in unterschiedlicher städtebaulicher Anordnung als dreidimensionale Modelle eingegeben. Auf der Grundlage stündlicher Wetterdaten wurden für jedes Gebäude – zum Teil für jeden Raum – Energiebilanzen und Innenraumtemperaturen berechnet.

Da die aufgeführten städtebaulichen Einflussparameter auf den Heizwärmebedarf und die Behaglichkeit im Gebäude sich gegenseitig beeinflussen, sind Abschätzungen nur mit geeigneten Simulationsprogrammen möglich. Verschattungsstudien mit CAD-Programmen liefern keine quantifizierbaren Ergebnisse und sind deshalb ungeeignet.

Die wichtigsten Ergebnisse werden zum besseren Verständnis im folgenden getrennt für die einzelnen Parameter dargestellt. Eine Bewertung verschiedener städtebaulicher Varianten ist nur bei einer gleichzeitigen Berücksichtigung aller relevanten Parameter möglich.

Alle dargestellten Untersuchungen wurden für das Plangebiet „Bölinger Flur“ durchgeführt. Die Ergebnisse – besonders Einzelaspekte – können daher nicht verallgemeinert werden.

### **Einfluss des Gebäudetyps auf den Heizwärmebedarf**

Durch die Wahl des Gebäudetyps wird das Verhältnis von Gebäudehüllfläche zu Gebäudevolumen (A/V-Verhältnis) maßgeblich beeinflusst. Gebäude mit besserem A/V-Verhältnis haben geringere Wärmeverluste und damit einen geringeren Heizwärmebedarf.

Der Einfluß des Gebäudetyps auf den Energiebedarf von Gebäuden in zwei energetischen Niveaus ist in Abbildung 2 dargestellt.

Für beide untersuchten energetischen Niveaus liegt der Energiebedarf von Doppelhäusern um etwa 15% unter dem von freistehenden Einfamilienhäusern in gleicher energetischer Ausführungsqualität. Der Heizwärmebedarf des untersuchten Reihemittelhauses liegt um etwa 25 bis 33% unter dem des Einfamilienhauses.

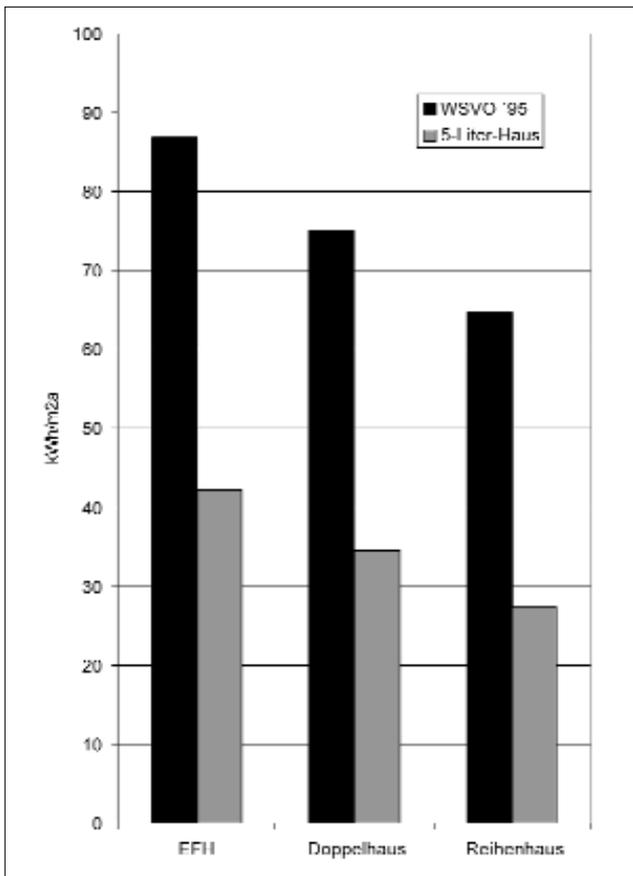


Abb. 2: Einfluss des Gebäudetyps auf den Energiebedarf

Auf der Grundlage dieser Berechnungen wurde für den Bereich des Modellvorhabens eine Bebauung vorwiegend mit Doppelhäusern vorgeschlagen. Die Anzahl der Gebäude wurde mit Zustimmung der politischen Gremien gegenüber der ursprünglichen Planung erhöht.

Die Verdichtung der Bebauung war die strittigste der aus energetischen Gründen vorgeschlagenen Veränderungen des Bebauungsplans. Die Zustimmung konnte letztlich durch zusätzliche Beispielrechnungen zu den Gesamtkosten von freistehenden Einfamilienhäusern und Doppelhäusern gleicher Wohnfläche erreicht werden. Weitere Argumente für die Erhöhung der Dichte waren die innerörtliche Lage des Plangebiets und der sparsame Umgang mit der Resource Boden.

### **Einfluss der Orientierung der Gebäudehauptfassade auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit im Gebäude**

Energiesparende Gebäude können prinzipiell in jeder Orientierung errichtet werden. Die Orientierung der Gebäudehauptfassade hat jedoch einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Wärmebedarf und auf die Behaglichkeit im Gebäude.

Je geringer der Wärmebedarf, desto höher ist der Anteil der Solarenergiegewinne durch Fenster an den Gesamt-Wärmegewinnen des Gebäudes. Eine Reduktion der Solargewinne durch Verdrehen der Gebäudehauptfassade aus der Südrichtung führt deshalb in energiesparenden Gebäuden zu einer stärkeren prozentualen Erhöhung

des Heizwärmebedarfs als in energetisch schlechteren Gebäuden.

Die Untersuchung des Einflusses der Orientierung auf den Heizwärmebedarf ist für Siedlungen mit niedrigem Energiebedarf – gerade bei Gebieten mit geringer Bebauungsdichte von großer Bedeutung. Dies bedeutet nicht, dass Niedrigenergiehaus-siedlungen zwangsweise nur südorientiert sein müssen, die Auswirkung der Orientierung sollte jedoch als ein quantifiziertes Kriterium im Entscheidungsprozess bei der Erarbeitung von Bebauungsvorschlägen berücksichtigt werden.

Unabhängig vom energetischen Niveau des Gebäudes (WSVO '95, Niedrigenergiehaus oder Passivhaus) haben südorientierte Gebäude den niedrigsten Heizwärmebedarf. Wird die Gebäudehauptfassade aus der Südrichtung gedreht, so steigt der Heizwärmebedarf an. Je geringer der Heizwärmebedarf des Gebäudes, desto größer wird der Einfluss der Orientierung: Ein untersuchtes Beispiel-Einfamilienhaus (Abbildung 3) im Niedrigenergiehausniveau hat bei Westorientierung einen etwa 11 % höheren Heizwärmebedarf als das identische Gebäude in Südausrichtung, im Passivhausniveau beträgt der Mehrbedarf sogar 39 %. Da in Zukunft in immer mehr Baugebieten Passivhäuser entstehen werden, wird die Berücksichtigung der Orientierung in der städtebaulichen Planung ein immer wichtigerer Teilaspekt.

Der Einfluß der Orientierung auf den Energiebedarf hängt neben dem energetischen Gebäudeniveau von einer Vielzahl von Faktoren – etwa der Verschattung durch Topographie, Nachbarbebauung, und Vegetation - ab. Da auch weitere gebäudespezifische Aspekte wie Fensteranordnung und -qualität – bei der Untersuchung des Einflusses der Orientierung berücksichtigt werden müssen, können die in Abbildung 3 dargestellten Zahlen nicht auf andere Projekte übertragen werden.

Die energetische Optimierung von Bebauungsplänen ist eine ebenso individuelle Aufgabe, wie die städtebauliche Planung selbst. Da sie die Energiesparmaßnahme mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis ist, sollte sie für jedes neu auszuweisende Baugebiet ausgeführt werden.

Die Orientierung der Fensterflächen beeinflusst nicht nur den Heizwärmebedarf, sondern auch die Behaglichkeit im Gebäude. Große West- und Ostverglasungen führen zu deutlich stärkeren Überhitzungsproblemen als gleich große Südverglasungen. Die Zahl der Überhitzungsstunden in westorientierten Stunden kann je nach Energieniveau und Fensterflächenanteil mehr als doppelt so hoch sein wie in identischen, aber südorientierten Gebäuden.

Als Konsequenz der Untersuchungen zum Einfluss der Orientierung wurden mehrere Bebauungsvorschläge entwickelt, in denen alle 22 Gebäude im Bereich des Modellvorhabens südorientiert sind. Gegenüber der ursprünglichen Orientierung (etwa 30° nach Süd-Westen verdreht) konnte für die beispielhaft untersuchten Doppelhäuser im Passivhausniveau eine kostenlose Heizenergieeinsparung von mehr als 10% nachgewiesen werden.

Alternativ zur Veränderung des Bebauungsplanes wäre diese Energieeinsparung von 10% durch bauliche Maßnahmen wie dickere Dämmung, bessere Verglasung oder eine bessere Lüftungsanlage möglich gewesen. In detaillierten Beispielrechnungen wurden die Mehrkosten dieser Maßnahmen zu 3.000 bis 4.500 DM pro Wohneinheit bestimmt.

Die Veränderung der Gebäudeorientierung führte also unter den beschriebenen Randbedingungen für die Bauherren zu einer Kostenreduktion von 3.000 bis 4.500 DM pro Wohneinheit. Die Untersuchung der Auswirkungen der Gebäudeorientierung auf Heizwärmebedarf und Behaglichkeit ist ohne Berücksichtigung dieser Kostenaspekte nicht vollständig, da die Baukosten für übliche Bauherren ein wichtiges Entscheidungskriterium sind.

### **Einfluss der gegenseitigen Gebäudeverschattung auf den Heizwärmebedarf**

Der Einfluss der gegenseitigen Gebäudeverschattung auf den Heizwärmebedarf wurde für einen südorientierten Bebauungsvorschlag untersucht. Trauf- und Firsthöhe der Gebäude wurden mit 6 und 9 m aus dem vorhandenen B-Plan übernommen. Verglichen wurde der Heizwärmebedarf von Gebäuden mit Satteldach und mit Pultdach in 8 bis 22 m Abstand zur Nachbarbebauung. Abbildung 4 zeigt exemplarisch den Schattenwurf am 2. Januar um 15 Uhr am Beispiel einer Gebäudegruppe mit Satteldach.

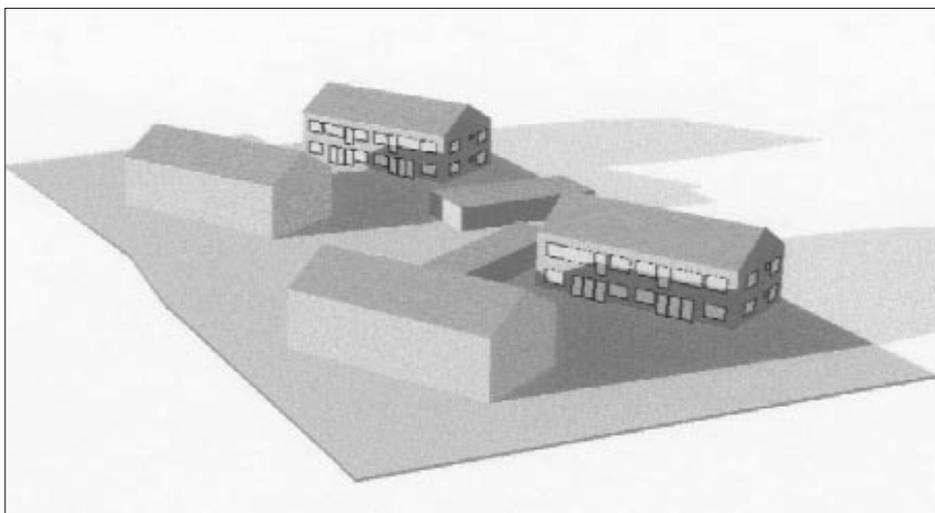


Abb. 4: Beispiel einer Verschattungsstudie

Ähnliche Verschattungsbilder können grafisch ansprechender mit üblichen CAD-Programmen generiert werden.

Anhand solcher CAD-Verschattungsbilder kann jedoch der Einfluß der Verschattung auf den Heizwärmebedarf nicht quantifiziert werden. Erst die Verknüpfung einer dreidimensionalen CAD-Darstellung mit den energierelevanten Eingabeparametern in einem dynamischen Simulationsprogramm erlaubt diese Quantifizierung. Wegen der Komplexität der Wirkungszusammenhänge im Energiehaushalt von Gebäuden und der Vielzahl der zu berücksichtigenden Parameter sind Pauschalaussagen über die Wirkung einzelner Einflussgrößen wie Gebäudeverschattung ohne geeignete Hilfsinstrumente nicht möglich.

Die Verschattung durch die untersuchten Gebäude mit nach Süden ansteigendem Pultdach ist bei gleichem Abstand zur Nachbarbebauung deutlich geringer als die durch Gebäude mit Satteldach. Bei einem Gebäudeabstand der Satteldachgebäude von 18 m (= doppelte Firsthöhe) beträgt der Mehrbedarf gegenüber unverschatteten Gebäuden

Abb. 5: Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von Dachform und Abstand der Nachbarbebauung am Beispiel einer untersuchten Hausgruppe

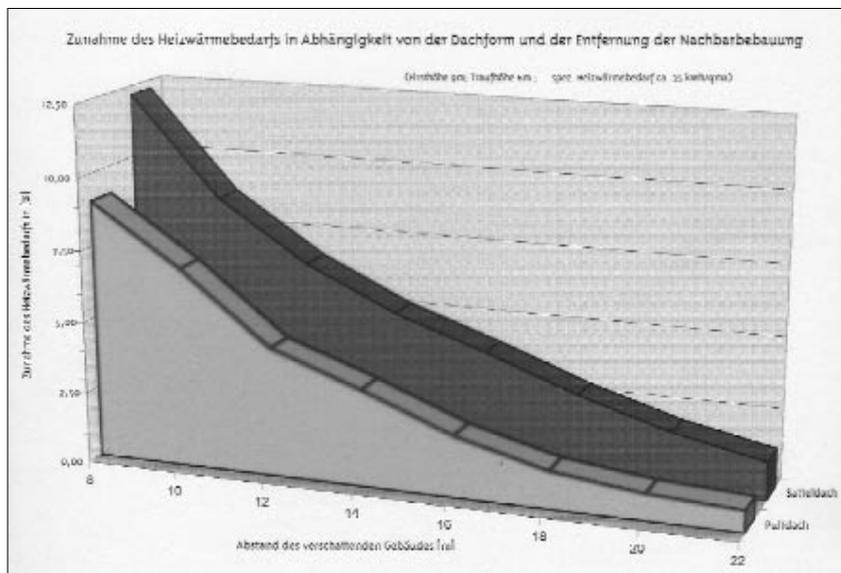




Abb. 6: Einfluss der Orientierung auf den Heizwärmebedarf eines Beispielgebäudes in unterschiedlichen Energieniveaus

etwa 3 %, bei 8m Abstand etwa 12,5 %. Für Gebäude im Passivhaus-Niveau ist der Einfluss der Gebäudeverschattung auf den Heizwärmebedarf noch höher.

Für die Gebäude des Modellvorhabens wurde der Abstand auf 16 m festgelegt. Diese Festlegung minimiert die gegenseitige Gebäudeverschattung ohne die Grundstücke zu stark zu vergrößern. Gerade in diesem Punkt zeigt sich die Notwendigkeit der engen Zusammenarbeit zwischen Stadtplaner und Energieexperten.

Unter Berücksichtigung der untersuchten Teilaspekte – angestrebtes Energieniveau, Gebäudeorientierung, Gebäudetyp und gegenseitige Gebäudeverschattung – wurden am vorhandenen Bebauungsplan in den für das Modellvorhaben vorgesehenen Bereichen Veränderungen vorgenommen. Abbildung 6 zeigt einen Bebauungsvorschlag zu diesem veränderten Bebauungsplan.

### Phase 2: Festlegung von Mindestanforderungen an die energetische Qualität der Einzelgebäude

Da die Stadt Wittlich seit Jahren ein aktives Bodenmanagement betreibt und Eigentümerin der Grundstücke im Bebauungsplangebiet war, war es möglich, die energetischen Mindestanforderungen an die 22 Gebäude im Bereich des Modellvorhabens (Teilbereiche 7/1, 7/2 und 7/3 des Bebauungsplans, siehe Abb. 2) in privatrechtlichen Grundstückskaufverträgen verbindlich festzulegen. Für die 8 Grundstücke der Vorbehaltsfläche ist die Einhaltung der Grenzwerte nicht zwingend vorgeschrieben. Die Erwerber dieser Grundstücke erhalten die kostenlose Energieberatung, haben aber keinen Anspruch auf Baukostenzuschüsse aus dem Sponsoring-Pool (siehe Kapitel 3.5).

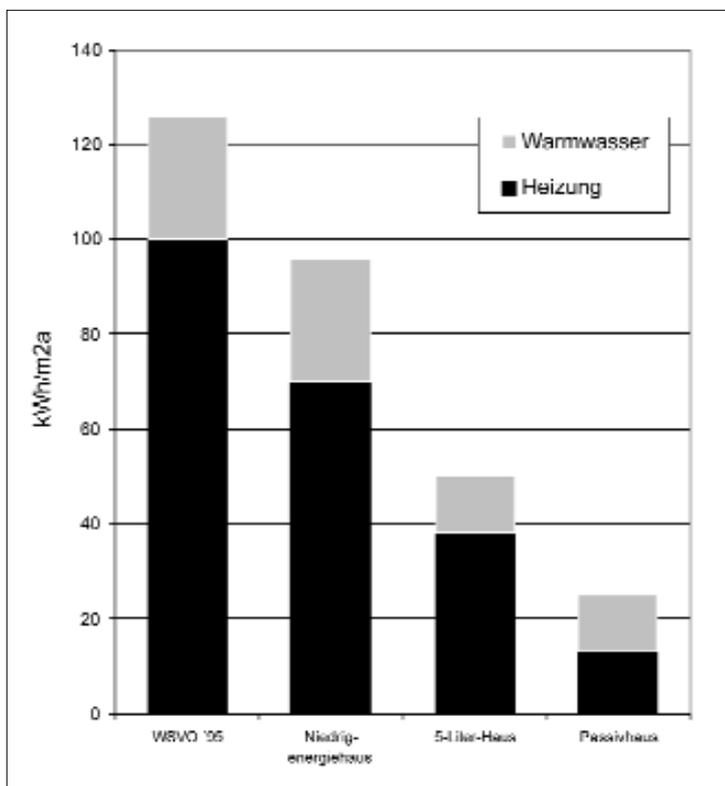


Abb. 7: Energiekennwerte architektonisch identischer Doppelhäuser in unterschiedlichen energetischen Niveaus

Die energetischen Mindestanforderungen an die Gebäude des Modellvorhabens wurden durch Energiekennwerte beschrieben.

Erste Nachweisgröße für das Modellvorhaben 5-Liter-Haus Wittlich ist der Endenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub>. Die Einbeziehung des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung ist sinnvoll, da diese oft vom Heizsystem übernommen wird. Der Endenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> gibt an, wieviel Energie (in Form von Erdöl, Gas, Strom etc.) dem Haus zur Beheizung und zur Warmwasserbereitung zugeführt werden muß. Aus Praktikabilitätsgründen wurde der Strombedarf (Haushaltsstrom + Strom für Pumpen und Lüfterventilatoren) nicht als Nachweisgröße berücksichtigt.

Der zulässige Grenzwert wurde auf 50 kWh/m²a = 5 Liter Öläquivalent pro m² festgelegt. Gegenüber architektonisch identischen Gebäuden nach WSVO '95 bedeutet dies eine Reduktion von etwa 60%. Einen Vergleich der Endenergiekennwerte zeigt Abbildung 7.

Als Berechnungsprogramm wird nicht das Rechenverfahren nach WSVO '95 eingesetzt, da dieses in der Regel Ergebnisse liefert, die deutlich unter dem tatsächlichen Verbrauch in bewohntem Zustand liegen. Zur energetischen Optimierung, d.h. zum Vergleich der Effektivität verschiedener Energiesparmaßnahmen ist das Rechenverfahren nach WSVO '95 gänzlich ungeeignet. Zur Abschätzung des Endenergiebedarf wurde den Projektarchitekten das an EN 832 angelehnte Passivhaus-Projektierungspaket zur Verfügung gestellt und erläutert. Die verbindliche Berechnung der Ener-

Verbrauch in bewohntem Zustand liegen. Zur energetischen Optimierung, d.h. zum Vergleich der Effektivität verschiedener Energiesparmaßnahmen ist das Rechenverfahren nach WSVO '95 gänzlich ungeeignet. Zur Abschätzung des Endenergiebedarf wurde den Projektarchitekten das an EN 832 angelehnte Passivhaus-Projektierungspaket zur Verfügung gestellt und erläutert. Die verbindliche Berechnung der Ener-

gieekennwerte für das Modellvorhaben wird vom Büro bau.werk ebenfalls mit dem Passivhaus-Projektierungspaket geführt. Bei dieser verbindlichen Berechnung durch bau.werk werden alle relevanten Wärmebrücken berücksichtigt. Die Ergebnisse werden den Bauherren in Form eines Zertifikats ausgehändigt.

Flächenbezugsmaß ist der Quadratmeter Energiebezugsfläche, d.h. der beheizte Teil der Wohnfläche gemäß II. Berechnungsverordnung. Das wichtigste Kriterium zur Festlegung des verbindlichen Endenergiekennwerts ist die Angemessenheit, d.h. die Wirtschaftlichkeit des vorgeschriebenen Energieniveaus. Zur Festlegung des Endenergiekennwerts wurden deshalb detaillierten Berechnungen der Wirtschaftlichkeit für einige Beispielgebäude in verschiedenen energetischen Niveaus durchgeführt. Bei diesen Berechnungen wurde davon ausgegangen, dass die Planung der Gebäude des Modellvorhabens von Architekten ohne große Erfahrung im Bau von Niedrigenergiehäusern ausgeführt wird.

Der Wert wurde so festgelegt, dass die monatliche Gesamtbelastung der Bauherren aus Rückzahlung des Kredits und Energiekosten für Heizung und Warmwasserbereitung nicht höher ist, als wenn das Gebäude architektonisch identisch, aber nur nach WSVO '95 errichtet worden wäre.

Einen Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Häusern im 5-Liter-Haus-Niveau mit architektonisch identischen Gebäuden nach WSVO '95 zeigt Abbildung 8.

Gebäude des vorgeschriebenen Energieniveaus können in allen üblichen Konstruktionsarten (Holz-Leichtbau, Massivbau, Mischbauweise) errichtet werden.

Bei der Festlegung wurden darüber hinaus die folgenden Aspekte berücksichtigt:

- Für die Projektarchitekten wird eine umfangreiche Energieberatung angeboten.
- Die Bauherren erhalten aus einem Sponsorenpool Baukostenzuschüsse in Abhängigkeit vom erreichten Energiekennwert.
- Die Gebäude liegen im Bereich des im städtebaulichen Maßstab energetisch optimierten Gebiets, d.h. sie sind südorientiert und verschatten sich gegenseitig nur geringfügig.
- Eine Verschattung durch naheliegende Berge ist nicht gegeben.

Wird in ähnlichen Projekten auch nur eine der aufgeführten Voraussetzungen nicht erfüllt, so müssen die festzuschreibenden Energiekennwerte neu berechnet werden.

Als zweite Kenngröße im Modellvorhaben ist der Primärenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> nachzuweisen. Der Höchstwert wurde auf 55 kWh/m<sup>2</sup>a festgelegt.

### Phase 3: Information Fachplaner und Öffentlichkeit

Da Demonstrationsprojekte für energiesparendes Bauen in Rheinland-Pfalz noch sehr selten sind, ist der Abbau von Vorbehalten gegen Niedrigenergie- und Passivhäuser bei Architekten, Fachplanern und Bauinteressenten Grundvoraussetzung für die Akzeptanz energiesparender Bauweisen. Für das Modellvorhaben 5-Liter-Haus wurde deshalb eine intensive Öffentlichkeitsarbeit durchgeführt. Die Informationsvermittlung wurde in zwei Stufen angeboten:

#### 1. Produktneutrale Grundlagenvermittlung durch unabhängige Fachleute

Die Vermittlung des Grundlagenwissens wurde ausschließlich durch unabhängige Fachleute vorgenommen. Diese produktneutrale Information diente dazu, die Bauinteressenten auf Gespräche mit Hausanbietern und Architekten vorzubereiten und ihnen die Wahl eines geeigneten Baupartners zu erleichtern.

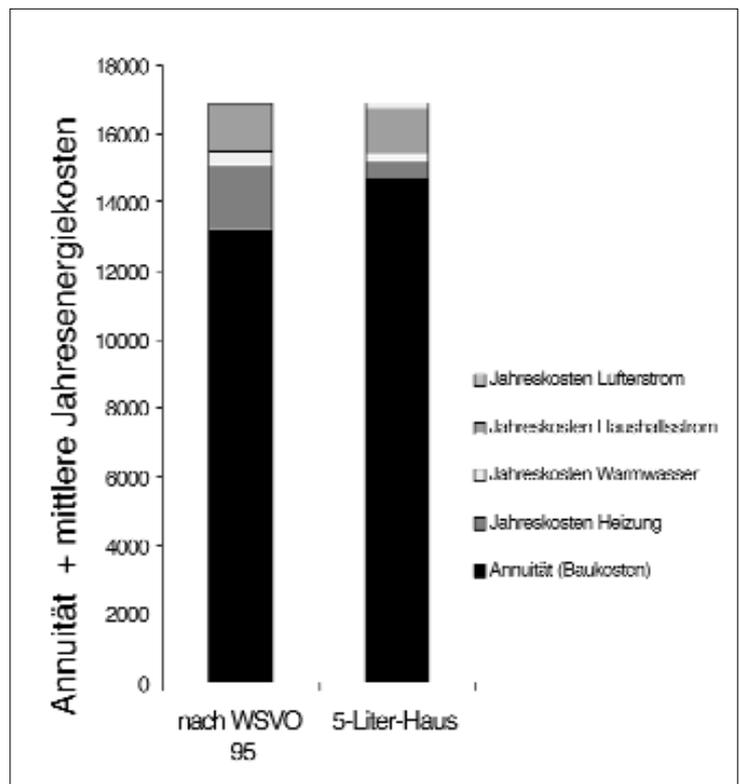


Abb. 8: Vergleich der Wirtschaftlichkeit eines architektonisch identischen Beispielgebäudes in unterschiedlichen Energieniveaus

Erste Informationsveranstaltungen fanden im Oktober 1997 statt, die offizielle Vorstellung des Projekts erfolgte im März 1998. Insgesamt wurden etwa 5 Veranstaltungen für Bauinteressenten durchgeführt. Diese waren im Schnitt mit 60 bis 70 Personen sehr gut besucht (Zum Vergleich: in Wittlich werden pro Jahr etwa 50 Bauanträge gestellt). Die wichtigsten Informationen zum energie- und kosteneffizienten Bauen und zum Ablauf des Modellvorhabens wurden in einer Broschüre „Erstinformation für Bauinteressenten“ zusammengefasst. Zwischenberichte zum Stand des Vorhabens werden in der regionalen Presse, sowie in Radio und Fernsehen und in weiteren Informationsveranstaltungen gegeben.

## **2. Präsentation von Produkten und Hauskonzepten**

Zur Vorinformation der regionalen Architekten, Planer und Bauträger wurde eine eigene Veranstaltung durchgeführt. Diese war mit 5 Teilnehmern sehr schlecht besucht.

Als Abschluß der Veranstaltungsserie im März 1998 wurde Architekten, Planern und Hausanbietern die Gelegenheit gegeben, erste Konzepte zum Bau von Niedrigenergiehäusern vorzustellen, um den Bauinteressenten einen Überblick über das Marktangebot zu verschaffen. Das Interesse der regionalen Architekten, Planer und Bauträger war äußerst gering.

Zur Information der Bauherren, die Grundstücke im Gebiet des Bebauungsplans Bölinger Flur, aber außerhalb des Modellvorhabens erworben haben, wurde eine eigene Veranstaltung durchgeführt. Als Ergänzung des Modellvorhabens wurde eine von der Stadt Wittlich bezuschusste, fünfstündige Energieberatung für die Bauherren außerhalb des Modellvorhabens eingerichtet. Etwa 1/4 der Bauherren außerhalb des Modellvorhabens nahmen an einer ersten Informationsveranstaltung teil. Gerade in der Zusammenarbeit mit diesen – oft ohne Architekt planenden Bauherren - zeigte sich, wie wichtig eine fachkundige Beratung ist.

## **Phase 4: Energetische Optimierung der Einzelgebäude im Arbeitskreis 5-Liter-Haus**

Nach der Vergabe von Grundstücksoptionen und der Auswahl der Projektarchitekten, Planer oder Bauträger durch die Bauherren wurde Ende Juni 1998 ein zweitägiges Seminar „Wege zum 5-Liter-Haus“ durchgeführt. In diesem Seminar wurden die Besonderheiten des Modellvorhabens und die Grundlagen des energie- und kosteneffizienten Bauens von namhaften Referenten erläutert. Zum Seminar erschien ein 100-seitiger Tagungsband. Außerdem erhielten alle Planer eine Version des zur Optimierung der Gebäude einzusetzenden EDV-Programms.

Die Einzelbetreuung der Projekte findet seit Ende Juli 1998 in bisher 13 ein- bis zweitägigen Beratungsterminen in Wittlich statt. Die Beratungszeit pro Projekt beträgt jeweils eine Stunde, die Beratung wird durch das interdisziplinär zusammengesetzte Team von bau.werk durchgeführt.

Schwerpunkte der Beratung sind die folgenden Themen:

- Energetische Optimierung der Gebäudehülle (Wärmebrückenberechnungen, Luftdichtigkeitskonzepte).
- Abstimmung des Heizungs-, Lüftungs- und Solarsystems auf die Anforderungen der Bewohner und die Gebäude mit sehr niedrigem Energiebedarf.
- Kostenoptimierung und Wirtschaftlichkeitsberechnung.
- Vermittlung von Adressen passivhausgeeigneter Komponenten wie Lüftungsanlagen etc.

Neben den Beratungsterminen in Wittlich wird auch das Angebot einer telefonischen Beratung rege in Anspruch genommen.

## **Zertifizierung parallel zum Bauantrag**

Den Abschluß der Energieberatung im Arbeitskreis 5-Liter-Haus stellt die Zertifizierung der Gebäude als 5-Liter-Haus dar. Diese erfolgt parallel zur Einreichung des Bauantrags und ist Bedingung für die Erteilung der Baugenehmigung. Als Grundlage für die Zertifizierung sind vom Projektarchitekten die folgenden, in der Energieberatung abgestimmten Unterlagen zur Verfügung zu stellen:

- Baueingabepläne
- Detailpläne für alle energierelevanten Punkte
- Technische Angaben zu den eingesetzten Haustechnikkomponenten

Diese Vorgehensweise setzt eine Veränderung des üblichen Planungsprozesses voraus. Für die Gebäude des Modellvorhabens werden die Bauanträge erst dann gestellt, wenn die Werkplanung für alle energierelevanten Gewerke abgeschlossen ist und wenn Angebote für die wichtigsten Gewerke vorliegen. Die Planungszeit bis zum Bauantrag wird verlängert, die Planungszeit nach Baugenehmigung verkürzt. Grundvoraussetzung für diese Vorgehensweise ist, dass Architekt oder Projektplaner nicht nur bis zur Baueingabeplanung, sondern mit der gesamten HOAI-Planung beauftragt werden.

Das Zertifikat 5-Liter-Haus besteht aus drei Seiten:

- Beschreibung aller energierelevanten Details und Komponenten.
- Auflistung der berechneten Energiekennwerte für durchschnittliche Nutzergewohnheiten.
- Graphische Darstellung der Endenergieeinsparung gegenüber einem architektonisch identischen Haus nach WSVO '95 und der kumulierten Energiekosten im Vergleich zu einem identischen Haus nach WSVO '95 sowie der Förderung für Eigennutzer, jeweils mit erläuternden Texten.

Das Zertifikat dient auch der Bemessung der Baukostenzuschüsse aus dem Sponsorenpool.

### **Bau- und Qualitätskontrollen**

Zur Kontrolle der Ausführungsqualität der Gebäude des Modellvorhabens werden stichprobenartige Begehungen während der Bauphase durchgeführt. Für jede Wohneinheit werden außerdem zwei Luftdichtheitstests nach der blower-door-Methode durchgeführt. Der erste Test dient der Lokalisierung und Nachbesserung noch vorhandener Undichtigkeiten und gibt Projektarchitekten und beteiligten Handwerkern wichtige Hinweise zu Schwachpunkten und Verbesserungsmöglichkeiten. Der Test ist damit eher Teil der Weiterbildung als der Kontrolle. Der zweite Test wird nach Fertigstellung der Gebäude durchgeführt und dient der endgültigen Ermittlung der Luftdichtheit der Gebäudehülle  $n_{50}$ .

Als Grenzwert für die Luftdichtheit des Gebäudes wurde ein Wert von 1 Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz festgelegt, für die im Rahmen des Vorhabens geplanten Passivhäuser wird ein Wert kleiner 0,6 Luftwechsel bei 50 Pa Druckdifferenz angestrebt. Die unabhängig durchgeführten Luftdichtheitstests bieten den Bauherren neben dem Nachweis der energetischen Qualität auch mehr Sicherheit in Bezug auf Bauschäden.

Bei der Festlegung der Vorgehensweise wurde die Möglichkeit von Sanktionen im Falle einer von der Planung abweichenden Bauausführung erörtert. In Absprache mit der Stadtverwaltung wurde von der Verhängung von Sanktionen abgesehen, da für übliche Gebäude nach WSVO '95 nicht einmal der Wärmeschutznachweis kontrolliert wird und Kontrollen der Ausführungsqualität nicht vorgesehen sind. Nach den bisherigen Erfahrungen sind die Bauherren, die sich bewusst für die Teilnahme am Modellvorhaben entschieden haben, so überzeugt von ihrem 5-Liter-Haus, dass sie die Ausführungsqualität durch ihre Architekten strenger als bei üblichen Bauten kontrollieren lassen.

### **Dokumentation**

Als Abschluß des Modellvorhabens wird eine Projektdokumentation erscheinen. Diese wird die wichtigsten Erkenntnisse bei der Durchführung zusammenfassen und die im Gebiet des Modellvorhabens entstandenen Gebäude beschreiben. Neben Energiekennwerten werden auch die wichtigsten Ausführungsdetails und die Haustechnik-konzepte sowie die Baukosten veröffentlicht. Der tatsächliche Energieverbrauch der Gebäude wird zwei Jahre durch die Bewohner aufgezeichnet.

### **Sponsoringkonzept**

Die vom Ministerium der Finanzen Rheinland-Pfalz und der Stadt Wittlich zur Verfügung gestellten Mittel werden ausschließlich für die wissenschaftliche Begleitung des Modellvorhabens eingesetzt. Baukostenzuschüsse werden nicht gewährt, da die energetischen Grenzwerte so festgelegt wurden, dass die Gebäude auch ohne Zuschüsse wirtschaftlich zu errichten und zu betreiben sind.

Nach eigenen Erfahrungen als Mitarbeiter im Energieinstitut Vorarlberg ist es jedoch wichtig, neben einer qualifizierten Energieberatung auch finanzielle Anreize zum Bau von Energiesparhäusern zu setzen. Gerade in Rheinland-Pfalz, wo bislang weder Markteinführungsprogramme für Niedrigenergie- und Passivhäuser durchgeführt wurden, noch Demonstrationsvorhaben in ausreichender Zahl vorhanden sind, erfor-

dert die Entscheidung zum Bau von Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf noch erheblichen Mut von den Bauherren.

Um den Bauherren zusätzliche Anreize zur Teilnahme am Modellvorhaben zu geben, wurde deshalb das folgende Sponsoringkonzept erarbeitet:

Baukostenzuschüsse werden nicht für energiesparende Einzelmaßnahmen wie gute Wärmedämmung, Solaranlage oder Dreifachverglasungen gewährleistet, sondern in Abhängigkeit vom Energiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> vergeben.

In Verhandlungen mit etwa 30 Firmen konnten 5 Sponsoren gefunden werden, die bereit waren, Gelder für das beschriebene Sponsoringkonzept zur Verfügung zu stellen, unabhängig davon, ob ihre Produkte eingesetzt wurden. Eine Liste der Sponsoren findet sich auf der letzten Seite dieses Beitrags.

Nach Eingang der Sponsorengelder konnten die Baukostenzuschüsse wie folgt festgelegt werden:

Grundförderbetrag:

2.000 DM bei Energiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> = 50 kWh/m<sup>2</sup>a

Förderhöchstbetrag:

6.500 DM bei Endenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> = 20 kWh/m<sup>2</sup>a

Zwischenwerte werden interpoliert.

### Derzeitiger Zwischenstand des Projekts

Von den etwa 15 im Rahmen des Arbeitskreises 5-Liter-Haus optimierten Gebäuden mit ca. 30 Wohneinheiten wurden bislang 12 zertifiziert. Unter den zertifizierten Gebäuden sind Mauerwerksbauten mit Wärmedämmverbundsystem, Beton-Fertigteiltbauten mit Wärmedämmverbundsystem, Gebäude mit Beton-Schalungssteinen, mit Sandwich-Außenwandkonstruktionen und reine Holzbauten in verschiedenen Konstruktionsarten.

Die Abbildung 9 zeigt die Primärenergiekennwerte der zertifizierten Gebäude.

Alle zertifizierten Gebäude unterbieten den als Grenzwert geforderten Primärenergiekennwert von 55

kWh/m<sup>2</sup>a, sechs Projekte erreichen Passivhausniveau. Die Primärenergieeinsparung der Gebäude gegenüber architektonisch identischen Gebäuden nach WSV0 liegt im Durchschnitt aller Gebäude bei 75%.

Die durchschnittliche Energiekosteneinsparung während der nächsten 30 Jahre liegt bei einer mit 3,5 % angenommenen mittleren Preissteigerung für Gas und Strom bei 40.000 DM pro Wohneinheit.

Die Bedeutung der intensiven Beratung zeigt sich in den bisher durchgeführten Luftdichtheits-tests: Alle bisherigen Tests zeigen, dass die Ausführungsqualität der Gebäude weit über der Qualität üblicher Neubauten liegt.

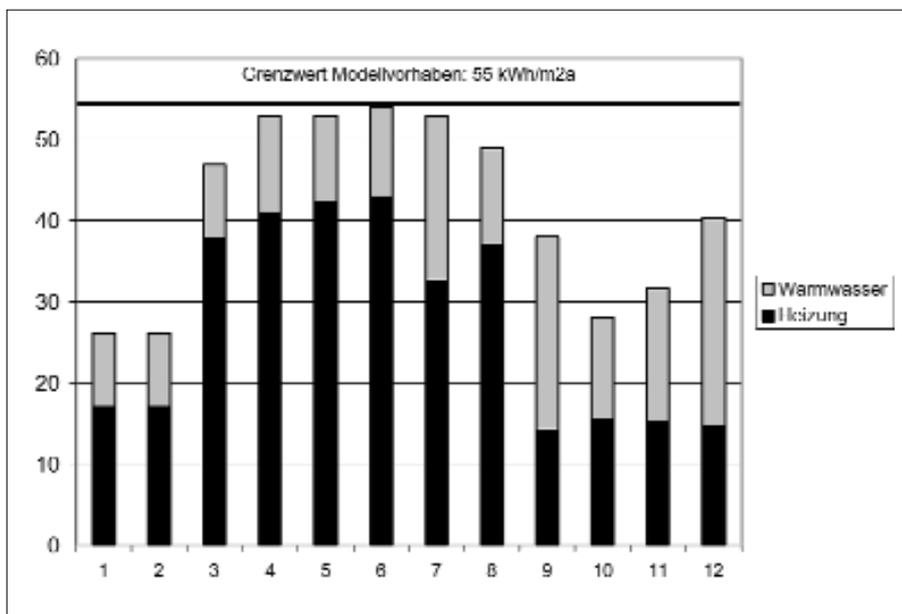


Abb. 9: Primärenergiekennwerte der zertifizierten Projekte

In gestalterischer Hinsicht zeigen die Projekte eine große Vielfalt. Im folgenden werden zwei exemplarische Projekte kurz vorgestellt:

#### Projekt 1: Doppelhäuser Hecker, Architekt Ludwin Jakoby

Der private Investor begann im Mai 99 mit dem Bau von zwei Doppelhäusern in Massivbauweise. Die Gebäude haben Wohnflächen von etwa 150 m<sup>2</sup>, wurden im Dezember 99 fertiggestellt und sind inzwischen vermietet. Alle 4 Wohneinheiten erreichen Passivhausniveau, der Endenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> liegt

mit  $24 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um 85% unter dem von architektonisch identischen Neubauten nach WSVO '95.

Die blower-door-Werte der 4 Wohneinheiten liegen mit 0,7 bis 0,8 LW/h nur knapp über dem Zielwert für Passivhäuser. Die Energiekosteneinsparung beträgt bei einer angenommenen Preissteigerung von 3,5% für Gas und Strom (0,5% über angenommener Inflationsrate) 43.450 DM in den nächsten 30 Jahren. Die Förderung für Energiesparmaßnahmen beträgt für Eigennutzer 13.070 DM pro Wohneinheit (Öko-Komponenten nach Eigenheimzulagengesetz und Baukostenzuschuß aus dem Sponsoring-Pool). Die reinen Baukosten liegen nach einer ersten, groben Auswertung bei ca.  $2.250 \text{ DM/m}^2$  und damit weit unter den vom statistischen Landesamt ermittelten Durchschnittskosten von Neubauten in Rheinland-Pfalz.



Abb. 10: Passivhausprojekt Hecker, Architekt L. Jakoby

### Projekt 2: Doppelhaus Meyer, Planerin Dipl.-Des. G. Schmidt

Das Doppelhaus in Holzbauweise wird von den Bauherren selbst genutzt. Der Endenergiekennwert<sub>(Heizung + Warmwasser)</sub> liegt mit  $43 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  um 75 % unter dem eines architektonisch identischen Gebäudes nach WSVO '95. Die Energiekosteneinsparung bei durchschnittlichem Nutzerverhalten beträgt 45.850 DM in den nächsten 30 Jahren. Die Förderung für Eigennutzer beträgt bis zu 10.250 DM pro Wohneinheit.



Abb. 11: Doppelhaus Meyer, Planerin: Dipl.-Des. G. Schmidt

### Erfahrungen und Verbesserungsmöglichkeiten

Die für das Modellvorhaben gewählte Grundstruktur hat sich bewährt. Die Durchführung des Projekts zeigt, dass die technischen Möglichkeiten zur energetischen Optimierung nur dann ausgeschöpft werden können, wenn diese als durchgängiges Konzept von der städtebaulichen Ebene bis zur Qualitätskontrolle nach Fertigstellung der Gebäude durchgeführt werden. Die folgenden Grundelemente des Modellvorhabens sollten deshalb auch in Nachfolgeprojekten übernommen werden:

- Energetische Optimierung des Bebauungsplans mit geeigneten Planungsinstrumenten.
- Festlegung verbindlicher Mindestanforderungen an das energetische Niveau der Gebäude und Festlegung eines zuverlässigen Nachweis-Berechnungsverfahrens.
- Evtl. Energieversorgungskonzept
- Intensive Öffentlichkeitsarbeit.
- Beratung zur energetischen Optimierung der Einzelgebäude.
- Qualitätskontrollen in der Bauphase und nach Fertigstellung der Gebäude.

Die Erfahrungen bei der Durchführung des Modellvorhabens werden derzeit ausgewertet und in einem Zwischenbericht zusammengefasst.

## **Sponsoren des Modellvorhabens 5-Liter-Haus Wittlich**

BHW Der Baufinanzierer  
Burgstraße 1  
54516 Wittlich  
Sonderkonditionen zur Finanzierung der 5-Liter-Häuser

Eurotec Pazen GmbH  
Deutschherrenstraße 63  
54492 Zeltingen-Rachtig  
energetisch optimierte Fenster und Türen

Follmann Baustoffe GmbH  
Bornweg 8  
54516 Wittlich-Wengerohr

Isorast Niedrigenergiehaus-Produkte GmbH  
Postfach 1164  
65219 Taunusstein  
isorast Bausystem

Kreissparkasse Bernkastel-Wittlich  
Schlossstraße 2-4  
54516 Wittlich  
Sonderkonditionen zur Finanzierung der 5-Liter-Häuser

# Passivhaus in Kassel-Marbachshöhe als öffentlich geförderter Geschoßwohnungsbau – Instrumente zur technischen und wirtschaftlichen Optimierung

**Margarete Steinfadt**

Ich möchte hier antreten, um zu beweisen, dass wir bei den Passivhäusern Kassel-Marbachshöhe Kostenneutralität zu herkömmlichen Bauvorhaben geschafft haben. Diese Kosten waren nur deshalb zu halten, weil alle Planungs- und Baubeteiligten ein ganzes Stück Arbeit unter die Rubrik „Hobby“ eingereicht haben. Soviel Planungsleistung, wie für diese beiden Gebäude notwendig war, würden Sie bei herkömmlicher Beauftragung kaum erhalten.

Die Gemeinnützige Wohnungsbaugesellschaft der Stadt Kassel GmbH ist eine 100 %-Tochter der Stadt Kassel und kann sich natürlich auf andere Argumente berufen als ein gewöhnlicher Bauträger. Unser Ziel ist, die bis jetzt sukzessive abrückenden Mieter wieder für uns zu gewinnen. Deshalb brauchen wir ein innovatives Projekt, dessen Idee uns eigentlich Arch. Fingerling, ein Mitstreiter von Dr. Feist, zugetragen hat. Bis dato haben wir herkömmliche mehr oder minder gute Niedrigenergiehäuser als mietbare Reihenhäuser gebaut. Dies ist also unser Erstlingswerk im Passivhaus-Bau.

Das Passivhaus, als vorteilhaftes Angebot für unsere Kunden und zu herkömmlichen Kosten – diesen Floh hat uns Dr. Feist ins Ohr gesetzt. Das Prinzip der Wärmebewahrung ist auch gleichzeitig das Prinzip der Investitionskostenbegrenzung und damit konnten wir auch die kaufmännische Führung überzeugen.

## **Ein paar soziale Aspekte**

Dies ist in Deutschland das bundesweit erste geförderte Geschoßwohnungsprojekt mit einem GMP-Modell. GMP und Förderprojekt widersprechen sich eigentlich, denn wenn Sie nachher die Absicht haben, aus gewonnenen Fördermitteln eine Ausschüttung zu machen, kriegen sie meistens Ärger. Wir haben dafür eine Sondergenehmigung erhalten.

Ein anderer Grund, warum wir uns damit beschäftigt haben, sind unsere 10.000 Einheiten Bestand, die wir zu pflegen und zu verwalten haben. Diese sind, energetisch betrachtet, nicht auf dem besten Niveau. Wir haben daher auch die Hoffnung gehabt, dass die Wissensmehrung über Passivhaus-Bau auch einiges Gutes für unseren Bestand in der Zukunft bewerkstelligen kann. Die Übertragbarkeit auf den Bestand, zusätzlich Arbeitsplatzsicherung und Ressourcenschonung, konnte dann auch unsere Aufsichtsräte der Stadt überzeugen, dieses Passivhaus zu verwirklichen.

Auf einem Grundstück bei Kassel/Marbachshöhe wurden die Passivhäuser errichtet. Es handelt sich hierbei um die eher unglückliche Lage von ostwestorientierten Passivhäusern. Sie haben an den Breitseiten der beiden Gebäude die Südorientierung. Ursprünglich wollten wir ein südorientiertes Gelände verwenden. Die Auswirkung der Ostwestorientierung war allerdings, wie sich nachher herausstellte, vernachlässigbar gering.

Herr Prof. Schneider aus Detmold ist Planer der Passivhäuser Kassel/Marbachshöhe mit dem paraboloiden Baukörper. Herr Prof. Schneider hatte immer die Befürchtung, dass ein Arbeiten unter wirtschaftlich so strengen Bedingungen und den energetischen Vorgaben des Passivhauses zu einer Minderung seiner Architekturqualität führen könnte. Ich denke, sein eigenes Gebäude strafft ihn Lügen.

Ich darf kurz Prof. Schneider zitieren: „Ein solaroptimierter Städtebau ist nicht Bedingung für die Passivhaus-Technologie. Der derzeitige Stand der Technik beschränkt den Architekten insbesondere bei der Einhaltung von strengen Kostenvorgaben, in der Auswahl von Konstruktion und Material. Die gestalterischen Spielräume sind begrenzt“.

Die Anwendung innovativer Konstruktionen und Technologien werden dazu führen, dass auch gestalterische Spielräume erweitert werden. Passivhäuser müssen nicht teurer sein, die Reduzierung der Nebenkosten für die Mieter ist, neben der ökologischen Relevanz, ein weiterer Vorteil dieser neuen Technologie. Welche Auswirkungen das Nutzerverhalten auf die Energiebilanz haben wird, bleibt noch abzuwarten. Auch wenn die Teamarbeit an Bedeutung gewinnt, darf die Rolle des Architekten als Gestalter des Planungsprozesses nicht reduziert werden. Die energetische und die wirtschaftliche Optimierung ist nur ein Aspekt von gebauter Umwelt.

Es ist nicht ganz einfach die erforderlichen Teams unter einen Hut zu bringen. Zur gesamten Planungsgruppe gehören, neben den Planungs- und Bauteams, auch ein Haustechnikerteam, das Büro Innovatec unter Federführung von Hr. Otte, das für die semizentrale Be- und Entlüftungsanlage zuständig war und die Tragwerksplaner Klutsche und Klothe, die wärmebrückenfreie Konstruktionen in den Bereichen Fenster, Schiebeläden bis hin zu den Gerüstankern „erfunden“ haben.

In diesen Erfindungen sehen wir auch die Notwendigkeit zur Arbeit im Team. Nie hätten wir mit eigener Mannschaft und ohne sofortige Hinzunahme all dieser Planer – sie waren bereits zum ersten Spatenstich anwesend und zwar mit fix und fertigen Leistungsbeschreibungen und Vergabeergebnissen – diese Projekte realisieren können.

Im September 1998 war der Bauantrag erstellt, mit der Maßgabe, dass die Zulassungen im Einzelfall für das Wärmedämmsystem, Trennwandschichten, Wandfußkonstruktionen und Ankerkonstruktionen erteilt werden und dann erst ist die Baugenehmigung in Aussicht gestellt worden. Im April 1999 fand der erste Spatenstich statt, am 22. September das Richtfest und seit dem 1. Mai wohnen die Bewohner in den Häusern. Wir haben sukzessive, wenn auch nicht sofort, alle 40 Wohnungen vermietet. Zur Zeit sind wir froh, dass wir noch zwei zur Besichtigung frei haben.

### **Ausschreibungsverfahren**

Wie konnte das so schnell unter wettbewerbsrechtlichen Konditionen gehen? Wir wollten einen freien Wettbewerb haben. Unser Wohnungsbauunternehmen stellte sich die Frage: Wie kommen wir bei einem freien Wettbewerb an die Zulassungen ohne uns mit irgendeiner Industrie zu verheiraten?

Wir haben folgendes Verfahren gewählt:

Eine der Wärmedämmverbund-Herstellerfirmen, die aus unserer Sicht am weitesten damals mit der Entwicklung von 30 und 35 cm starken Dämmungen war, holte für uns diese Zulassung im Einzelfall mit der Maßgabe ein, dass wir die Kosten in Höhe von DM 4.000,- für die aufwendigen Brandversuche rückerstatten, wenn wir nicht bei diesem System im Wettbewerb bleiben können. Denn wir wollten ja dem Unternehmer offen lassen mit wem er arbeitet. Das gleiche galt auch für andere Vorhaben.

Wie haben wir dann dieses komplexe Bauvorhaben ausgeschrieben? Wir haben aus gewährleistungstechnischen Gründen, um die Schnittstellen zu vermeiden, eine 4-stufige funktionale Leistungsbeschreibung gewählt. Der Rohbau, als erweiterte Gebäudehülle, umfasste die 17,5er-Wände aus Kalksandstein, Dämmsystem, Trennschicht, Fenster und Dach. Die komplette luftdichte Hülle sollte auf jeden Fall in der Hand eines Auftragnehmers bleiben.

Das zweite Leistungspaket war der Ausbau. Da hätten wir durchaus die Möglichkeit gehabt in Einzelgewerksvergabe zu gehen. Bei uns ist das ein Teil des GU-Vertrages geworden, aber mehr aus lokalen Bedingungen heraus und um den Markt nicht zu sehr zu verunsichern.

Das dritte Paket stellt die Haustechnik dar, inkl. der kompletten Heizung, Lüftung, Sanitär, einmal als Haustechnik-Teil-GU-Verfahren und einmal im Einzelgewerk. Das Gleiche galt für die Außenanlagen zur Erprobung, wo die besten Werte zu erzielen sind. Dieses Paket ging zeitgleich nach außen, um gemeinsam ausgewertet werden zu können und um zu sehen, ob wir mit den kalkulierten Summen hinkommen. Die kalkulierten Summen lagen bei ca. DM 7,5 Mio. über die 4 Pakete. Wenn wir die Zustimmung aller haben, so werden wir unsere Wirtschaftlichkeitsanalyse und die Einzelpreise offenlegen.

Der Rohbau und der Ausbau hatten ein Volumen von DM 5,9 Mio. Die Haustechnik Heizung, Lüftung und Sanitär ein Volumen von DM 810.000,-, Elektro von DM 140.000,- und die Außenanlagen von DM

348.000,-, ergibt zusammen DM 7,248 Mio. über alles. Wir hatten zum ersten Spatenstich dieses Volumen bereits vergeben und die Unternehmer gefunden. Aufgrund unserer guten Erfahrungen mit den Planungsteams in großer Runde, haben wir die ausführende Auftragnehmerseite sogleich in die Planungen, die dann noch offen waren, eingebunden. Dadurch konnten wir von ihrem spezifischen Know-how profitieren und Detaillösungen optimieren bzw. bessere Baustellenabläufe schaffen.

Hier ein kurzer Hinweis: Wir denken, wir haben die Wirtschaftlichkeit nachweisen können. Mit der Ökologie dürfte es etwas hapern, wenn ich berichte, dass wir Kunststofffenster eingesetzt haben und zwar ein modifiziertes WKA-Kleinfenster. Zu dem Zeitpunkt, als wir vergeben haben, gab es insgesamt 4 zertifizierte Fensterelemente, aus denen wir auswählen konnten. Die Kostendifferenz zwischen den Kunststofffenstern und den Holzfenstern, wobei ich da keine Namen nennen möchte, beläuft sich bei der Größenordnung dieses Bauvorhabens auf solide DM 160.000,-. Aus diesem Grund haben wir uns für Kunststofffenster entschieden. Ein zweiter Grund: Wir haben im ersten Förderweg Sozialwohnungen gebaut und wollten die Instandhaltungskosten so minimal wie möglich halten. Es sollte kein Aufwand für die Pflege von Holzfenstern, die sich bei unserem Mietwohnungsbestand sehr schlecht auswirken, anfallen.

Sie haben gesehen, dass die Realisierung eines architektonisch und technisch anspruchsvollen Bauvorhabens mit dem Anspruch kostenneutraler Herstellungskosten gegenüber einem herkömmlichen Bauvorhaben, sowohl bei der Planung als auch bei den Vertragsabschlüssen neue Wege erfordert. Obgleich diese Wege so neu nicht sind, denn schon zu meinen Studienzeiten wurden die Vorzüge einer solchen integralen Planung gepredigt. Warum sie nie in dem Maße eingeführt worden ist, muss jeder für sich selber beantworten.

Wenn Planungs- und Bauteamgedanke, sowie die maximalen Festpreisgarantien eines GMP-Modells, die ganzheitliche Optimierung eines Gebäudes so entscheidend positiv beeinflussen, so gibt es keinen Grund diesen Weg nicht zu gehen. Von Beginn einer Baumassnahme an bietet die Planungsphase unbestritten die mit Abstand effektivsten Möglichkeiten zur Einflussnahme aller Projektbeteiligten, mit ihrem jeweiligen Know-how, auf dem technischen und wirtschaftlichen Erfolg. Ich denke, wir haben mit unseren Teams dies optimal berücksichtigt. Die Haustechnikplanung erfolgte parallel zu den Entwürfen und der Tragwerksplanung. Am Konzept konnten bereits die Ergänzungen einfließen.

Auch der Einsatz der ausführenden Auftragnehmerseite, der den Auftragnehmer davon enthebt, nur ausführendes Element zu sein, wirkt sich neben der Kostenreduktion auch ausgesprochen motivierend auf die jeweiligen Auftragnehmer aus.

Um den Namen des kostengünstigen Passivhauses mit Leben zu füllen, ist Kostensicherheit gefordert und dies kann das GMP-Modell bewerkstelligen.

Die Abkürzung GMP für „Guaranteed Maximum Price“ kommt aus dem Amerikanischen. Das GMP-Modell fördert primär das Ziel die Kosten unter Berücksichtigung der Qualitätsauforderungen zu reduzieren. Das ist ein hehres Ziel. Ich füge gleich an dieser Stelle ein: Mit dem GMP-Modell wird zur Zeit zumindest in Deutschland einiges an Werbung betrieben von ganz unterschiedlicher Seite. Einerseits GU's, die daraus ein ausgesprochen auftragnehmerfreundliches Pauschalpreisabkommen bilden möchten und andererseits von solchen, die Einsparungen über die Nachunternehmergewinne rekrutieren. Das würde an der Sache vorbeiführen, den Gewinn auf die Kosten eines anderen zu machen.

Entsprechend der Randbedingungen des Projektes wurde auf der Basis einer funktionellen Leistungsbeschreibung mit dem Bauunternehmer ein garantierter Maximalpreis vereinbart. Diese vier Ausschreibungspakete wurden mehrfach verhandelt. Die Randbedingungen wie Wissenschaft und Technik, Gewährleistungsfristen für einzelne Elemente wie Dachdichtungen, Wandfüße und Besonderheiten, Verlängerung von 5 auf 10 Jahre hinaus oder Produkthaftungsrichtlinien wurden intensiv besprochen. Wir brauchten 3-4 Runden um Klarheit für alle Beteiligten zu schaffen.

Diese partnerschaftliche Zusammenarbeit muss, weil sie sehr viel Zeit kostet, auch honoriert werden. Es ist also ein Modell auf Win-Win-Basis. Die Zeit, die wir investieren um Kostenreduzierungspotentiale zu erkennen, Konstruktionen gegebenenfalls noch zu ändern, soll dann im Anschluss geteilt werden. Wir

sind sogar noch einen Schritt weitergegangen, nicht nur Konstruktionsänderungen, sondern auch Standardminderung haben wir dort einfließen lassen, damit überhaupt was in diesen GMP-Topf landete.

Die Idee hinter diesem Vertragsmodell ist es, dem Planer, die Fachingenieure und den GU, also auch die Architekten am Erfolg des GMP-Modells zu beteiligen. D.h. er erhält immer sein festes Honorar und wird zusätzlich bei möglichen Einsparungen im prozentualen Anteil seiner Leistungen am Gewinn mitbeteiligt.

Der Anwendungsbereich für solche Verträge sind eigentlich große komplexe Bauvorhaben. Wir haben es hier wirklich mit der unteren Grenze zu tun, weil zum Ausschütten bleibt nicht viel.

Das Werksvertragsrecht nach BGB – und das ist auch die Kernaussage und abgewandelt nach den Vorschriften VOB – zeichnet sich durch klar abgegrenzte Interessen der am Bau Beteiligten aus. Zwar besteht auch hier das gemeinsame Interesse am Erfolg, nämlich an der mängelfreien Herstellung eines Bauwerkes, und insofern ist auch bei den klassischen Bauverträgen das gemeinsame Zusammenwirken erforderlich. Danach aber bestehen ganz unterschiedliche Interessenslagen, die zu Spannungen führen. Ich will nicht verschweigen, dass wir sportive Elemente wie Behinderungen, Verzug, Nachtrag u.ä. mit dem Trachten nach soviel Harmonie in dem GMP-Modell nicht ausschliessen konnten. Denn ich gehe davon aus, dass das Beharrungsvermögen nirgends größer ist als in der Bauwirtschaft und es ist schwierig mit zwei neuen Dingen gleichzeitig auf den Markt zu gehen.

Von den vier Abrechnungen haben wir 3 durch. Diese 3 sind sicher mit ihrer Beurteilung. Die GU-Abrechnung steht aus, wie gesagt dort gibt es noch so sportive Elemente, die auszuräumen sind. Ich gehe davon aus, sie lassen sich ausräumen um bei der Veröffentlichung im nächsten Jahr mit Sicherheit festzustellen: Das Ziel ist erreicht.

## **Diskussion**

### **Frage:**

Lässt sich dieser Prozess von jedem Unternehmen einführen, ist das etwas was man irgendwo erlernen kann?

### **Steinfadt:**

Ja, man kann es erlernen, weil die großen GU zur Zeit auf einer Werbetour quer durch die Deutschland sind um für das GMP-Modell zu werben, wie gesagt allerdings mit der Massgabe, dass sie natürlich danach trachten, eine auftragnehmerfreundliche Pauschalpreisvereinbarung daraus zu stricken. Und man muss auch sagen, dadurch dass es in jedem Fall Individualverträge sind, sind nur jemandem anzuraten, der in seinen ursprünglichen Verträgen, Einheitspreis, normaler Pauschalpreis absolut sattelfest ist. Ansonsten wird das nichts werden. Es ist nur eine Angelegenheit zwischen gleich starken Partnern und je weniger Seiten ein solcher Vertrag umfaßt, desto zugkräftiger ist er auch. Wir haben uns im Vertrag nur Ziele gesetzt, diese sind einzuhalten und nichts anderes. Gegebenenfalls sind die eigenen wirtschaftlichen Interessen hinter den Interessen des jeweiligen Projektes hinten anzustellen. Unabhängig davon sind aber diese Hobbystunden aller Beteiligten freiwillig geleistet worden. Und sollte einer vergessen haben, was wir unterschrieben haben, reichte es bislang aus ihm diese Vereinbarung wieder vorzulegen.

# Gebäudebestand – thermische Gebäudesanierung

Gerhard Faninger

Vor 2 Jahren wurde eine Studie der Niederösterreichischen Landesakademie zum Thema „Ökologie der Althausanierung“ mit der Zielsetzung, ein Impulsprogramm in Niederösterreich einzuführen, vorgestellt. In Niederösterreich wird heute der Althausanierung ein größerer Stellenwert zugeordnet.

## Ziel

In meinem Beitrag möchte ich vor allem die Brücke schlagen von der bekannten Neubauphilosophie hin zur Althausanierung. Gibt es Möglichkeiten diese Philosophie auch direkt zu übernehmen? Welche Zielvorgaben haben wir uns zu setzen, wo liegt die Attraktivität in der Althausanierung, welche Schwerpunkte müsste man legen? Wie liegen die Bewertungskriterien, wo die Marktbarrieren? Welche Instrumente zur Umsetzung haben wir und welche Anforderungen müssen wir an die Umsetzung setzen?

Wir wissen, dass etwa 45 % des Materialeinsatzes und etwa 40% des Energieeinsatzes im Gebäudebereich beansprucht werden, weshalb dieser für die Ressourcenschonung besonders interessant ist. Es gilt hier ein Win-Win-Prinzip zu finden, bei dem jeder Vorteile hat, sowohl der Benutzer eines Gebäudes als auch die Wirtschaft mit ihren innovativen Produkten und letztlich auch die Politik, die für den Klimaschutz mitzusorgen hat.

Wir wissen heute, dass wir eine ganze Vielzahl von technischen und markterprobten Möglichkeiten haben, den Energieeinsatz zur Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden drastisch zu reduzieren, beispielsweise verbesserten Wärmeschutz, der heute mehr und mehr üblich ist, durch Solararchitektur in allen ihren Varianten bis hinüber zur Tageslichtnutzung. Mit umfangreichen Maßnahmen in der Haustechnik von effizienten Heizungstechniken inklusive Regelung, sowie mit neuen Produkten der Solar- und Wärmepumpentechnik, werden Sonnenenergie und Umweltwärme als erneuerbare CO<sub>2</sub>-neutrale Energieträger eingebracht und biogene Energieträger treten heute schon in echte Konkurrenz mit den modernen Ölheizungen, da auch diese automatisch arbeiten. Denken wir nur an die Pellets-Heizungen und wieviele von uns vom hohen aktuellen Ölpreis überrascht wurden, obwohl das ja vorhersehbar war. Viele fragen sich, wie konnten wir vor 2-3 Jahren noch auf eine Ölkesselanlage setzen, wo es ja heute preisgünstigere und vor allem auch von den Betriebskosten her weit bessere Pellets-Anlagen oder Hack-schnitzelanlagen gibt? Und letztlich ist auch die Wärmerückgewinnung im Wohnbereich zu einem Thema geworden.

In Österreich wurde versucht, das Prinzip „Wärmeschutz zuerst“ unterzubringen, und anschließend mit Solararchitektur ein geeignetes Modell zu finden, um möglichst viel Sonnenenergie in das Gebäude einzubringen. Mit der Heizungstechnik und der Haustechnik, durch Solaranlagen, kombinierte Solaranlagen, solarunterstützte Heizungssysteme, die Wärmepumpe (im Wesentlichen mit dem Erdreich als Wärmeentzugsquelle), die Wärmerückgewinnung und Holz und Biomasse als gespeicherte Sonnenenergie können wir den Heizenergiebedarf für fossile Energieträger und Strom weiter reduzieren.

So kommen wir zu einer Reduktion, die weit unter 80 % des Heizenergiebedarfs der heute üblichen Althäuser liegt. Wir sind immer mehr bei den sogenannten „Solar Sustainable Buildings“ angelangt, von denen das Passivhaus eine der Möglichkeiten darstellt. Aber ich möchte ausdrücklich betonen eine der Möglichkeiten, denn wir haben viele andere Möglichkeiten, den Energiebedarf – und in diesem Fall denke ich an fossile und an elektrische Energie – zu reduzieren und mit erneuerbarer nicht zu kaufender Energie zu ersetzen.

Die Elemente von Passivhäusern sind bekannt: Wärmeschutz, Sonnenenergie und Umweltwärme sowie die Wärmerückgewinnung. Wir wissen heute, dass Passivhäuser zumindest 50 % im Vergleich zu derzeitigen Standardbauten gemäß der aktuellen Bauvorschriften besser energiebilanzieren. Wir stellen außerdem fest, dass die Kosten nicht die Barriere sind, wenn man es in der Planung richtig angeht.

Wir liegen derzeit beim Neubau bei 70 kWh/m<sup>2</sup>a (im österreichischen Schnitt), weshalb es von großer

Bedeutung ist auch beim Altbestand herunterzukommen. Bei renovierten Häusern liegen wir heute bei 130 kWh/m<sup>2</sup>a. Ziel ist es, im Neubereich durch geeignete Vorgaben auf 15kWh/m<sup>2</sup>a zu kommen, was nachweisbar möglich ist, und auf 50kWh/m<sup>2</sup>a in der Althausanierung.

Im Neubaubereich sind die technischen und ökonomischen Energieeinsparpotentiale weitgehend genutzt worden, unterstützt durch die Förderungsmaßnahmen der Bundesländer sowie durch verbesserte strengere Bauvorschriften. Und wenn wir einen Blick auf die U- (früher k-Werte) der entsprechenden Gebäudehülle werfen, stellen wir fest, dass seit dem Jahre 1996 eine deutliche Reduzierung dieser Werte eingetreten ist.

Gerade bei Außenfenstern konnten wir dramatische Verbesserungen feststellen, d.h. im Neubaubereich hat es gegriffen, obwohl es nicht immer ohne Problemfälle gegangen ist, weil eben auch die Profesionisten für spezielle Baubereiche im Niedrigenergiebereich Umsetzungsprobleme haben. Niedrigstenergiebauweisen funktionieren nur bei einer sehr guten Planung in Verbindung mit bauphysikalischer Simulation. Großes Augenmerk muss auch an die Bauausführung, auf die Baukontrolle und letztlich auf die Optimierung im Betrieb gelegt werden.

Im Altbau darf man sich nicht nur auf die Raumheizung konzentrieren, sondern man muss auch beim Warmwasser solarthermische Anlagen einplanen. Ebenso haben sich die Haushaltsgeräte und die Beleuchtungskörper wesentlich verbessert. Der Anteil dieser Geräte oder dieser Verbrauchersektoren ist natürlich hinaufgegangen, weil eben der gesamte Energieverbrauch trotz eines weit geringeren Heizungswärmebedarfs größer geworden ist.

### **Kennzahlen und Definitionen**

Es ist wichtig, über die Kennzahlen bei Passivhäusern nachzudenken. Hier wie auch in internationalen Arbeitsgruppen hört man verschiedenste Begriffe wie Heizenergiebedarf, Heizwärmebedarf, Primärenergieverbrauch/-bedarf, Endenergieverbrauch und man spricht von 15 kWh/m<sup>2</sup>a, ohne die Bezugsfläche genau zu wissen (Nettofläche, Bruttofläche).

Es scheint Verwirrung herbeizuführen, dass bei Gebäuden, welche durch Verluste gekennzeichnet sind, (Transmission und Lüftung; im Wesentlichen nur die hygienisch bedingten Lüftungswärmeverluste), auch die über eine Wärmerückgewinnungsanlage zurückgewonnene Wärme abzuziehen, um dann das Gebäude als Hülle inklusive Wärmerückgewinnung darzustellen. Es stellt sich die Frage, ob es nicht sinnvoller ist, erst bei der Wärmeaufbringung die Wärmerückgewinnung als Gewinnseite einzuspielen, um klar trennen zu können von den solaren Gewinnen, die aus der Gebäudehülle resultieren. Die Wärmerückgewinnung muss dann möglicherweise nicht oder nur aus Gründen des Wohnkomforts genommen werden. D.h. auch hier sollte man versuchen, auf eine genaue Definition zu kommen.

Gerade die passive Nutzung der Sonnenenergie gewinnt international wieder mehr Bedeutung. So soll in der Energiestatistik eines Gebäudes nicht nur die aktive, sondern auch die passive Komponente berücksichtigt werden.

Eine Vielzahl von Bildern wie beispielsweise aus dem Wettbewerb „Haus der Zukunft“ zeigen, dass es sehr viele Möglichkeiten gibt, diesen Passivhaus-Baustandard zu erreichen und nicht nur in Leichtbauweise mit Wärmedämmung, sondern auch im Massivbau. Der Architekt hat Freiheit in der Baustoffauswahl – einer ökologisch orientierten Baustoffauswahl – , bei den Fenstern, der Orientierung, der Fenstergröße.

Gerade die Solartechnik, die ein wesentlicher Punkt bei solchen Häusern ist, eine Art Quantensprung mit den Großflächenkollektoren, mit einer einfacheren Montage, mit Reduktion der Investitionskosten bei größeren Anlagen um über 30 %, mit dachintegrierten Kollektoren und jetzt immer mehr auch schon mit fassadenintegrierten Kollektoren, gemacht. D.h. der Kollektor wird immer mehr ein Bestandteil der Gebäudehülle, einmal als Dach, dann als Fassade.

Einen anderer Quantensprung bietet die automatisierte Heizung mit Biomasse, mit Hackgut und Pellets, die heute mit relativ automatischer Beheizung und bedarfsgeregelt funktionieren.

## Vom Neubau zum Altbau

Mit den energiesparenden Maßnahmen im Bereich von Neubauten wird die Zunahme des Brennstoffverbrauches und der damit bedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen deutlich reduziert. Aber eine Einsparung an Brennstoffen und damit eine Reduktion der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bei der Energieversorgung kann damit nicht erreicht werden. Wir können nicht vom Neubau erwarten, daß er die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 20 % senken kann. Das Problem ist, dass gut 80 % unseres Gebäudebestandes nicht den Anforderungen an nachhaltige Gebäude entsprechen. Sie sind in diesem Sinne sanierungsbedürftig.

Um die energie- und umweltpolitischen Ziele in diesem Bereich zu erfüllen, brauchen wir die Althausanierung. Die Ökologisierung unserer gesamten Energieversorgung kann nur über diesen Bereich erreicht werden. Die Althausanierung ist als ein wichtiges Instrument zur Ökologisierung unseres

Energie- und Umweltsystems anzusehen, besitzt jedoch leider noch nicht die entsprechende Priorität in Österreich.

Die Zielvorgabe ist eine Reduktion des Energieverbrauches - damit ist der Energieverbrauch durch fossile Energieträger gemeint - und die damit verbundenen Emissionsreduktionen, insbesondere von CO<sub>2</sub>, aber auch anderer Emissionen.

Die Vorteile für die Wirtschaft, für Umwelt und Mensch liegen in der Ressourcenschonung und in der Nachhaltigkeit als übergeordnete Prinzipien. Wir können Rohstoffe aus der Region einbringen, wie Baustoffe, Energieträger. Wir können die Wiederverwertung in der Region durchführen und wir haben damit eine bessere Wertschöpfung. Wir haben durch eine höhere Energieeffizienz verbesserte Umweltbedingungen, verringerten Brennstoffeinsatz, verringerte Schadstoffemissionen, die Lebensqualität wird nicht nur im Gebäude verbessert, sondern auch in der Region. Wir haben einen höheren Heizkomfort, gesünderes Wohnen, geringere Betriebs- und Wartungskosten.

Was passiert, wenn einmal kein Energieträger mehr da ist? Ein Niedrigenergiehaus und noch weiter ein Passivhaus wird kein Problem haben. Da wird man auch in Österreichs Klimazonen durchaus längere Zeit in einem solchen Haus leben können. Wir brauchen dann keine Heizung, wir werden reduzierte Temperaturen haben, aber es wird uns das Gebäude nicht einfrieren. Ist das nicht auch ein Wert, den man nicht mit Geld messen kann? Wir überlegen uns heute im Bereich erneuerbarer Energie, Energieeffizienz nicht mehr so sehr „Wirtschaftlichkeit“. Der Begriff ist „the value of energy efficiency and renewables“, d.h. was ist der Wert für uns. Unabhängiger zu sein, das ist ja ein Wert, den werde ich nicht in Schilling ausdrücken oder in DM oder in Euro.

Sehr viele volkswirtschaftliche Effekte unterstützen uns durch höhere Versorgungssicherheit, bessere Leistungsbilanz, größere Unabhängigkeit.

Wesentlich ist bei diesen Beispielen, dass integrativ gearbeitet wurde. Nicht immer geht das. Deshalb müssen wir versuchen, die Einzelmaßnahmen für Teilsanierungen so zu setzen, dass spätere Maßnahmen nicht unmöglich werden.

Wird zuerst eine sehr gute Wärmedämmung angebracht, dann wird ein alter Ölkessel noch ineffizienter.



Bei historischen Bauten haben wir viele Möglichkeiten energiesparende Maßnahmen zu setzen. Nicht immer wird es die Wärmedämmung sein, oft ist es die Beleuchtung, die bei Bürogebäuden wesentlich zur Reduktion beiträgt.



Objekt in Kärnten, Dachausbau im 5. Stock mit  $18 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (LEKwert) und einer Energiekennzahl von  $32 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ohne Wärmerückgewinnung. Mit Wärmerückgewinnung würde man auch gut bei  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  liegen.

Man muss sehr wohl überlegen, in welcher Form man vorgeht, um letztlich die Ziele „Verringerung des Energieeinsatzes“ und „Verringerung der Emissionen“ zu erreichen.

Bei der Bewertung von Althausanierungsmaßnahmen müssen wir globale und regionale Auswirkungen zusammenfassen und bewerten. Wichtig wird es immer sein, den ganzen Baubestand vor jeder Sanierung zu bewerten und Planen und Bauen zusammenzuführen mit einer späteren Erfolgskontrolle und der Einbeziehung der Benutzer.

Die hochwertige Sanierung des Altbaubestandes ist eine interdisziplinäre Aufgabe, deshalb brauchen wir auch ein fach- und kompetenzübergreifendes Programmmanagement. Wir brauchen Information, Beratung, neue Finanzierungsmodelle, legislative Maßnahmen durch Bauordnung und Wohnbauförderung. Wir brauchen immer mehr einen ökologisch orientierten und zertifizierten Gebäudeausweis und wir dürfen dabei volkswirtschaftliche Kriterien nicht außer Acht lassen.

Wir haben sehr viele Gründe Bauherren zu motivieren. Die geringeren Betriebskosten, welche auch in einer gesamtgesellschaftlichen Berechnung die Wartungs- und Erneuerungskosten beinhalten. Die verbesserte Wohnbehaglichkeit eines gut gedämmten Hauses, die geringere Abhängigkeit vom Energiemarkt durch höhere Versorgungssicherheit ermöglichen außerdem einen eigenen Beitrag für eine bessere Umwelt.

Wir müssen diese Kriterien ökologisch definiert in den Bauvorschriften und Bauordnungen unterbringen. Wir brauchen eine Zertifizierung, in der diese ökologischen Kriterien enthalten sind.

Und wenn wir uns heute in den Bundesländern die Bauvorschriften anschauen, so sehen wir deutlich, dass eigentlich alle Bundesländer sich vorgenommen haben, den Energieverbrauch in Gebäuden nach den Erkenntnissen der technischen Wissenschaften so zu planen und auszuführen, dass letztlich ein Niedrigenergiehaus und ein Passivhaus als heutiger Stand der technischen Wissenschaften die Grundlage für die Bauvorschrift bilden.



Altersheim mit Balkonen, schlecht wärmegeklämt, schlechte Außentüren. Die Entscheidung war eine vorgehängte Glasfassade. Das war die kostengünstigere und die energetisch günstigste Lösung, denn damit hat man alle Wärmebrücken, die hier gelegen waren, weggebracht oder nahezu weggebracht. Und die Menschen haben einen zusätzlichen Raum bekommen.



Barrieren treten auf, weil der Planer, der Statiker, der Bauphysiker, der Denkmalpfleger, Beauftragte des Bauherrn mit unterschiedlichen Interessen dabei sind. Es gilt einen geeigneten integrativen Ansatz zu finden, wobei eben gesamtheitliche bauökologische Kriterien unterzubringen sind. Das ist eine ganz wichtige Aufgabe auch der Weiterbildung.

Professionisten müssen weitergebildet werden. Wir brauchen entsprechende Finanzierungsmaßnahmen und die Weiterentwicklung der öffentlichen Vergaberichtlinien. Die Änderung bestehender Baunormen und Bauordnungen ist zum Teil schon im Gange. Die Maßnahmen, die in der Althausanierung liegen, sind von großer Bedeutung für die Öffentlichkeit. Wir können das Umweltbewusstsein damit auch regulieren. Wir können regional wirtschaftliche Effekte erzeugen, beschäftigungspolitische Maßnahmen umsetzen. Wir können in den Regionen nicht nur die Wohnqualität und das Ortsbild verbessern, wir können auch Beschäftigung garantieren, Wissenszuwachs in das regionale Gewerbe bringen (der Installateur wird zu einem echten Fachmann für energiesparende ökologische Haustechnik). Der Architekt, der Planer kann seine Projekte leichter mit seinem Baumeister umsetzen und letztlich können wir auch vorhandene Ressourcen in der Gemeinde verwerten. Und damit auch Arbeitsplätze schaffen.

Innerhalb von 10 Jahren ist es realisierbar, dass der Passivhaus-Standard im Neubau mit Energiekennwerten von  $\leq 20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  zu einer Selbstverständlichkeit wird.

Wir müssen im Altbau versuchen, den Niedrigenergiestandard heute schon zu erreichen und die Erfahrungen und Erkenntnisse des Passivhaus-Standards auf den Altbau übertragen. Wir sollten schon heute - ohne Wärmerückgewinnung gerechnet - zumindest unter  $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  kommen. Und dann sollte es uns gelingen, diese Einsparungspotentiale im Altbau umzusetzen. Und wenn uns das gelingt, dann haben wir, glaube ich, das Wesentliche erreicht, dass wir auch einen Beitrag zum Klimaschutz, zur Energieversorgung der Zukunft geleistet haben und uns selbst auch die Möglichkeit bieten, in die Zukunft zuverlässiger hineinzuschauen.

## Diskussion

### Frage:

Es sind 20 kWh als Kennzahl für das Passivhaus von Ihnen gewählt worden, weshalb? Was sind die Gründe der Anhebung?

### Prof. Faninger:

Ich unterscheide zwischen Baustandard „Passivhaus“ und letztlich dem Energieverbrauch. Wenn ich das Passivhaus definitionsgemäß mit einer Wärmerückgewinnung versehe, um auf die aktive Heizung zu verzichten, spreche ich möglicherweise nicht alle Hausherren an. Ich bin überzeugt – das zeigen Untersuchungen im Bereich der sozialen Akzeptanz – dass Leute nicht unbedingt eine Wärmerückgewinnung haben wollen, die den Wohnkomfort verbessert, was bei einem Passivhaus, wenn man keine aktive Heizung hat, aber zwingend notwendig ist. Wenn eine solarunterstützte Mini-Wärmepumpe oder eine Pellets-Heizung mit Solarunterstützung vorhanden ist, dann ist ein Energieverbrauch von  $8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  ohne Wärmerückgewinnung wie beispielsweise in Gleisdorf erreichbar. D.h. wenn ich heute meine Energiekennzahl so definiere, Transmission plus Lüftung als Verluste weniger solare Gewinne über Aussenfenster und interne Wärme, da werde ich sehen, dass die Lüftungswärmeverluste bei jedem Haus unabhängig vom Baustandard auf ungefähr  $25\text{-}30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  kommen. Im Passivhaus wird das einfach vom Gebäude schon abgezogen, weshalb ich auf  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  komme. D.h. ein Passivhaus-Standard ohne Wärmerückgewinnung kommt auf ungefähr  $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , weil wir auch die Solarwärme von den Fenstern herausnehmen. Es hängt da von der Fensterfläche ab und was ich nutzen kann. Bei Altbauten, wo ich eine Wärmerückgewinnung in diesem kleinen Leistungsbereich nicht sinnvoll anwenden kann, möchte ich den Passivhaus-Baustandard haben und dann halt an die Fernwärme angeschlossen werden oder im ländlichen Bereich an Biomassefernwärme. Das ist meine Philosophie.

### Erwiderung:

Für den Altbau trifft das ja alles zu. Beim Neubau hatten Sie das auch so gesehen.

**Prof. Faninger:**

Beim Neubau ist es auch so, dass wir viele Anlagen haben, wo eben auch eine Mini-Wärmepumpe mit Erdreichwärmetauscher als aktives System dabei ist. Eine Wärmerückgewinnungsanlage ist auch ein aktives Heizungssystem, doch man sagt immer ein Passivhaus lebt ohne aktive Heizung. Ich brauche zumindest eine Umwälzpumpe, ich brauche eine Nachheizung, auch wenn es nur eine E-Patrone ist. D.h. ich glaube auch, dass dieser Begriff vom „Passivhaus ohne aktive Heizung“ für mich einen guten Marketingeffekt hat, aber vielen Leuten Angst macht. Wie kann ich in Vorarlberg, wenn es draußen einmal vier Tage lang  $-15^{\circ}\text{C}$  hat, ohne Heizung auskommen? Die Menschen müssen einen Radiator sehen. Ohne Radiator ist ihnen kalt.

**Frage:**

Wie bringt man in Österreich die Baubehörde 1. Instanz – sprich den Bürgermeister in einer kleinen Gemeinde, in der kleinen Kommune - dazu, dass man dort überhaupt auf Verständnis stößt, vor allem im Neubaubereich mehr Offenheit für innovative Konzepte zeigt, um so etwas umzusetzen? Das ist ein wesentlicher oder der springende Punkt, dass man überhaupt weiterkommen kann. Ich habe jetzt 2 Projekte, wo ich massiv behindert werde. Das betrifft den Neubau und auch Sanierungen.

**Prof. Faninger:**

Vor 4 Jahren habe ich versucht der Politik einen Energieausweis näherzubringen, den man an die Wohnbauförderung anhängt, sonst hat man kein Instrument in der Hand. Die erste Antwort war von Politikern: es wird überhaupt nichts mehr gemacht in der Administration, wir haben gerade die Bauvorschriften vereinfacht. Er hat nicht begriffen, dass es um etwas anderes geht. Also habe ich versucht ihm zu sagen ich brauche den Energieausweis als eine Verbesserung im Konsumentenschutz.

Politiker müssen - beraten von allen Seiten – immer zuerst etwas begutachten lassen und selbst die Beamten müssen nicht immer auf der Seite einer Innovation stehen. D.h. es ist mir gelungen in Kärnten zu erreichen, dass heute die Wohnbauförderung nach dem ökologischen Prinzip erfolgt. Es ist mir nicht gelungen, dass jene Leute, die so bauen, wie es die Bauvorschrift verlangt, weniger Fördermittel erhalten und die, die so bauen, wie man bauen sollte, viel mehr erhalten. Das „Weniger“ hat man gestrichen, weil man dann vielleicht Stimmen verloren hätte.

**Frage:**

Vielleicht wäre es ein Weg, dass man die Baubehörde 1. Instanz zum Land verlegt, weil der Bürgermeister überfordert ist.

**Prof. Faninger:**

Das können wir hier nicht klären. Der Bürgermeister muss auch Rechte haben, nur in dem Punkt ist er total überfordert. Auch wenn man die Verhältnisse in kleinen Dörfern kennt. Da sind die Abhängigkeiten entstanden, es will sich ja keiner unbeliebt machen.

## Referenten

**Professor Univ.Lekt. DI. Dr. Manfred Bruck**  
Kanzlei Dr. Bruck - Ingenieurkonsulent für technische Physik  
Prinz-Eugen-Strasse 66/9  
A1040 Wien  
Tel. : 01/ 503 55 59  
Fax: 01/ 503 55 58

**DI. Andreas Bühning**  
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme  
Oltmannsstrasse 5  
D 79100 Freiburg  
Tel.: 0049/ 0761/ 4588-288  
Fax: 0049/0761/ 4588-132

**Professor DI.Dr. Gerhard Faninger**  
Institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung  
der Universitäten Innsbruck, Klagenfurt und Wien  
Sterneckstrasse 15  
A 9010 Klagenfurt  
Tel.: 0463/ 2700-721  
Fax: 0463/ 2700-759

**Dr. Wolfgang Feist**  
Passiv Haus Institut  
Rheinstrasse 44/46  
D 64283 Darmstadt  
Tel.: 0049/06151/ 826 99-33  
Fax: 0049/06151/ 826 99-34

**Mag. Susanne Geißler**  
Österreichisches Ökologie Institut  
für angewandte Umweltforschung  
Seidengasse 13  
A 1070 Wien  
Tel.: 01/ 523 61 05-16  
Fax: 01/ 523 58 43

**DI. Gerrit Horn**  
bau.werk - Energie gestalten  
Architektur- und Ingenieurbüro  
Jakob-Blenk-Strasse 29  
D 67659 Kaiserslautern  
Tel.: 0049/06301/ 30 06 61  
Fax: 0049/06301/30 06 65

**Professor DI. Helmut Krapmeier**  
Energieinstitut Vorarlberg  
Competencecenter CCD  
Stadtstrasse 33  
A 6850 Dornbirn  
Tel.: 05572/ 312 02-61  
Fax: 05572/ 312 02-4

**Professor Dr. Ing. Thomas Lützkendorf**  
Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Wirtschafts-  
wissenschaften, Ökonomie und Ökologie des Wohnungsbaus  
D 76128 Karlsruhe  
Tel.: 0049/0721/ 608-3430

**DI. Richard Obernosterer**  
Ressourcen Management Agentur  
Joh. Brahms Weg 6  
A 9500 Villach  
Tel.: 04242/51310

**DI. Eberhard Paul**  
Paul Wärmerückgewinnung  
Vettermannstrasse 1-5  
D 08132 Mülsen St. Jacob  
Tel.: 0049/037601/ 390-0  
Fax: 0049/037601/ 258 45

**Architekt DI. Martin Ploss**  
bau.werk Stadt und Energie  
Jakob-Blenk-Strasse 33  
D 67659 Kaiserslautern  
Tel.: 0049/06301/ 79 47 31  
Fax: 0049/06301/ 79 47 32

**Architekt DI. Rainfried Rudolf**  
Hubertusplatz 1  
D 70499 Stuttgart  
Tel.: 0049/0711/ 86 06 76  
Fax: 0049/0711/ 862 02 58

**Architekt DI. Wolfgang Ritsch**  
Atelier für Baukunst  
Widagasse 11/2/1  
A 6850 Dornbirn  
Tel.: 05572/ 224 82-0  
Fax: 05572/ 224 82-4

**Architekt DI. Burkhard Schulze Darup**  
Büro Schulze Darup  
Augraben 96  
D 90475 Nürnberg  
Tel.: 0049/0911/ 832 52 62  
Fax: 0049/0911/ 832 52 63

**DI. Norbert Stärz**  
Ingenieurbüro inPlan  
Bahnhofstrasse 49  
D 64319 Pfungstadt  
Tel.: 0049/06157/ 971 20  
Fax: 0049/06157/ 99 01 17

**Architektin DI. Margarete Steinfadt**

Gemeinnützige Wohnbaugesellschaft der Stadt Kassel m.b.H.  
Wildemanngasse 14  
D 34117 Kassel  
Tel.: 0049/0561/ 700 01-272  
Fax: 0049/0561/ 700 01-210

**DI.Dr. Karl Torghele**

"Spektrum" Zentrum für Umwelttechnik & Management GesmbH  
Vorarlberger Wirtschaftspark  
A 6840 Götzis  
Tel.: 05523/ 555 05-0  
Fax: 05523/ 555 05-66

**Architekt DI.Dr. Martin Treberspurg**

Treberspurg & Partner Ziviltechniker GmbH  
Büro für Solararchitektur, ökologisches Bauen und Generalplanung  
Penzinger Strasse 58/11  
A 1140 Wien  
Tel.: 01/ 894 31 91-12  
Fax: 01/ 894 31 91-15

**DI. Thomas Zelger**

Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie  
Alserbachstrasse 5/8  
A 1090 Wien  
Tel.: 01/ 319 20 05-16  
Fax: 01/ 319 20 05-50