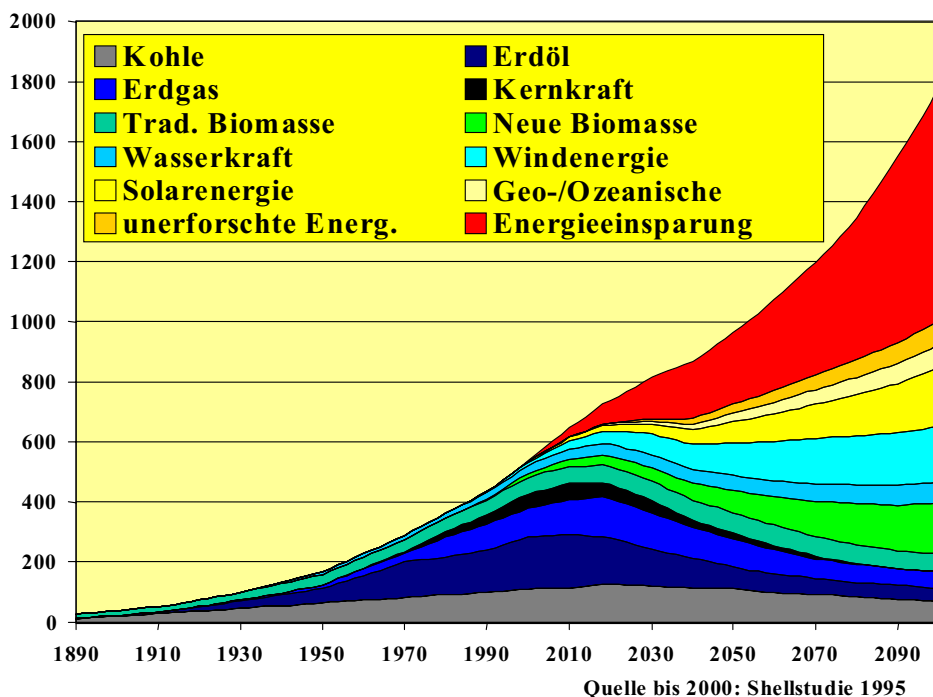


## Energetische Sanierung vs. Raumluftqualität?

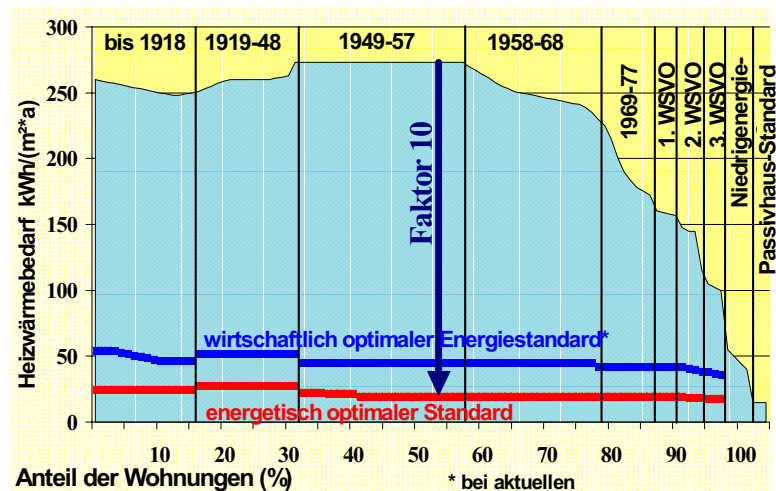
*Burkhard Schulze Darup*

Energetische Gebäudesanierung wird für die nächsten beiden Jahrzehnte zu einem zentralen Aufgabengebiet der Bauwirtschaft. Für die Wirtschafts-, Umwelt- und Arbeitsmarktpolitik ergeben sich daraus große Potenziale, u. a. für den Klima- und Ressourcenschutz. Abbildung 1 symbolisiert sehr deutlich die Risiken volkswirtschaftlicher Entwicklungen in Abhängigkeit von den zu erwartenden Verwerfungen auf dem Energiemarkt bei steigender Nachfrage und Erreichen des Förderzenits kostengünstiger fossiler Energieträger.



**Abb. 1 Weltenergieverbrauch (in Etajoule): Sparszenario und regenerativ**

Die grundlegende Steigerung des Anteils regenerativer Energieträger in Verbindung mit unserer größten Energiressource – der Energieeffizienz – stellt eine ursächliche Lösung dieser Problematik dar. Im Gebäudebereich ist Energieeinsparung mit bestem Kosten-Nutzen-Verhältnis möglich. Etwa ein Drittel der Endenergie (BRD) wird für Bereitstellung von Raumwärme aufgewandt. Abbildung 2 stellt schematisch das Einsparpotenzial für den Baubestand dar. Niedrigenergie- und Passivhaustechnologie ermöglichen hohe Einsparungen – bei der Sanierung bis zur Reduktion um Faktor 10. Für das Erreichen der Heizwärmeverbrauchs-Standards, wie sie in Abbildung 3 dargestellt werden, sind innovative Techniken erforderlich: bei Neubauten liegen sehr umfangreiche positive Erfahrungen vor, die davon ausgehen lassen, dass deren Einsatz auch bei der Sanierung zum Erfolg führen wird. Dennoch ist es unabdingbar, Hygiene-, Raumluft und Komfortfaktoren sehr genau zu untersuchen, um verlässliche Aussagen für die Nutzer der Gebäude zu erhalten und durch neue Technologien keine Risiken einzugehen. Eine entscheidende Rolle spielen dabei bauphysikalische Parameter und Lüftungsaspekte.



Quellen: ARENHA 1993, IWJ 1994, Bundesarchitektenkammer 1995, Schulze Darup 1998/2000

Abb. 2 Schema des Heizenergie-Reduktionspotenzials im Wohngebäudebestand

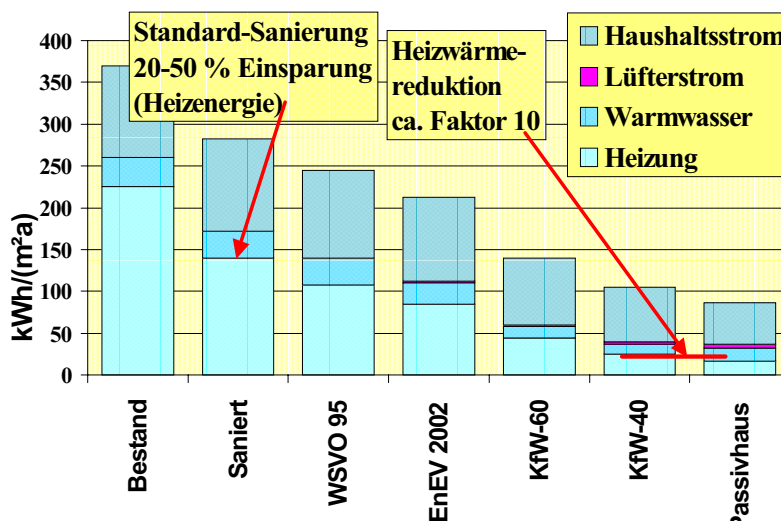


Abb. 3 Primärenergie-Kennwerte von Baustandards: Heizen, Trinkwassererwärmung und Strom

## Bauliche Komponenten

Techniken für energieeffiziente Sanierung sind vorhanden und aus technischer Sicht ausreichend erprobt. Es geht von der baulichen Seite her vor allem darum, die wärmeübertragende Gebäudehülle möglichst gut zu dämmen. Statt der üblichen Dämmdicken von 6 bis 12 cm werden Dämmungen von 15 bis 30 cm angestrebt. Dazu kommen hochwertige Fenster mit Dreifach-Wärmeschutzverglasung und gedämmten Rahmen. Hinsichtlich der Qualitätssicherung muss besonderes Augenmerk auf die Minimierung von Wärmebrücken und eine hohe Luft- und Winddichtheit gelegt werden. Die baulichen Komponenten werden in Abbildung 5 aufgezeigt. In der folgenden Tabelle sind sie nochmals mit ihren jeweiligen besonderen Aspekten aufgelistet.

## Anforderungsprofil für Komponenten

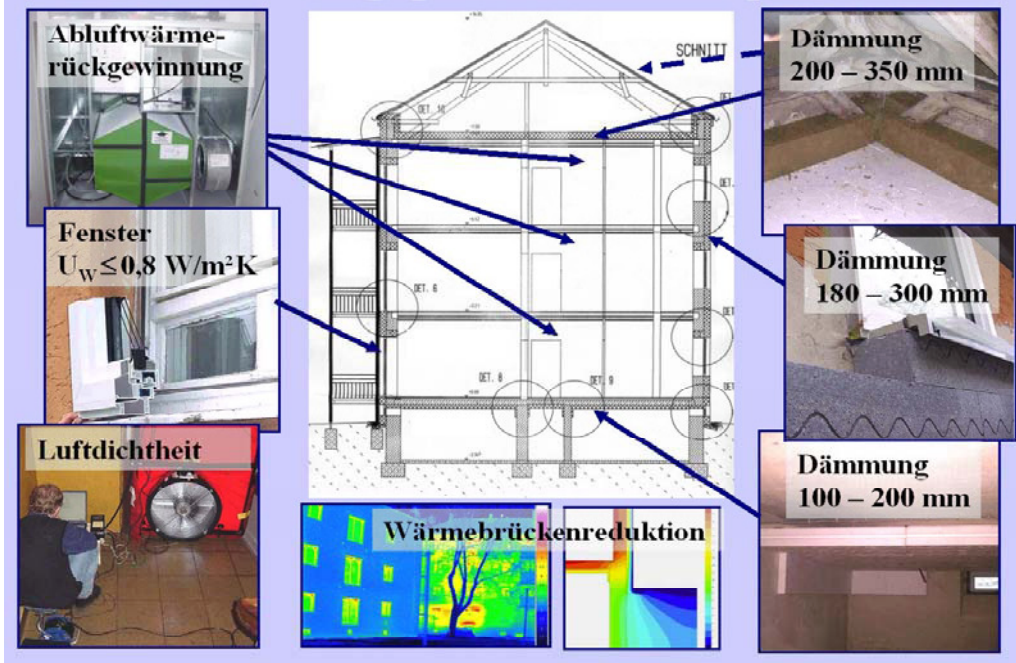


Abb. 4 Bauliche Komponenten für Sanierung mit Faktor 1

Tabelle 1 Passivhaus-Komponenten bei der Sanierung

Bauteil	Stand der Technik		Wirtschaftlichkeit der Zielvariante € pro eingesparter kWh
	derzeit üblicher Standard	Zielvariante:	
Wand	Dämmung 0-10 cm	<b>16-24 cm</b>	0,01-0,04 €
<b>Dach</b>	10-16 cm	<b>25-30 cm</b>	0,01-0,03 €
<b>Kellerdecke</b>	0-8 cm	<b>10-20 cm</b>	0,02-0,04 €
<b>Fenster</b>	$U_w=1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$U_w=0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	0,06-0,10 €
<b>Lüftung</b>	Fensterlüft.	<b>WRG<sup>1)</sup></b>	0,05-0,12 €
Gebäudetechnik	1,3-2,0 <sup>2)</sup>	<b>1,1-1,2<sup>2)</sup></b>	0,01-0,04 €
<b>Regener. Energ.</b>	Ausnahme	<b>hoher Anteil</b>	0,07-0,20 €
<b>CO<sub>2</sub>-Reduktion</b>	<b>20-50%</b>	<b>85-95%</b>	

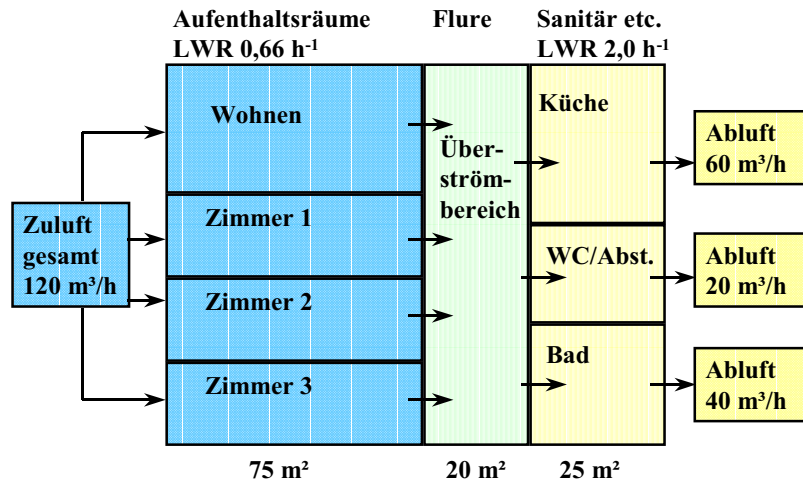
<sup>1)</sup> Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG)

<sup>2)</sup> Anlagenaufwandszahl der Heizanlage (ohne regenerativen Bonus)

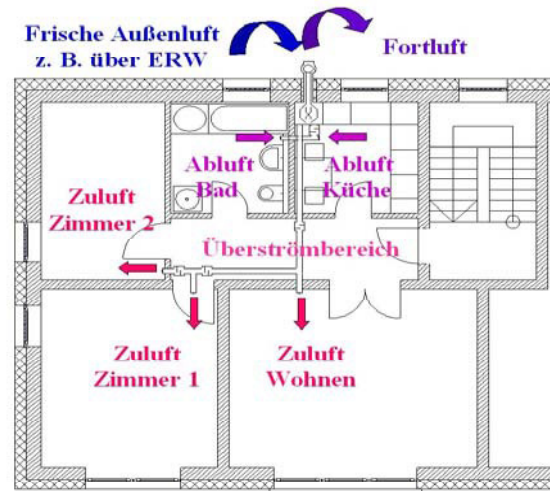
### Lüftung

Noch vor wenigen Jahrzehnten war eine ausreichende Luftwechselrate durch den Auftrieb der Verbrennungsluft von Einzelöfen in Verbindung mit großen Undichtheiten in der Gebäudehülle gegeben. Mit dem Einbau von Zentralheizungen und der Abdichtung von Fenstern und Türen entfiel diese Art der Lüftung. Eine Änderung des Nutzerverhaltens – also Außenluftzufuhr durch Lüften – war jedoch nicht in ausreichendem Maß gegeben. Schimmelpilzbildung, Allergien und Sick-Building-Syndrom waren die Folge. In Fachkreisen setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass zur Sicherstellung einer

ausreichenden Luftwechselrate von 0,4 bis 0,8 h<sup>-1</sup> (30 m<sup>3</sup> pro Person, vgl. Abb. 5) eine mechanische Lüftungsanlage unabdingbar ist. Soll dieser Luftwechsel durch Fensterlüftung erzielt werden, müsste etwa alle anderthalb Stunden eine Querlüftung durchgeführt werden – auch nachts!



**Abb. 5** Auslegungsschema einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung; Luftwechselrate gesamt = 0,4 h<sup>-1</sup>



**Abb. 6** Zu-/Abluftanlage mit WRG (Grundriss)

Es bieten sich zwei Anlagenkonzepte an: Abluftanlagen und Zu-/Abluftanlagen (Abb. 6) mit Wärmerückgewinnung. Aus energetischer Sicht ist letztere Variante zu bevorzugen mit einem Wärmebereitstellungsgrad des Gerätes von  $\eta_{\text{WBG,t,eff}} \geq 75\%$  und hoher Elektroeffizienz ( $p_{\text{el}} \leq 0,45 \text{ Wh/m}^3$  Leistungsaufnahme für Ventilator und Regelung pro m<sup>3</sup> geförderte Luft). Diese Anlagen haben sich über den Passivhausbau in den letzten Jahren etabliert und können im Bereich der Sanierung eingesetzt werden. In den nächsten Jahren werden kostengünstige zentrale Lösungen für Mehrfamilienhäuser auf den Markt gebracht.

## Hygienische Aspekte des Heizsystems

Die Maßnahmen an der Gebäudehülle sind Voraussetzung für die Auswahl eines sinnvollen Heizsystems: die Heizlast reduziert sich gravierend auf etwa 10 bis 20 Watt pro  $\text{m}^2$  beheizter Fläche. Dadurch kann mit einfachen und kostengünstigen Heizsystemen bei geringer Vorlauftemperatur die Wärme transportiert werden. Bei den Heizflächen entstehen nur geringe Temperaturunterschiede ohne Zegerscheinungen und eine ausgeglichene Wärmeverteilung ohne Schichtungen in den Aufenthaltsräumen. Pyrolyseprozesse von Staub in der Raumluft an Heizflächen mit der Folge schlechter Raumluftqualität finden nicht mehr statt. Unterschreitet die Heizlast 10  $\text{Watt/m}^2$  kann auch über die Zuluft der Lüftungsanlage bei hohem Komfort geheizt werden. In diesem Fall kann das gesonderte Warmwasser-Heizsystem entfallen, was Kosteneinsparungen und Flächengewinne im Bereich der bisher erforderlichen Heizkörper mit sich bringt.

## Bauphysik, Behaglichkeit und Komfort

Zahlreiche Parameter sprechen aus Behaglichkeits- und Komfortgründen für hochwertige energetische Sanierung. Eine Auswahl der Aspekte wird im Folgenden dargestellt.

### Oberflächentemperaturen

Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto höher liegen die inneren Oberflächentemperaturen der Außenbauteile zu Wand, Dach und Keller. Abbildung 7 zeigt die Situation für ein typisches unsaniertes Bestandsgebäude und Abb. 8 für eine hochwertig gedämmte Sanierungsausführung.

Die „empfundene Raumtemperatur“ sollte bei etwa  $19 - 20^\circ\text{C}$  liegen. Sie stellt in etwa das arithmetische Mittel aus den Temperaturen der umgebenden Oberflächen und der Raumlufttemperatur dar. Bei gut gedämmten Gebäuden sind alle Oberflächen ungefähr gleich warm und haben keine größere Temperaturdifferenz als 3 bis 4 Kelvin, was nochmals als Kriterium für ein hohes Behaglichkeitsempfinden gilt.

Gut gedämmte Gebäude werden von den Nutzern bei niedrigerer Raumlufttemperatur als hoch komfortabel empfunden.



Abb. 7 Oberflächentemperaturen bei einer schlecht gedämmten Gebäudehülle



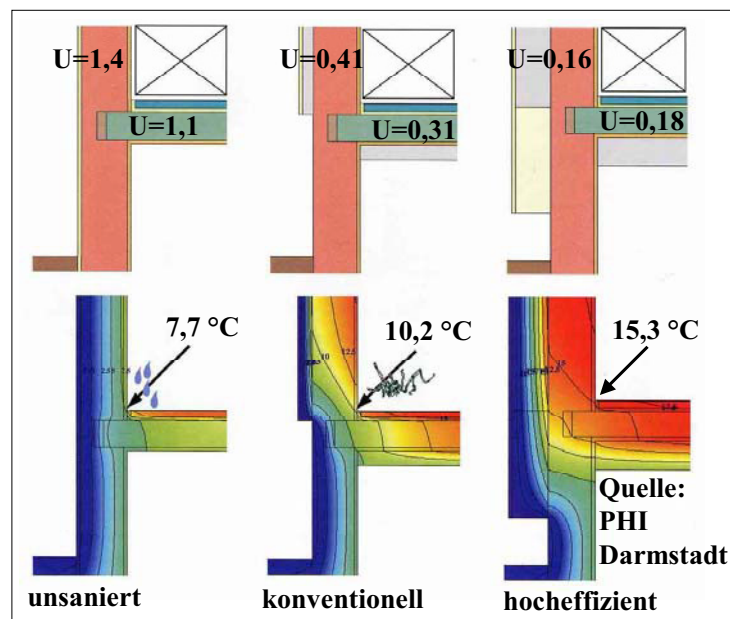
Abb. 8 Hohe Behaglichkeit bei guter Dämmung



## Wärmebrücken und Mikroorganismen

Selbst bei guter Dämmung in der Fläche entstehen an Wärmebrücken Temperaturen, die zu Schäden führen können: Tauwasserausfall entsteht bei Oberflächentemperaturen unter  $9,3\text{ °C}$ , Schimmelpilzbildung kann ab Oberflächentemperaturen von  $12,6\text{ °C}$  bereits ab einer relativen Raumluftheuchte von  $80\%$  beginnen. Diese Werte gelten für  $20\text{ °C}$  Raumtemperatur und  $50\%$  relative Raumluftheuchte – in vielen Wohnungen ist eine nochmals ungünstigere Situation gegeben. Für diese Rahmenbedingungen wurde an zahlreichen Wärmebrückendetails eine Überprüfung durchgeführt. Wird berücksichtigt, dass nahezu regelmäßig Möblierungen in diesen Bereichen vorhanden sind, verschärft sich die Situation nochmals. Bei unsanierten Gebäuden tritt in den meisten Fällen Tauwasser und Schimmelpilzbildung auf, bei Standarddämmungen (6-8 cm) ist an vielen Detailpunkten noch mit der Bildung von Schimmelpilzen zu rechnen. Dies entspricht den Beobachtungen bei vielen unsachgemäß sanierten Gebäuden. Es wird davon ausgegangen, dass Schimmelpilze maßgeblich für Allergien und Atemwegserkrankungen ursächlich sind. Ein starker Anstieg dieser Krankheiten seit den siebziger Jahren ist u. a. auf diese Ursache zurück zu führen.

Erst bei guter Dämmung im U-Wert Bereich um bzw. unter  $0,2\text{ W/(m}^2\text{K)}$  treten keine Mängel mehr auf. (vgl. Abbildung 9)



**Abb. 9** Wärmebrücke im Sockelbereich Keller-Erdgeschoss: unsanierte Variante mit Tauwasserausfall, konventionelle Variante mit Schimmelpilzbefall, hocheffiziente Variante schadensfrei [PHI 2003-2]

## Luftgeschwindigkeit und Luftschichtung

Temperaturunterschiede stellen neben Undichtheiten eine wesentliche Ursache für Raumluftbewegungen dar. Wenn ein Gebäude luft- und winddicht gebaut ist, zudem ausgewogene Temperaturen in allen Bereichen eines Raumes aufweist (s. o. Punkt „Oberflächentemperaturen“) und schließlich für die Beheizung (s. o. „Hygienische Aspekte des Heizsystems“) nur sehr geringe Vorlauftemperaturen erfordert, so führt dies zu sehr geringen Luftgeschwindigkeiten und mithin hoher Behaglichkeit.

Ergänzend ergeben sich nur minimale Effekte hinsichtlich der Luftschichtung. Das Thema „kalte Füße und warmer Kopf“ kann bei energetisch hochwertig sanierten Gebäuden ad acta gelegt werden.

Lüftungsanlagen führen bei richtiger Auslegung in den Aufenthaltsbereichen zu keinerlei spürbarer Luftbewegung. Der Luftaustausch erfolgt so langsam, dass Luftgeschwindigkeiten deutlich unterhalb der wahrnehmbaren Schwelle liegen.

### Zwangslüftung –Komfortlüftung

Lüftungsanlagen werden von Nutzern zunächst mit Vorbehalt bedacht, weil Klimaanlage mit zwangsverschlossenen Fenstern assoziiert werden. Richtig geplante Lüftungsanlagen haben eine extrem hohe Nutzerakzeptanz. Sie werden in der überwiegenden Zahl der Fälle als deutliche Erhöhung des Komforts angesehen. Der lästige Zwang zum Fensterlüften entfällt. Die beständig frische Raumluft bei geschlossenen Fenstern wird sehr geschätzt. In innerstädtischen Bereichen und an verkehrsträchtigen Straßen wirken Lüftungsanlagen zudem als Schallschutzmaße. Natürlich können die Fenster geöffnet werden: im Sommer und außerhalb der Heizzeit soll bzw. kann ergänzend Fensterlüftung betrieben werden.

### Raumluftqualität

Durch den gezielten und regelmäßigen Eintrag frischer Außenluft wird die Raumluftqualität entscheidend verbessert: eine stündliche Außenluftzufuhr von 30 m<sup>3</sup> pro Person führt je nach Wohnungsgröße und Belegung zu Luftwechselraten zwischen 0,4 und 1,2 h<sup>-1</sup> in den Aufenthaltsräumen bzw. von 0,3 bis 0,7 h<sup>-1</sup> für die gesamte Wohnung. Wie oben bereits beschrieben wird solch ein Luftaustausch in der Praxis durch manuelle Lüftung bei weitem nicht erreicht. Entsprechend niedrig liegen die Schadstoffwerte von bisherigen Messungen. Abbildung 10 zeigt einen Vergleich hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Schlafzimmer.

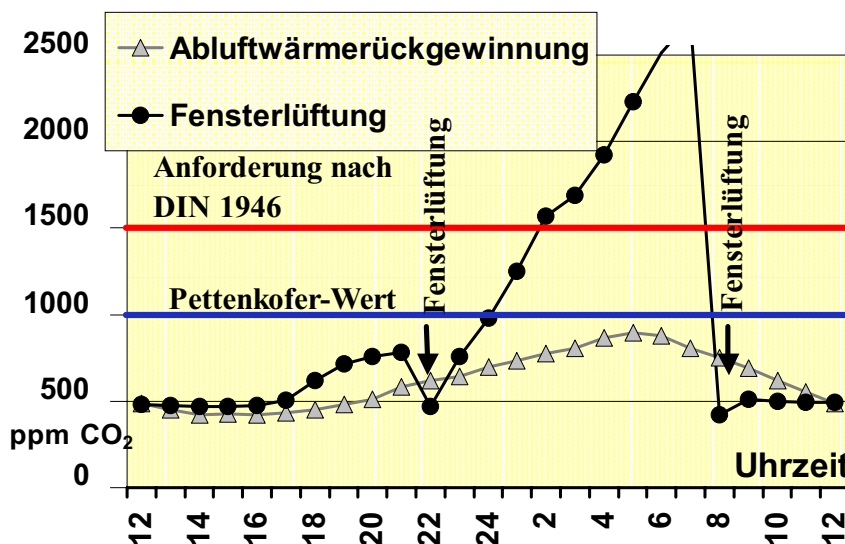


Abb. 10 Charakteristischer Tagesverlauf der CO<sub>2</sub>-Konzentration in einem Schlafzimmer im Vergleich von Fensterlüftung und Zu-/ Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung

## **Durchgeführte Projekte**

Sanierung mit Passivhauskomponenten wurde bisher erst in Einzelfällen durchgeführt. Vor allem zu erwähnen ist das 3-Liter-Haus der LuWoGe im Brunckviertel in Ludwigshafen (Abb. 12): ein 50er-Jahre-Gebäude wurde mit hohem Aufwand als Pilotobjekt saniert. Die detaillierte Auswertung zeigt, dass die angestrebten Verbrauchswerte unterschritten wurden. [LuWoGe 2001-2003].

In Hannover wurde u. a. ein Gründerzeithaus in Passivbauweise (Erdgeschoss in Niedrigenergiebauweise) ausgeführt. Die Nürnberger WBG [WBG 2003] sanierte ein Mehrfamilienhaus (Bj. 1930) zu einem 3-Liter-Haus unter dem Aspekt hoher Wirtschaftlichkeit (Abb. 11).



**Abb. 11** Drei-Liter-Haus (WBG Nürnberg) am Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg vor und nach der Sanierung

Die erfolgreiche Durchführung der Projekte führte dazu, dass sich derzeit eine hohe Anzahl energieeffizienter Sanierungen in der Planung befindet. Einen wichtigen Anstoß dazu gab das Projekt der Deutschen Energieagentur (dena) „Niedrigenergiehaus im Bestand“, in dessen Rahmen etwa 25 Mehrfamilienhäuser mit hoher Energieeffizienz saniert werden – der überwiegende Teil im KfW-40-Standard. Förderung wird seitens der KfW (Kreditanstalt für Wiederaufbau) gewährt. [DENA 2003]

Ein Förderprojekt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) beschäftigt sich intensiv mit der Thematik und schafft Grundlagen für weitere Sanierungen mit Faktor 10. [DBU 2003]



**Abb. 12** Drei-Liter-Haus der LuWoGe im Brunckviertel in Ludwigshafen



## **Fazit**

Das Aufgabengebiet der Gebäudesanierung stellt eine hervorragende Chance für Arbeitsmarkt-, Umwelt- und Stadtentwicklungspolitik der nächsten zwei Jahrzehnte dar. Ziel muss eine hohe Verbreitung hocheffizienter Sanierungstechniken sein. Bauphysik-, Hygiene-, Komfort- und Ressourcenparameter sprechen deutlich für deren Anwendung:

- Bauphysikalische Sicherheit unter Bautenschutzaspekten
- Keine Tauwasser- und Schimmelpilzprobleme
- hoher bauphysikalischer Komfort
- Gute Raumluftqualität durch kontinuierliche Außenluftzufuhr
- Wohlbefinden der Bewohner aus thermischer und lufthygienischer Sicht.

Auch unter ökonomisch-ökologischen und soziokulturellen Aspekten entstehen Gewinne:

- der Wohnungswirtschaft wird Hilfestellung zum Abbau ihres Sanierungsstaus geleistet
- der Industrie wird ein breites Anwendungsspektrum für innovative Produkte eröffnet
- die (regionale) Bauwirtschaft kann die Einbrüche der letzten Jahre ausgleichen
- sinnvolle Förderungen führen zu einem hohen Investitionsvolumen – durch Arbeitslosen- und fiskalische Effekte fließen Fördermittel zu 100 % zurück
- die avisierten 50er- und 60er-Jahre Quartiere werden städtebaulich aufgewertet
- CO<sub>2</sub>-Reduktion mit sehr günstigem Kosten-Nutzen-Verhältnis ist möglich
- Ressourceneffizienz führt zur Aussöhnung von Ökologie und Ökonomie.
- deutliche Reduktion des Ressourcenverbrauchs fossiler Energieträger als Grundlage für nachhaltige Volkswirtschaft sowie globalen Interessenausgleich, der eine Voraussetzung für ein weltweites friedliches Miteinander darstellt.

## **Literatur / Quellen**

- DBU 2003            Energetische Gebäudesanierung mit Faktor 10. – Umsetzungsorientiertes Forschungsvorhaben mit Förderung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Koordination: Schulze Darup; Partner: PHI Darmstadt, ZEBAU Hamburg, IEMB Berlin und vier Industriepartner, Laufzeit 2003-2004
- DENA 2003        Modellprojekt – Niedrigenergiehaus im Bestand. – Deutsche Energie Agentur Berlin 2003 [www.neh-im-bestand.de](http://www.neh-im-bestand.de)
- DIW 1997         Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung: Jobs fürs Klima – Beschäftigungspotentiale von Energiesparmaßnahmen im Raumwärmebereich. – Hrsg. Umweltstiftung WWF-Deutschland Berlin 1997
- Feist 2003        Feist, W.; John, M.; Kah, O.: Passivhaustechnik im Gebäudebestand – Qualitätssicherung für das Bauvorhaben Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg. – Passivhaus Institut Darmstadt im Auftrag der WBG Nürnberg 2003
- Hinz et al 2002   Hinz, E.; Großklos, M.; Born, R.: Statusbericht zum Thema “Niedrigenergiehäuser im Bestand“ Eine Untersuchung im Auftrag der Deutschen Energie-Agentur (dena). – IWU Darmstadt 2002

- LUWOG 2001 LUWOG: Das 3-Liter-Haus. – Hrsg. LUWOG Wohnungs-  
bauunternehmen der BASF GmbH Ludwigshafen 2001
- Münzenberg 2002 Münzenberg, U.; Thumulla, J.: Vergleichende Verlaufsmessun-  
gen. – In: Schulze Darup, B. (Hrsg.): Passivhaus Projektbericht:  
Energie und Raumluftqualität. - AnBUS Fürth 2002
- PHI 2003 Herstellerliste von passivhaus-geeigneten Komponenten: Home-  
page des Passivhaus Instituts Darmstadt: passivhaus-info.de
- PHI 2003-1 Passivhaus Institut Darmstadt: Dokumentation zur 7. Passiv-  
haus-Tagung in Hamburg 2003
- PHI 2003-2 Feist (Hrsg.): Einsatz von Passivhaustechnologien bei der Alt-  
baumodernisierung. - PHI: Arbeitskreis kostengünstige Passiv-  
häuser, Protokollband 24, Passivhaus Institut Darmstadt 2003
- Schulze Darup 1999 Schulze Darup: Altbausanierung im Raum Nürnberg. – In:  
Klimaschutz durch energetische Sanierung von Gebäuden  
Band 1, Hrsg. Forschungszentrum Jülich, Reihe Umwelt Band  
21 1999
- Schulze Darup 2002 Schulze Darup, B. (Hrsg.): Passivhaus Projektbericht: Energie  
und Raumluftqualität, Messtechnische Evaluierung und Verifi-  
zierung der energetischen Einsparpotenziale und Raumluft-  
qualität an Passivhäusern in Nürnberg. – gefördert durch die  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Projektpartner: LGA Nürn-  
berg, Energieagentur Mittelfranken Nürnberg, AnBUS Fürth,  
N-ERGIE Nürnberg, Architekturbüro Schulze Darup Nürn-  
berg, Verlag AnBUS Fürth 2002
- Schulze Darup 2003 Schulze Darup, B.: Modernisierung mit Passivhaus-Kompo-  
nenten. – In: Tagungsband 7. Internationale Passivhaustagung  
in Hamburg, PHI Darmstadt 2003
- Schulze Darup 2003-1 Schulze Darup, B.: Energetische Wohngebäudesanierung mit  
Faktor 10. – Dissertation Universität Hannover / Fachbereich  
Architektur 2003
- WBG 2003 WBG Nürnberg (Hrsg.): Modernisierung mit Passivhaus-Kompo-  
nenten: Projektbericht Jean-Paul-Platz 4 in Nürnberg. –  
Schulze Darup, B.: Koordination und Zusammenfassung; PHI  
Darmstadt: Qualitätssicherung; FIW München: Mess-  
programm; WBG Nürnberg 2004
- Werner 1999 Werner, J.: Grundlagen der Wohnungslüftung im Passivhaus. –  
In: Protokollband Nr. 17 AK kostengünstige Passivhäuser,  
Hrsg. PHI Darmstadt 1999
- Wuppertal Institut 1999 Wuppertal Institut: Gebäudesanierung – eine Chance für Klima  
und Arbeitsmarkt. – Hrsg. IG Bauen-Agrar-Umwelt und  
Greenpeace Hamburg 1999