

---

## Energieoptimiertes Bauen (ENOB)

### 3. EnSan-Symposium

Raumluftechnik im Bestand  
22. und 23.03.2006 Stuttgart

---



[www.enob.info](http://www.enob.info)

[www.ensan.de](http://www.ensan.de)

Tagungsberichte

# **Energieoptimiertes Bauen (ENOB)**

## **3. EnSan-Symposium**

### **Raumluftechnik im Bestand**

Grundlagen der energetischen Bilanzierung  
Erfahrungen aus realisierten Demovorhaben

22. und 23.03.2006 Stuttgart

Herausgeber: FIA-Projekt – Forschungs-Informations-Austausch  
unterstützt durch das  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)

im Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.  
Danziger Straße 20  
74321 Bietigheim-Bissingen  
Tel.: 071 42/54498  
[www.fgk.de](http://www.fgk.de)

Organisation: Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
PTJ  
52425 Jülich

Veröffentlicht im März 2006 Best. Nr.: 118  
Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren

## Inhaltsverzeichnis:

1. <b>Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik in Deutschland</b> Dr. Knut Kübler, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie	5
2. <b>Energetische Bilanzierung von Nichtwohngebäuden</b> Ein gesamtheitlicher Bilanzierungsansatz Hans Erhorn, IBP Stuttgart	15
3. <b>Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone</b> Prof. Lothar Rouvel, TU München	23
4. <b>Nutzenergiebedarf für thermische Luftaufbereitung und Energiebedarf für Luftförderung</b> Heiko Schiller, Schiller Engineering, Hamburg	33
5. <b>Integrale Gebäudekonzepte auf dem Prüfstand – Gegenüberstellung von Rechnung und Messung</b> Herbert Sinnesbichler, IBP Holzkirchen	61
6. <b>EnEV 2006 – Ein europäisches Vorzeigeprojekt</b> Hans-Dieter Hegner, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung	69
7. <b>Übersicht über die laufenden und bereits abgeschlossenen Demonstrationsvorhaben</b> Johann Reiß, IBP Stuttgart	85
8. <b>Energetische Sanierung der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen</b> Stephan Seyb, Architekt, Universität Bremen Remo Pelzer, ttz an der Hochschule Bremerhaven	95
9. <b>Energetische Sanierung des kath. Gemeindezentrums “Guter Hirte” in Ulm-Böfingen</b> Johann Reiß, IBP Stuttgart Dr. Jochen Manara, ZAE Bayern	103
10. <b>Sanierung des Altenpflegeheims in Stuttgart-Sonnenberg</b> Dr. Jürgen Görres, Amt für Umweltschutz Stuttgart Johann Reiß, IBP Stuttgart	131
11. <b>Sanierung und Umbau des Studentenwohnheims “Neue Burse” in Wuppertal zum Passivhaus</b> Prof. Karsten Voss, Universität Wuppertal Michael Müller, Architekt, Wuppertal	149
12. <b>Energetische Sanierung der Kindertagesstätte “Plappersnut” in Wismar</b> Prof. Martin Wollensak, Hochschule Wismar Heiko Winkler, Universität Rostock	157
13. <b>Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben im Förderkonzept ENOB</b> André Le Marié, Projektträger Jülich	177







## ***Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik in Deutschland***

### *Zusammenfassung*

Dr. Knut Kübler  
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Die Bundesregierung hat im Juni 2005 das 5. Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“ verabschiedet. Die dort dargelegten Grundzüge und Förderleitlinien gelten unverändert fort. Auch die im 5. Energieforschungsprogramm festgelegten Förderschwerpunkte haben Bestand. Allerdings plant die neue Bundesregierung - trotz der unverändert schwierigen Haushaltslage - eine Intensivierung und Ausweitung der Energieforschung. Damit leistet die Bundesregierung einen wichtigen Beitrag zur notwendigen Modernisierung der Energieversorgung Deutschlands und stärkt den Forschungs- und Innovationsstandort Deutschland.

Die Energieforschung wird auch zentrales Element der von der Bundesregierung gegenwärtig erarbeiteten „High-Tech-Strategie Deutschland“ bilden, die vor allem darauf abzielt, zusätzliche Brücken von der Forschung zu den Märkten zu entwickeln. Mit dieser neuen Initiative sollen die Ergebnisse von Forschung und Entwicklung schneller zur Marktreife gebracht und Wachstum und Beschäftigung in Deutschland gesichert werden.

Die „großen Schwerpunkte“ bei der Förderung von Forschung und Entwicklung moderner Energietechnologien werden sein: Moderne Kraftwerkstechnologien auf der Basis von Kohle und Gas (einschließlich CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Speicherung), Photovoltaik und Windenergie im Offshore Bereich, Brennstoffzellen und Wasserstoff als Sekundärenergieträger, Energieeffizienztechnologien auf der Nachfrageseite sowie Technologien zur energetischen Nutzung der Biomasse.

Wert, besonders hervorgehoben zu werden, ist das Fachprogramm „Energieoptimiertes Bauen“ (ENOB), mit dem man neue Anstöße bei der Entwicklung von modernen Energietechnologien im Gebäudebereich geben will. Ziel ist auf lange Sicht die Halbierung des Primärenergiebedarfs gegenüber dem heutigen Stand und eine deutliche Senkung des Energiebedarfs bei den bestehenden Gebäuden. Neben der Weiterentwicklung bestehender Technologien (Wärmeschutz, Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage, Mess- und Regeltechnik, stromsparende Beleuchtung u. a.) geht es auch um die Förderung innovativer Konzepte in Demonstrationsvorhaben, die wissenschaftlich evaluiert werden. Eine neue Initiative zur energetischen Sanierung von Schulgebäuden soll die Aufmerksamkeit und die Akzeptanz für neue Energieeinspartechnologien in der Öffentlichkeit stärken. Die gesamten Aktivitäten zur Förderung von F&E im Gebäudebereich dienen auch der Unterstützung des von der Bundesregierung initiierten Gebäudesanierungsprogramms.

## Energie

# Weiterentwicklung der Energieforschungspolitik in Deutschland

*Dr. Knut Kübler*

*Stuttgart, 22. März 2006*

[www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)

## Gliederung

- 1. Aktuelle Innovationsdebatte**
- 2. Energiewirtschaftliche Ausgangslage**
- 3. Schwerpunkte der künftigen Förderpolitik**
- 4. Langfristperspektive**

## Politische Perspektive

„Noch nie hat es einen Koalitionsvertrag gegeben, der so sehr auf Innovationen und Technologiefreundlichkeit setzt“

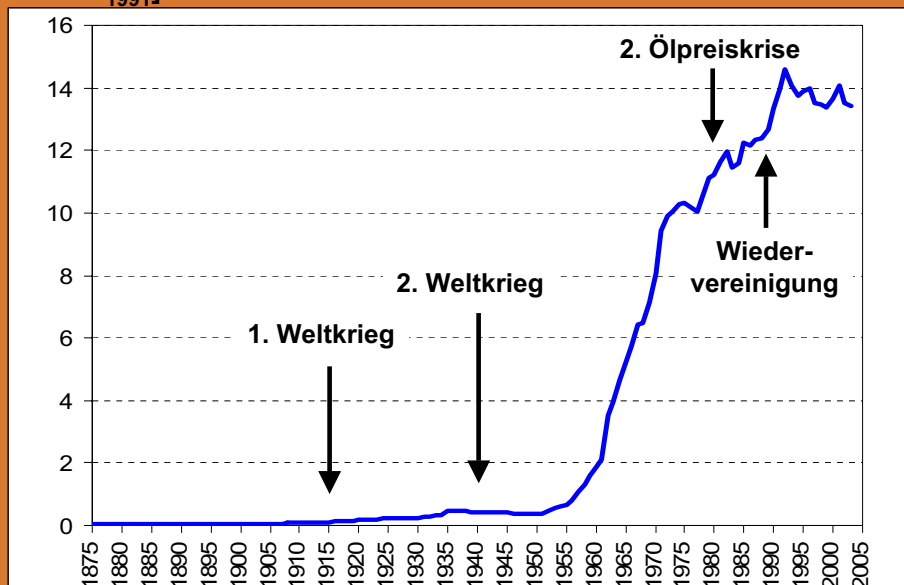
„Wir wollen bis 2010 so weit sein, dass wir jährlich 3 Prozent des Bruttosozialproduktes in Forschung und Entwicklung investieren“

„Verlässlichkeit soll ein Markenzeichen dieser Bundesregierung werden“

*Regierungserklärung, 30.11.2005*

## Staatliche F&E-Ausgaben in Deutschland

[Mrd. EUR<sub>1991</sub>]



Quelle: Kölbl, DESTATIS, BMBF

## F&E-Aufwendungen der Wirtschaft (2004)

**Wirtschaft insgesamt: 46,3 Mrd. €**

*darunter:*

Fahrzeugbau

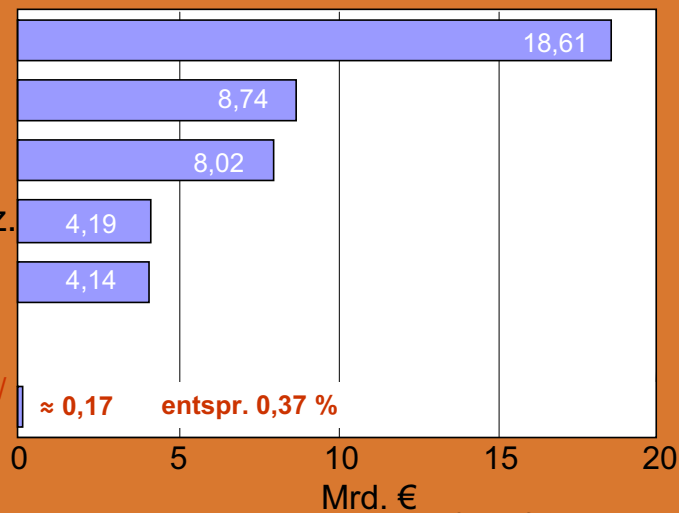
Elektrotechnik, DV

Chemische Industrie

Pharmazeutische Erz.

Maschinenbau

Bergbau/ Mineralölverarb./  
Energieversorgung



Quelle: Stifterverband Wissenschaftsstatistik

## F&E-Aufwendungen des Bundes (2004)

**Bund insgesamt: 8,87 Mrd. €**

*davon:*

Wehrforschung/ -technik

Weltraumforschung/ -technik

Großgeräte der Grundlagenforschung

Informationstechnik

Nachhaltige Entwicklung

Gesundheit und Medizin

Innovation (Techn./ Wissenstransfer)

Energieforschung

Materialforschung

Geisteswissenschaften

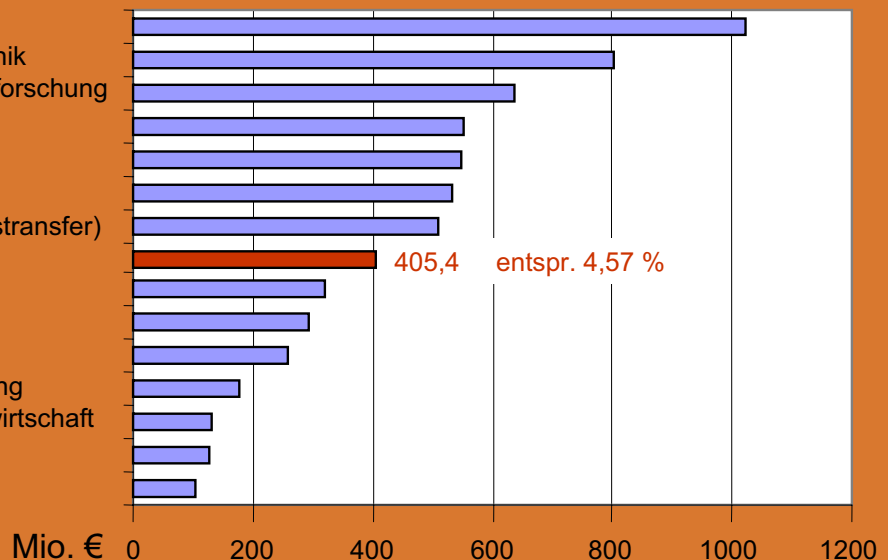
Biotechnologie

Meeres- und Polarforschung

FuE in der Land- und Forstwirtschaft

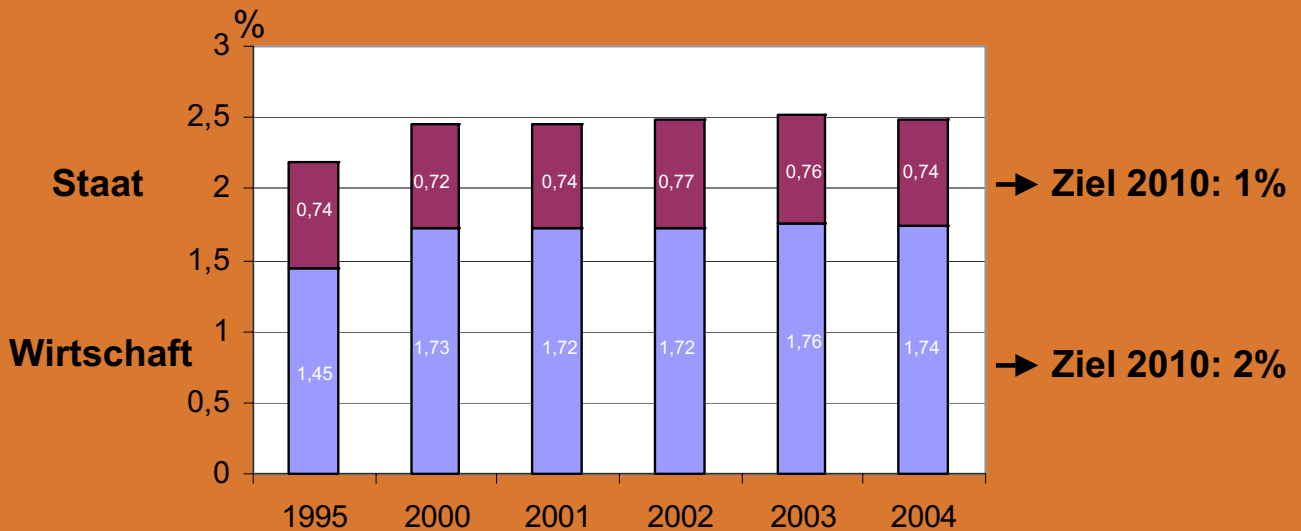
Bildungsforschung

Luftfahrtforschung



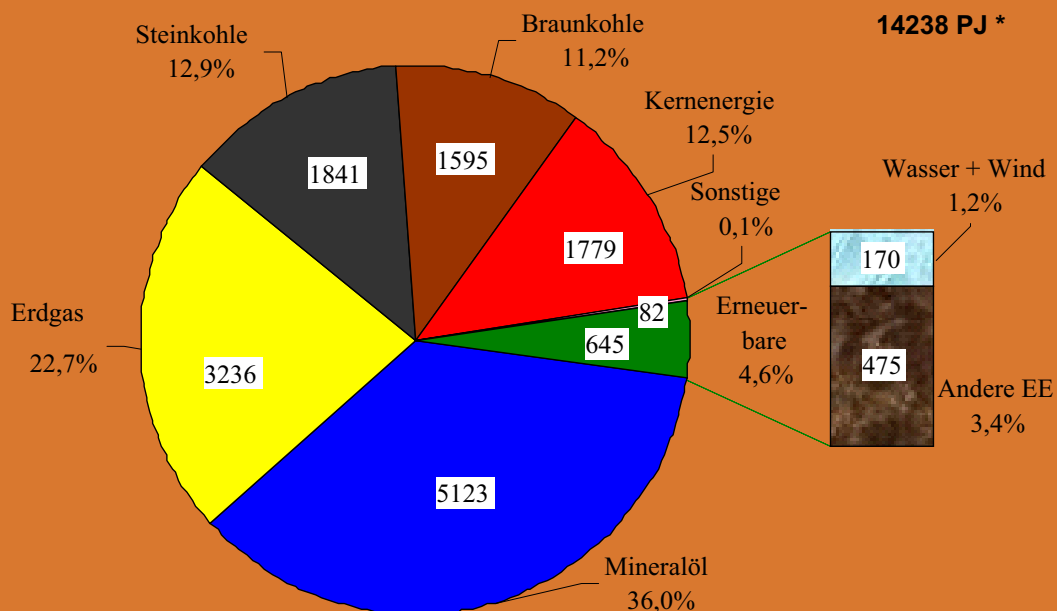
Quelle: Fortschreibung BuFo 2004

## Anteil der F&E-Aufwendungen am BIP (1995 - 2004)



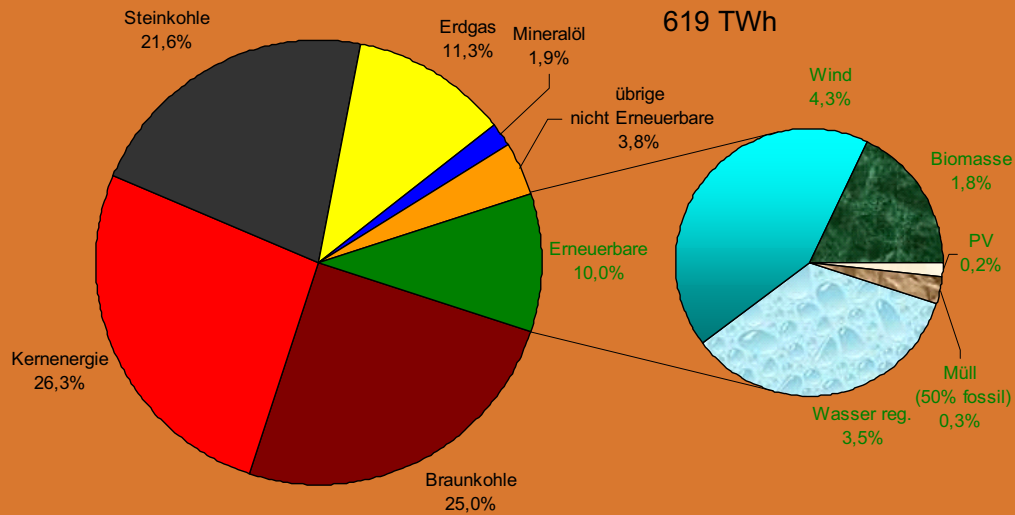
Quelle: BMBF, StBA, Stifterverband Wissenschaftsstatistik

## Primärenergieverbrauch in Deutschland 2005



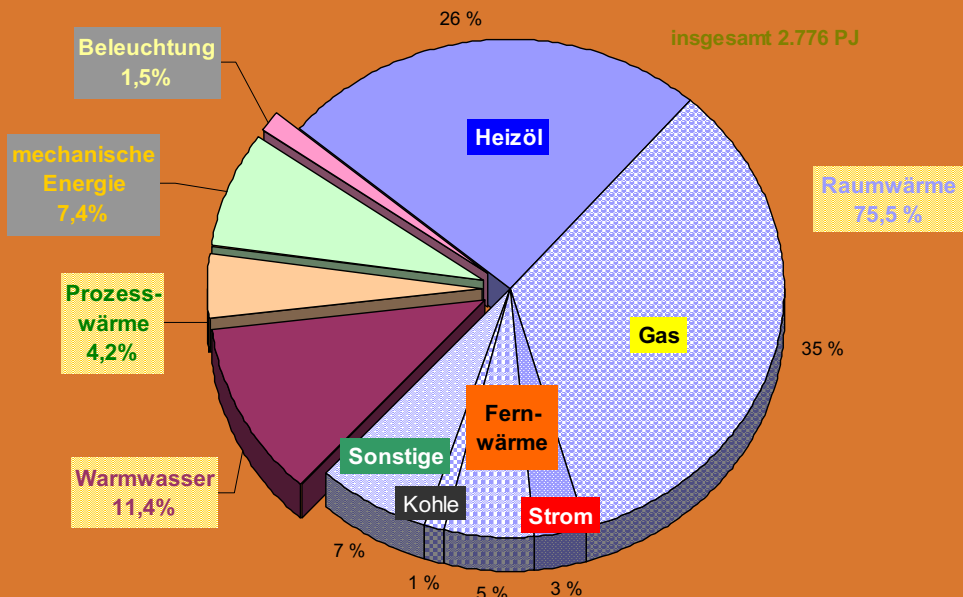
Quelle: AG Energiebilanzen

## Bruttostromerzeugung in Deutschland 2005



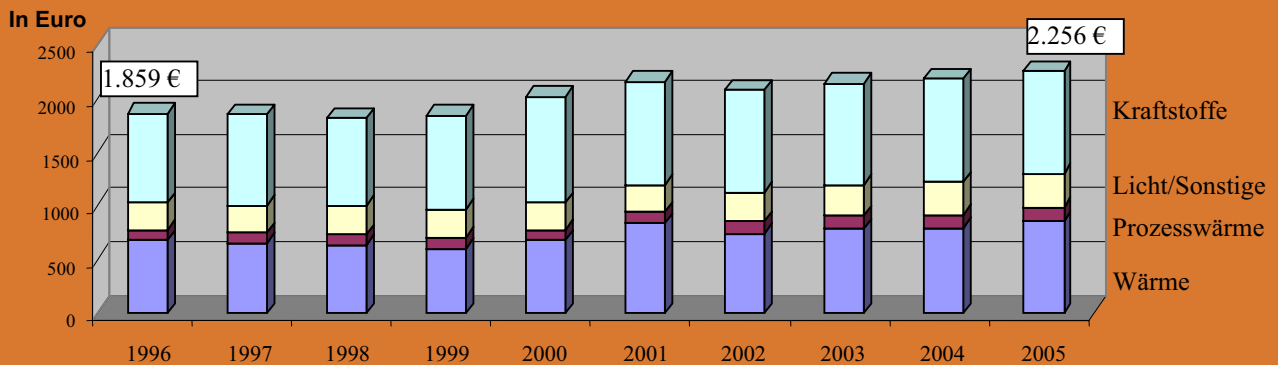
Quelle: AG Energiebilanzen

## Energieverbrauch der privaten Haushalte 2003



Quelle: VDEW

## Jährliche Ausgaben für Energie pro Haushalt



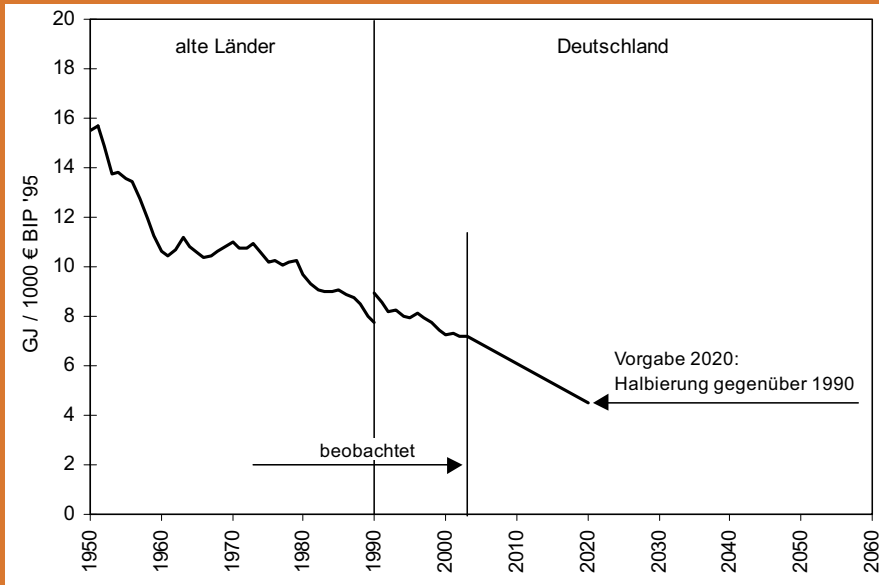
Quelle: VDEW

## Politische Vorgaben

### 5. Energieforschungsprogramm „Innovation und neue Energietechnologien“

- Erhalt eines ausgewogenen Energiemixes,
- Steigerung der gesamtwirtschaftlichen Energieeffizienz,
- Erhöhung des Beitrags der erneuerbaren Energien,
- Ermöglichung des Verzichts auf die Kernenergie ohne Beeinträchtigung einer sicheren und wirtschaftlichen Stromversorgung,
- Verminderung der Abgabe energiebedingter CO<sub>2</sub>-Emissionen

## Politische Zielvorgabe: Energieeffizienz



### Zum Vergleich

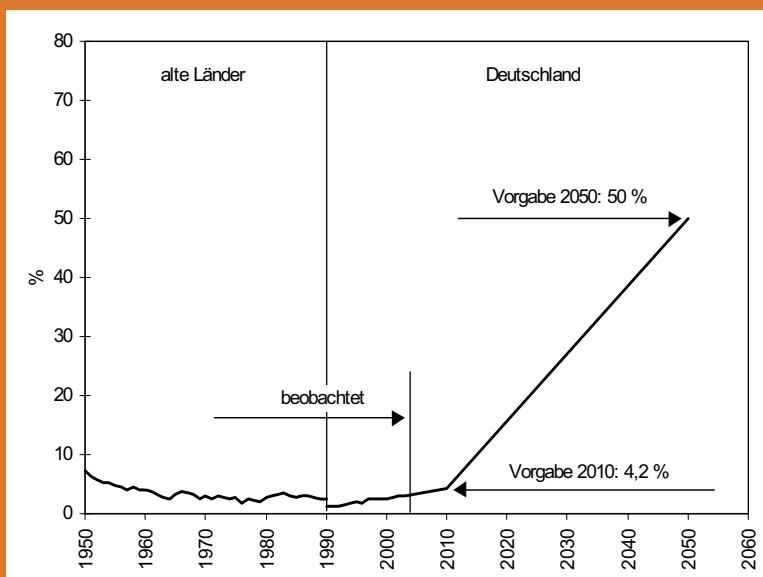
1950 - 1990: -1,7 % p.a.

1990 - 2003: -1,6 % p.a.

1990 - 2020: - 2,3 % p.a.

Quelle: AG Energiebilanzen; Statistisches Bundesamt

## Politische Zielvorgabe: Erneuerbare Energien



### Zum Vergleich

1950: 7,2 %

Deutschland

1990: 1,2 %

2003: 3,1 %

2010: 4,2 %

2050: 50 %

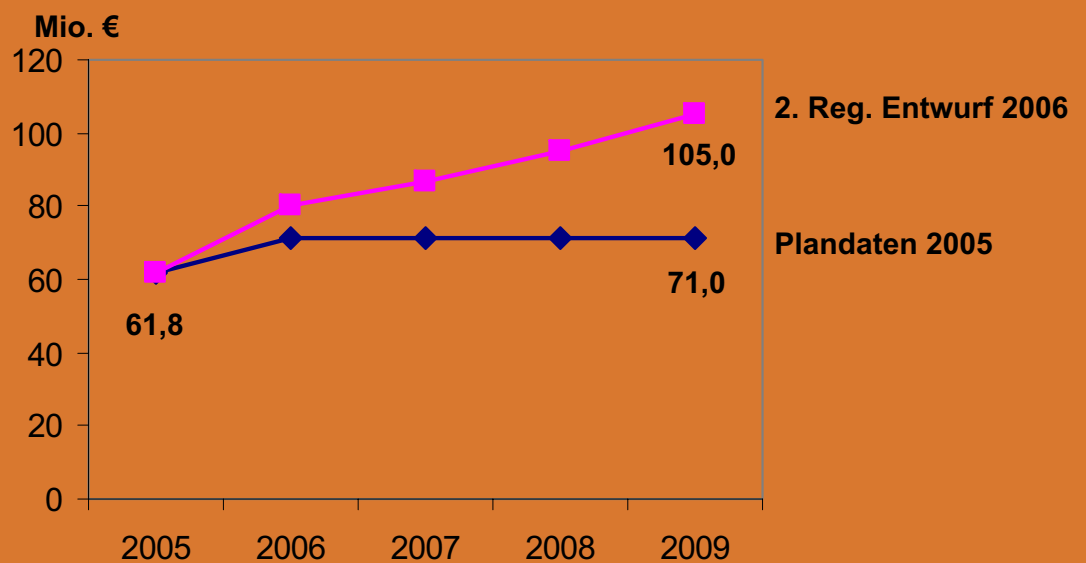
Quelle: AG Energiebilanzen (bis 1990 Bewertung des Primärenergieverbrauchs nach Substitutionsmethode, ab 1990 nach Wirkungsgradprinzip)



## Prioritäten der künftigen Förderpolitik

- Kraftwerkstechnik auf Basis Kohle und Gas
- Brennstoffzellen
- Energieoptimiertes Bauen
- Photovoltaik
- Wind Offshore
- Biomasse

## Forschungsbudget Rationelle Energieumwandlung BMWi



Quelle: 5. Energieforschungsprogramm; 2. Regierungsentwurf

## Langfristperspektive

1. **Energieforschung bleibt primär Aufgabe der Wirtschaft**
2. **Stärkung der Kooperation Wirtschaft und Wissenschaft**
3. **Abstimmung mit Entscheidungen im Europäischen Forschungsraum**
4. **Ansatz auf breiter Ebene (Grundlagenforschung, angewandte Forschung, Demonstration, Erprobung und Information)**
5. **Optimierung und Effizienz der Mittelverwendung („Anlage des Forschungseuros zum höchsten Ertrag“)**

## Es gibt Hoffnung





## **SANIREV II: Energetische Bilanzierung der Nutzenergie von Nichtwohngebäuden- ein ganzheitlicher Ansatz**

Förderkennzeichen: 032 9828 D

Durchführung: *Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstrasse 12  
70569 Stuttgart  
hans.erhorn@ibp.fraunhofer.de*

Projektleitung: Hans Erhorn

Laufzeit: 2003 – 2005

### **Einleitung**

Die Senkung des Energieverbrauchs aus Gründen der Ressourcen- und Umweltschonung ist ein dringendes Anliegen aller Industrienationen. Gebäude stellen hierbei eine besondere Herausforderung dar, da es sich bei ihnen um langlebige Produkte handelt, die sowohl für ihre Erstellung als auch während ihrer Lebensdauer Energie benötigen. Europaweit hat sich hierbei in besonderem Maße die Reduzierung des Kühlenergiebedarfs von Nichtwohngebäuden als eine signifikante Größe herauskristallisiert. Mit der Ende 2002 erlassenen EU-Richtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ ergibt sich ab dem Jahr 2006 europaweit die Anforderung, nicht nur Wohngebäude sondern auch Nichtwohngebäude, nicht nur die Raumheizung sondern auch die Kühlsysteme, die Lüftungssysteme und die Beleuchtungssysteme sowie die Gebäudekonstruktion in eine ganzheitliche Bewertung der energetischen Effizienz von Gebäuden einzubeziehen. Die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden soll, gemäß der EU-Richtlinie, nach einer Methode berechnet werden, die regional differenziert werden kann und bei der zusätzlich zur Wärmedämmung auch andere Faktoren einbeziehbar sind wie beispielsweise Heizungssysteme und Klimaanlage, Nutzung erneuerbarer Energieträger und unterschiedliche Konstruktionsarten des Gebäudes. Die Kommission empfiehlt hierzu eine Weiterentwicklung der in vielen Mitgliedstaaten bereits eingeführten Normen wie EN 832 und prEN 13790, unter der Maßgabe der Berücksichtigung von Klimaanlage und Beleuchtung. Dies wird dazu beitragen, gleiche Bedingungen für die Anstrengungen in den Mitgliedstaaten bei Energieeinsparungen im Gebäudesektor zu schaffen und wird für die künftigen Besitzer oder Nutzer auf dem europäischen Immobilienmarkt hinsichtlich der Gesamtenergieeffizienz für Transparenz



sorgen. Bei der Methodenentwicklung konnte auf Forschungsansätze aus verschiedenen Vorhaben im Förderprogramm „Energetische Sanierung der Bausubstanz (EnSan)“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) zurückgreifen, wobei das Projekt SANIREV mit seinen Phasen I und II hierbei die Grundlagenarbeiten bereitstellen konnte. Für die nationale Umsetzung der EU-Richtlinie in Deutschland konnte hierauf aufbauend, unterstützt durch eine erstmalig realisierte enge Zusammenarbeit der verschiedenen Normungsgremien für Bauwesen, Anlagentechnik und Beleuchtung, ein gemeinsames, durchgängiges normatives Verfahren für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden entwickelt und in der DIN V 18599 veröffentlicht werden.

## Die Bewertungsmethode

Die entwickelte und in DIN V 18599 applizierte Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d. h. es erfolgt eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Berücksichtigung derer gegenseitigen Wechselwirkungen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit besteht, wie Abb. 1 zeigt, die Vornormenreihe DIN V 18599 aus mehreren Teilen, die einzelne Themenschwerpunkte behandeln.

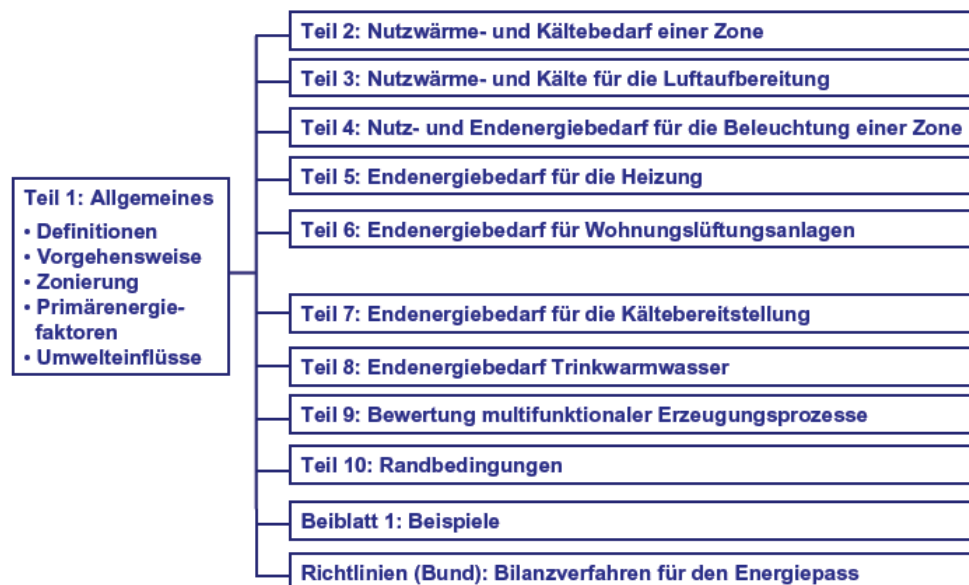


Abb. 1: Darstellung der einzelnen Themenschwerpunkte der Teile der DIN V 18599

Im Teil 1 sind die Bilanzierungsregeln beschrieben und die Schnittstellen zu den anderen Teilen der Norm definiert. Darüberhinaus sind die Zonierungsregeln und die Primärenergiefaktoren hier festgelegt. Die Teile 2 bis 4 beschäftigen sich mit der Ermittlung der Nutzenergie für konditionierte Gebäudeteile. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Energiebedarf der in Nutzungszonen entsteht um hierin die gewünschten thermischen und visuellen Randbedingungen sicherzustellen und dem Energiebedarf der für die Luftaufbereitung notwendig ist um die Zuluft von Außenluftbedingungen auf Zuluftbedingungen zu veredeln. Hierin sind auch

Prozesse wie Be- und Entfeuchtung enthalten. Die Nutzenergie berücksichtigt nicht die Effizienz der Anlagentechnik, sondern gibt Auskunft über den Bedarf an Energie den ein Gebäude bei vorgegebenen Nutzungsbedingungen erfordert. In den Teilen 4 bis 8 sind die Regeln für die Ermittlung der Energieeffizienz der Anlagentechnik für Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Kühlung und Klimatisierung zusammengestellt.

### Der ganzheitliche Ansatz, normativ umgesetzt

Die Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d. h. es erfolgt eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Berücksichtigung derer gegenseitigen Wechselwirkungen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit besteht, wie Abb. 2 zeigt, die Vornormenreihe DIN V 18599 aus mehreren Teilen, die einzelne Themenschwerpunkte behandeln.

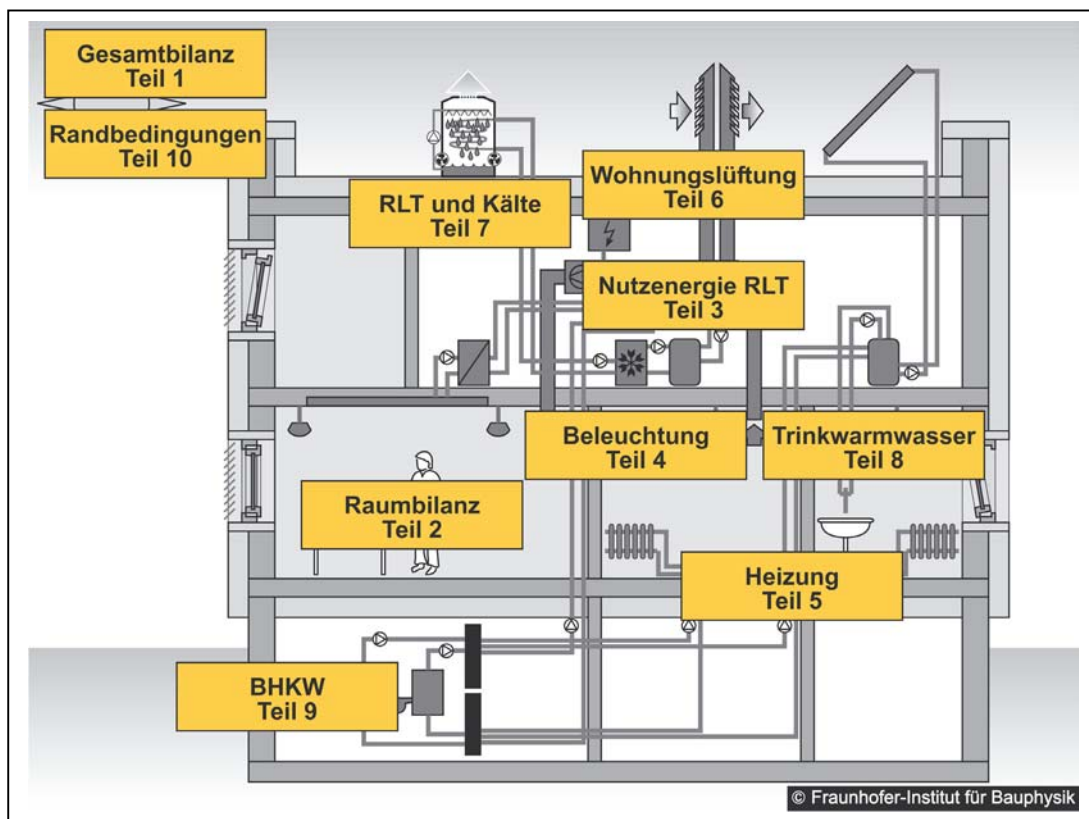


Abb. 2: Darstellung der einzelnen Themenschwerpunkte der DIN V 18599

Im Teil 1 sind die Bilanzierungsregeln beschrieben und die Schnittstellen zu den anderen Teilen der Norm definiert. Darüberhinaus sind die Zonierungsregeln und die Primärenergiefaktoren hier festgelegt. Die Teile 2 bis 4 beschäftigen sich mit der Ermittlung der Nutzenergie für konditionierte Gebäudeteile. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Energiebedarf der in Nutzungszonen entsteht um hierin die gewünschten



thermischen und visuellen Randbedingungen sicherzustellen und dem Energiebedarf der für die Luftaufbereitung notwendig ist um die Zuluft von Außenluftbedingungen auf Zuluftbedingungen zu veredeln. Hierin sind auch Prozesse wie Be- und Entfeuchtung enthalten. Die Nutzenergie berücksichtigt nicht die Effizienz der Anlagentechnik, sondern gibt Auskunft über den Bedarf an Energie den ein Gebäude bei vorgegebenen Nutzungsbedingungen erfordert. In den Teilen 4 bis 8 sind die Regeln für die Ermittlung der Energieeffizienz der Anlagentechnik für Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasser definiert. Im Teil 9 wird beschrieben, wie die Energieaufwendungen in multifunktionalen Generatoren, wie z.B. Blockheizkraftwerken, primärenergetisch zu bewerten sind. Angaben über die Randbedingungen für unterschiedliche Nutzungen in Gebäuden finden sich im Teil 10 sowohl als standardisierte Nutzungsprofile für die Erstellung des Energieausweises, als auch als typische Bandbreiten für die Energieberatung.

## **Der Ansatz**

Die Energiebilanzierungsmethode stellt ein Verfahren zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dar, wie sie nach Artikel 3 der Richtlinie über die Gesamteffizienz von Gebäuden (EPBD) ab 2006 in allen Mitgliedsländern der Europäischen Union (EU) gefordert wird. Die Berechnungen erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Heizung, Warmwasserbereitung, raumlufttechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind (siehe Abb. 1-1). Dabei berücksichtigt die Methode auch die gegenseitige Beeinflussung von Energieströmen und die daraus resultierenden planerischen Konsequenzen. Neben dem Berechnungsverfahren werden auch nutzungsbezogene Randbedingungen für eine neutrale Bewertung zur Ermittlung des Energiebedarfs angegeben (unabhängig von individuellem Nutzerverhalten und lokalen Klimadaten). Die Methode ist geeignet, den langfristigen Energiebedarf für Gebäude oder auch Gebäudeteile zu ermitteln und die Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien für Gebäude abzuschätzen. Die normativ dokumentierten Algorithmen sind anwendbar für die energetische Bilanzierung von:

- Wohn- und Nichtwohnbauten;
- Neubauten und Bestandsbauten.

## **Allgemeines Bilanzierungsverfahren**

Die Bilanzierung folgt dem bewährten Schema von der Nutzenergie über die Endenergie hin zur Primärenergie. Zum ermittelten Nutzenergiebedarf (für Wärme, Kälte, Beleuchtung, Trinkwarmwasser und Befeuchtung) werden die vorhandenen technischen Verluste addiert, um den Endenergiebedarf zu bestimmen. Gegenüber der bisher bekannten Energiebilanzierung anderer Verfahren wird der Endenergiebedarf brennwertbezogen (sonst: heizwertbezogen) ausgegeben. Die Umrechnung der je Energieträger bilanzierten Endenergie in die Primärenergie zur Bewertung der Umweltwirksamkeit erfolgt mit Primärenergiefaktoren. Neu ist die





Aufteilung eines Gebäudes in Zonen. Dies ist notwendig, um den bei Nichtwohngebäuden hohen Einfluss der Nutzung auf den Energiebedarf zu berücksichtigen. Eine Zone ist durch einheitliche Nutzungsrandbedingungen gekennzeichnet. Für jede Zone wird der Nutzenergiebedarf für Heizen (früher Heizwärmebedarf) und Kühlen getrennt bestimmt. Die Versorgungseinrichtungen eines Gebäudes (Heizung, Trinkwarmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung, Beleuchtung) können jedoch von den Zonen abweichende Versorgungsbereiche umfassen. Diese können sich über mehrere Zonen erstrecken (zentrale Heizung für ein Wohn- und Geschäftshaus). Eine Zone kann auch mehrere Versorgungsbereiche umfassen (zwei Arten der Lüftung innerhalb der Zone "Einzelbüros").

### **Strukturierung des Gebäudemodells**

Der Energiebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe des Energiebedarfs aller Gebäudezonen. Eine Zone umfasst die Räume bzw. den Grundflächenanteil eines Gebäudes, die/der durch einheitliche Nutzungsrandbedingungen (Temperatur, Lüftung, Beleuchtung) gekennzeichnet sind bzw. ist. Sie weist mindestens eine Art der Konditionierung (Heizung, Kühlung, Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung und Trinkwarmwasserversorgung) auf. Für jede konditionierte Zone muss, sofern sie beheizt und/oder gekühlt wird, der Nutzenergiebedarf für Heizung und Kühlung getrennt bestimmt werden. Bei hohem Luftwechsel zwischen verschiedenen Räumen oder Raumgruppen des Gebäudes sind diese grundsätzlich in einer Gebäudezone zusammenzufassen und eine gemeinsame Bilanz des Nutzwärme/-kältebedarfs zu erstellen. Neben der nutzungsspezifischen Zonierung ist auch noch eine anlagenspezifische Zuordnung vorzunehmen. Dies erfolgt in Form von Versorgungsbereichen. Ein Versorgungsbereich (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Kühlung, Beleuchtung usw.) umfasst die Gebäudeteile, die von der gleichen Technik versorgt werden. Ein Versorgungsbereich kann sich über mehrere Zonen erstrecken; eine Zone kann auch mehrere Versorgungsbereiche umfassen. Die Zonen und die in den Berechnungen der einzelnen Technischen Gewerke verwendeten Versorgungsbereiche können voneinander abweichen. Für die Zuordnung der einzelnen gewerkspezifischen Bilanzanteile zu den Zonen gelten dann folgende Regeln: Umfasst ein Versorgungsbereich mehr als eine Zone, oder verläuft die Grenzlinie einer Zone durch einen Versorgungsbereich, so ist der Energiebedarf, bzw. die Energieabgabe (Verluste) auf die einzelnen Zonen aufzuteilen. Wird eine Zone in mehrere Versorgungsbereiche untergliedert, so ergibt sich der Energiebedarf der Zone als Summe des Energiebedarfs der innerhalb der Zone befindlichen Teilnettogrundflächen aller Versorgungsbereiche.

### **Die Bilanzierungsschritte**

Die Bilanzierungsschritte unter Berücksichtigung des integralen Ansatzes, ergeben sich in folgender Reihenfolge:



1. Feststellen der Nutzungsrandbedingungen und gegebenenfalls Zonierung des Gebäudes nach Nutzungsarten, Bauphysik, Anlagentechnik einschließlich Beleuchtung.
2. Zusammenstellung der notwendigen Eingangsdaten für die Bilanzierung der Gebäudezonen (Flächen, bauphysikalische Kennwerte, anlagentechnische Kennwerte, auch Zulufttemperatur und Luftwechsel für geplanten Lüftungssysteme).
3. Ermittlung des Nutzenergiebedarfs und Endenergiebedarfs für die Beleuchtung sowie Festslegung der hieraus resultierenden Wärmequellen für die Zone.
4. Ermittlung der Wärmequellen/-senken durch mechanische Lüftungssysteme in der Zone.
5. Bestimmung der Wärmequellen/-senken aus Personen, Geräten und Prozessen (ohne Anlagentechnik) in der Zone.
6. Erste (überschlägige) Bilanzierung des Nutzwärme/-kältebedarfs der Zone (getrennt für Nutzungstage und Nichtnutzungstage) unter Berücksichtigung der zuvor ermittelten Wärmequellen/-senken.
7. Aufteilung der (überschlägig) bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme (RLT-System, Wohnungslüftung, Heiz- und Kühlsystem) der Zone.
8. Ermittlung der auftretenden Wärmequellen durch die Heizung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) anhand des überschlägigen Nutzwärmebedarfs der Zone.
9. Ermittlung der auftretenden Wärmequellen/-senken durch die Kühlung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) anhand des überschlägigen Nutzkältebedarfs der Zone.
10. Ermittlung der auftretenden Wärmequellen durch die Trinkwarmwasserbereitung in der Zone (Verteilung, Speicherung, gegebenenfalls Erzeugung in der Zone) anhand des Trinkwarmwasserbedarfs der Zone.
11. Bilanzierung des Nutzwärme/-kältebedarfs der Zone (getrennt für Nutzungstage und Nichtnutzungstage) unter zusätzlicher Berücksichtigung der zuvor ermittelten, in der Zone anfallenden Wärmequellen/-senken aus Heizung, Kühlung und Trinkwarmwasserbereitung. Die Iteration mit den Schritten 7) bis 11) sind solange zu wiederholen, bis zwei aufeinanderfolgende Ergebnisse für den Nutzwärmebedarf und den Nutzkältebedarf sich jeweils um nicht mehr als eine festzulegende Differenz voneinander unterscheiden. Zur Sicherstellung einer möglichst guten Genauigkeit sollte die Ergebnisdifferenz 1% nicht überschreiten.
12. Ermittlung des Nutzenergiebedarfs für die Luftaufbereitung und gegebenenfalls Saldierung des Nutzkühlbedarfs der Zonen (VVS-Anlagen) inklusive der erforderlichen Hilfsenergie für die Luftförderung.
13. Endgültige Aufteilung der bilanzierten Nutzenergie auf die Versorgungssysteme (RLT-System, Wohnungslüftung, Heiz- und Kühlsystem).





14. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung sowie der erforderlichen Hilfsenergien für die Heizung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers).
15. Ermittlung der Verluste für Übergabe und Verteilung für die luftführenden Systeme.
16. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung sowie der erforderlichen Hilfsenergien für die Wärmeversorgung der RLT-Anlagen (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers).
17. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung sowie der erforderlichen Hilfsenergien für die Kälteversorgung (Nutzkälteabgabe des Erzeugers).
18. Ermittlung der Verluste der Übergabe, Verteilung und Speicherung sowie der erforderlichen Hilfsenergien für die Trinkwarmwasserbereitung (Nutzwärmeabgabe des Erzeugers).
19. Aufteilung der notwendigen Nutzwärmeabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme.
20. Aufteilung der notwendigen Nutzkälteabgabe aller Erzeuger auf die unterschiedlichen Erzeugungssysteme.
21. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Kälte inklusive der energetischen Aufwendungen für die Rückkühlsysteme sowie der erforderlichen Hilfsenergien.
22. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung und Bereitstellung von Dampf für die Luftaufbereitung sowie der erforderlichen Hilfsenergien.
23. Ermittlung der Verluste bei der Erzeugung von Wärme in Heiz- und Trinkwasserwärmeerzeugern, Wohnungslüftungsanlagen, BHKW's u. ä. und ggf. aus der Abwärme der Kältemaschinen sowie der erforderlichen Hilfsenergien.
24. Zusammenstellung aller ermittelten Hilfsenergien (z. B. Aufwand für Lufttransport, Pumpen, Regelung, etc.).
25. Zusammenstellung der erforderlichen Endenergien für die Heizung, Kühlung, Lüftung, Warmwasserbereitung und Beleuchtung inklusive der erforderlichen Hilfsenergien und Zuordnung zu den unterschiedlich verwendeten Energieträgern.
26. Primärenergetische Bewertung der energieträgerbezogenen Endenergieaufwendungen

### **Bilanz der Nutzenergie**

Zur Beschreibung des nutzungsspezifischen Gebäudeenergiebedarfs sind für alle Technischen Gewerke die Nutzenergien zu bestimmen, die unmittelbar aus den Nutzungsprofilen resultieren. Unter den Nutzenergien sind zu verstehen:

- Nutzenergie für die Beleuchtung, d. h. die Energiemenge (Strom), die zur ausreichenden Beleuchtung des Gebäudes bzw. der Gebäudezone aufgewendet werden muss;
- Nutzenergie für die Trinkwarmwasserbereitung, d. h. die Energiemenge, die im gezapften Trinkwarmwasser des Gebäudes



bzw. der Gebäudezone enthalten ist (ausgehend von der Kaltwassertemperatur als Bezugsgröße);

- Nutzwärmebedarf (Heizwärmebedarf), d. h. die Wärmemenge, die dem Gebäude bzw. der Gebäudezone (bedarfs-) geregelt zugeführt wird, um die vorgegebene Sollinnentemperatur einzuhalten;
- Nutzkältebedarf (Kühlbedarf), d. h. die Kälteeinträge, die dem Gebäude bzw. der Gebäudezone (bedarfs-)geregelt zugeführt werden, um die vorgegebene Sollinnentemperatur einzuhalten;
- Nutzenergie für die Luftaufbereitung, d. h. die Energiemenge, die zum Erwärmen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten der Luft in einer raumluftechnischen Anlage zu- bzw. abgeführt werden muss, um den erforderlichen Zuluftzustand zu erreichen. Grundsätzlich umfasst die Luftaufbereitung dabei die Aufbereitung der Außenluft bis zu einem vorgegebenen Zuluftzustand, der nicht abhängig vom momentanen Bedarf in der Gebäudezone geregelt ist (Klimazentrale).

Der bilanzierte Nutzwärme- und Nutzkältebedarf in der Gebäudezone ist der über Nacherwärmung/Nachkühlung der Luft, über Erhöhung der Luftmenge oder über andere Heiz- oder Kühlsysteme zu deckende Bedarf, welcher der Einhaltung der Sollinnentemperatur dient. Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen werden der berechnete Nutzwärme- und Nutzkältebedarf in der Gebäudezone je nach Art des Anlagensystems verschiedenen Komponenten des Heiz- und Kühlsystems zugeordnet. Der Nutzwärme- und Nutzkältebedarf wird somit auf mehrere Versorgungssysteme aufgeteilt (Beispiel: Kühlung über Raumluftechnische Anlage und Kühldecke). Eine Aufteilung des Nutzwärme- und Nutzkältebedarfs kann auch bei Gebäuden oder Gebäudezonen erfolgen, die keine Raumluftechnische Anlage aufweisen, wenn parallel verschiedene Heiz- und Kühlsysteme vorhanden sind (Beispiel: Heizung über Fußbodenheizung und Heizkörperheizung).

Die energetischen Effizienz der eingesetzten Anlagentechniken zur Deckung des erforderlichen Nutzenergiebedarfs ergibt sich durch die Verhältnisbildung von Nutzenergiebedarf zu Endenergiebedarf der jeweiligen Konditionierungsaufgabe. Die umweltbezogene Effizienz der eingesetzten Anlagentechniken ergibt sich durch die Verhältnisbildung von Nutzenergiebedarf zu Primärenergiebedarf dergleichen.





**Titel: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone**

Förderkennzeichen: 032 9828 D SANIREV 2  
032 9828 E ENSAN 2

Durchführung: Technische Universität München

Projektleitung: Prof. Dr. -Ing. habil. Lothar Rouvel


Laufzeit: 01.10.2002 – 31.12.2005

3. EnSan Symposium — Raumlufttechnik im Bestand — 22. und 23. März 2006

FKZ: 032 9828D SANIREV 2  
032 9828E ENSAN 2

**„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“**


Prof. Dr. -Ing. habil. Lothar Rouvel  
Dipl. -Ing. Martin Wenning  
Dipl. -Phys. Ruth David



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
MÜNCHEN

**Prof. Dr. L. Rouvel**  
Extraordinarius für Elektrische  
Gebäudeenergie-technik  
02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



**DIN V 18599:** Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung

**Teil 1:**  
Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger

**Teil 2:** Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen

**Teil 3:** Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung

**Teil 4:** Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

**Teil 5:** Endenergiebedarf von Heizsystemen

**Teil 6:** Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau

**Teil 7:** Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau

**Teil 8:** Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen

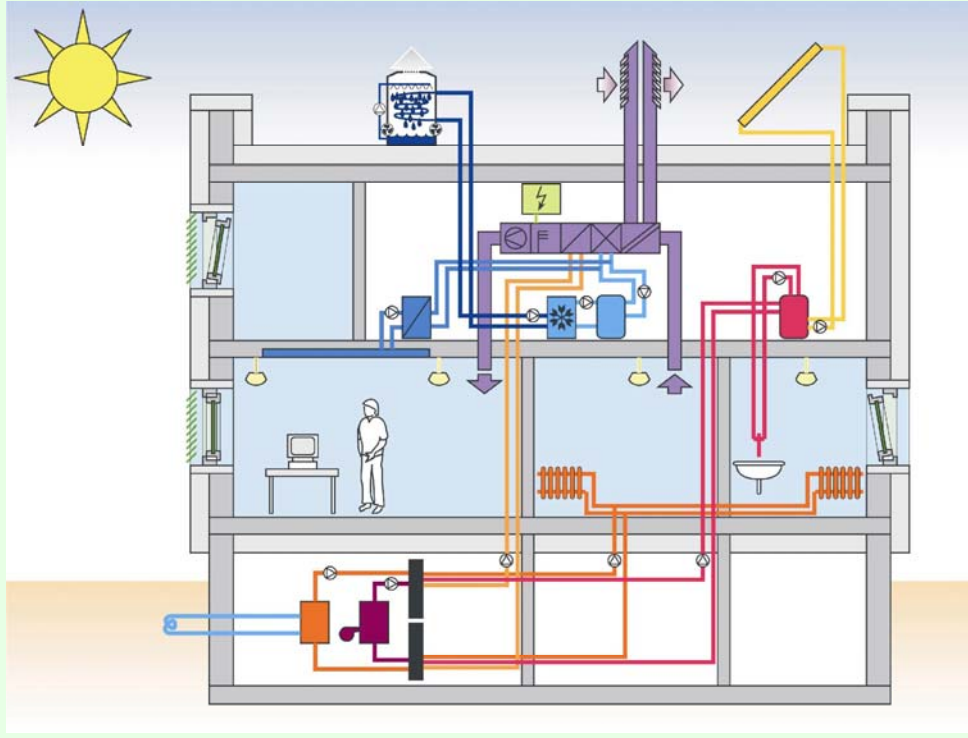
**Teil 9:** End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

**Teil 10:** Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten

**Beiblatt:** Beispiele

**Prof. Dr. L. Rouvel**  
Extraordinarius für Elektrische  
Gebäudeenergie-technik  
02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



**Prof. Dr. L. Rouvel**  
Extraordinarius für Elektrische  
Gebäudeenergie-technik  
02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



### bisher:

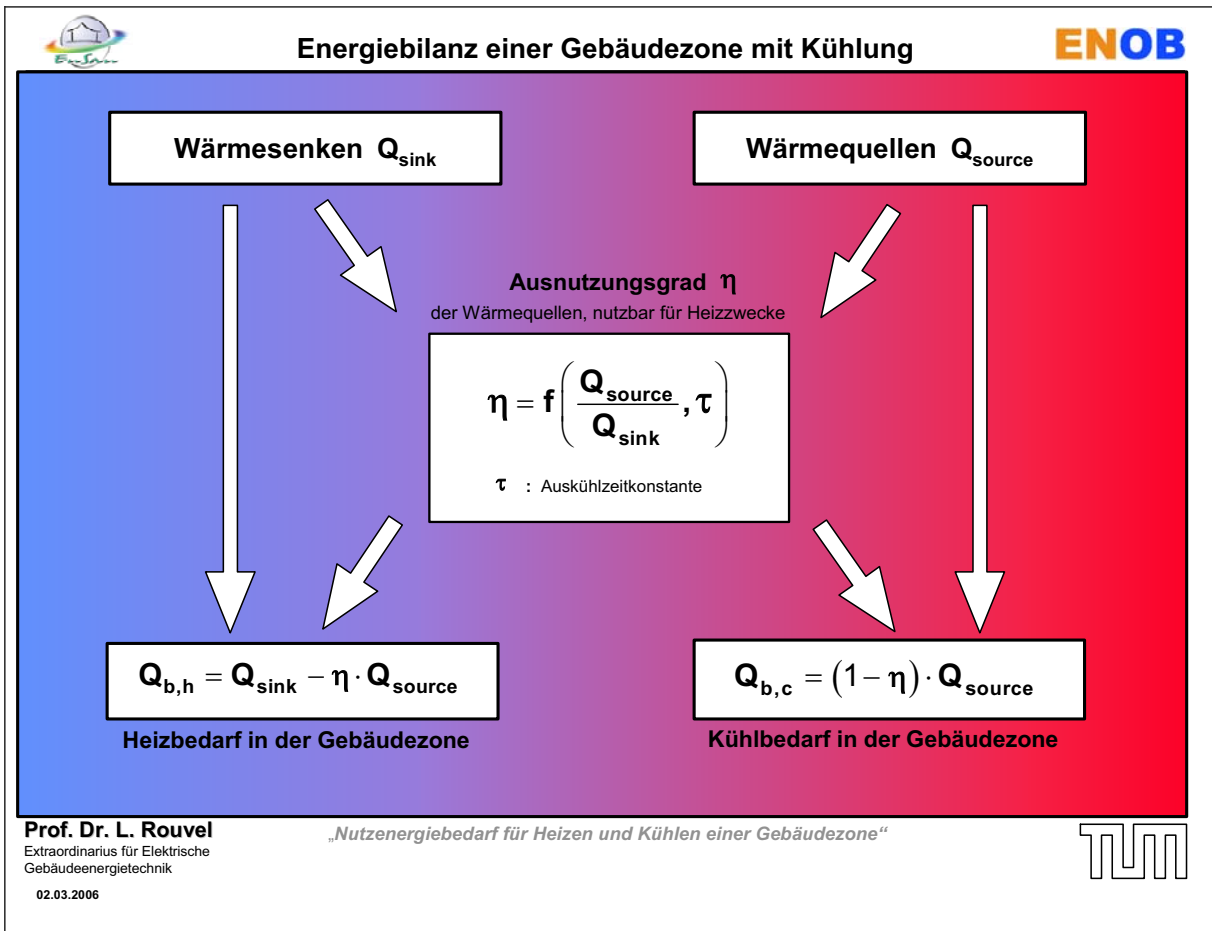
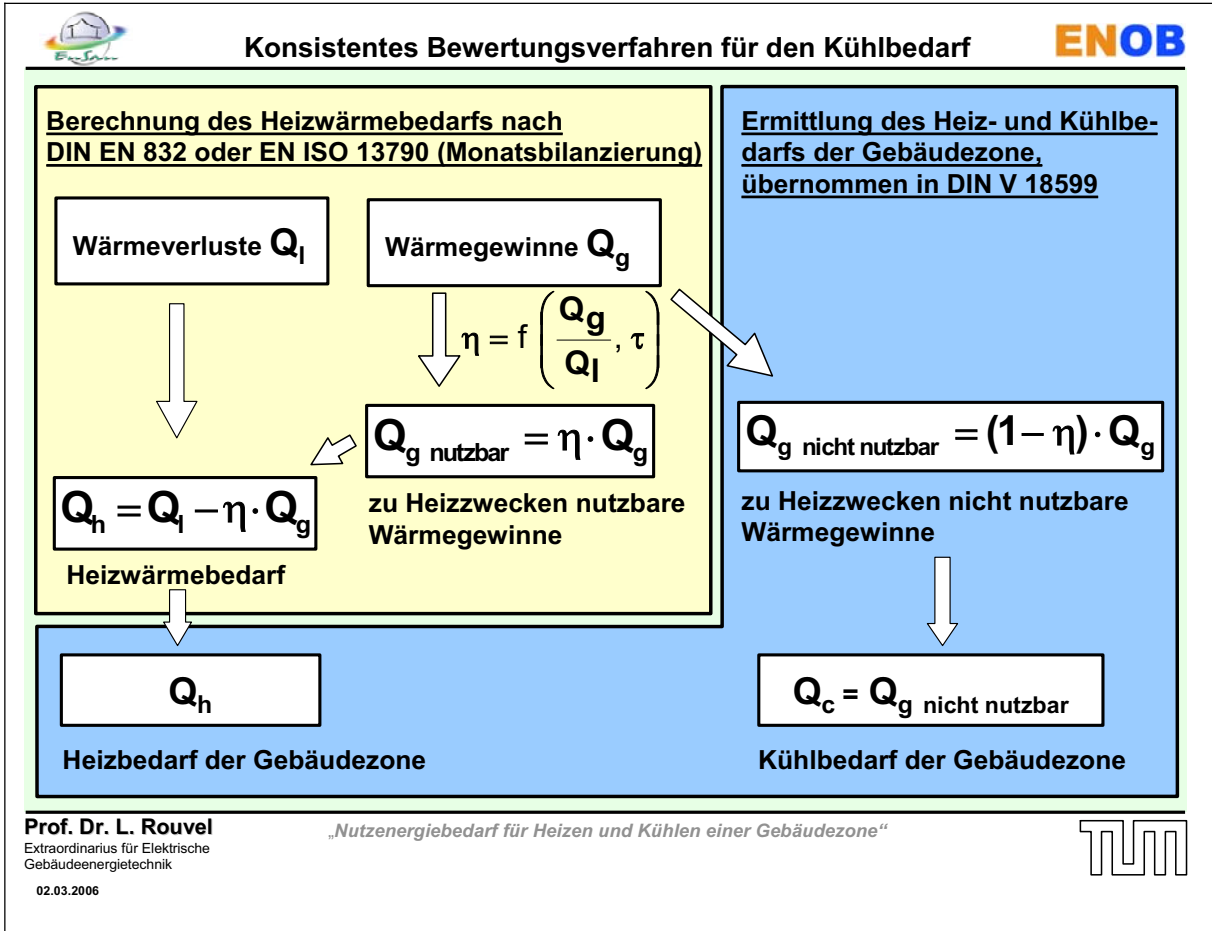
- vornehmlich Wohngebäude
- einheitliche / durchschnittliche Nutzung
- pauschale Innenlasten einschl. Beleuchtung und Anlagenverluste
- nur Beheizung
- winterliches Klima

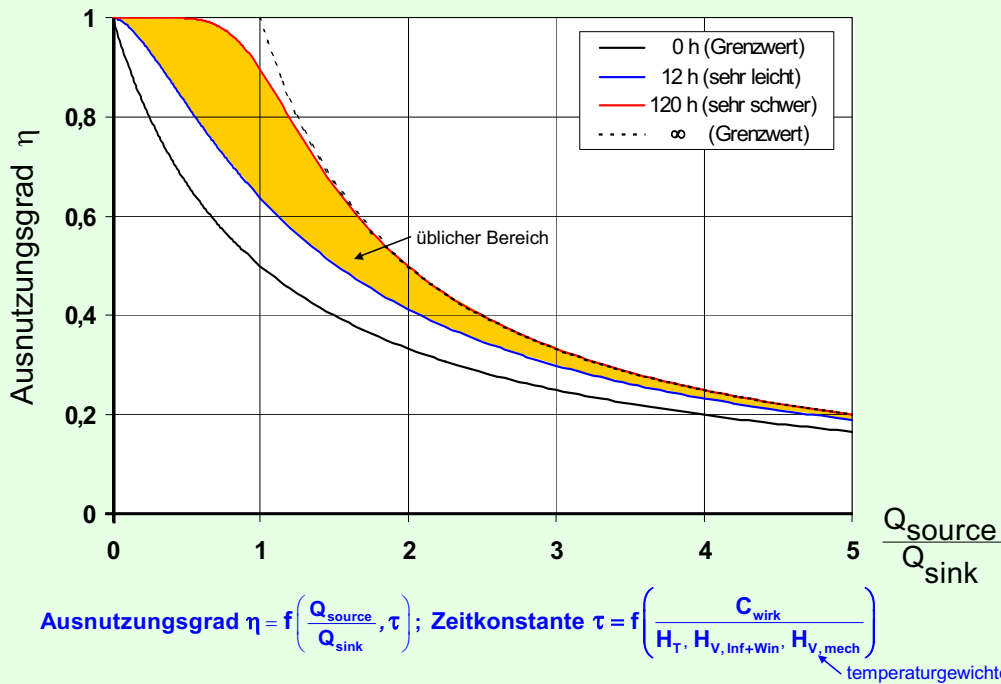
### jetzt:

- Nichtwohngebäude
- sehr unterschiedliche Nutzungen
- differenzierte Innenlasten nach
  - Nutzung
  - Kunstlichtbedarf
  - Anlagenverlusten
- Beheizung, Kühlung, Belüftung
- sommerliches Klima

### neue Anforderungen:

- Vorgabe von unterschiedlichen Standardnutzungen
- differenzierte Zonierung des Gebäudes
- Unterscheidung von Nutzungs- und Nichtnutzungszeiten
- Einbeziehung von Luftaufbereitung mittels RLT-Anlagen
- Ermittlung des Kühlbedarfs
- Ganzjahresbetrachtung, keine Einschränkung auf Heizperiode
- beweglicher Sonnenschutz
- Bewertung der Beleuchtung
- Auswirkungen der Wärmeabgabe der Verteilsysteme auf die Raumbilanz und Rückwirkungen
- Überschlägige Auslegungsberechnung





**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



**bisher: VERLUSTE**

Transmissionswärmeverluste  
 Lüftungswärmeverluste

**GEWINNE**

Solare Wärmeinträge  
 Interne Wärmeinträge (pauschal)

**neu: WÄRMESENKEN**

Transmissionswärmeausträge  
 Lüftungswärmeausträge  
 Kälteeinträge durch mechanische Lüftung

**Interne Kälteeinträge**  
 - durch Verteilleitungen des  
 Trinkkaltwasser- und Kühlmittelsystems  
 - durch Kälteerzeugung in der Zone  
 - durch Luftkanäle  
 - durch Waren oder Stoffdurchsatz

**WÄRMEQUELLEN**

Transmissionswärmeinträge  
 Lüftungswärmeinträge  
 Wärmeinträge durch mechanische Lüftung  
 Solare Wärmeinträge (opak und transparent)

**Interne Wärmeinträge**  
 - durch Verteilleitungen des  
 Heizungs- und Trinkwarmwassersystems  
 - durch künstliche Beleuchtung  
 - durch Personen, Geräte und Maschinen  
 - durch Produktionsprozesse, Waren oder  
 Stoffdurchsatz

**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



- **Schnittstelle Gebäudezone ↔ Luftaufbereitung**
  - Volumenstrom (auch VVS-Anlagen)
  - Zulufttemperatur
  - Nutzungszeiten
  
- **Schnittstelle Gebäudezone ↔ Beleuchtung**
  - Wärmeeintrag der Beleuchtung
  - natürliche – künstliche Beleuchtung
  - Transmissionsgrad der Verglasung
  - Sonnenschutz, Verschattung
  - Nutzungszeiten
  
- **Schnittstelle Gebäudezone ↔ Verteilsysteme**
  - Wärme- und Kälteeinträge durch Verteilsysteme
    - Heizungsverteilung
    - Lüftungskanäle
    - Warmwasserverteilung
    - Kühlmittelverteilung
  - maximal erforderliche Heiz- und Kühlleistung
  - Auslastung der Anlagen / Systemkomponenten
  - Nutzungszeiten der Zone
  - Betriebsweise der Anlagen

#### Kennwert für Sonnenschutz und Verglasung

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung } Gesamtenergiedurchlassgrad für  
 Sonnenschutzfaktor } Sonnenschutz und Verglasung

$$F_C g_{\perp} \rightarrow g_{tot}$$

#### Bewertung der „Aktivierung“ bei beweglichem Sonnenschutz

$$g_{tot,bew.} = a g_{tot} + (1-a) g_{\perp}$$

mit Sonnenschutz → a g<sub>tot</sub> + (1-a) g<sub>⊥</sub> ← ohne Sonnenschutz

#### effektiver Gesamtenergiedurchlassgrad

**beweglicher Sonnenschutz**

$$g_{eff} = F_w F_V (a g_{tot} + (1-a) g_{\perp})$$



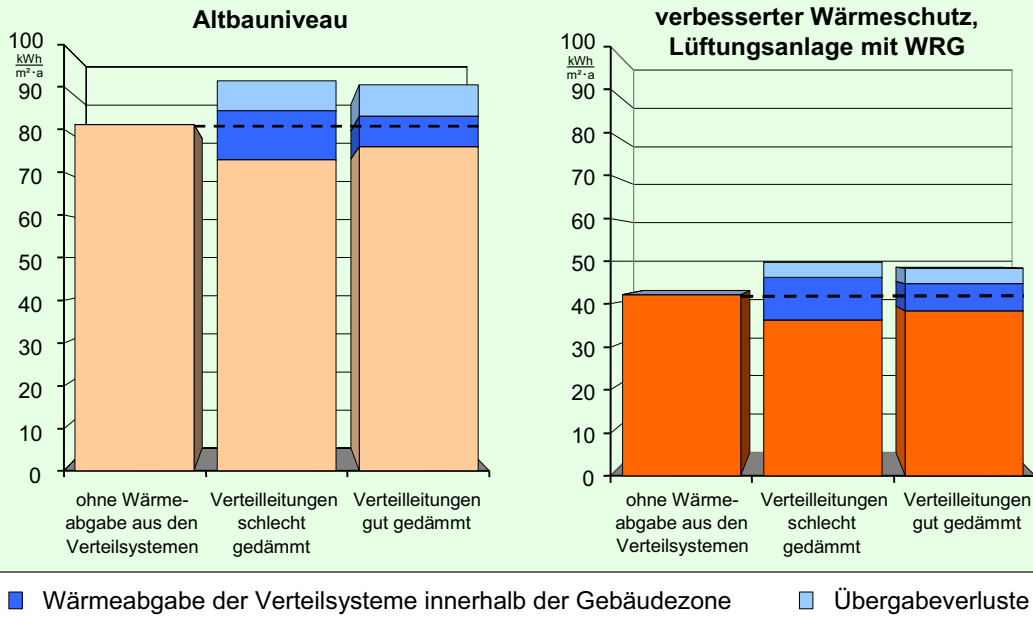
**bauliche Verschattung**

$$g_{eff} = F_w F_V F_S g_{\perp}$$

$$Q_{S,tr} = F_F A g_{eff} I_S t$$



#### Beispielberechnung für den Heizwärmebedarf und die Systemwärmeabgabe Beispielgebäude in DIN V 18599: Zone Einzelbüros

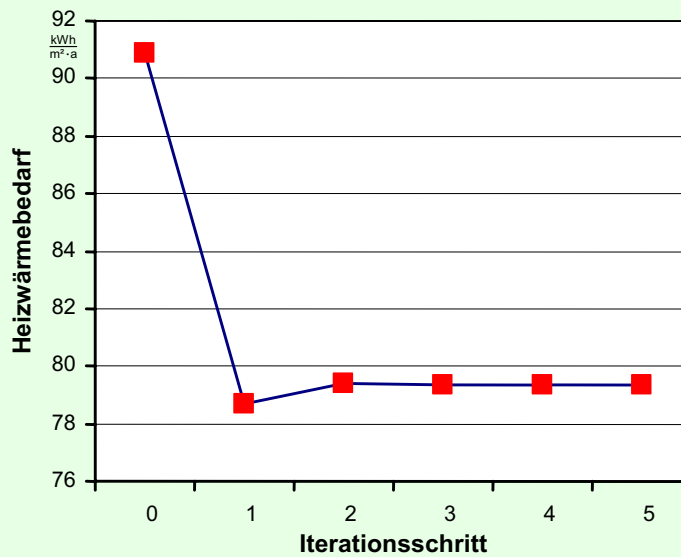


**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 03.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



#### Iterationsschritte bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs Beispielgebäude in DIN V 18599: Zone Einzelbüros, Altbauniveau



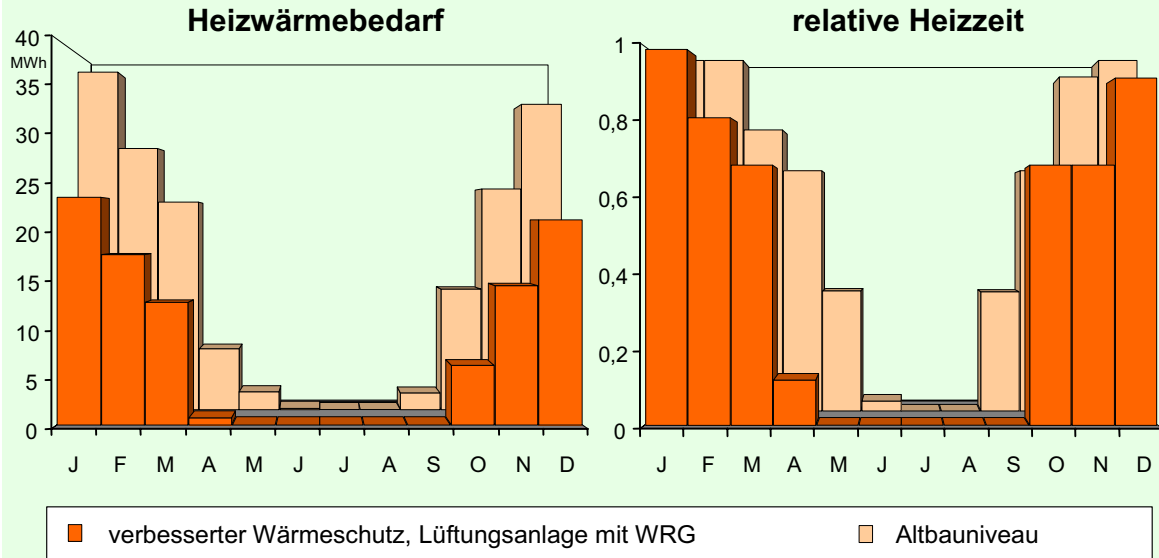
**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 03.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



#### Beispielberechnung für den Heizwärmebedarf und die Heizzeit

Beispielgebäude in DIN V 18599: Zone Einzelbüros



**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



#### Überschlägige Ermittlung der maximalen Raumkühlleistung $P_{c, max}$

##### Erforderlich für

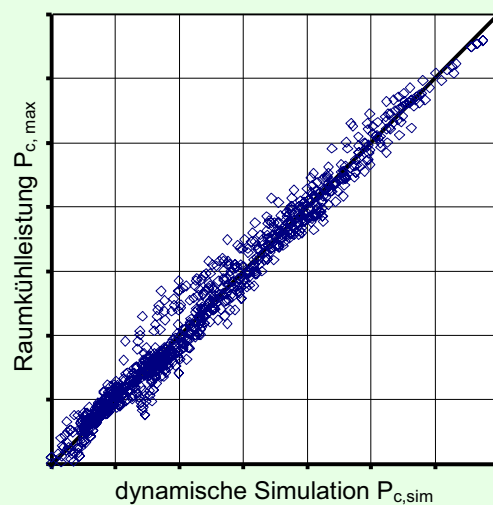
- die Vorauswahl des RLT bzw. Kühlsystems
- die Ermittlung des erforderlichen Volumenstroms
- die Ermittlung der Auslastung

##### Berechnung ausgehend von der

- stationären Leistungsbilanz für den Auslegungstag im Sommer

##### unter Berücksichtigung

- der Wärmespeicherfähigkeit des Raumes,
- der zulässigen Temperaturschwankung im Raum
- der täglichen Betriebszeit der RLT-Anlage.

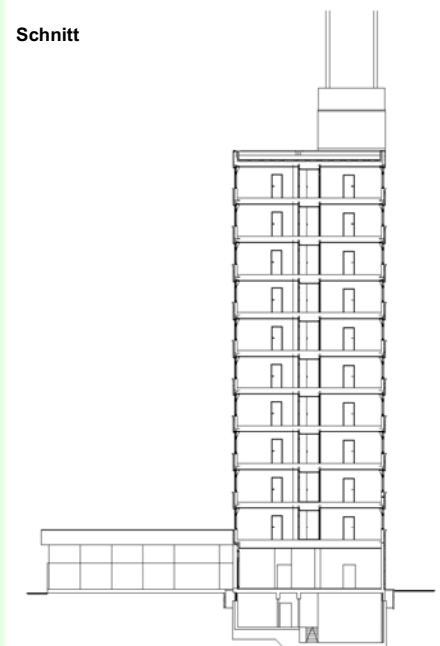


**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

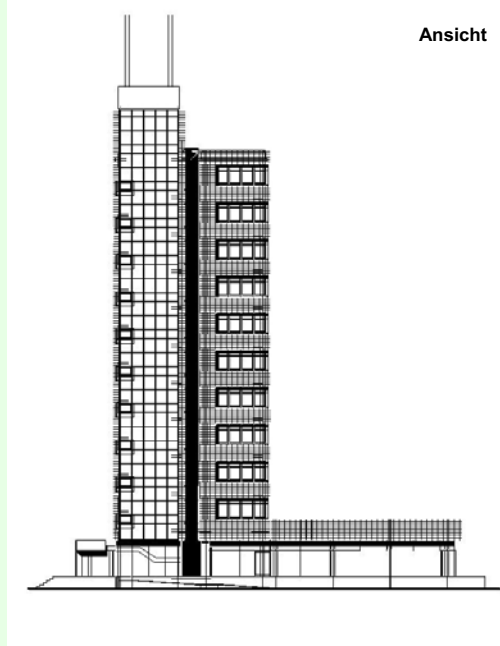
„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



Schnitt



Ansicht

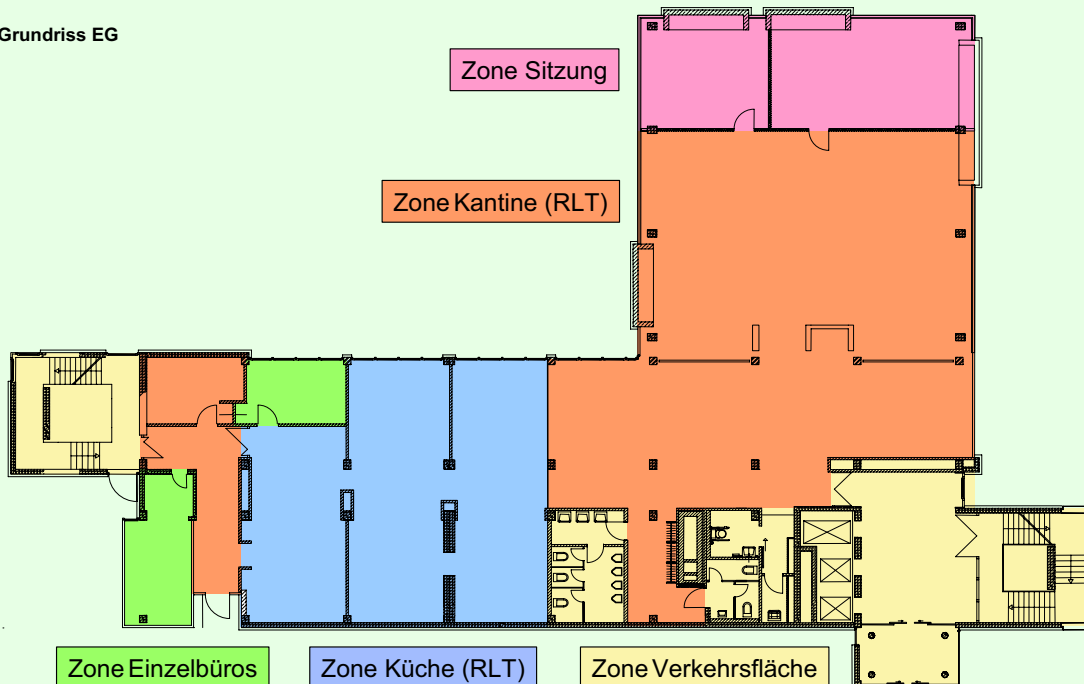


**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



Grundriss EG



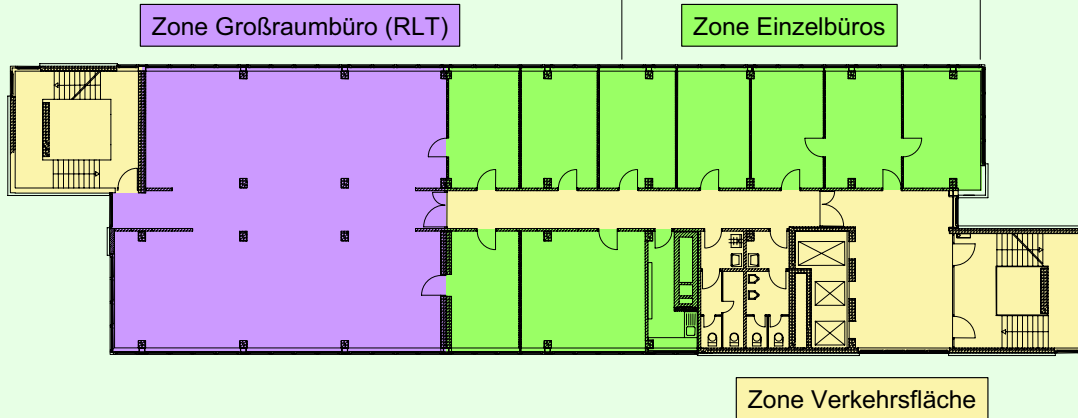
**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



Grundriss 1.-10. OG

Dachaufsicht EG

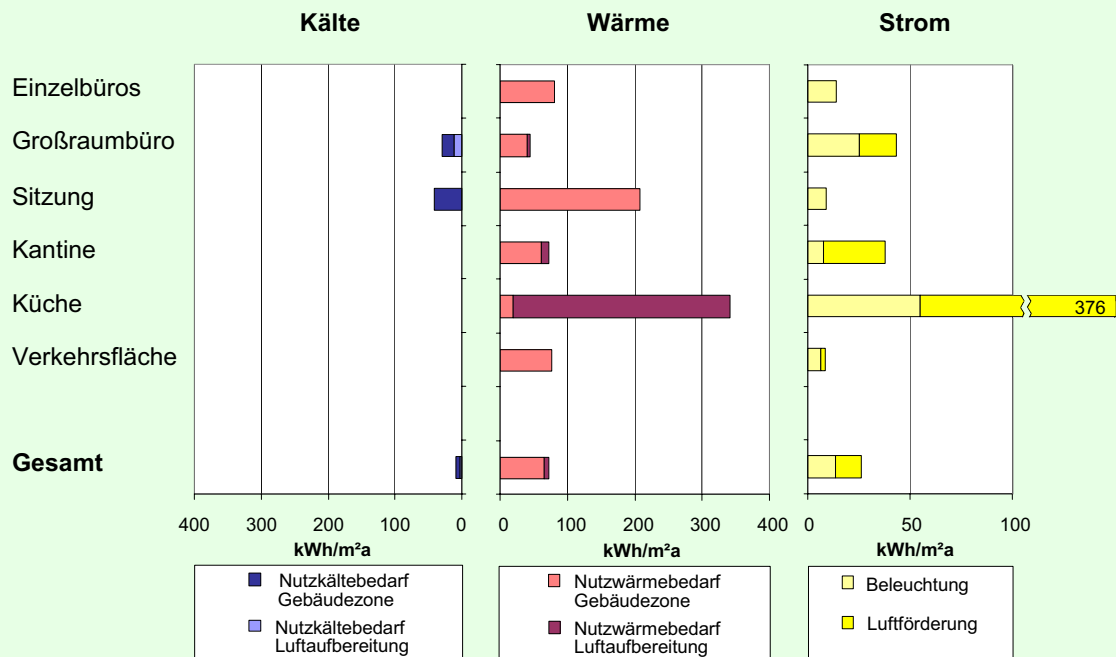


**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“



Jahreswerte der Nutzenergien der einzelnen Gebäudezonen:



**Prof. Dr. L. Rouvel**  
 Extraordinarius für Elektrische  
 Gebäudeenergie-technik  
 02.03.2006

„Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen einer Gebäudezone“





**Titel: SANIREV 2**  
**Grundlagen der energetischen Bilanzierung**

**Nutzenergiebedarf für thermische Luftaufbereitung  
und Endenergiebedarf für Luftförderung**

Förderkennzeichen: 032 98 28 D

Durchführung: *schiller engineering; Hamburg; [www.schiller-engineering.com](http://www.schiller-engineering.com)*

Projektleitung: Dipl.-Ing. Heiko Schiller

Laufzeit: 01.10.2002 – 30.03.2005



## Einleitung

Raumluftechnische Anlagen übernehmen Funktionen, die über das Temperieren (Heizen / Kühlen) von Räumen hinaus gehen. Sie dienen zur Lufterneuerung und Schadstoffabfuhr, bei Bedarf auch zum Be- und Entfeuchten der Raumlufte. Die Variantenvielfalt der Systeme ist groß – vereinzelt sind im Bestand individuelle Sonderlösungen anzutreffen. Die vielen Systemlösungen resultieren aus der grundsätzlichen Schwierigkeit, sowohl die Außenluftzufuhr als auch die thermodynamische Raumlufte-konditionierung raumweise individuell und mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand zu regeln. Es ist eher die Ausnahme, dass raumluftechnische Zentralgeräte direkt nach den im Raum anfallenden thermischen Lasten geregelt werden. Wesentlich häufiger sind Systeme anzutreffen, die, zentral vorgesteuert, eine Vielzahl von Räumen grundversorgen. Die individuelle Spitzenlastregelung erfolgt dann dezentral. Beispiele dafür sind: Induktionsanlagen, Quellluftanlagen mit Kühldecken, Zweikanal-anlagen.

Die vorgeschlagene Bilanzierungsmethode trennt daher folgerichtig raumluftechnische Systeme in einen zonenunabhängigen Grundlastanteil und einen zonenabhängigen Spitzenlastanteil (Abb. 1). Der Grundlastanteil (mechanischer Mindestluftwechsel mit vorgesteuerter Temperatur) geht als Wärmequelle oder –senke in die Bilanz einer Zone ein. Dagegen ergibt sich der Spitzenlastanteil als Ergebnis der Zonenbilanzierung (Heiz- und Kühlbedarf der Zone). In der Praxis können bei der Raumkühlung folgende Grenzfälle auftreten. Es kann ausschließlich einen ungeregelten Grundluftwechsel mit konditionierter Luft geben, der zu einem unkontrollierten Schwingen der sommerlichen Raumlufte-temperaturen führt. In diesem Fall ist der Kühlenergiebedarf von der Zonenbilanz völlig unabhängig. Es kann aber auch reine Raumkühlssysteme geben, die mit Fensterlüftung kombiniert werden. In diesem Fall folgt der Kühlenergiebedarf ausschließlich aus der Zonenbilanz.

Grundsätzlich wird es durch diese Trennung möglich, für die meisten Systeme die thermische Luftaufbereitung raumlastunabhängig und somit losgelöst vom Gebäude zu bilanzieren.

Einzige Ausnahme stellen die Variabel-Volumenstrom-Systeme (VVS-Anlagen) bei kühl-lastabhängiger Regelung dar. Hier folgt der Luftvolumenstrom bei vorgesteuerter Zulufttemperatur direkt aus der Kühl-last. VVS-Anlagen stellen im Regelfall auch einen (konstanten) Mindestluftwechsel sicher, der wiederum kühl-lastunabhängig ist. Die Berechnung von VVS-Anlagen sieht daher eine Kopplung der beiden Bilanzmodelle von Gebäudezone und RLT-Zentrale vor.

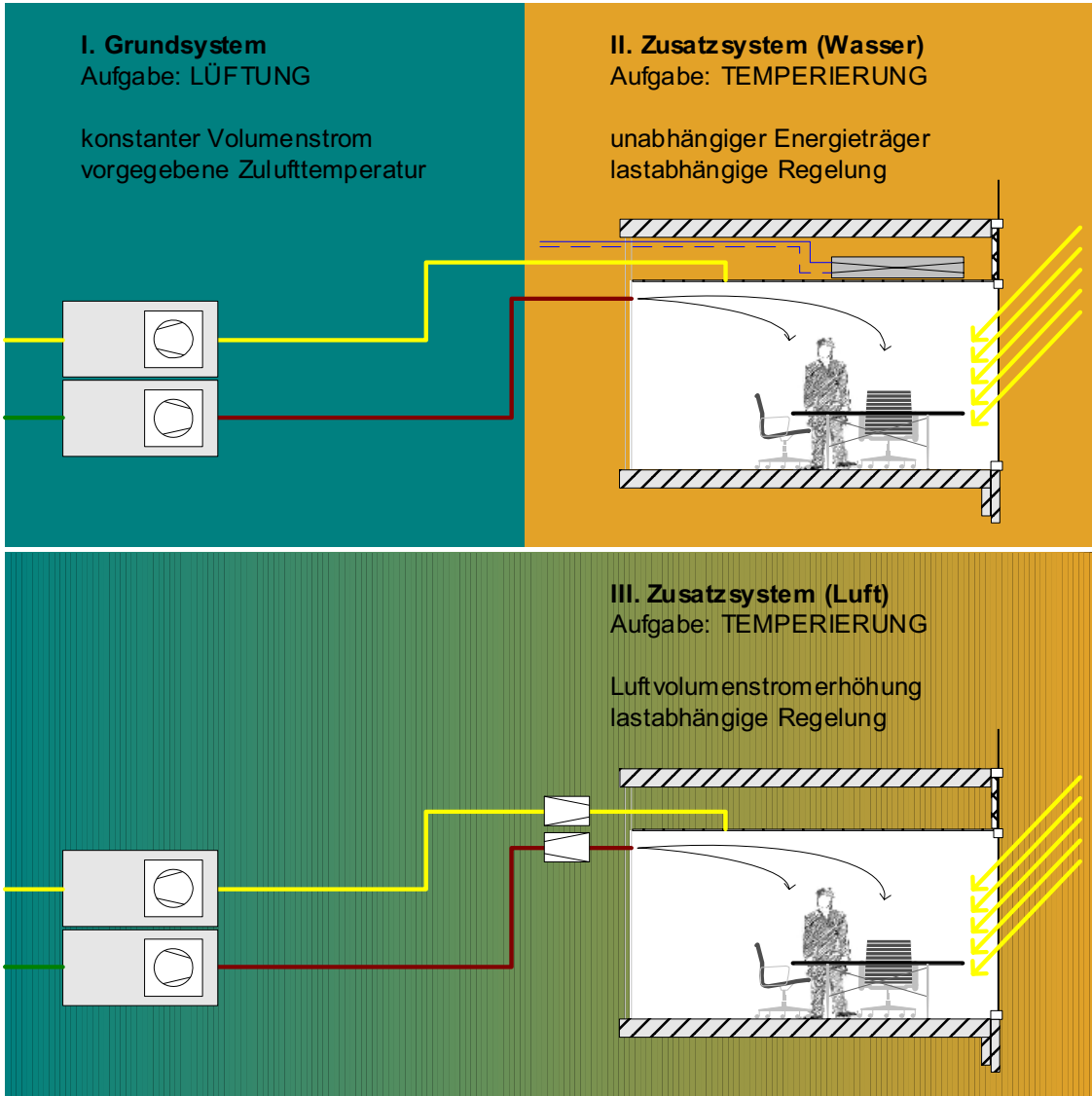


Abb. 1: Bilanzgrenzen bei Klimasystemen

## Grundprinzip des Berechnungsverfahrens

An die Methodik werden Forderungen nach Einfachheit, Transparenz und Eindeutigkeit gestellt. Handrechnung sollten möglich und die Normungsfähigkeit muss gegeben sein. Die Zahl der Eingangsdaten sollte sich an der Verfügbarkeit orientieren, sodass ein Einsatz in der Vorplanung und auch die Bewertung lückenhaft dokumentierter Bestandsanlagen möglich werden.

Die vorgeschlagene implizite Methode stützt sich auf einen Kennwerte-Datensatz, der durch den einmaligen Einsatz eines Simulationsverfahrens für Klimaprozesse und eines Referenz- Wetterdatensatzes bestimmt worden ist. Das darauf aufbauende einfache Berechnungsverfahren nutzt überwiegend statistische Methoden, um bei freier Wahl ausgewählter Randbedingungen, Ergebnisse aus diesen Kennwerten abzuleiten. Im vorgeschlagenen Verfahren wird die angestrebte Vereinfachung dadurch erreicht, dass die Eingangsdaten reduziert werden, die zugrunde liegenden Einmal-Berechnungen dagegen eine hohe Detaillierung aufweisen. Das Ziel einer fehlerresistenten, einfachen Handhabung kann erreicht werden. Eine feststehende und damit eingeschränkte Variantenvielfalt ist aber eine nachteilige Einschränkung des Verfahrens.

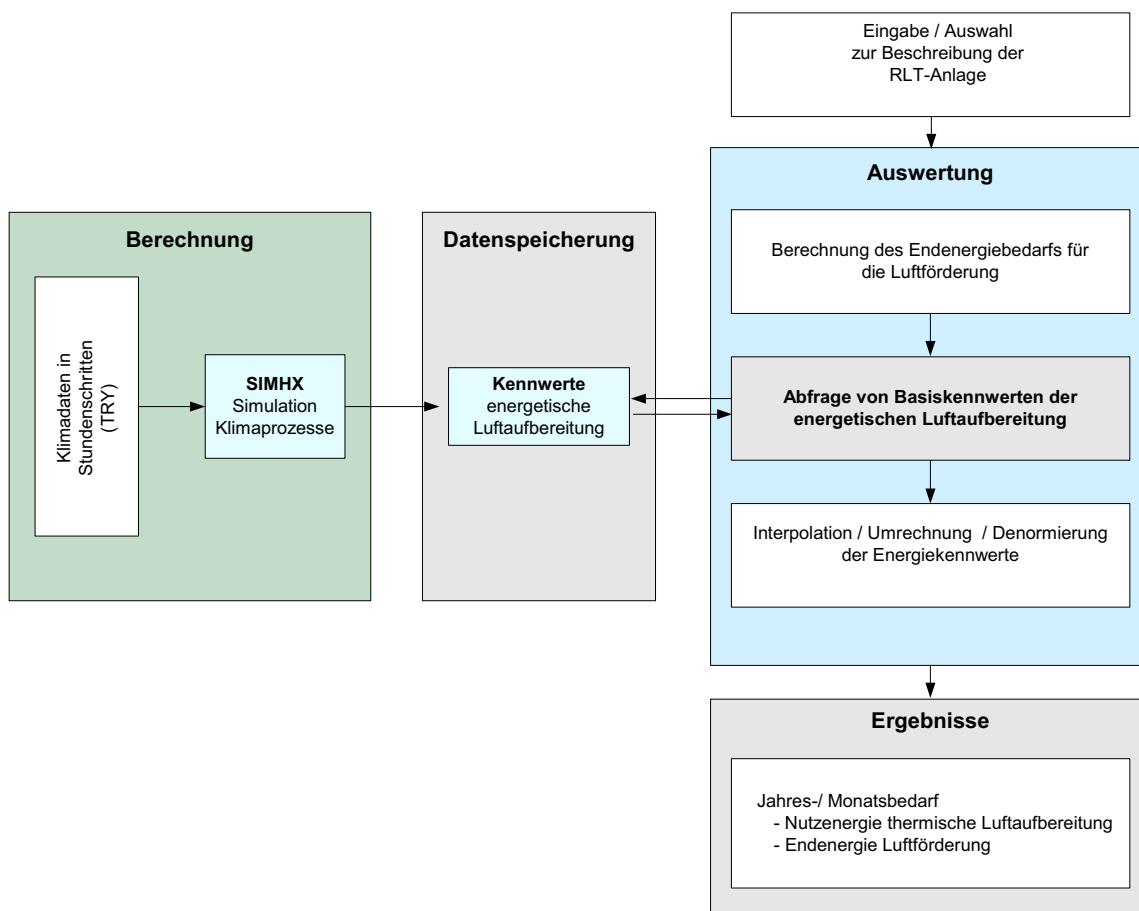


Abb. 2: Vorgehensweise bei der Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die thermische Luftaufbereitung



## Referenzklima

Ein implizites, kennwertbasiertes Berechnungsverfahren zwingt zur Reduktion der variablen Berechnungsgrößen. Daher war die Frage zu untersuchen, ob für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland ein einheitliches Referenzklima angewendet werden kann.

Als Beurteilungskriterium wurden u. a. die Enthalpiestunden für das Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten sämtlicher Testreferenzjahr-Datensätze ermittelt. Dabei wurde eine Zulufttemperatur von 18 °C sowie ein Feuchtebereich von 6 .. 10 g/kg gemäß Abb. 3 zugrunde gelegt.

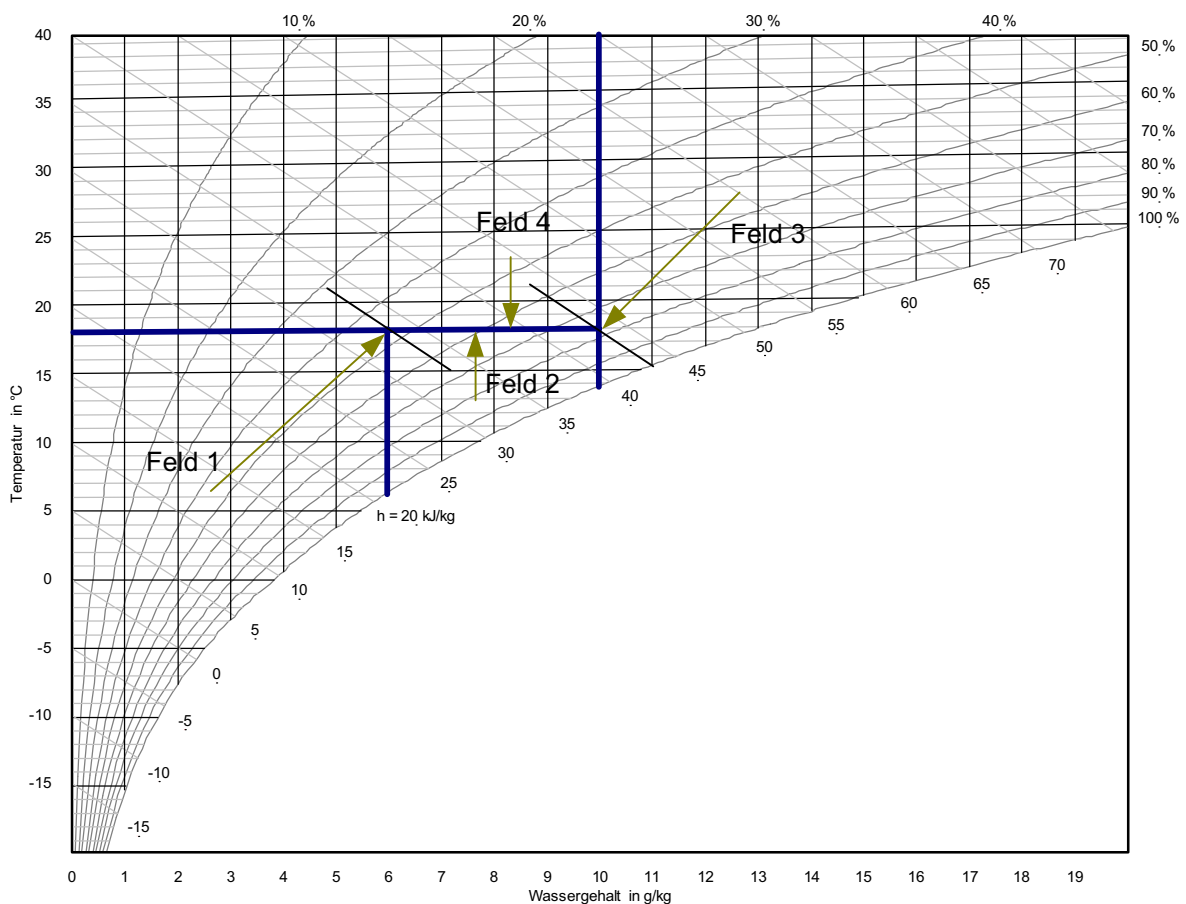


Abb. 3: Bezugsfelder zur Bestimmung von Enthalpiestunden



TRY	$G_{h,HB} + G_{h,H}$ kJh/kg	Abw.	$G_{h,KE} + G_{h,K}$ kJh/kg	Abw.	Gesamt kJh/kg	Abw.
1	94.723	-7%	-4.077	-26%	98.800	-8%
2	98.789	-3%	-4.670	-15%	103.459	-3%
3	90.096	-11%	-4.837	-12%	94.933	-11%
4	95.375	-6%	-5.833	6%	101.208	-6%
5	99.165	-2%	-7.027	28%	106.192	-1%
6	94.354	-7%	-7.439	35%	101.793	-5%
7	86.103	-15%	-8.881	61%	94.984	-11%
8	108.394	7%	-5.316	-3%	113.710	6%
9	110.462	9%	-5.296	-4%	115.758	8%
10	118.948	17%	-2.642	-52%	121.590	13%
11	127.304	25%	-2.295	-58%	129.599	21%
12	96.544	-5%	-7.741	41%	104.285	-3%
Mittelwert	101.688		-5.505		107.193	

Tab. 1: Jahresenthalpiestunden für das Heizen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten unterschiedlicher Wetterdatensätze.

Das TRY 05 entspricht in der Gesamtsumme nahezu dem arithmetischen Mittelwert aller 12 Datensätze und wird für die Auswahl als Referenz-Datensatz für die gesamte Bundesrepublik favorisiert.



## Kennwertverfahren für den thermischen Energiebedarf

### **Variantenmatrix**

Der Variantenmatrix für die Energiekennwerte liegen Schaltungsmodule zugrunde, durch deren Kombination ein breites Spektrum praktisch vorkommender RLT-Anlagen abgedeckt werden kann. Die Basis bildet eine kombinierte Zu- und Abluftanlage mit zwei Ventilatoren und einem Lufterhitzer zur Versorgung einer Gebäudezone mit Außenluft. Die Erweiterung der Basisschaltung ergibt sich durch die nachfolgenden Module.

1. Wärmerückgewinnung: Hierbei erfolgt die Unterscheidung in Systeme mit reiner Wärmeübertragung und Systeme mit Wärme- und Stoffübertragung. Bei den Systemen mit Stoffübertragung findet zusätzlich ein Feuchterückgewinn statt. In Anlehnung an VDI 2071 wird die Näherung eingeführt, dass Rückwärmzahl  $\Phi_{WRG}$  und Rückfeuchtezahl  $\psi_{WRG}$  gleich groß sind.
2. Kühlung: Die Luftkühlung ist in der Variantenmatrix zunächst generell berücksichtigt. Der Nutzenergiebedarf für die Kühlung kann optional entfallen.
3. Be- und Entfeuchtung: Die Luftbefeuchtung kann grundsätzlich nach dem Prinzip der Wasserverdunstung und nach dem Prinzip der Dampfung zu erfolgen. Es wird unterstellt, dass das Vorhandensein einer Befeuchtungseinrichtung auf erhöhte Anforderungen an die Raumluftfeuchte zurückzuführen ist, die auch die maximale Raumluftfeuchte betreffen. In diesem Fall kommt dem Luftkühler eine zusätzliche Entfeuchtungsfunktion zu. Ein Nacherhitzer ist unverzichtbar. Das Be- und Entfeuchtungsmodul ist an das Vorhandensein eines Luftkühlers gekoppelt.

In die Variantenmatrix ist die Rückwärmzahl als Merkmal zur Stützstellenberechnung mit aufgenommen worden. Im Verfahren kann bei freier Wahl der Rückwärmzahl zwischen diesen Stützstellen interpoliert werden.

Ergänzt werden die Varianten durch Betriebsführungsmerkmale. Hier sind als wesentliche Größen die Raumfeuchteanforderungen und die Art der Feuchteregelung einbezogen worden.

Bei den Raumfeuchteanforderungen ist auf eine freie Wahl der Sollwerte verzichtet worden. Für Aufenthaltsräume aller Art richten sich die Grenzwerte ausschließlich nach der thermischen Behaglichkeit, wobei entsprechend DIN 1946 – 2 relativ große Toleranzen für die Raumluftfeuchten möglich sind. In selteneren Fällen, wie z. B. in Museen und Fertigungsstätten, können erhöhte Anforderungen gelten, wobei hier besonders die Feuchtekonstanz von Bedeutung ist. Daraus ergeben sich folgende Variantenmerkmale:

- Feuchteanforderungen mit großem Toleranzbereich: Die Zuluftfeuchte kann innerhalb folgender Toleranzgrenzen 6,0 g/kg und 11,0 g/kg für den Wasserdampfgehalt schwanken. Der Bereich deckt sich annähernd mit den Forderungen bzw. Empfehlungen nach DIN 1946 – 2.



- Feuchteanforderungen ohne Toleranzbereich: Die Zuluftfeuchte wird auf einen festen Sollwert für den Wasserdampfgehalt von 8,0 g/kg geregelt. Bei Raumtemperatur 22 °C entspricht dies einer relativen Feuchte von 48 %.

Bei Einsatz von Verdunstungsbefeuchtern kann die Art der Feuchterege- lung maßgeblichen Einfluss auf den Heizenergiebedarf haben. Da das Verfahren auch auf den Gebäudebestand anzuwenden ist, wird unterschieden in

- Verdunstungsbefeuchter nicht regelbar: Die Feuchterege- lung erfolgt dabei nach der veralte- ten, aber im Bestand häufig anzutreffenden Methode der „Taupunktregelung“ statt.
- Verdunstungsbefeuchter regelbar: Die Feuchterege- lung erfolgt nach der Methode der „direk- ten Feuchterege- lung“.

Feuchteanforderung		Befeuchter-Typ		WRG-Typ		Rückwärmzahl	
<b>0</b>	keine	<b>0</b>	Verdunstung nicht regelbar	<b>0</b>	keine	<b>0</b>	45 %
<b>1</b>	großer Toleranzbereich	<b>1</b>	Verdunstung regelbar	<b>1</b>	reine Wärmeübertragung	<b>1</b>	60 %
<b>2</b>	ohne Toleranzbereich	<b>2</b>	Dampfbefeuchter	<b>2</b>	Wärme- und Feuchteübertragung	<b>2</b>	75 %

Tab. 2: Anlagenmerkmale als Basis der Variantenmatrix

Aus den insgesamt  $3^4 = 81$  Kombinationsmöglichkeiten nach Tab. 2 sind 46 sinnvolle Varianten identi- fiziert worden, für die die Basis-Energiekennwerte berechnet und entsprechend Tab. 3 abgelegt wur- den.

Varianten-Nr.	Feuchteanforderung			Befeuchter-Typ			WRG-Typ			Rückwärmzahl		
	keine mit Toleranz ohne Toleranz	Verdunstung nicht regelbar verdunstung regelbar	Dampfbefeuchter	keine nur Wärme Wärme und Feuchte	45%	60%	75%					
1	x						x					
2	x							x		x		
3	x							x			x	
4	x							x				x
5		x		x			x					
6		x		x				x		x		
7		x		x				x			x	
8		x		x				x				x
9		x		x					x	x		
10		x		x					x		x	
11		x		x					x			x
12		x			x			x				
13		x			x				x			
14		x			x				x		x	
15		x			x				x			x
..	..											
35			x		x			x			x	
36			x		x			x				x
37			x		x				x	x		
38			x		x				x		x	
39			x		x				x			x
40			x			x	x					
41			x			x			x			
42			x			x					x	
43			x			x			x			x
44			x			x			x	x		
45			x			x			x		x	
46			x			x			x			x

Tab. 3: Zuordnung der 46 Variantennummern (Auszug)



### **Einfluss der Zulufttemperatur auf den thermischen Energiebedarf**

Innerhalb des Anwendungsbereiches für die Zulufttemperatur von 14 °C bis 22 °C sollte eine Umrechnung der Kennwerte für frei wählbare Zulufttemperaturen ermöglicht werden. Die untere Begrenzung von 14 °C folgt aus wärmephysiologischen Überlegungen – die obere Begrenzung 22°C aus dem isothermen Winterfall. Für eine Zulufterwärmung oberhalb 22 °C könnte der zusätzliche Heizenergiebedarf bei Bedarf explizit berechnet werden, da der Wärmerückgewinnungseffekt dann vernachlässigbar wäre.

Aus detailliert ermittelten Simulationsergebnissen für die Zulufttemperatur-Grenzwerte 14 °C und 22 °C konnten Gradienten  $g$  bestimmt werden, die wie folgt definiert sind.

$$g = \frac{|\Delta q_i|}{|\Delta \vartheta_{HC}|} = \frac{|q_{i,\vartheta_{HC},12h} - q_{i,18^\circ C,12h}|}{|\vartheta_{HC} - 18^\circ C|}$$

mit:

$q_i$	Kennwert Nutzenergiebedarf [Wh/(m <sup>3</sup> /h)]
$\vartheta_{HC}$	Zulufttemperatur [°C]

Indizes:

$i$ :	Nutzenergieart (H: Heizen, C: Kühlen, St: Dampf)
-------	--

Um den Linearisierungsfehler zu verringern, wurden unterschiedliche Gradienten für Abweichungen von  $\vartheta_{HC}$  nach oben und nach unten ermittelt, die Bestandteile der Energiekennwerte nach Tab. 4 sind.

### **Einfluss der täglichen Betriebszeit auf den thermischen Energiebedarf**

Aufgrund unterschiedlicher Tag-Nacht-Verteilungen der Wetterdaten hat die tägliche Betriebszeit Einfluss auf den thermischen Nutzenergiebedarf. So würde bei Übergang vom 12h-Tagbetrieb auf den 24h-Betrieb der Heizbedarf überproportional und der Kühlbedarf unterproportional zur Betriebsstundenzahl ansteigen. Die Umrechnung der Energiekennwerte erfolgt über Korrekturfaktoren  $f_{h,i}$  entsprechend Abb. 4 eingeführt, die den Einfluss der Witterungs-Asymmetrie zwischen Tag und Nacht berücksichtigen.

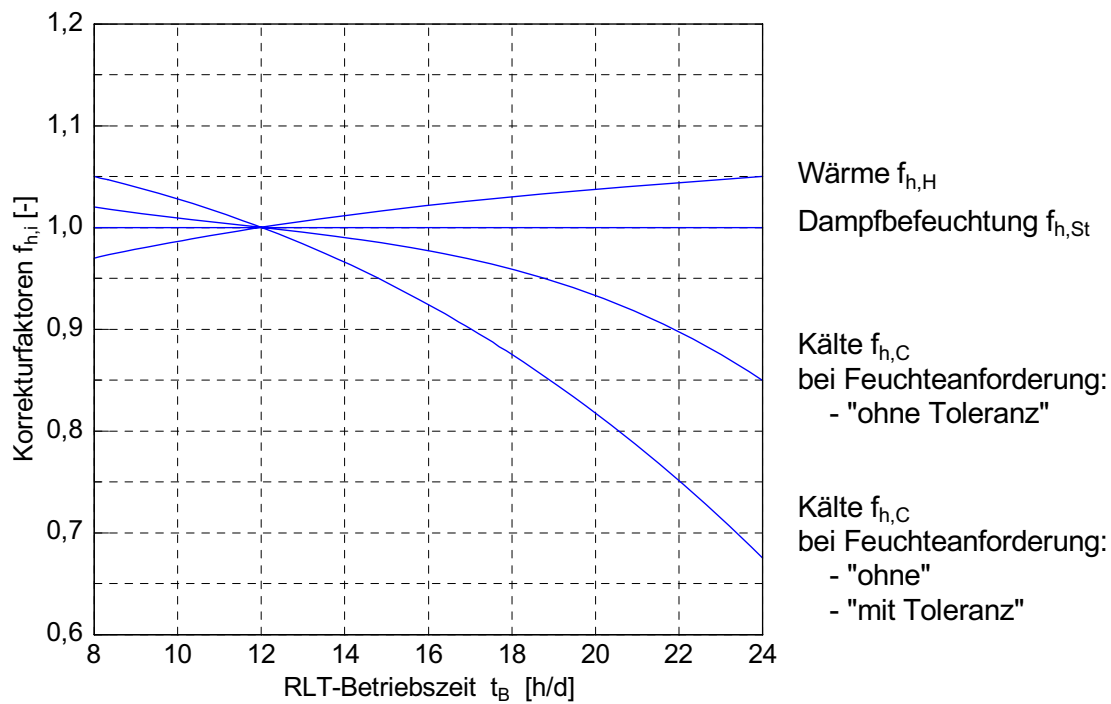


Abb. 4: Korrekturfaktoren für die tägliche Anlagenbetriebszeit

### **Jahresverfahren und Monatsverfahren**

Ursprünglich wurde das Kennwertverfahren als reines Jahresverfahren entwickelt. Im Kontext zum Monatsverfahren bei der Gebäudebilanzierung, erfolgte dann auch die Untergliederung der Energiekennwerte in monatlichen Darstellungen. Dabei sind die zugrunde liegenden Simulationsergebnisse für beide Verfahren identisch.

Varianten-Nr.	Energiekennwerte für $\vartheta_{ZU} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $t_B = 12 \text{ h}$ ; $d_B = 365 \text{ d}$ GESAMTJAHR						
	Wärme			Dampf	Kälte		
	$q_{H,18^\circ\text{C},12\text{h}}$	$g_{H,u}$	$g_{H,o}$	$q_{St,12\text{h}}$	$q_{C,18^\circ\text{C},12\text{h}}$	$g_{C,u}$	$g_{C,o}$
	$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{K m^3/h}$	$\frac{Wh}{K m^3/h}$	$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{m^3/h}$	$\frac{Wh}{K m^3/h}$	$\frac{Wh}{K m^3/h}$
1	11.369	952	1.120	-	1.951	750	320
2	3.340	611	952	-	1.923	747	316
3	1.179	275	809	-	1.913	747	316
4	51	12	450	-	1.903	747	316
5	16.241	1.003	1.170	-	2.751	667	235
6	9.820	839	1.125	-	2.707	668	232
7	8.823	824	1.052	-	2.696	668	232
8	8.394	827	968	-	2.685	668	232
9	8.942	842	1.051	-	2.710	652	230
10	8.439	826	965	-	2.714	644	230
11	8.414	826	878	-	2.700	640	229
12	15.479	969	1.165	-	1.970	703	246
13	7.338	729	1.028	-	1.929	703	240
14	5.011	622	928	-	1.918	703	240
15	2.978	488	791	-	1.908	703	239
..	..	..	..	..	..	..	..
35	11.105	1.204	1.311	-	4.971	109	61
36	8.667	1.140	1.286	-	4.961	109	61
37	9.653	1.175	1.307	-	4.550	104	59
38	5.951	1.008	1.257	-	4.392	103	58
39	2.829	574	1.087	-	4.237	103	57
40	12.604	1.265	1.318	9.658	5.333	201	109
41	4.837	930	1.234	9.633	5.282	203	109
42	2.777	561	1.108	9.632	5.272	203	109
43	1.965	368	703	9.632	5.261	203	109
44	5.041	952	1.239	5.577	4.879	201	108
45	2.990	609	1.127	4.450	4.736	200	107
46	1.991	374	780	3.886	4.596	200	93

Tab. 4: Energiekennwerte (Auszug) für die thermische Luftaufbereitung (Jahresverfahren)



### Ventilatorenergiebedarf bei Variabel-Volumenstrom-Systemen

Die Berechnung des Endenergiebedarfs für die Luftförderung folgt grundsätzlich expliziten physikalischen Ansätzen. Dabei geht die Ventilatorwärme in der Energiebilanz des Luftaufbereitungsprozesses ein.

Besonders Augenmerk wurde Anlagen mit variablen Volumenströmen gewidmet. Den Stand der Technik stellt hier die Drehzahlregelung mittels Frequenzumformer dar. In Verbindung mit einer dezentralen Drosselregelung (Volumenstromregler in den Zonen) sind die Voraussetzungen für eine individuelle und wirtschaftliche Einzelraumregelung gegeben. Dieses Prinzip liegt dem physikalischen Modell entsprechend Abb. 5 zugrunde, bei dem das Kanalnetz in zwei unterschiedliche Abschnitte eingeteilt wird. Durch die Fixierung des Kanaldruckes am Ort des Druckfühlers, kann der Druckverlust  $\Delta p_{\text{konst}}$  im zweiten Abschnitt des Kanalnetzes als konstant angesehen werden. Der Druckverlust im ersten Abschnitt des Gesamtnetzes  $\Delta p_{\text{var}}$  ist dagegen veränderlich. Als beschreibende Variable wurde die Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  eingeführt, die das Verhältnis von konstantem Druckabfall zum Gesamtdruckabfall im Auslegungszustand beschreibt.

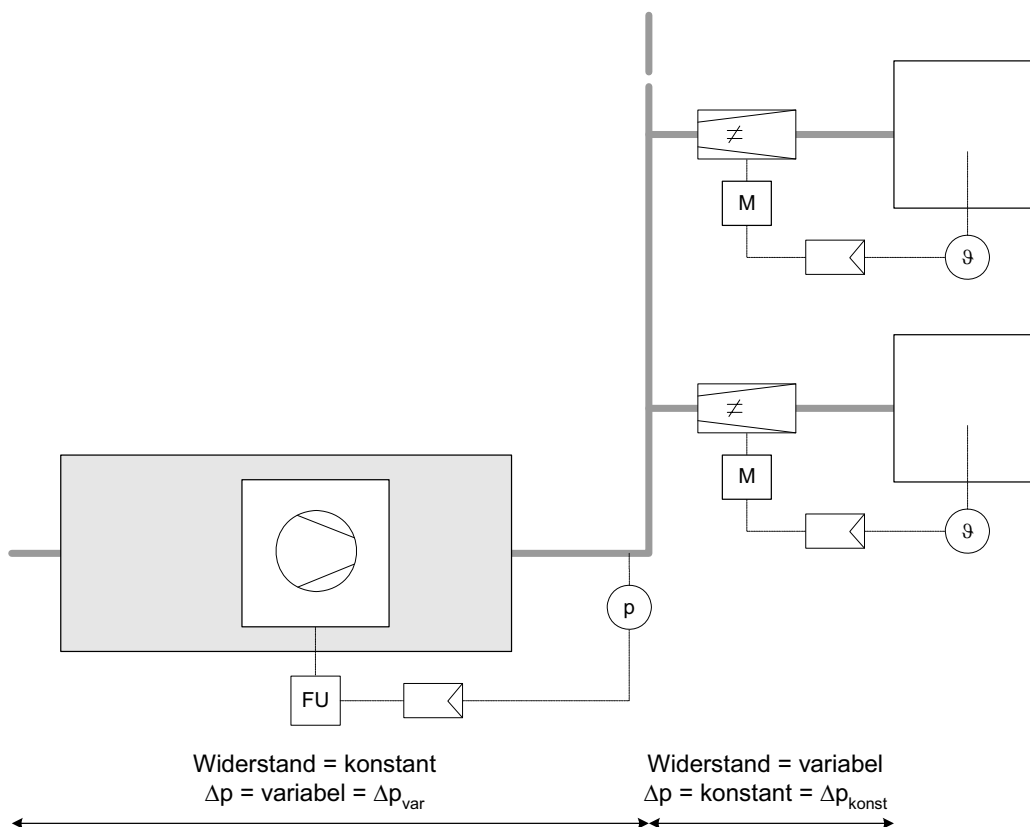


Abb. 5: Regelschema für VVS-Anlagen als Grundlage für eine vereinfachte Berechnung

Aus den Berechnungsansätzen folgen die möglichen Arbeitspunktverläufe gemäß Abb. 6. Um den Linearisierungsfehler aufgrund des Monatsverfahrens zu verringern, konnte ein wirkungsvoller empirischer Korrekturansatz gefunden werden.

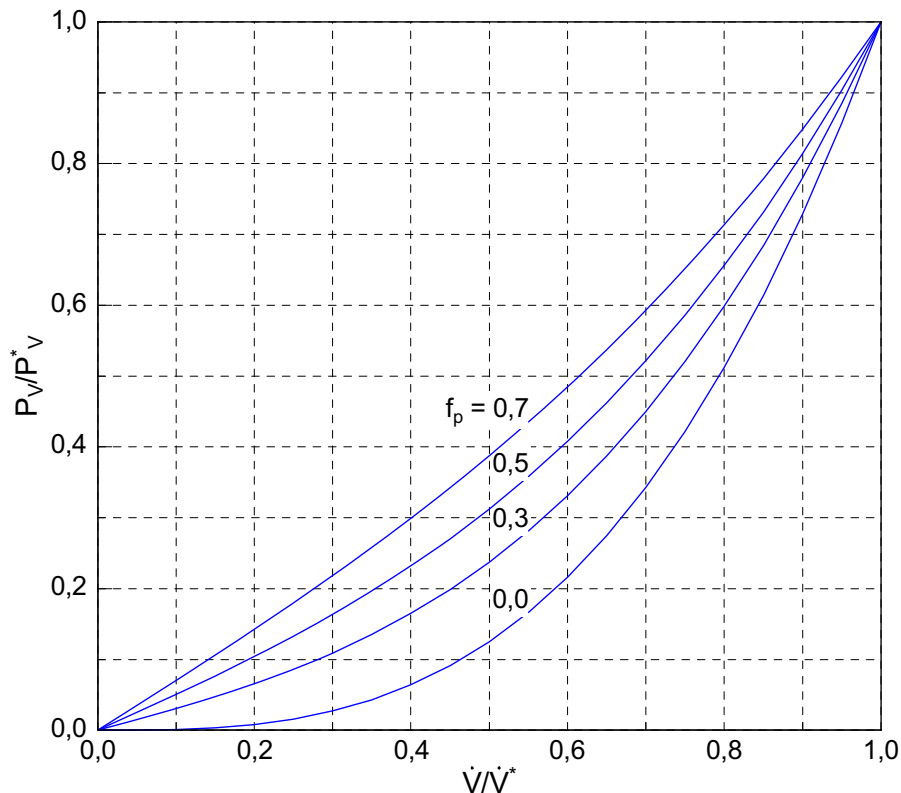


Abb. 6: Einfluss der Druckverhältnis-Zahl  $f_p$  auf die Ventilator-Antriebsleistung  $P_v$  bei veränderlichen Volumenströmen  $\dot{V}$

### **Algorithmus für den Nutzenergiebedarf der thermischen Luftaufbereitung**

Für die Berechnung des thermischen Nutzenergiebedarfs kann die Rückwärmzahl  $\Phi_{WRG}$  innerhalb des Bereiches 0 .. 0,75 frei gewählt werden. In diesem Fall erfolgt zunächst eine getrennte Berechnung der Energiekennwerte  $q_i'$  und  $q_i''$  für die nächstkleinere Stützstelle  $\Phi_{WRG}'$  und nächstgrößere Stützstelle  $\Phi_{WRG}''$ . Anschließend sind die Energiekennwerte für Wärme, Kälte und Dampf zwischen den Stützstellen  $q_i'$  und  $q_i''$  linear zu interpolieren.

Da die Energiekennwerte auf einen Zuluftvolumenstrom von 1 m<sup>3</sup>/h normiert wurden, ist abschließend die Denormierung zum Nutzenergiebedarf  $Q_{V,i}$  erforderlich. Diese Denormierung erfolgt durch Multiplikation mit dem Mittelwert des Zuluftvolumenstroms innerhalb der Anlagenbetriebszeit.

Den Gesamtberechnungsablauf verdeutlichen Abb. 7 und Abb. 8.

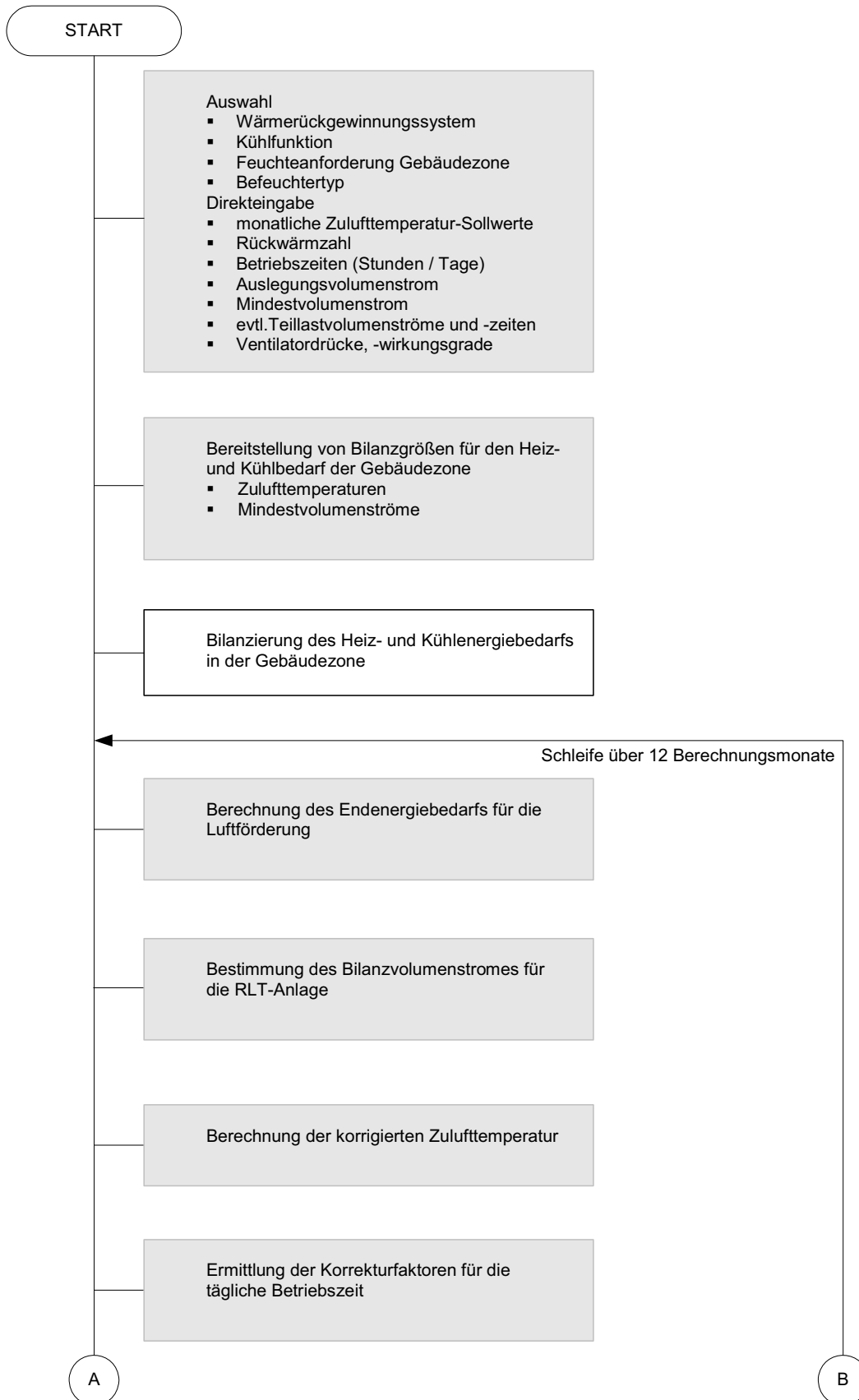


Abb. 7: Berechnungsablauf (1. Teil)

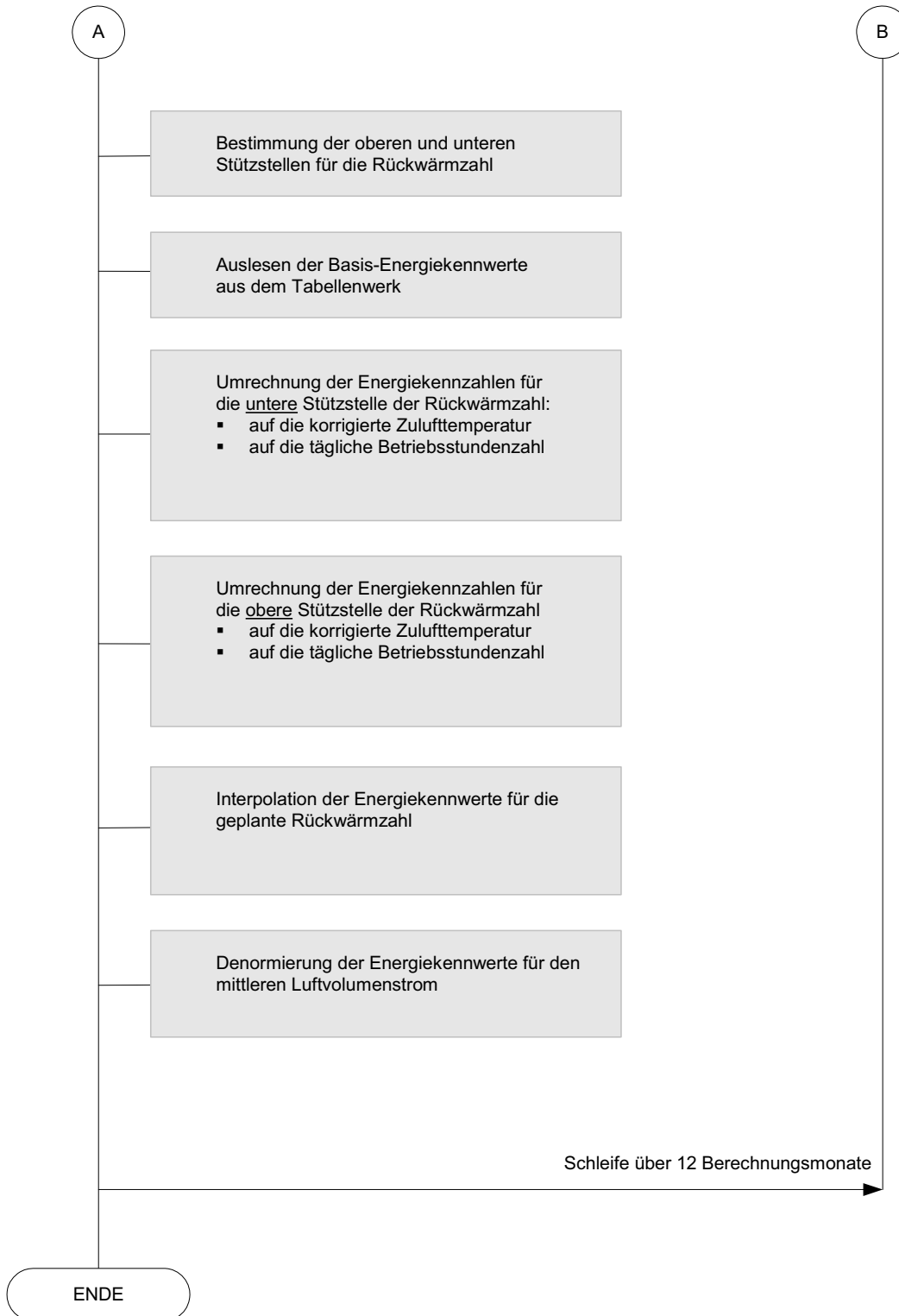


Abb. 8: Berechnungsablauf (Fortsetzung)

Für Konstant-Volumenstrom-Anlagen kann das Jahresverfahren problemlos per Hand angewendet werden. Für das Monatsverfahren und generell bei Variabel-Volumenstrom-Systemen ist die automatisierte Berechnung sinnvoll.



## **Stand der nationalen und europäischen Umsetzung**

Das vorgestellte Berechnungsverfahren wurde vollständig im Teil 3 der Vornorm DIN 18599: „Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die energetische Luftaufbereitung“ implementiert. Somit wird der Einsatz der Methodik bei der Erstellung von Energiebedarfsausweisen für Nichtwohngebäude nach der zukünftigen Energieeinsparverordnung erwartet.

Das Echo aus der Industrie ist bisher positiv. So wird das Verfahren bereits heute von Herstellern genutzt, um die Energieeffizienz der hergestellten Lüftungszentralgeräte transparenter darzustellen.

Berücksichtigungen der vorliegenden Methodik als eines von mehreren Verfahren finden sich in den Entwürfen EN 15241 „Lüftung von Gebäuden: Berechnungsverfahren für den Energieverlust aufgrund der Lüftung und Infiltration in Nichtwohngebäuden“ sowie EN 15243 „Lüftung von Gebäuden: Berechnung der Raumtemperaturen, der Last und Energie von Gebäuden mit Klimaanlage“.

Derzeit wird in Österreich die Anwendung der Methodik in Form einer ÖNORM erwogen. Dazu werden eigenständige Kennwerte auf Basis der dortigen Wetterdatensätze erstellt.

Die aktuell angefertigte englische Übersetzung der gesamten Normenreihe 18599 bietet weiteren Ländern die Möglichkeit der Nutzung.



## Nutzenergiebedarf für Beleuchtungszwecke

Durchführung: *Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstrasse 12  
70569 Stuttgart  
jdb@ibp.fhg.de  
www.ibp.fhg.de*

### Die DIN V 18599 Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

Dr.-Ing. Jan de Boer, Fraunhofer IBP Stuttgart

#### 1. Einleitung

In der Beleuchtung von Funktionsgebäuden mittels optimierter Tageslichtnutzung und effizienter künstlicher Beleuchtungssysteme liegt ein großes energetisches Einsparpotential. Die von der EU-Kommission erlassene Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden /1/, die bis Anfang 2006 in allen Mitgliedsländern umgesetzt werden muss, soll dieses Potential freisetzen. Die Bewertungsmethode der Energieeinsparverordnung 2006 soll hierzu – wie in Bild 1 (links) dargestellt – gegenüber der bisher gültigen Energieeinsparverordnung von 2002 erweitert werden, um die Energieaufwendungen für Gebäudeklimatisierung und Beleuchtung primärenergetisch denen der Beheizung gegenüber zu stellen.

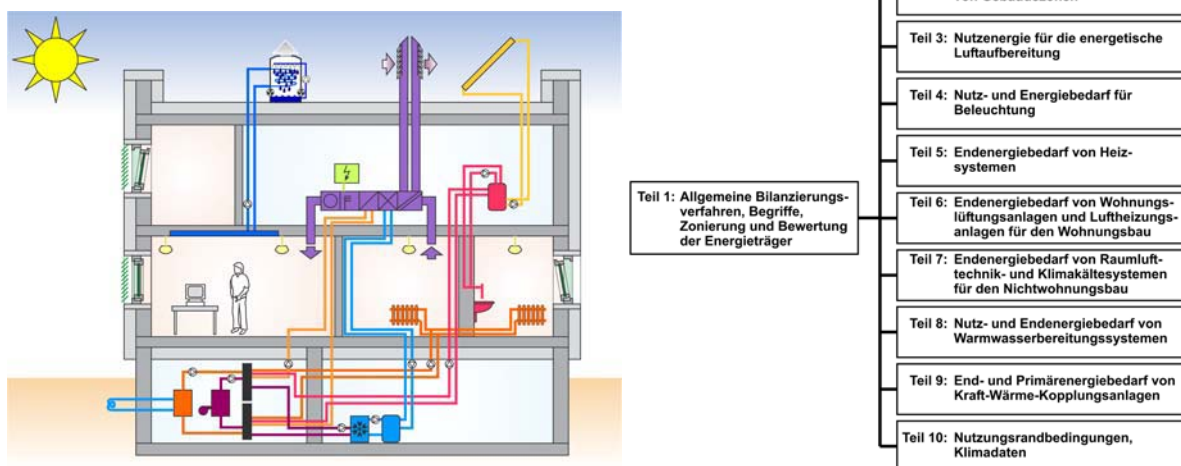


Bild 1: Umfang und Struktur der DIN V 18599.

Die Verordnung selbst soll auf eine neu entwickelte technische Regelsetzung Bezug nehmen. In dem gemeinsamen Normungsausschuss des NABau, NHRS und FNL, „NABau 00.82.00 Energetische Bewertung von Gebäuden“ wurde zur nationalen Umsetzung der EU-Richtlinie die Normenreihe *DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des*

Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung“ /2/ - wie in Bild 1 (rechts) dargestellt – entwickelt. Der Teil 4 „Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“ berücksichtigt den Beleuchtungsenergiebedarf.

## 2. Beleuchtung in der Gesamtbilanzierung von Gebäuden nach DIN V 18599

Die Normenreihe DIN V 18599 stellt eine Methode zur Bewertung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden dar. Als integrales Planungswerkzeug kann sie zur Erschließung weiterer bisher ungenutzter Energieeinsparpotentiale genutzt werden. Sie ermöglicht die Verrechnung der einzelnen Gewerke (Heizung, Kühlung, Beleuchtung) untereinander. Die gegenseitige Beeinflussung von Energieströmen wird im Verfahren abgebildet und kann somit sowohl dargestellt als auch optimiert werden. Die künstliche Beleuchtung wirkt als Wärmequelle in der thermischen Raumbilanz. Die Wärmegewinne fließen auf monatlicher Basis in das in DIN V 18599-2 „Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahreskühlbedarfs von Gebäudezonen“ beschriebene thermische Raummodell ein. Im Winter werden sie zur Herabsetzung des Heizwärmebedarfs nutzbar; im Sommer können sie dagegen die Überhitzungsgefahr vergrößern. Der Geltungsbereich umfasst ausschließlich die Beleuchtung zur Erfüllung der Sehaufgabe; dekorative Beleuchtung wird nicht berücksichtigt.

## 3. Zonierung, Aufteilung in Berechnungsbereiche

Vor einer energetischen Bewertung ist ein Gebäudekörper in Bereiche gleicher Randbedingungen zu zonieren. Räume gleicher Nutzung werden hierbei jeweils zusammengefasst. In den einzelnen Berechnungsbereichen ist der tageslichtversorgte Flächenanteil zu ermitteln. Die maximal tageslichtversorgte Tiefe  $a_{TL,max}$  beträgt hierbei, wie in Bild 2 illustriert, das zweieinhalbfache der Differenz aus Sturzhöhe und Nutzebene.

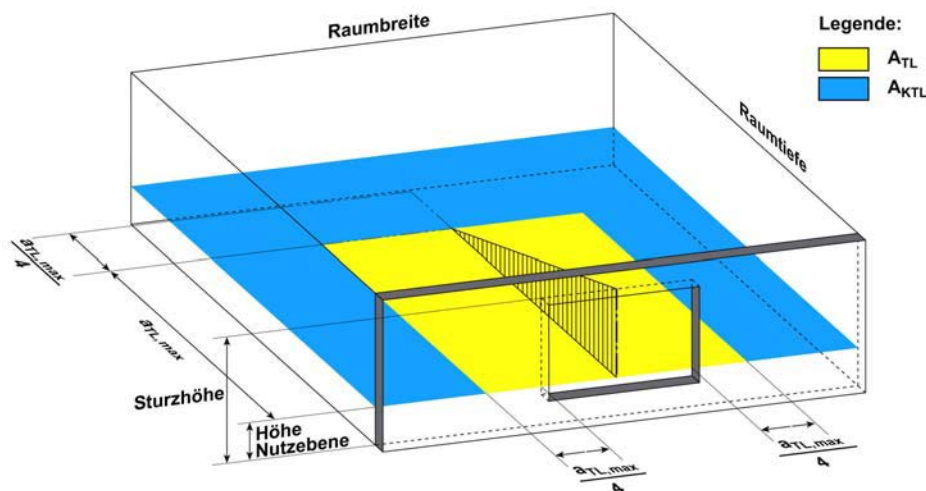


Bild 2: Der Flächenanteil  $A_{TL}$  der Nutzebene, der vom Tageslicht profitiert, wird in Abhängigkeit der Fassadenparameter bestimmt.



#### 4. Genereller Verfahrensansatz

Der generelle Ansatz geht von der in einem Zeitintervall umgesetzten elektrischen Energie bei zeitlich veränderlicher Leistung  $p(t)$  aus.  $p(t)$  variiert beispielsweise über den Tag durch das Schaltverhalten der Nutzer oder aber aufgrund elektronischer Kontrolleinrichtungen (z.B. tageslichtabhängige Beleuchtungskontrollsysteme). Vereinfacht kann der Energiebedarf  $Q_{\text{Licht}}$  in einem betrachteten Gebäudebereich als Produkt aus der flächenbezogenen elektrischen Anschlussleistung  $p$ , einer effektiven Betriebszeit der Kunstlichtanlage  $t_{\text{eff}}$  und der Grundfläche des Berechnungsbereichs  $A$  aufgefasst werden:

$$Q_{\text{Licht}} = p \cdot t_{\text{eff}} \cdot A \quad (1)$$

Der Vorteil dieses Ansatzes liegt in einer einfachen Betrachtung des künstlichen Beleuchtungssystems. Es muss lediglich die installierte elektrische Anschlussleistung  $p$  ermittelt werden. Die effektive Betriebszeit  $t_{\text{eff}}$  berücksichtigt den Einfluss des Tageslichtes und der Präsenzerfassung auf den Energiebedarf. Die Vorgehensweise ist in einem Ablaufdiagramm in Bild 3 dargestellt.

Da im Nachweisverfahren mit Näherungen und teilweise gemittelten Werten gearbeitet wird, können reale elektrische Anschlussleistungen gegenüber denen im Verfahren der DIN V 18599-4 ermittelten Anschlussleistungen sowohl nach oben als auch nach unten abweichen. Um eine somit indirekte planerische Festlegung auf bestimmte elektrische Anschlussleistungen zu vermeiden, ist diese als „elektrische Bewertungsleistung“ im Sinne des Nachweisverfahrens DIN V 18599 Teil 4 aufzufassen.

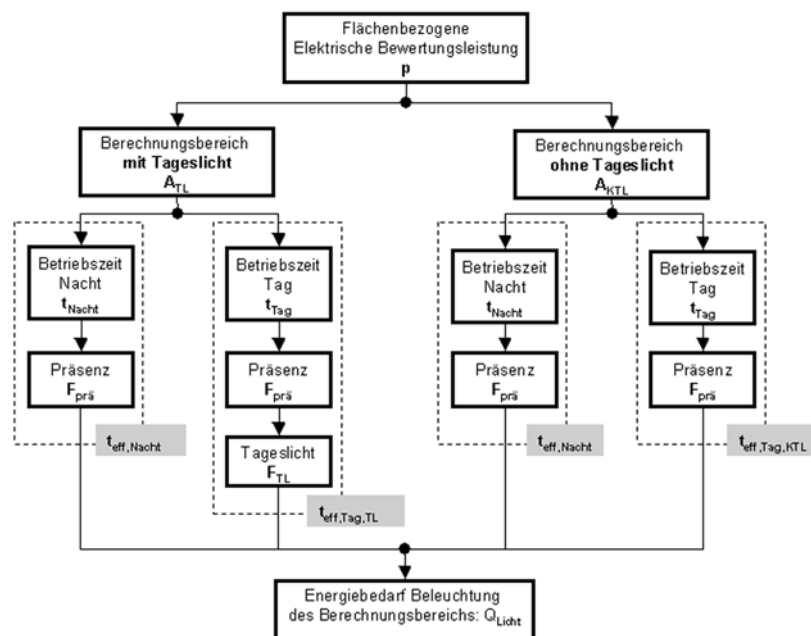


Bild 3: Ablaufdiagramm zur Ermittlung des Energiebedarfs für Beleuchtung für einen Berechnungsbereich.

## 5. Kunstlicht – elektrische Bewertungsleistung

Der elektrischen Bewertungsleistung kommt in dem Verfahren eine zentrale Bedeutung zu. Sie skaliert direkt linear den Endenergiebedarf Beleuchtung. Grundlage der Bestimmung der elektrischen Bewertungsleistung nach den Verfahren in DIN V 18599-4 ist die Einhaltung der Empfehlungen für die Beleuchtung, dokumentiert in der gültigen und einschlägigen Normung, DIN EN 12464-1 /3/. Es kann auf ein einfaches Tabellenverfahren /4/ zurückgegriffen werden. Genauere Ermittlungen der elektrischen Bewertungsleistung können neben einer detaillierten Fachplanung darüber hinaus mit Hilfe eines vereinfachten Wirkungsgradverfahrens durchgeführt werden.

Bild 4 sind exemplarisch die nach dem einfachen Tabellenverfahren ermittelten elektrischen Bewertungsleistungen für die Beleuchtungsart „direkt/indirekt“ für unterschiedliche Beleuchtungssysteme als Funktion der Raumgeometrie, beschrieben durch den Raumindex

$$k = \frac{\text{Raumtiefe} * \text{Raumbreite}}{(\text{Leuchtenebenenhöhe} - \text{Nutzebenenhöhe}) * (\text{Raumtiefe} + \text{Raumbreite})}$$

zu entnehmen.

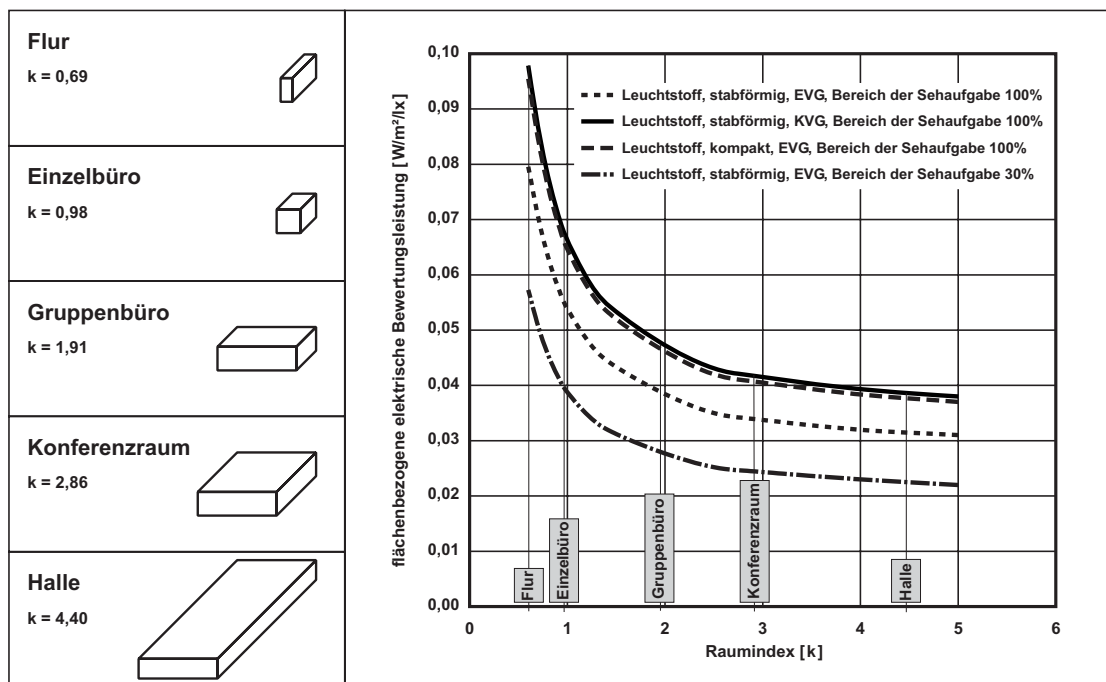


Bild 4: Elektrische Bewertungsleistungen nach dem Tabellenverfahren für die Beleuchtungsart „direkt / indirekt“ für unterschiedliche, exemplarische Beleuchtungslösungen in Abhängigkeit der beispielhaft links angegebenen Relationen der Raumgeometrie parametrisiert über den Raumindex  $k$ .

## 6. Tageslicht

Eine effiziente Tageslichtnutzung kann dazu beitragen, den Kunstlichteinsatz und damit den Energiebedarf für Beleuchtungszwecke signifikant zu reduzieren. Die Tageslichtversorgung eines Gebäudes hängt von dem im Außenraum zur Verfügung stehenden Tageslicht, von den baulichen Verhältnissen im Außenraum, der Orientierung und den Fassaden- und Raumparametern ab. Der Einfluss der Tageslichtversorgung auf den Beleuchtungsenergiebedarf kann mit dem Verfahren auf monatlicher und jährlicher Basis für vertikale Fassaden und Dachoberlichter /5/ bewertet und nachgewiesen werden.

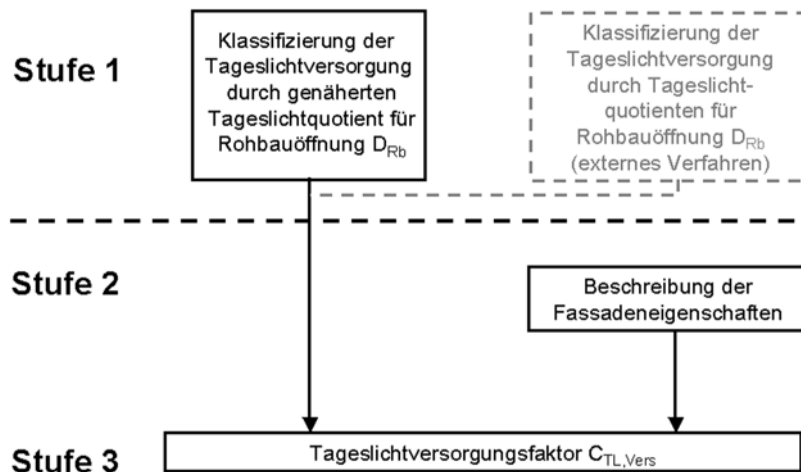


Bild 5: Dreistufiger Verfahrensansatz zur Ermittlung des Tageslichtversorgungsfaktors  $C_{TL,Vers}$ .

Das Verfahren erfordert für den ermittelten tageslichtversorgten Bereich (vergleiche Ziffer 4) die drei in Bild 5 dargestellten Schritte:

1. Klassifizierung der Tageslichtversorgung in Abhängigkeit der baulichen Parameter Verbauung im Außenraum, Fassaden- und Raumparameter durch den Tageslichtquotienten, wie in Bild 6 dargestellt. Das Verfahren in der DIN V 18599 Teil 4 bietet ein einfaches Näherungsmodell zur Ermittlung des Tageslichtquotienten, so dass im allgemeinen auf den Einsatz komplexerer Berechnungswerkzeuge verzichtet werden kann. Diese können jedoch wo z.B. Sondergeometrien zu bewerten sind, eingesetzt werden.
2. Beschreibung der Fassadeneigenschaften: Das Fassadensystem wird in Abhängigkeit des jeweiligen Fassadenzustandes (Sonnenschutz aktiviert, Sonnenschutz nicht aktiviert) bewertet. Die einfließenden Parameter sind der effektive Transmissionsgrad der Verglasung (Transmissionsgrad der Verglasung gewichtet mit Abminderungsfaktoren für Versprossung, Verschmutzung und nicht senkrechten Lichteinfall) und die Ausbildung des Sonnen- bzw. Blendschutzes. Innovative lichtlenkende Systeme finden ebenfalls Berücksichtigung.
3. Ermittlung des Tageslichtanteils  $C_{TL,Vers}$  an der erforderlichen Belichtung in Abhängigkeit der Klassifizierung der Tageslichtversorgung durch den Tageslichtquotienten, des Wartungswertes der Beleuchtungsstärke und der Fassadensystemparameter.

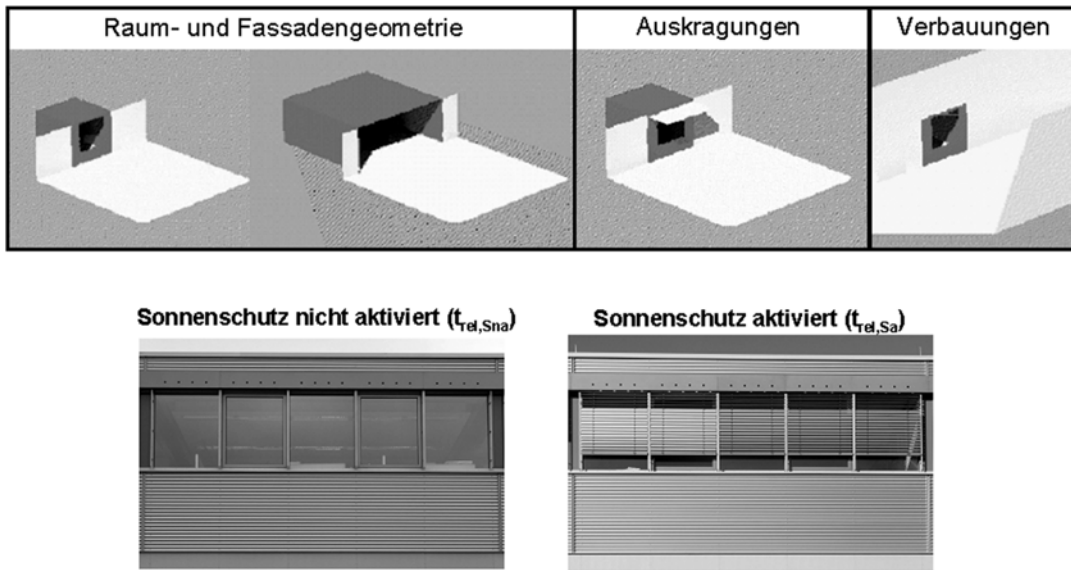


Bild 6: Bauliche Einflüsse, die im Tageslichtquotienten Berücksichtigung finden (oben). Fassadenzustandsbezogene Betrachtung (unten).

Eine analoge Vorgehensweise steht gemäß Bild 7 für Dachoberlichtlösungen zur Verfügung.

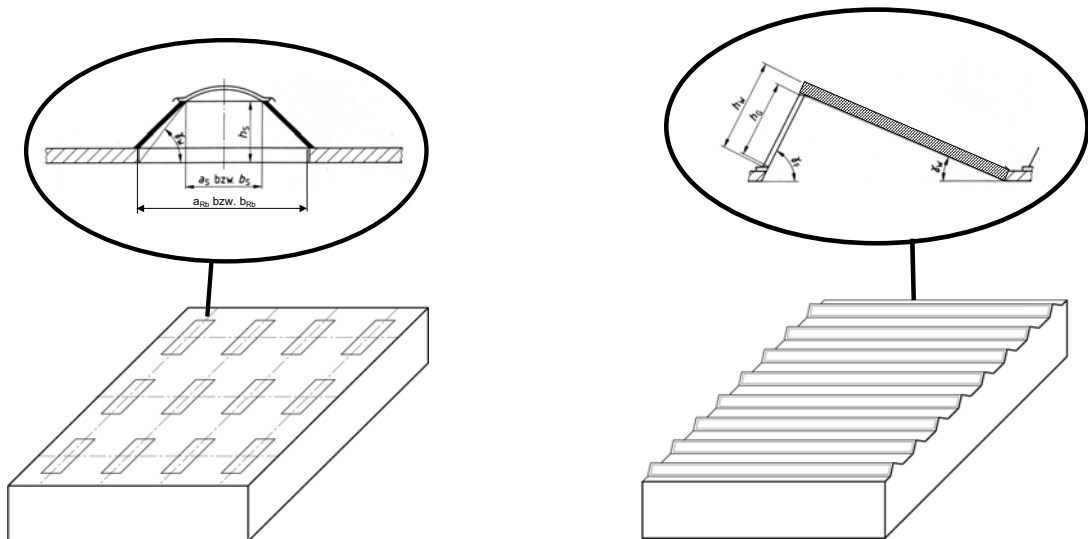


Bild 7: Dachoberlichtlösungen mit Lichtbändern (links) und Shedoberlichtern (rechts).

## 7. Beleuchtungskontrollsysteme

Das Verfahren berücksichtigt tageslichtabhängige und präsenzabhängige Beleuchtungskontrollsysteme. In beiden Fällen wird jeweils ein Einsparpotential (Tageslichtversorgung, bzw. Abwesenheit) mit einem als Wirkungsgrad aufzufassenden Faktor gewichtet, der die Ausnutzung des jeweiligen Potentials durch die Beleuchtungskontrollsysteme beschreibt. Bzgl. der tageslichtabhängigen Kontrolle wird



zwischen manuellem Schalten und verschiedenen automatischen Beleuchtungskontrollarten unterschieden. Es wird „keine“ und „automatische“ Präsenzdetektion berücksichtigt.

## 8. Nutzungsprofile

Der Energiebedarf wird des weiteren wesentlich über die Nutzungsrandbedingungen parametrisiert. In der Normenreihe DIN V 18599 sind diese Gewerke übergreifend für 34 unterschiedliche Nutzungsprofile im Teil 10 zusammengestellt. Je nach Nutzungsanforderung an die Zone (z.B. Büro, Verkehrsfläche, Fertigungshallen) sind hier unterschiedliche Wartungswerte der Beleuchtungsstärke, Betriebszeiten der Beleuchtungsanlagen, Minderungsfaktoren zur Berücksichtigung des Bereichs der Sehaufgabe, typische Raumindizes und relative Abwesenheiten zusammengestellt.

## 9. Beispiel

Das in Bild 8 dargestellte Beispiel zeigt für ein Typbüro den Einfluss unterschiedlicher Verfahrensparameter auf den Endenergiebedarf Beleuchtung. Im Grundfall wird von einer flächenbezogenen elektrischen Bewertungsleistung von  $p = 14 \text{ W/m}^2$  bei manueller Kontrolle des künstlichen Beleuchtungssystems und einer konventionellen Fassadenausführung (Lochfassade, konventioneller Raffstore als Sonnenschutz) ausgegangen. Das Beispiel illustriert den signifikanten Einfluss einer effizienten Tageslichtnutzung. Die Primärenergiebedarfswerte liegen um den Faktor 3 höher als die Endenergien und unterstreichen den hohen Stellenwert energieeffizienter Beleuchtung in der zukünftigen gesamtprimärenergetischen Betrachtung von Gebäuden.

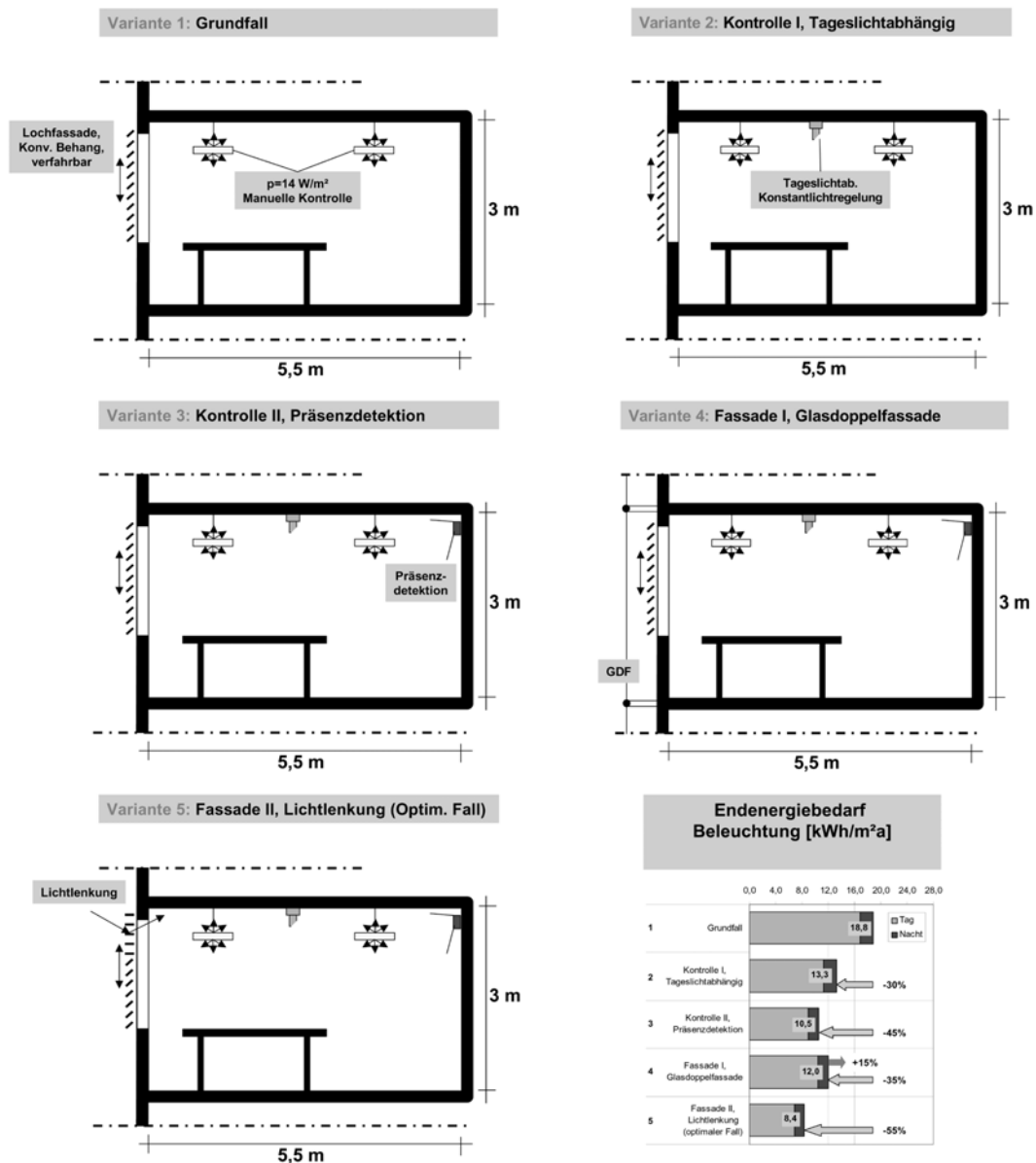


Bild 8: Varianten des Beispiels. Endenergiebedarfswert für Beleuchtungszecke für die Beispiele.

## 10. Zusammenfassung

In der EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wird erstmalig die Einbeziehung der Beleuchtung in den energetischen Bilanzraum des Gebäudes gefordert. In der erforderlichen nationalen Umsetzung wird die in Vorbereitung befindliche Energieeinsparverordnung 2006 aller Voraussicht auf das im Rahmen der DIN V 18599 Teil 4 dokumentierte, neu entwickelte Verfahren zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtung Bezug nehmen. Dieses Verfahren ermöglicht den Vergleich und die Optimierung unterschiedlicher beleuchtungstechnischer Lösungen, aber auch die Verrechenbarkeit mit den anderen Bilanzanteilen im Gebäude für den Heiz- und Kühlfall. Bei zu wahrender gleichbleibend hoher Lichtqualität verspricht die Umsetzung der EU-Richtlinie Lenkungseffekte in Richtung energieeffizienter Kunstlicht- und Tageslichttechnik. Durch die



mittels des Verfahrens mögliche energetische und monetäre Bewertung des Tageslichts, kann Tageslicht zukünftig noch deutlicher als regenerative Energie verstanden, gefordert und gefördert werden.

## 11. Literatur

- /1/ EU-Richtlinie, Energy Performance of Buildings. Richtlinie 2002/91/EG, Amtsblatt der EU (2002).
- /2/ DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung. Beuth Verlag, Berlin (2005).
- /3/ DIN EN 12464-1: Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1, Arbeitsstätten in Innenräumen. Beuth Verlag, Berlin (2003).
- /4/ Rosemann, A.; de Boer, J. ; Aydinli, S.; Krebs, P.; Schmits, P.W.: Verfahren zur Ermittlung der elektrischen Bewertungsleistung für Kunstlichtanlagen. Arbeitsdokument im NABAU 00.82.00, wird veröffentlicht.
- /5/ De Boer, J.; Cornelius, W.; Wössner, S.: Ein einfaches Modell zur Ermittlung des Endenergiebedarfs für Beleuchtungszwecke in Räumen mit Dachoberlichtern. *gi Gesundheits-ingenieur* 126 (2005), H. 3, S. 113-123.







Titel:

**Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EnEff06)**

Förderkennzeichen: 0327240B

Durchführung: Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Fraunhoferstraße 10  
83626 Valley/Holzkirchen

Projektleitung: Dipl.-Ing. Herbert Sinnesbichler  
Tel: 08024 643-41  
sinnesbichler@hoki.ibp.fraunhofer.de

Laufzeit: 01.06.2004 – 31.01.2007

**Integrale Gebäudekonzepte auf dem Prüfstand – Gegenüberstellung von Rechnung und Messung**

## 1. Einleitung

Gesamtenergiekonzepte von Gebäuden bestehen aus vielfältigen Komponenten, die zum Teil energetisch konkurrierend wirken können. Sonnenschutzsysteme können die Solargewinne deutlich reduzieren, gleichzeitig aber auch dazu führen, dass die Stromverbräuche für die Beleuchtung ansteigen. Dies erhöht letztendlich wiederum die Kühllasten. Die einzelnen Komponenten haben daher im Gesamtkontext betrachtet und bewertet zu werden. Auf dem Freigelände des IBP in Holzkirchen wurde hierzu eine modulare Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen (VERU) errichtet, an der Untersuchungen an unterschiedlichsten Fassadensystemen sowie deren Auswirkung auf die dahinter liegenden Räume im Zusammenwirken mit unterschiedlichen Anlagensystemen durchgeführt werden können.



Bild 1 Versuchsgebäude für energetische und raumklimatische Untersuchungen (VERU).

## 2. VERU – Versuchseinrichtung für energetische und raumklimatische Untersuchungen

Das Untersuchungsziel von Forschungsvorhaben an VERU ist die integrale Betrachtungsweise von Energieeintrag durch die Fassade, Energieverbrauch, Beleuchtung, raumklimatische Behaglichkeit in Wechselwirkung mit den technischen Anlagen. Das mehrgeschossige Gebäude auf dem Freigelände in Holzkirchen ermöglicht es konventionelle und innovative Fassaden- bzw. Gebäudehüllsysteme, wie z. B. Structural-Glazing- oder Glasdoppelfassaden, gleichzeitig zu testen. Die Modularität der hinter den Fassadenelementen befindlichen Zellen mit variabler Raumtiefe erlaubt praxisnahe Untersuchungen neuartiger lichtlenkender und adaptiver Elemente. Das VERU-Gebäude ist nicht primär auf standardisierte Normprüfungen ausgerichtet; die wissenschaftliche Bedeutung des Versuchsaufbaus liegt vielmehr in der innovativen Weiterentwicklung moderner Gebäudekonzepte mit neuartigen bauphysikalischen Eigenschaften unter Freilandbedingungen. Das Gebäude steht interessierten Herstellern von Fassaden, Sonnenschutz- und Lichtlenksystemen sowie von diversen technischen Anlagensystemen zur Untersuchung ihrer neuen Konstruktionen zur Verfügung. Auch Bauherren und Generalunternehmer größerer Verwaltungsbauten können das VERU-Gebäude zur Bemusterung verwenden, um auf diese Weise im Vorfeld Nutzungskomfort-Kriterien zu überprüfen.

Je Etage des dreigeschossigen Versuchsgebäudes in Stahlbetonkonstruktion sind bis zu sechs quadratische Messzellen vorgesehen, die einzeln und in Kombination, z.B. zur Untersuchung von Konzepten für Großraumbüros oder Konferenzräume, messtechnisch untersucht werden können. Durch teilweise demontable Zwischendecken können auch Untersuchungen an mehrgeschossigen Räumen bzw. Hallen durchgeführt werden. Über herausnehmbare Dachelemente besteht darüber hinaus die Möglichkeit transparente Dachelemente zu integrieren. In Teilbereichen der massiven Zwischendecken sind Systeme zur Betonkernaktivierung eingebaut. Die zu untersuchenden Fassadenelemente bzw. Verschattungssysteme können an der Ost-, Süd- und Westseite des Gebäudes über vordefinierte Haltesysteme montiert werden.

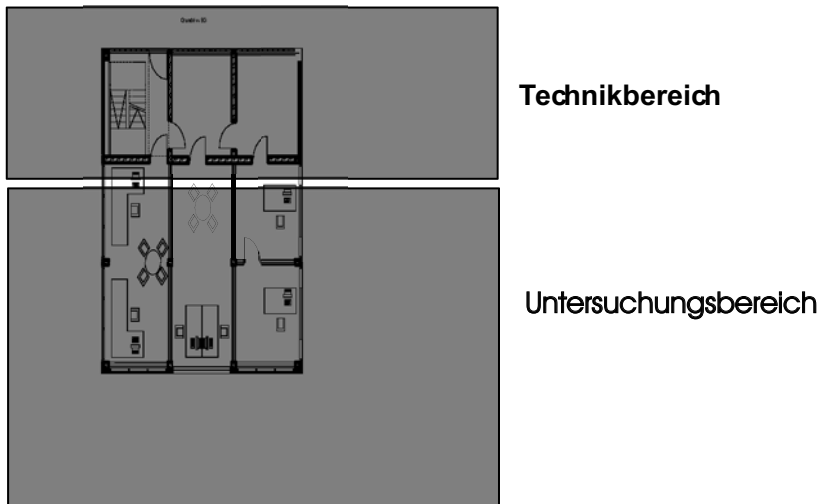


Bild 2 Grundriss einer Etage mit Technikbereichen und den für die Versuche nutzbaren Untersuchungsbereichen.

Unabhängig von den einzelnen geplanten Untersuchungen ist der Versuchsstand mit einer umfangreichen Grundausrüstung ausgestattet. Diese beinhaltet im Wesentlichen eine zentrale Warmwasserheizanlage mit Gasbrennwertkessel und Individuell ansteuerbare Heizkreise, eine zentrale Kälteversorgung mit Kaltwassernetz, raumweise einstellbare zeitgesteuerte Lüftung mit der Möglichkeit der Zuluftaufbereitung (Vorheizung, Kühlung und Entfeuchtung) sowie die Möglichkeit zeitgesteuerte interne Wärmeeinträge zur Nachbildung realer Nutzerprofile den einzelnen Räumen zuzuführen. An diese Grundinstallationen können je nach Untersuchungsvariante sukzessive die Versorgungselemente der einzelnen Versuchszellen wie z.B. modulare Kühleinheiten, austauschbare Kühldeckenelemente, abgehängte Deckensysteme sowie Doppelbodensysteme, Lüftungssysteme und Beleuchtungs- bzw. Lichtlenksysteme individuell angebunden werden.

Für den Betrieb der jeweiligen Anlagensysteme ist eine zentrale Regel- und Steueranlage mittels innovativer prozessoffener SPS-Software vorhanden. Die Messdatenerfassung erfolgt durch das am Institut entwickelte Messsystem IMEDAS®, das auch die Kommunikation mit der zentralen Regelung übernimmt. Prozess-Visualisierungen von Messplätzen können hierdurch über das Intra- bzw. Internet dargestellt werden, wodurch es auch möglich ist aktuelle Daten des Versuchsstandes für Präsentationen auf Messen bei Kunden sowie im Rahmen von Vorträgen online darzustellen.



Bild 3 Zentrale Technikbereiche des Versuchsgebäudes.

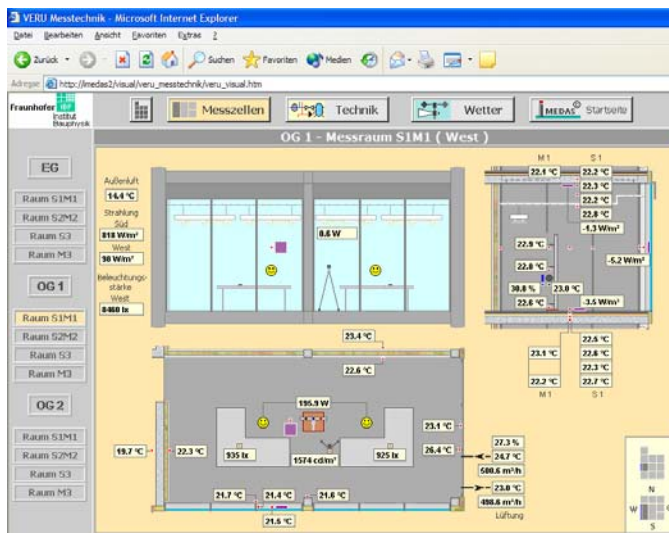


Bild 4 Internetbasierende Online-Visualisierung am Beispiel einer Versuchszelle.

### 3. Aktuelles Forschungsvorhaben am VERU-Prüfstand – EnEff06

In dem derzeitigen aktuellen Forschungsvorhaben mit dem Titel „Weiterentwicklung und Evaluierung von Technologien und von Bewertungsmethoden zur Steigerung der Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden – EnEff06“ sollen Erkenntnisse erarbeitet werden die zur Evaluierung und ersten Praxiserprobung der ab Januar 2006 gültigen neuen Energieeinsparverordnung (Energieeffizienzrichtlinie, DIN V 18599) beispielhaft für Verwaltungsgebäude verwendet werden können. Hauptaspekt der Untersuchungen sind hierbei nicht ausschließlich Fassadenelemente, sondern die komplexe Wechselwirkung von Fassadentechnologie mit den Systemen für Heizung, Lüftung und Klimatisierung sowie für die künstliche Beleuchtung. Randbedingungen der DIN V 18599, Kenndaten von Systemen und Anlagenkomponenten werden anhand der Messergebnisse verifiziert und bei Bedarf in der neuen Norm angepasst.



Darüber hinaus soll das Vorhaben am Beispiel der unterschiedlich ausgeführten Konzepte die Fachöffentlichkeit auf das komplexe interaktive Zusammenwirken der einzelnen Systeme, Fassade, Klimatechniken und Beleuchtung sensibilisieren, Lösungsansätze aufzeigen und damit letztendlich zu mehr Planungssicherheit bei der Konzeption von modernen Bürogebäuden führen. Die mittels der DIN V 18599 ermittelten Energieeinsparpotentiale sollen im Versuch nachgemessen werden. Das im Sommer 2004 begonnene und bis Anfang 2007 laufende Forschungsvorhaben, an dem zahlreiche Industriepartner und Verbände aus den unterschiedlichsten Baugewerken beteiligt sind, wird darüber hinaus vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit finanziell unterstützt.

Für die einzelnen realisierten Testbürozellen des Versuchsgebäudes wurden drei unterschiedliche Fassadenkonzepte realisiert. Neben Räumen mit klassischer Lochfassade, teils monolithisch teils mit Wärmedämmverbundsystem versehen, befindet sich eine Pfosten-Riegel-Fassade mit opaken Paneelen im Brüstungsbereich sowie ein Versuchsfeld das eine nahezu vollständig verglaste Fassadenfläche und an einem Versuchsraum eine Glasdoppelfassade besitzt (Bild 5). Die Verglasungen, vor denen sich verschiedene Sonnen-/Blendschutzsysteme teils außen und innen montiert, teilweise nur innenseitig befinden, sind je nach Untersuchungsvariante als Wärmedämmglas oder als Sonnenschutzverglasung ausgeführt. Unterschiedliche Beleuchtungssysteme, stufenlos regelbar, tageslichtabhängig oder manuell geschaltet, unterstützen das von der Fassade kommende Tageslichtangebot. Gedämmte Leichtbauwände trennen die einzelnen Versuchszellen thermisch voneinander und abgehängte Decken tragen zur Verbesserung der Raumakustik bei. Einzelne Räume werden bei Bedarf über eine integrierte Kühldecke gekühlt, andere besitzen eine zentrale, luftgeführte Klimaanlage und wieder andere werden über dezentrale Lüftungsgeräte, die ihre Außenluft unmittelbar an der Fassade ansaugen, gekühlt und beheizt. Erhöhte Nachtlüftungskonzepte zur Vermeidung von sommerlicher Überhitzung sind ebenso Gegenstand der Untersuchungen wie Büroräume die vollkommen ohne aktive Kühlung auskommen sollen.

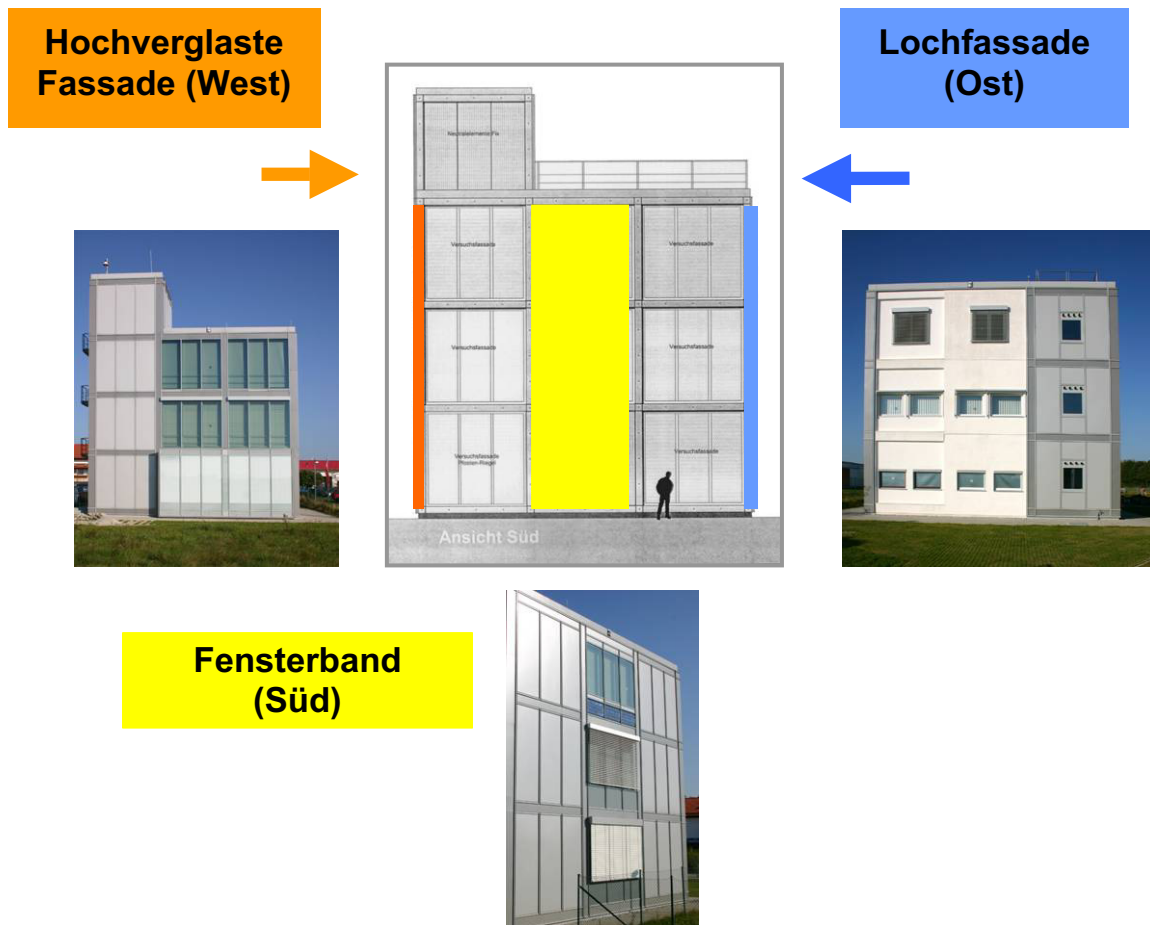


Bild 5 Im Rahmen des EnEff06-Forschungsvorhabens umgesetzte Fassadenkonzepte.

In diesen insgesamt 12 unterschiedlich ausgestatteten Versuchsräumen des Gebäudes werden mit Hilfe von zahlreichen Messsensoren die jeweils relevanten Energiemengen, Wärmeströme, Temperaturverläufe, Beleuchtungsstärken, Leuchtdichten an der Fassade erfasst und in einer zentralen Datenbank archiviert. Messergebnisse, die einerseits Aussagen hinsichtlich der einzelnen Energiebilanzanteile im Vergleich zu den Berechnungsergebnissen gemäß DIN V 18599 ermöglichen, die aber auch Aussagen zur thermischen und visuellen Behaglichkeit in den Musterbüroräumen ableiten lassen.





Bild 6 Innenansicht eines Versuchsraumes mit vollverglaster Fassade und innenliegendem Sonnenschutz.

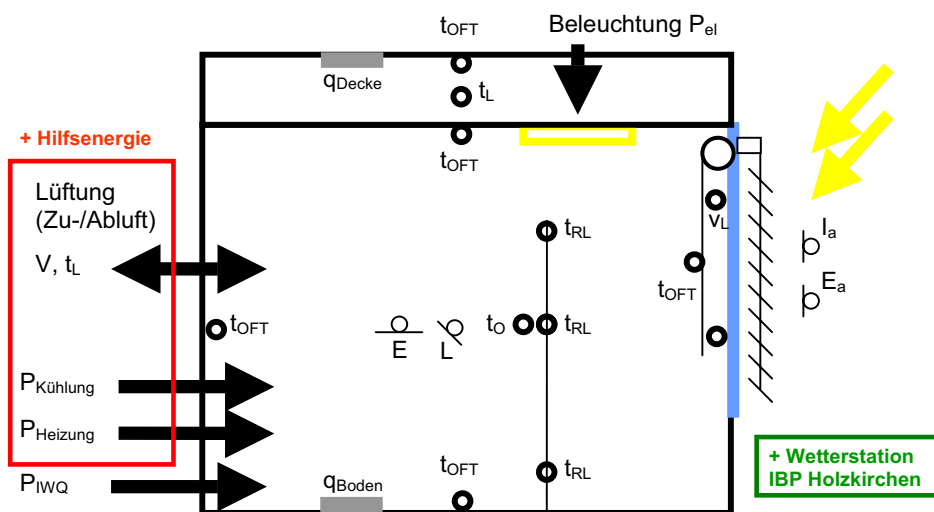


Bild 7 Übersicht der zur Erfassung der Energieströme sowie zur Beurteilung der thermischen und visuellen Behaglichkeit notwendigen physikalischen Messgrößen.





# **Die Novelle der Energieeinsparverordnung - EnEV 2006 - Chancen für die bessere Bewertung von Nichtwohngebäuden mit der DIN V 18599**

Baudirektor Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner  
Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Berlin

Die EG-Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden war bis zum Januar 2006 in nationales Recht umzusetzen [1]. Dazu will die Bundesregierung das Energieeinsparrecht (Energieeinspargesetz, Energieeinsparverordnung) umfassend novellieren. Der folgende Beitrag stellt den Stand der Überlegungen auf Arbeitsebene, insbesondere zu den technischen Möglichkeiten der Bewertung von Nichtwohngebäuden dar. Das Zweite Gesetz zur Änderung des Energieeinspargesetzes [6] ist am 08. 09.2006 in Kraft getreten. Der Referentenentwurf zu einer neuen weiterentwickelten Energieeinsparverordnung (EnEV 2006) lag zum Zeitpunkt der Fertigstellung des Beitrages (28.02.2006) noch nicht vor.

## **1. Weiterentwicklung der EnEV zur Umsetzung der Richtlinie**

Die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verfolgt nahezu die gleichen Ziele wie die Energieeinsparverordnung (EnEV) [2],[3],[4],[5]. Dabei geht es insbesondere um

- die ganzheitliche Beurteilung der energetischen Effizienz von Gebäuden,
- die verbesserte energetische Modernisierung im Gebäudebestand,
- transparente Informationen für den Verbraucher,
- Informationen und Anforderungen an die energetische Verbesserung der technischen Gebäudeausrüstung.

Die Bundesrepublik Deutschland hat mit Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung im Jahre 2002 zu vielen Schwerpunktfragen bereits Vorlauf geschaffen. Forderungen der Richtlinie nach nationalen Standards für die energetische Effizienz von Gebäuden im Neubau wie im Bestand werden mit der EnEV bereits gesetzt. Darüber hinaus hat die EnEV die Umsetzung der ganzheitlichen Methode (gemeinsame Bewertung von Gebäudehülle und Anlagentechnik) zur Pflicht gemacht. Auch die Forderung nach regelmäßigen Inspektionen von Heizkesseln wird in Deutschland generell durch die Kontrollpflicht der ersten BImSchV, die Dimensionierungsvorschriften der bisherigen HeizAnIV, die Anforderung zur Außerbetriebnahme alter Anlagen nach EnEV und viele Fördermaßnahmen bereits umgesetzt.

In mehreren Punkten geht die Richtlinie doch über das nationale Recht hinaus. Deshalb muss das nationale Energieeinsparrecht an einigen Stellen angepasst werden. Dies betrifft insbesondere:

. . .

- die Einbeziehung des Energiebedarfs von Beleuchtung und Klimaanlage im Nicht-Wohnbereich,
- die obligatorische Einführung von Energieausweisen für den Gebäudebestand (bei Verkauf und Vermietung),
- das Aushängen von „Energieplaketten“ für öffentliche, stark frequentierte Gebäude und
- die regelmäßige Inspektion von Klimaanlage.

Der sachliche Änderungsbedarf soll in der EnEV umgesetzt werden. Soweit aufgrund der Vorgaben der Richtlinie und der Umsetzungskonzeption nötig, musste auch das Energieeinsparungsgesetz geändert werden (insbesondere wegen Energieausweisen im Bestand, Berücksichtigung von Beleuchtung und Klimaanlage).

Für Wohngebäude ändert sich nur wenig: Die im Jahre 2002 eingeführten Anforderungen und die Methodik sollen unangetastet bleiben. Im Gegensatz dazu muss die Kategorie der Nicht-Wohngebäude in der EnEV 2006 mit einem neuen speziellen Verfahren bedacht werden. Die EnEV-Methodik 2002/2004 reicht für diese Gebäudekategorie nicht aus. Zur Berücksichtigung der eingebauten Beleuchtung und von Klimaanlage müssen neue technische Regeln in Bezug genommen werden. Zur Integration der Energiebedarfsanteile Beleuchtung und Klimaanlage in die Gesamtenergieeffizienzberechnung wurde das erforderliche technische Regelwerk umfangreich neu bearbeitet und angepasst. Grundlage dafür war ein Normungsantrag des bisherigen Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen. Der Antrag sah u.a. vor, in die Erarbeitung des allgemeinen Bilanzablaufs die Ansätze bereits vorhandener Energiebilanzverfahren (DIN V 4108-6/DIN V 4701-10 und -12, EN 832, ISO 13790 u.a.) einzubeziehen. Diese wurden dahingehend verbessert, dass z.B. eine integrierte Bilanzierung der Nutzenergie für Heizen und Kühlen unter Beachtung aller Wärmequellen und -senken möglich ist. Dabei wurde in vielen Bereichen Neuland beschritten. Um dem Anliegen der Gesamtbetrachtung entgegen zu kommen, wurde diese Arbeit in einem interdisziplinären Arbeitsausschuss des DIN (Bau-, Anlagen- und Lichttechnik) durchgeführt und in der Norm DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden“ [7] zusammengefasst. Die Vornorm hat im Gegensatz zu den geplanten Europäischen Normen den Vorteil, dass Sie im Juli 2005 vom DIN komplett vorgelegt wurde, in allen Teilen aufeinander abgestimmt ist und im Umfang erheblich geringer ausfällt als die über 40 in Arbeit befindlichen CEN-Normen (31 work items), die voraussichtlich erst ab 2007 zur Verfügung stehen.

Die Berechnungen nach der DIN V 18599 erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Beheizung, Warmwasserbereitung, raumluftechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind. Dabei berücksichtigt die Normreihe auch die gegenseitig-

ge Beeinflussung von Energieströmen und die daraus resultierenden planerischen Konsequenzen. Die Vornorm kann den Nutz-, End- und Primärenergiebedarf des Gebäudes abbilden.

Neben der Berechnungsmethode werden auch nutzungsbezogene Randbedingungen für eine neutrale Bewertung zur Ermittlung des Energiebedarfs angegeben (unabhängig von individuellem Nutzerverhalten und lokalen Klimadaten). Mit festen Randbedingungen wird die vergleichende Betrachtung und Analyse von Gebäuden und der öffentlich-rechtliche Nachweis für Neubauten und umfassend zu modernisierte Gebäude möglich. Die neuen Ansätze der Vornorm sollen mit der EnEV 2006 im Neubau und Bestandsbereich der Nicht-Wohngebäude gelten. Für den Verordnungsgeber ist dies zur Zeit die einzige Möglichkeit, Gebäude entsprechend der EU-Richtlinie ganzheitlich planerisch zu bewerten. Mit der Norm ist es bereits heute möglich Energieausweise für Nichtwohngebäude im Bestandsbereich zu bearbeiten.

## 2. Die neuen Ansätze der neuen Vornorm DIN V 18599

Die mit der Normenreihe DIN V 18599 durchgeführte Energiebilanz folgt einem integralen Ansatz, d.h. es erfolgt eine gemeinschaftliche Bewertung des Baukörpers, der Nutzung und der Anlagentechnik unter Berücksichtigung der gegenseitigen Wechselwirkungen. Dabei wurde die Norm nicht ausschließlich für den öffentlich-rechtlichen Nachweis konzipiert, sondern ermöglicht auch eine allgemeine, ingenieurmäßige Energiebedarfsbilanzierung von Gebäuden mit frei wählbaren Randbedingungen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit besteht die Normenreihe aus mehreren Teilen, die einzelne Themenschwerpunkte behandeln:

- DIN V 18599-1 „Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger“
- DIN V 18599-2 „Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen“
- DIN V 18599-3 „Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung“
- DIN V 18599-4 „Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung“
- DIN V 18599-5 „Endenergiebedarf von Heizungssystemen“
- DIN V 18599-6 „Endenergiebedarf von Wohnungslüftungsanlagen und Luftheizungsanlagen für den Wohnungsbau“
- DIN V 18599-7 „Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau“
- DIN V 18599-8 „Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen“
- DIN V 18599-9 „End- und Primärenergiebedarf von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen“
- DIN V 18599-10 „Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten“
- Beiblatt zur DIN V 18599 „Berechnungsbeispiele“ (noch in der Bearbeitung)

Dabei übernimmt **Teil 1** der Norm die Funktion des Navigators. Er enthält alle Schlüsselformeln und Definitionen und legt fest, wie Gebäude nach Nutzungen zu zonieren ist.

Die Zonierung von Gebäuden ist zwar eine unangenehme, planerisch aufwendige Aufgabe (wegen der vielen Flächenzuordnungen), sie ist aber mit Blick auf die oft völlig unterschiedlich bereitzustellenden Nutzenergien unumgänglich. Allein der Blick auf die bereitzustellende Beleuchtungsenergie zeigt bei simplen Bürogebäuden mit innenliegenden Verkehrsflächen, dass diese Verkehrsflächen wegen des fehlenden Tageslichtes ein anderes Nutzungsprofil haben als die tageslichtversorgte Büros. Eine Zone ist jeweils durch einheitliche Nutzungsrandbedingungen gekennzeichnet. Für jede Zone wird der Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen getrennt bestimmt. Die Energiebereitstellung eines Versorgers kann sich über mehrere Zonen erstrecken. Teil 1 liefert ein Verfahren, wie Energiekennwerte (innere Wärmequellen und -senken, technische Verluste) von Versorgungsbereichen auf die Zonen umzulegen sind.

Gegenüber der bisher bekannten Energiebilanzierungen wird der Endenergiebedarf brennwertbezogen (bisher: heizwertbezogen) angegeben. Eine Tabelle zur Umrechnung des Energieinhalts von Energieträgern enthält DIN V 18599-1, Anhang B. Die Umrechnung der bilanzierten Endenergie in Primärenergie erfolgt mit den in DIN V 18599-1, Anhang A angegebenen Primärenergiefaktoren. Gegenüber dem bisherigen Verfahren ist zu festzustellen, dass der Faktor für Strom nunmehr mit 2,7 angegeben wird. Der steigende Anteil erneuerbarer Energien bei der Stromversorgung in Deutschland soll hier sichtbar gemacht werden.

**Teil 2** bildet mit der Bestimmung des Nutzenergiebedarfs einer Gebäudezone gewissermaßen das Kernstück der Normenreihe. Der ermittelte Nutzenergiebedarf für das Heizen und Kühlen der Gebäudezone aus Teil 2 bildet zusammen mit dem Nutzenergiebedarf für die Luftaufbereitung aus Teil 3 die Basis für die weiterführende Bestimmung des Endenergiebedarfs nach den Teilen 5 bis 8 und der primärenergetischen Bewertung nach Teil 1. Er stellte dar, wie die bestehenden Verfahren zur Ermittlung des Heizenergiebedarfs nach DIN EN 832 bzw. DIN 4108-6 um die Ermittlung des Kühlbedarfs und um den Einbezug von raumluftechnischen Anlagen erweitert wurden. Dabei wird der Kühlbedarf aus dem Anteil der „für Heizzwecke nicht nutzbaren“ Wärmegewinne ermittelt. Dieser in der Heizwärmebetrachtung nicht weiter interessierende Anteil bewirkt in nicht gekühlten Gebäuden eine Erhöhung der Raumtemperatur oder wird beispielsweise durch Öffnen der Fenster „weggelüftet“. Für gekühlte Gebäude stellt dieser Teil der Wärmegewinne genau diejenige Wärmemenge dar, die durch die Kühlung abgeführt werden muss.

Eine weitere Neuerung in der energetischen Bewertung des Gebäudes ist die Bestimmung der unregelmäßigen Wärmeeinträge des Heizsystems in Abhängigkeit des bestehenden Bedarfs und der Systemaus-

...

lastung. Gleiches gilt natürlich für Kälteeinträge oder Wärmeeinträge aus dem Kühlsystem. Bisher gab es lediglich pauschale Ansätze. Durch das Zusammenwirken von bau- und haustechnischen Normungskreisen in der DIN V 18599 ist jetzt die Möglichkeit geschaffen worden, die Wärmeeinträge bedarfsorientiert einzubeziehen.

**Teil 3** behandelt den Nutzenergiebedarf für das Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten in zentralen RLT-Anlagen sowie den Energiebedarf für die Luftförderung durch diese Anlagen. Die Bezeichnung Nutzenergiebedarf wird an dieser Stelle verwendet, weil der Energieeinsatz nicht nur der Temperierung von Gebäuden dient sondern auch der Sicherstellung von Raumluftqualität und Raumluftfeuchte – also erweiterter Nutzungsanforderungen gegenüber der bisher üblichen rein thermischen Betrachtung. Es wurde eine Matrix von 46 sinnvollen Anlagenkombinationen erstellt, die einen Großteil der praktisch vorkommenden Anlagenschaltungen abdecken. Das Berechnungsverfahren basiert auf der Umrechnung von tabellierten Energiebedarfskennwerten für diese Variantenmatrix und darauf aufbauenden einfachen Interpolationen und Korrekturen. Zwischen Teil 3 und Teil 2 bestehen enge Verknüpfungen, da der Zuluftvolumenstrom und die Zulufttemperatur in die Gebäudebilanz einfließen. Durch die Kombination beider Teile ist die überwiegende Anzahl der Systeme abbildbar.

**Teil 4** der Normenreihe berücksichtigt beleuchtungstechnische Einflüsse, die installierte Anschlussleistung des Beleuchtungssystems, die Tageslichtversorgung, Beleuchtungskontrollsysteme und Nutzungsanforderungen. In Ermangelung geeigneter Bewertungsmodelle wurde das Nachweisverfahren vollständig neu entwickelt. Der Geltungsbereich umfasst ausschließlich die Beleuchtung zur Erfüllung der Sehaufgabe in Nichtwohngebäuden. Dekorative Beleuchtung wird nicht berücksichtigt. Der Energiebedarf für Beleuchtung wird vereinfachend als Produkt aus elektrischer Anschlussleistung (nicht zu verwechseln mit der elektrotechnischen Lastauslegung der Beleuchtungsstromkreise) und einer effektiven Betriebszeit ermittelt. Die elektrische Bewertungsleistung kann alternativ über ein schnell anwendbares Tabellenverfahren, ein angepasstes Wirkungsgradverfahren oder eine Fachplanung ermittelt werden. Für das vereinfachte Tabellenverfahren müssen die Beleuchtungsart (direkt, direkt-indirekt, indirekt), der Lampentyp (z.B. Glühlampen, Kompaktleuchtstofflampen usw.), der Typ des Vorschaltgerätes und der Einfluss der Raumgeometrie einbezogen werden.

Die künstliche Beleuchtung als Wärmequelle wirkt in der thermischen Zonenbilanz. Die Wärmegewinne fließen auf monatlicher Basis in das in Teil 2 beschriebene thermische Modell ein. Im Winter sind sie zur Herabsetzung des Heizwärmebedarfs nutzbar; im Sommer können sie dagegen die Überhitzungsgefahr und damit den Energiebedarf für Kühlung vergrößern.

Das Verfahren berücksichtigt tageslichtabhängige und präsenzabhängige Beleuchtungskontrollsysteme. In beiden Fällen wird jeweils das Einsparpotential (Tageslichtversorgung, bzw. Abwesenheit) mit

...

einem als Wirkungsgrad aufzufassenden Faktor gewichtet, der die Ausnutzung des jeweiligen Potentials durch die Beleuchtungskontrollsysteme beschreibt.

**Teil 5** der Normenreihe DIN V 18599 liefert ein Verfahren zur energetischen Bewertung von Heizsystemen. Bei der Erarbeitung konnte man von der vorhandenen Methodik der DIN V 4701-10 ausgehen. So sind die anlagentechnischen Bilanzierungsabschnitte Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung beibehalten worden. Die wichtigste Neuheit ist die Umstellung auf ein Monatsbilanzverfahren. Bisher war in der DIN V 4701-10 eine starre Heizperiode (185 Tage, gilt nur für den Neubau) unterstellt. Die Ermittlung der anlagentechnischen Verluste erfolgt wie aus der DIN V 4701-10 bekannt getrennt für die Brennstoff- und Hilfsenergie. Monatliche Kenngrößen werden über Belastungsgrade bestimmt. Das enthaltene neue Verfahren zur Ermittlung des Stromaufwandes von Umwälzpumpen gestattet eine bessere Bewertung des Energiesparpotenzials moderner Heizungspumpen.

Auf vereinfachte Verfahren wurde nunmehr verzichtet. Dafür können auch Bestandsgebäude und -anlagen mit den entsprechenden Randbedingungen abgebildet werden. Neuland wird ebenfalls bei der Bilanzierung der inneren Wärmegewinne besprochen. Die Wärmeverluste von Anlagenkomponenten innerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes werden nicht mehr pauschal verringert, sondern in einem iterativen Verfahren in die Zonenbilanz eingebunden. Damit kann der Beitrag, den anlagentechnische Verluste zur Deckung des Heizwärmebedarfs leisten, wesentlich genauer bestimmt werden. Allerdings ist eine energetische Bewertung von Veränderungen der Anlagentechnik ohne erneute Berechnung der Gebäudeseite nicht mehr möglich. Die entsprechenden Rechenprogramme werden hier eine Iteration ausführen.

Das Berechnungsverfahren für die Wärmeübergabe hat Arbeiten im Rahmen von europäischen Normungsvorhaben einbezogen und ist deshalb umfangreicher als bisher und liefert generell höhere Verlustgrößen als bisher bekannt. Darüber hinaus lassen sich die Auswirkungen eines intermittierenden Betriebs der Heizungsanlage bewerten.

**Teil 6** dieser Normenreihe liefert ein Verfahren zur energetischen Bewertung für Wohnungslüftungsanlagen - mit und ohne Wärmerückgewinnung und Abwärmenutzung - sowie Luftheizungsanlagen in den einzelnen zu bewertenden Prozessbereichen für Wohngebäude. Wegen der strikten Trennung in der geplanten EnEV 2006 zwischen Wohn- und Nichtwohnbereich wird dieser Teil hinsichtlich des öffentlich-rechtlichen Nachweises vorerst unberücksichtigt bleiben.

**Teil 7** beschreibt die Berechnung des Endenergiebedarfs für die Raumluftechnik und Klimakälteerzeugung. Ausgehend vom Nutzenergiebedarf für die Raumkühlung (Teil 2) und der Außenluftaufbereitung (Teil 3) werden Übergabe- und Verteilverluste für die Raumkühlung und RLT-Kühlung und

...

RLT-Heizung berechnet und Randbedingungen für den Komponenten der Raumlufttechnik definiert. Dabei soll keine Planung an Hand von Produktdaten stattfinden (sie sind z.B. bei Neubauplanungen in der Vorplanungsphase in der Regel noch nicht bekannt), sondern eine System- und Komponentenbewertung. Darüber hinaus sind aufgrund von fehlenden harmonisierten Produktnormen und der großen Produktvielfalt kaum Produktkennwerte für ein öffentlich rechtliches Verfahren verfügbar. Die Berechnung der erforderlichen Endenergie für die Klimakälte erfolgt anhand spezifischer technologie- und nutzungsabhängiger Kennwerte, die tabellarisch zusammengestellt sind. Grundlage für dieses Kennwerteverfahren bilden die Nennkälteleistungszahl (EER) und ein mittlerer Teillastfaktor ( $PLV_{av}$ ).

**Teil 8** liefert ein Verfahren zur energetischen Bewertung von Warmwassersystemen. Bei der Erarbeitung dieses Normteils konnte man ebenfalls auf der vorhandenen Methodik der DIN V 4701-10 aufbauen. Es können zentrale und dezentrale Warmwasserversorgungsanlagen auf der Basis von fossilen Brennstoffen, Strom, Fernwärme oder regenerativen Energieträgern abgebildet werden. Die Bedarfs- werte für Nichtwohngebäude sind dem teil 10 der Vornorm zu entnehmen und entstammen einer Literaturanalyse, sie sind auf die Nettogrundfläche und zum Teil auf die Nutzung bezogen.

**Teil 9** der Normenreihe liefert ein Verfahren zur Berechnung des Endenergieaufwands für Kraft- Wärme-gekoppelte Systeme (z.B. BHKW), die als Wärmeerzeuger innerhalb eines Gebäudes zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Dabei werden die Verluste sowie die Hilfsenergieaufwendungen des Prozessbereiches Wärmeerzeugung ermittelt und für die weitere Berechnung in Teil 1 der Normenreihe zur Verfügung gestellt. Die Besonderheit der Berechnungsmethode nach Teil 9 besteht darin, dass bei der gleichzeitigen, voneinander abhängigen Erzeugung von elektrischem Strom und Wärme (KWK) derjenige Endenergieaufwand ermittelt werden muss, der der Wärmeerzeugung zuzurechnen ist. Der im KWK-System erzeugte Strom wird dazu unter Berücksichtigung der Primärenergiefaktoren für elektrischen Strom und den verwendeten Endenergieträger aus dem gesamten Endenergieaufwand herausgerechnet.

Im **Teil 10** der Normenreihe werden Randbedingungen für Wohn- und Nichtwohngebäude sowie Klimadaten für das Referenzklima Deutschland zur Verfügung gestellt. Die aufgeführten Nutzungs- randbedingungen sind als Grundlage für den öffentlich-rechtlichen Nachweis heranzuziehen. Darüber hinaus bietet Teil 10 Informationen für Anwendungen im Rahmen der Energieberatung. In einer Tabelle werden insgesamt 33 Nutzungsprofile beschrieben. Die Gliederung der Tabelle sieht die Angabe von Nutzungs- und Betriebszeiten sowie Nutzungsrandbedingungen zu Beleuchtung, Raumklima und Wärmequellen vor.

Um den Planern einen ersten Eindruck über die komplexen Einsatzmöglichkeiten der Normenreihe zu verschaffen, wurde im Laufe des Juli 2005 eine von Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Woh-

nungswesen (BMVBW) beim Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) in Auftrag gegebene Softwareapplikation (Excel-Datei) für Jedermann kostenlos zum downloaden auf dem Institutsserver des IBP zur Verfügung gestellt. Die Internetadresse hierzu lautet: ([www.ibp.fraunhofer.de/wt/normen.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/wt/normen.html)) Mit dem Programm können ein Großteil der Gebäude- und Anlagenkonfigurationen ohne Probleme berechnet werden. Das Programm ist keine vollständige professionelle Software. Es dient u.a. Einarbeitung in die neue Methodik und soll noch im Frühjahr von verschiedenen Software-Produkten abgelöst werden.

### 3. Neue Anforderungsmethodik bei Nicht-Wohngebäuden in der geplanten EnEV 2006

Nicht-Wohngebäude haben sehr unterschiedliche Nutzungsanforderungen zu erfüllen. Deshalb ist eine primärenergetische Anforderung allein als Funktion des A/V-Verhältnisses nicht zielführend und sachgerecht. Vielmehr muss die zukünftige Anforderung eines Nicht-Wohngebäudes in Abhängigkeit von seinen Nutzungskriterien entstehen. Eine Schwimmhalle benötigt für ihren Betrieb erhebliche Energie für die Warmwasserbereitung und den Lüftungsdurchsatz. Im Gegensatz dazu können Bürogebäude ohne Warmwasser und maschinelle Lüftung errichtet werden.

Deshalb wurde für den Bereich der Nicht-Wohngebäude die Einführung eines „Referenzgebäude-Verfahrens“ vorgeschlagen. Die Anforderung für ein konkretes Gebäude ergibt sich demnach nicht mehr aus einer A/V-abhängigen Kurve, sondern aus einer konkreten Berechnung für die exakten geometrischen Abmessung des Gebäudes.

Die Haupanforderungsgröße ist weiterhin der Jahres-Primärenergiebedarf, der sich aus folgender Gleichung ergibt:

$$Q_{P,max} = Q_{P,Heiz,max} + Q_{P,Lüft,max} + Q_{P,WW,max} + Q_{P,Licht,max} + Q_{P,Kühl,max}$$

Der Wert ist bei der gleichen Geometrie und Nutzungsmischung wie das zukünftige Ist-Gebäude zonenweise zu ermitteln und dann zu kommulieren. Für die Einbeziehung eines Bilanzanteils nach der o.g. Gleichung gelten Grenzen, die „Bagatell-Konditionierungen“ unberücksichtigt lassen.

Zur Berechnung der Soll- und Ist-Werte müssen Randbedingungen für das Klima und die Nutzung verwendet werden. Dazu werden die Nutzungsprofile der DIN V 18599-10 genutzt; sie sind die „Standardprofile“ (z.B. monatliche Außentemperaturen, Einstrahlung, Warmwasserbedarf, Soll-Innentemperatur, Nutzungszeit z.B. Benutzung der Büros etc.). So soll ausgeschlossen werden, dass durch Manipulation der Randbedingungen Gebäude „gut gerechnet“ werden (z.B. durch Reduzierung der Nutzungszeit oder der Innentemperatur). Ist eine Nutzung mit den Profilen nicht abbildbar, soll

...



die Erstellung eines eignen Profils auf der Grundlage des Standes der Technik (Untersuchungen etc.) oder die Heranziehung eines ähnlichen „Standardprofils“ möglich sein. Entsprechend der Nutzung können in einzelnen Nutzungszonen unterschiedliche Energieanteile wirksam werden. Das Gebäude muss deshalb für die Berechnung in Nutzungszonen eingeteilt werden (z.B. Büronutzung, Versammlungsräume, Kantine, Verkehrsflächen). Dabei dürfen Zonen mit einem Flächenanteil von nicht mehr 3 vom Hundert der gesamten Bezugsfläche des Gebäudes einer anderen Zone zugerechnet werden, die hinsichtlich der anzusetzenden Randbedingungen am wenigsten von der betreffenden Zone abweicht. Für die einzelnen Zonen wird dann an Hand der konkreten baulichen und anlagentechnischen Bedingungen der jeweilige Energiebedarf ermittelt. In den Zonen können dabei sehr unterschiedliche Nutzungsanforderungen und reale Bedingungen vorliegen. Anschließend wird über alle Zonen summiert.

Für die Ermittlung der Soll-Werte der einzelnen Energieanteile wird die EnEV 2006 unter Berücksichtigung der Nutzungen in den entsprechenden Gebäudekategorien Anforderungsrandbedingungen vorgeben (z.B.  $H_T$ -Wert, Anlagenkonfigurationen etc.). Der Ist-Wert wird dann anhand der konkreten Ausführungsplanung ermittelt und mit dem Soll-Wert verglichen:

$$Q_{P,max} \geq Q_{P,IST}$$

#### **4. Der neue Schwerpunkt der EnEV 2006: Energieausweise**

Mit der EnEV 2006 sollen Energieausweise auch schrittweise im Bestand eingeführt werden. Ein Ausstellungserfordernis besteht nach der Richtlinie bei Errichtung eines Gebäudes, beim Verkauf und der Neuvermietung. Die EnEV 2006 soll die Pflicht zur Ausstellung von Energieausweisen bei der Errichtung von Neubauten regeln. Der Ausweis ist dem Eigentümer auszustellen. Die Ausweispflicht gilt für beheizte oder klimatisierte Gebäude, die in den Anwendungsbereich der EnEV fallen. Der Ausweis soll den Zustand des Gebäudes bei der Fertigstellung abbilden. Unabhängig davon können die Länder im Rahmen des Bauordnungsrechts Festlegungen zur Nachweisführung treffen. Es soll geregelt werden, dass der Energieausweis den zuständigen Behörden auf Verlangen vorzulegen ist.

Die bisher bereits in der EnEV geregelte bedingte Pflicht zur Ausstellung von Energiebedarfsausweisen bei wesentlichen Änderungen von Gebäuden wird fortgeführt. Darüber hinaus begründet die EnEV 2006 die Pflicht, dass dem künftigen Käufer oder Mieter bei beabsichtigtem Verkauf oder Vermietung eines Gebäudes vom Eigentümer ein Energieausweis zugänglich gemacht wird.

Darüber hinaus besteht bei Gebäuden,

- in denen öffentliche Dienstleistungen realisiert werden,
- Publikumsverkehr herrscht und
- die eine Nettogrundfläche größer 1000 qm haben

...

die Pflicht zum Aushang von Energieausweisen an gut sichtbarer Stelle. Diese Pflicht besteht unabhängig vom Verkauf oder Neuvermietung und ist insofern eine deutliche Auflage an „öffentliche Einrichtungen“, mit gutem Beispiel voran zu gehen. Sie kann aber mit dem Neubau und der damit verbundenen Pflichten zusammenfallen. Die Pflicht zum Aushang von Energieausweisen in bestimmten öffentlich genutzten Gebäuden soll in enger Anlehnung am Wortlaut der Richtlinie umgesetzt werden. Typische (öffentliche) Dienstleistungen sind die Leistungen der Sozialämter und ähnlicher gemeindlicher Ämter mit erheblichem Publikumsverkehr, Arbeitsagenturen, Schulen, Universitäten u. ä. Die Europäische Kommission hat in einem Schreiben dargelegt, dass nach Sinn und Zweck des Art. 7 Abs. 3 RL mit „sonstigen Einrichtungen“ nur die Fälle der Privatisierung von ehemals öffentlich-rechtlich wahrgenommenen Aufgaben mit dem Charakter einer öffentlichen Dienstleistung gemeint sind. Deswegen sind z. B. Kaufhäuser, Einzelhandelsgeschäfte, Bankgebäude und ähnliche Gebäude für private Dienstleistungen nicht von der Aushangpflicht erfasst.

Zum Aushang verpflichtet ist der Grundstückseigentümer. Dies gilt auch im Falle der Anmietung von Flächen durch eine Behörde.

Die Gesamtenergieeffizienz soll für den Ausweis ermittelt und dargestellt werden. Hier ist auf die Kriterien im Anhang der Richtlinie zu verweisen, die sehr umfassend das Gebäude und seine Anlagentechnik beschreiben. Will man diese Effizienz in einer einzigen Kennzahl bündeln, so muss dies mit Endenergie oder Primärenergie realisiert werden.

Die Darstellung von Energieeffizienz soll in Deutschland nicht pro Wohnung sondern je Gebäude erfolgen, da die Festlegung der wärmetauschende Hüllfläche von Gebäuden und auch die Auslegung der heizungs- und raumluftechnischen Anlagen in der Regel für das Gebäude erfolgt. Eine Sonderstellung nehmen Gebäude ein, die sowohl Wohnanteile als auch Nichtwohnnutzungen aufweisen. Unter bestimmten Bedingungen sind die unterschiedlich genutzten Teile von Gebäuden wie eigenständige Gebäude zu behandeln. Der Spaltungsgrundsatz führt zur Ausstellung gesonderter Energieausweise für den Wohn- und den Nichtwohnanteil eines Gebäudes. Dies sorgt für eine zielgenaue Information insbesondere potenzieller Mieter.

Nach der Richtlinie ist es prinzipiell möglich, Energieausweise auf der Grundlage von Bedarfsrechnungen oder auf der Basis von Verbrauchsmessungen zu erstellen. Das kann man aus Artikel 2 der Richtlinie herleiten, die angibt, dass die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden die Energiemenge ist, die tatsächlich verbraucht oder veranschlagt wird. Eine Bedarfsberechnung wird unter normativen Annahmen für das Klima und die Nutzung erstellt. Man könnte auch von einem „rechnerischen Verbrauch“ reden. Der große Vorteil dieser Methode ist, dass eine sehr neutrale Bewertung von Gebäuden abgegeben wird. Unterschiedliche Nutzer spielen keine Rolle. Gebäude lassen sich so in ihrer

Qualität nicht nur beurteilen sondern auch gut vergleichen. Gleichzeitig ist die Berechnung des Gebäudes auch eine Gebäuediagnose. Etwaige Schwachstellen werden erkannt und beschrieben.

Die Verbrauchsmessung bildet neben der tatsächlichen energetischen Qualität des Gebäudes insbesondere das individuelle Nutzerverhalten und die Klimaeinflüsse ab. Diese Einflüsse können die wirkliche energetische Qualität eines Gebäudes völlig überdecken. Im Zweifelsfalle hätte das leer stehende Haus die höchste Energieeffizienz. Die Diskussionen um richtiges Nutzerverhalten (z.B. richtige Überprüfung und Einstellen der Anlagentechnik) sind zwar interessant und notwendig, können aber die Feststellung der energetischen Qualität –wie von der Richtlinie gefordert- nicht ersetzen. Eine Klimaneutralisierung ist für vergleichende Untersuchungen ist in jedem Fall notwendig. Eine Gebäuediagnose und Vorschläge für die Modernisierung sind mit Verbrauchskennwerten nicht möglich.

Die Aushangpflicht für öffentliche Gebäude, aber auch die Ausstellung von Energieausweisen für Nichtwohngebäude wegen Neuvermietung (z.B. neuer Laden in einem Einkaufszentrum) wird viele Eigentümer und insbesondere die öffentliche Hand vor große Probleme bei der schnellen Ausstellung der Ausweise stellen. Die Notwendigkeit gerade bei Nichtwohngebäuden sowohl mit Bedarfs- als auch Verbrauchsausweisen den Einstieg in die „Energieausweis-Ära“ zu beginnen, liegt auf der Hand.

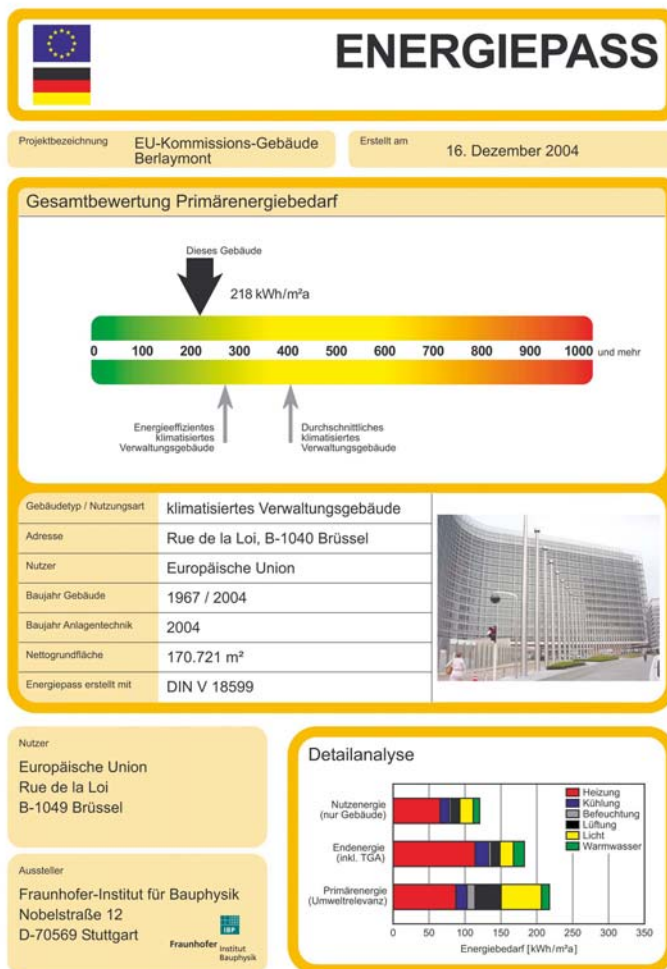
Für den Nichtwohnungsbau kann die Aufgabe der Ermittlung des Primär- und Endenergiebedarfs mit der DIN V 18599 erledigt werden. Für die Datenaufnahme im Gebäudebestand ist die Vorgabe von „vereinfachten, pauschalieren“ Kennwerten vorgesehen. Dafür wurde sowohl für den Wohnungsbau als auch für den Nichtwohnungsbau eine Richtlinie des BMVBS erarbeitet, die mit der EnEV 2006 ebenfalls veröffentlicht werden sollen. Die hinreichend genaue Abschätzung von U-Werten bei Bauteilen oder von Kennwerten für alte Anlagen soll helfen Ausweise möglichst kostengünstig zu erstellen.

Den Energieausweisen sind Empfehlungen für erfahrungsgemäß kostengünstige, also wirtschaftlich rentable Maßnahmen zur Modernisierung des jeweiligen Gebäudes beizufügen. In der Regel können sie bei Überschreiten des eines Grenzwertes gegeben werden (z.B. beim 140%- Wert nach EnEV).

Sowohl Primär- als Endenergiebedarf sind gut sichtbar darzustellen. Die Darstellung der Energieanteile am Bedarf bei Nichtwohngebäuden zeigt, wo Investitionen angebracht sind. Es ist vorgesehen, dass der Energieausweis mit einheitlichen Formularen nach EnEV geregelt wird. Der Vorschlag dazu wird mit dem Referentenentwurf zur EnEV 2006 veröffentlicht. Erste Tests wurden in einem europäischen Gemeinschaftsvorhaben und in einem Feldversuch der Deutschen Energie-Agentur durchgeführt. Dabei wurden beim „EU-Test“ die Berechnungsregeln verschiedener EU-Mitgliedsstaaten am

...

Projekt des Sitzes der Europäischen Kommission in Brüssel angewandt und Energieausweise ausgestellt.



**Bild 1:** Energieausweis des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik für das Berlaymont-Gebäude in Brüssel (Hauptsitz der EU-Kommission)

Nachdem die Deutsche Energie-Agentur (dena) bereits im Jahre 2004 einen Feldversuch zu Bedarfsenergieausweisen im Wohnungsbau durchgeführt hatte, wurde nach Fertigstellung der DIN V 18599 im Sommer 2006 auch ein Feldversuch mit Nichtwohngebäuden gestartet. Dabei kamen Verfahren, Hilfsmittel und Formulare zum Einsatz, die dem Arbeitsstand der Novelle der EnEV entsprachen. Bei 43 zum Teil technisch sehr anspruchsvollen Gebäuden (vom Neubau -Umweltbundesamt Dessau- bis zum denkmalgeschützten Gebäude -Rathaus in Nürnberg-) wurden die Verfahren (Bedarfs- und Verbrauchsermittlung) getestet und Energieausweise ausgestellt. Die Ergebnisse wurden im Rahmen einer wissenschaftlichen Untersuchung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik bewertet und zeigen prinzipiell, dass die Ansätze gut geeignet sind.

...

**ENERGIEAUSWEIS**  
für Nichtwohngebäude

Erstellt am: \_\_\_\_\_ 1

**Gebäude**

Hauptnutzung	<b>Gebäudefoto (freiwillig)</b>
Gebäudekategorie	
Adresse	
Baujahr Gebäude	
Baujahr Wärmeerzeuger	
Baujahr Klimaanlage	
Nettogrundfläche	
Anlass der Ausstellung des Energieausweises	
<input type="checkbox"/> Neubau <input type="checkbox"/> Vermietung <input type="checkbox"/> Sonstiges <input type="checkbox"/> Verkauf <input type="checkbox"/> Modernisierung <input type="checkbox"/> Aushang bei öffentlichen Gebäuden	

**Hinweise zur Bewertung der energetischen Qualität von Gebäuden**

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des **Energiebedarfs** unter standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des **Energieverbrauchs** ermittelt werden. Die dargestellten Vergleichswerte wurden in Anlehnung an die EnEV 2004 ermittelt. **Als Bezugsfläche dient die Nettogrundfläche.**

- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des **Energiebedarfs** erstellt. Die Ergebnisse sind auf **Seite 2** dargestellt. Informationen zum Verbrauch haben informativen Charakter.
- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des **Energieverbrauchs** erstellt. Die Ergebnisse sind auf **Seite 3** dargestellt.
- Modernisierungshinweise sind in der **Anlage** dargestellt.
- Modernisierungshinweise, die im Allgemeinen wirtschaftlich sind, können nicht gegeben werden (da es sich z. B. um einen Neubau oder ein vollständig modernisiertes Gebäude handelt).
- Dem Energieausweis sind zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität beigelegt (freiwillige Angabe).

**Hinweise zur Verwendung des Energieausweises**

Der Energieausweis dient ausschließlich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Gebäude. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte nur bedingt Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Der Energieausweis ist vor allem dafür gedacht, überschlägig vergleichende Bewertungen von Gebäuden und Gebäudekennwerten durchzuführen. Etwasige Empfehlungen für die Verbesserung der Gesamtenergieeffizienz des Gebäudes dienen der Information und sind nicht bindend.

Aussteller \_\_\_\_\_

Unterschrift Aussteller \_\_\_\_\_

**Bild 2:** Beispiel des Energieausweises im dena-Feldversuch, auf der zweiten Seite befinden sich die Angaben zu 18599.

**ENERGIEAUSWEIS**  
für Nichtwohngebäude

Erstellt am: \_\_\_\_\_ 2

**Energiebedarf des Gebäudes**

**Primärenergiebedarf**

Dieses Gebäude: █ kWh/(m²a)

Vergleichswert in Anlehnung an EnEV 2004

Primärenergiebedarf

Gebäude Ist-Wert [kWh/(m²a)] \_\_\_\_\_

Soll-Wert [kWh/(m²a)] \_\_\_\_\_

Qualität Gebäudeschülle

Gebäude Ist-Wert H' [W/(m²K)] \_\_\_\_\_

Soll-Wert H' [W/(m²K)] \_\_\_\_\_

CO<sub>2</sub>-Emissionen [kg/(m²a)] \_\_\_\_\_

**„Gesamtenergieeffizienz“**

Vergleichswert: █ kWh/(m²a)

Vergleichswert: █ kWh/(m²a)

**Erläuterung**

**Endenergiebedarf** „Normverbrauch“

Energieerzeuger	Jährlicher Endenergiebedarf [kWh/(m²a)]						Endenergiebedarf [kWh/(m²a)]
	Heizung	Warmwasser	Beleuchtung	Lüftung	Kühlung		

**Verteilung Energiebedarf**

[kWh/(m²a)]	Heizung	Warmwasser	Beleuchtung	Lüftung	Kühlung	Gesamt
Primärenergie						
Endenergie						

**Erneuerbare Energien, Lüftungskonzept**

Erneuerbare Energieerzeuger werden genutzt für:

Heizung     Warmwasser     Lüftung

Beleuchtung     Kühlung

Die Lüftung erfolgt durch:

Fensterlüftung     Schachtlüftung

Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung

Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

**Gebäudezonen**

Nr.	Zone	Fläche [m²]	Anteil [%]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Weitere Zonen ggf. in Anlage

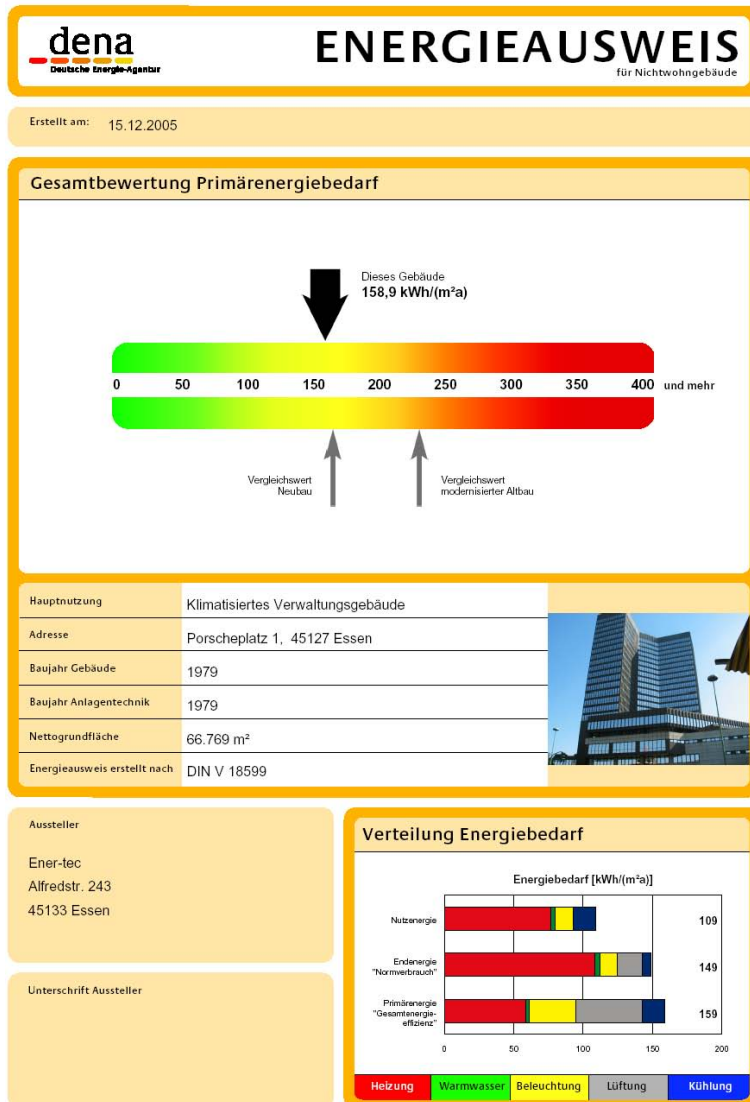
**Erläuterungen zum Berechnungsverfahren**

Das verwendete Berechnungsverfahren ist durch ein für den Feldversuch der dena veröffentlichtes Regelwerk vorgegeben. Der tatsächliche Verbrauch weicht in der Regel wegen der Randbedingungen von diesem Wert ab. Die ausgewiesenen Bedarfswerte sind spezifische Werte pro Quadratmeter Nettogrundfläche.

**Bild 3:** Beispiel des Energieausweises im dena-Feldversuch (Seite 3 und 4), die linke Seite beschreibt den Verbrauch, auf der rechten werden Begriffe und Verfahren erklärt.

81

Für den Aushang bei Gebäuden mit öffentlichen Dienstleistungen wurden spezielle Aushangformate entwickelt. Sie sollen eine einfache Kommunikation ermöglichen. Den Ausweis für das Rathaus in Essen hat Bundesminister Tiefensee im Rahmen der Baufachmesse DEUBAU an die Stadt übergeben.



**Bild 4:** Beispiel eines ausgestellten Energieausweises im dena-Feldversuch (Aushang im Rathaus Essen)

Die Feldversuche zeigen trotz aller „Kinderkrankheiten“ der neuen Vornorm DIN V 18599, dass mit dem neuen Werkzeug eine detaillierte energetische Analyse des Gebäudes mit vertretbarem Aufwand möglich ist. Die bereits sehr ansprechenden Ausweise ermöglichen auf der einen Seite eine schnelle Kommunikation und auf der anderen Seite eine erste energetische fachmännische Analyse des Gebäudes. Die Bereitstellung leistungsfähiger Programme wird die Umsetzung der DIN V 18599 in die Praxis und damit den zügigen Vollzug der geplanten EnEV 2006 unterstützen. Die Ingenieurbüros sollten sich frühzeitig damit auseinandersetzen und dabei die interdisziplinäre Arbeit untereinander (die alle Ingenieure in vielen Sonntagsreden beschwören) stärker forcieren.

...

Autor:

Dipl.-Ing. Baudirektor Hans-Dieter Hegner ist Referent im Referat B 14 –Rationelle Energieverwendung und energetische Modernisierung der Bausubstanz- im Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung (BMVBS) in Berlin. Darüber hinaus ist er u.a. Obmann des Koordinierungsausschusses „Energieeinsparung im Hochbau“ im DIN und Obmann des Sachverständigenausschusses A „Baustoffe und Bauarten für den Wärme- und Schallschutz“ des DIBt.

Literatur:

- [1] Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 1 S. 65
- [2] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. November 2001, Bundesgesetzblatt I, S.3085
- [3] Hegner, H.-D.; Vogler, I.: Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH und Co. KG, Berlin, 2002
- [4] Hegner, H.-D.; Vogler, I.; Hauser, G.: EnEV-Novelle 2004 – für die Praxis kommentiert, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH und Co. KG, Berlin, 2005
- [5] Erste Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 2. Dezember 2004, Bundesgesetzblatt I, S. 3144
- [6] Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden -Energieeinspargesetz (EnEG)- in der Fassung der Bekanntmachung der Neufassung vom 1. September 2005, Bundesgesetzblatt I, S.2684
- [7] DIN V 18599 : 2005-07 „Energetische Bewertung von Gebäuden“. Beuth Verlag GmbH Berlin





**Titel:**

**Wissenschaftliches Begleitprojekt zum Förderkonzept “Energetische Verbesserung der Bausubstanz” im Rahmen des 4. Energieforschungsprogramms, Phase 2**

**Förderkennzeichen:** 0329828E

**Durchführung:**

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

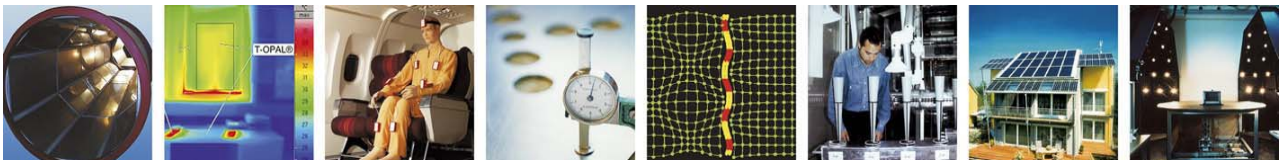
Nobelstraße 12

70569 Stuttgart

[www.ibp.fhg.de](http://www.ibp.fhg.de)

**Projektleitung:** Hans Erhorn

**Laufzeit:** 1. Februar 2003 bis 30. April 2006



## Übersicht über die laufenden und bereits abgeschlossenen Demonstrationsvorhaben

Johann Reiß

Fraunhofer-Institut für Bauphysik



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



Fraunhofer  
Institut  
Bauphysik



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH



[www.ensan.de](http://www.ensan.de)

## Energetische Sanierung der Gebäudesubstanz

### Laufende und bereits abgeschlossene Demovorhaben

Kleine Wohngebäude						
Innerstädtische Wohn- und gemischt genutzte Gebäude						
Große Gebäudekomplexe						
Büro- und Verwaltungsgebäude						
Bildungsstätten						
Beherbergungsgebäude, Wohnheime und Pflegestätten						
Sonstige Gebäude						

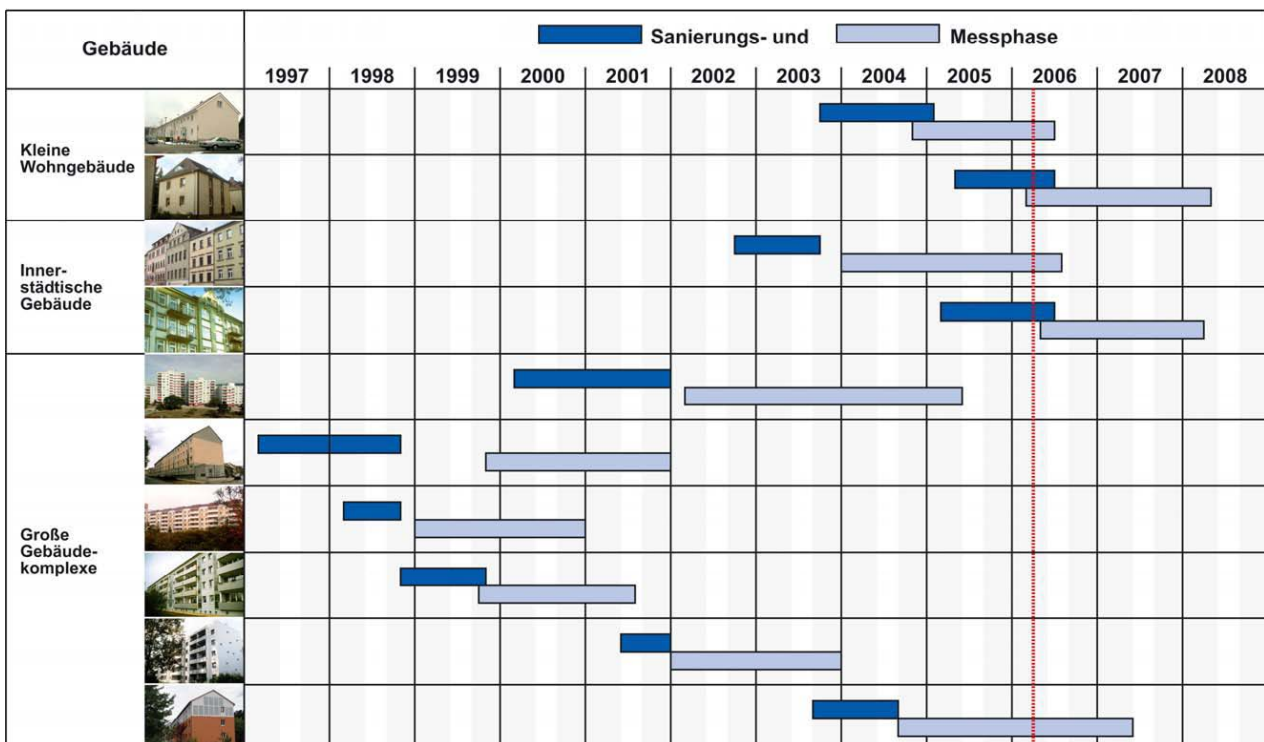
# Versuchs- und Demonstrationsprojekte

- Intergrale Sanierungskonzepte sind als Paketlösungen zu realisieren
- Die ausgewählten Bauten sollen eine möglichst große Gebäudeklasse repräsentieren

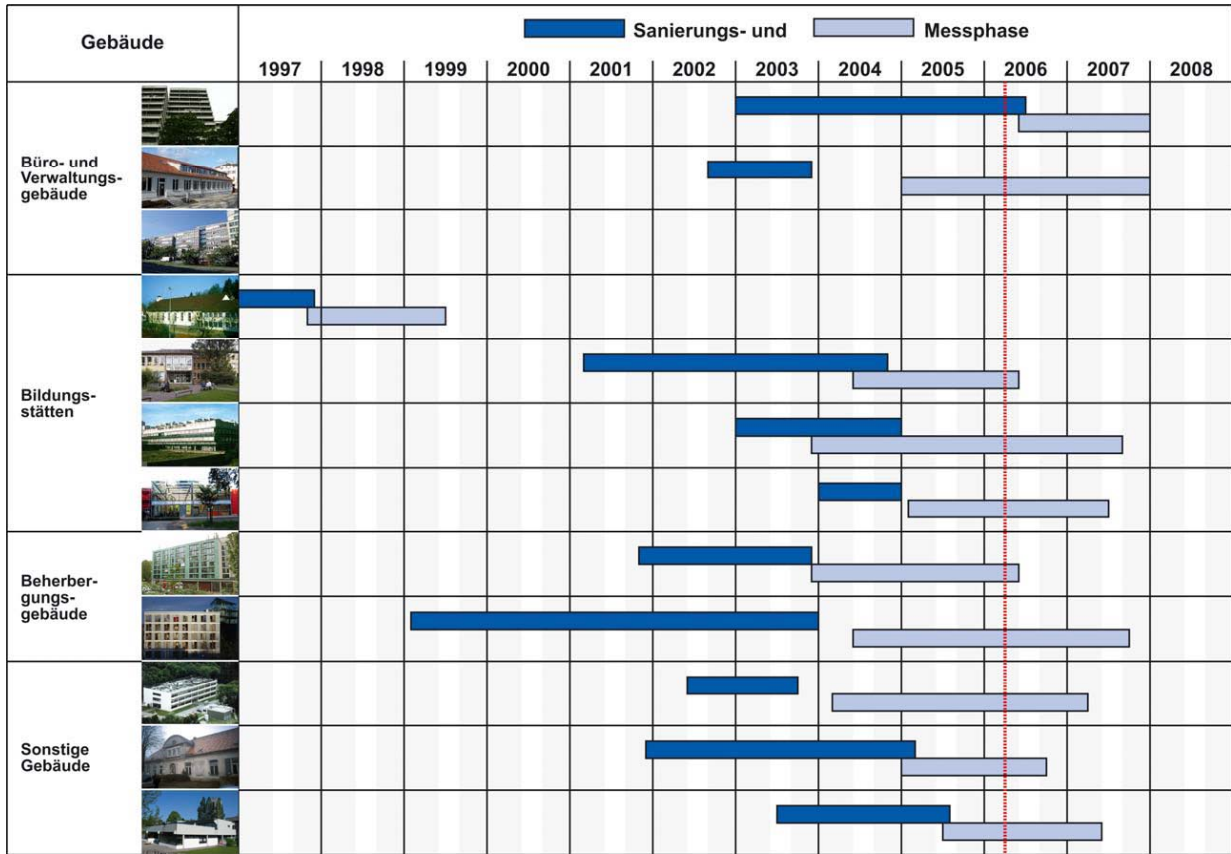
## Ziele:

- Reduzierung des Endenergieverbrauchs um mindestens 50 % gegenüber dem Ausgangszustand
- Architektonische Verbesserung der Gebäude

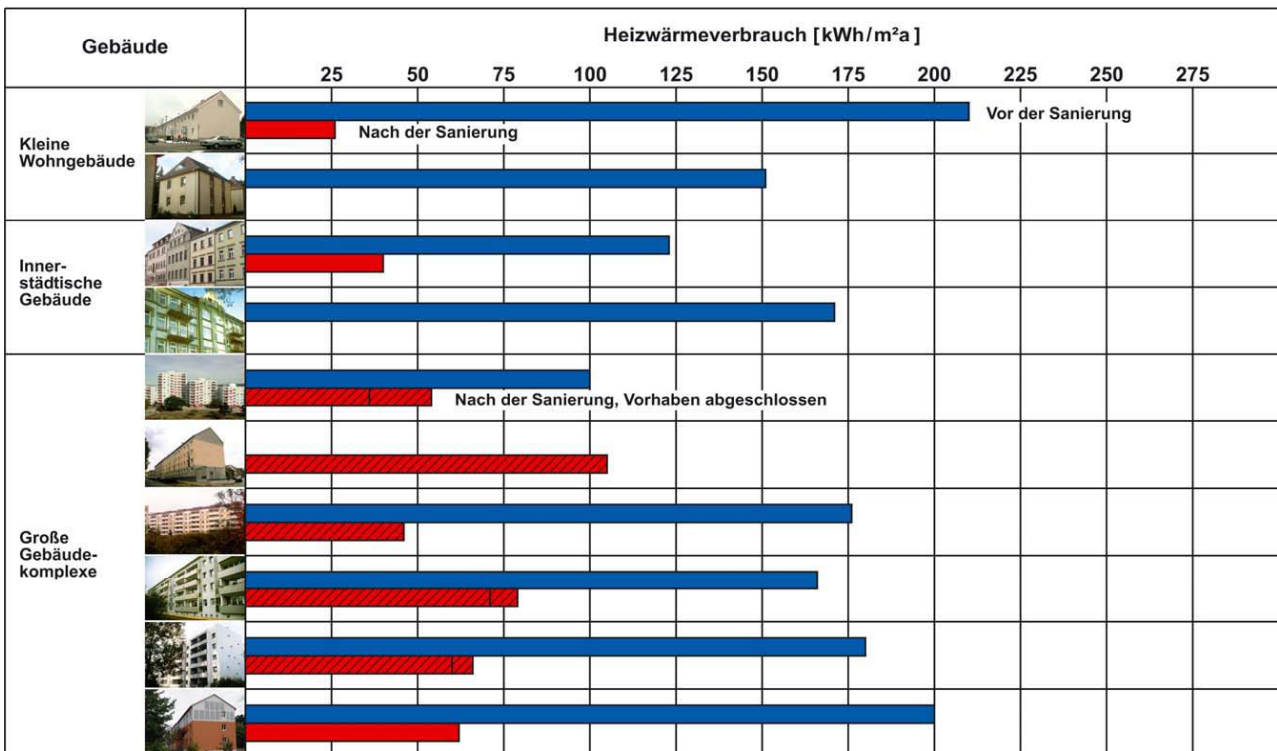
## Bearbeitungsstand der Demonstrationsvorhaben



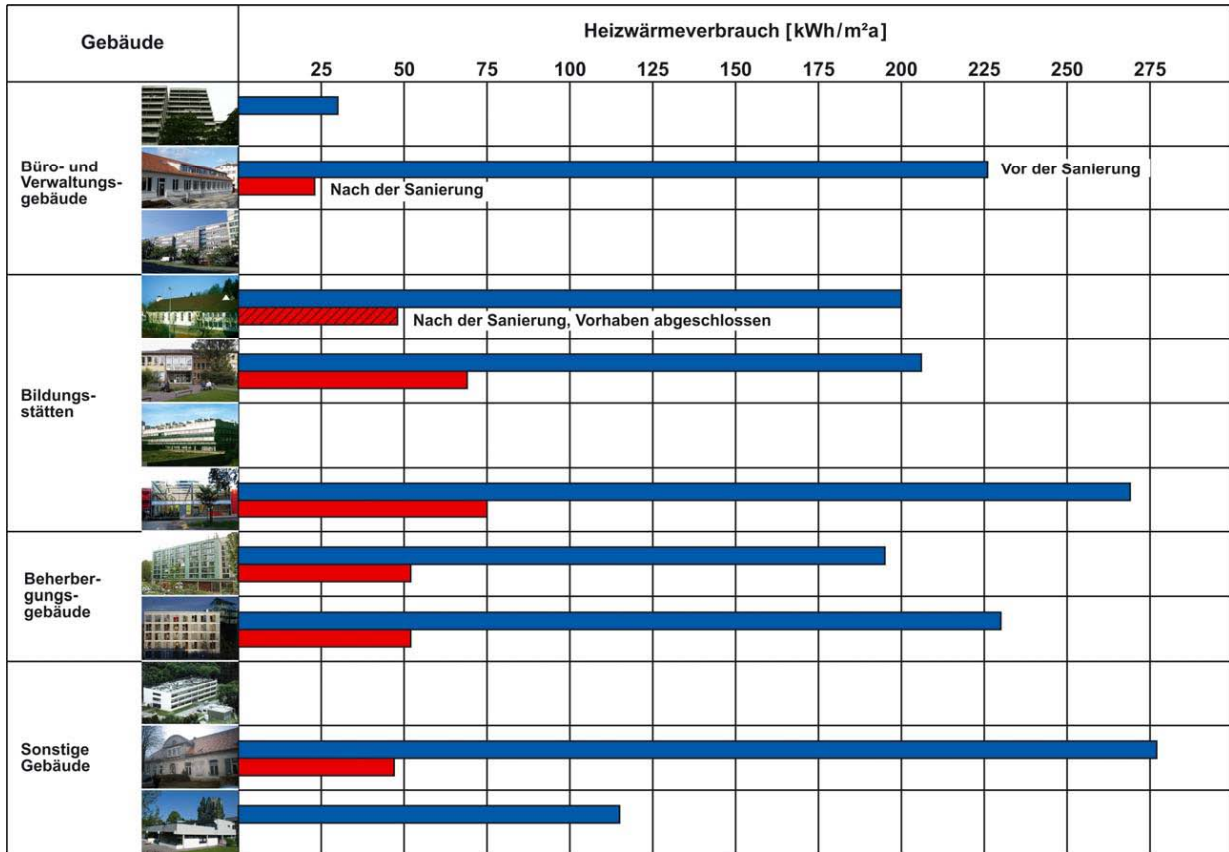
# Bearbeitungsstand der Demonstrationsvorhaben



# Heizwärmeverbrauch vor und nach der Sanierung

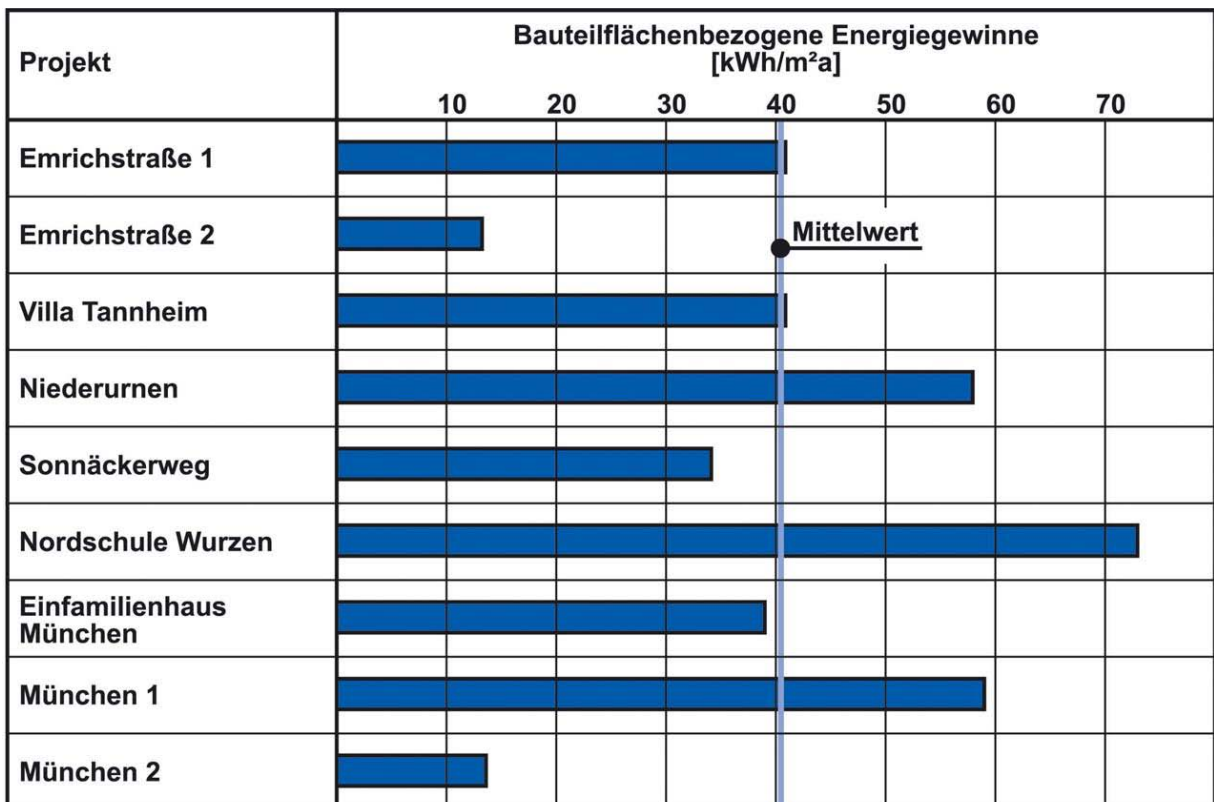


# Heizwärmeverbrauch vor und nach der Sanierung



## Querauswertung von solaren Fassadensystemen

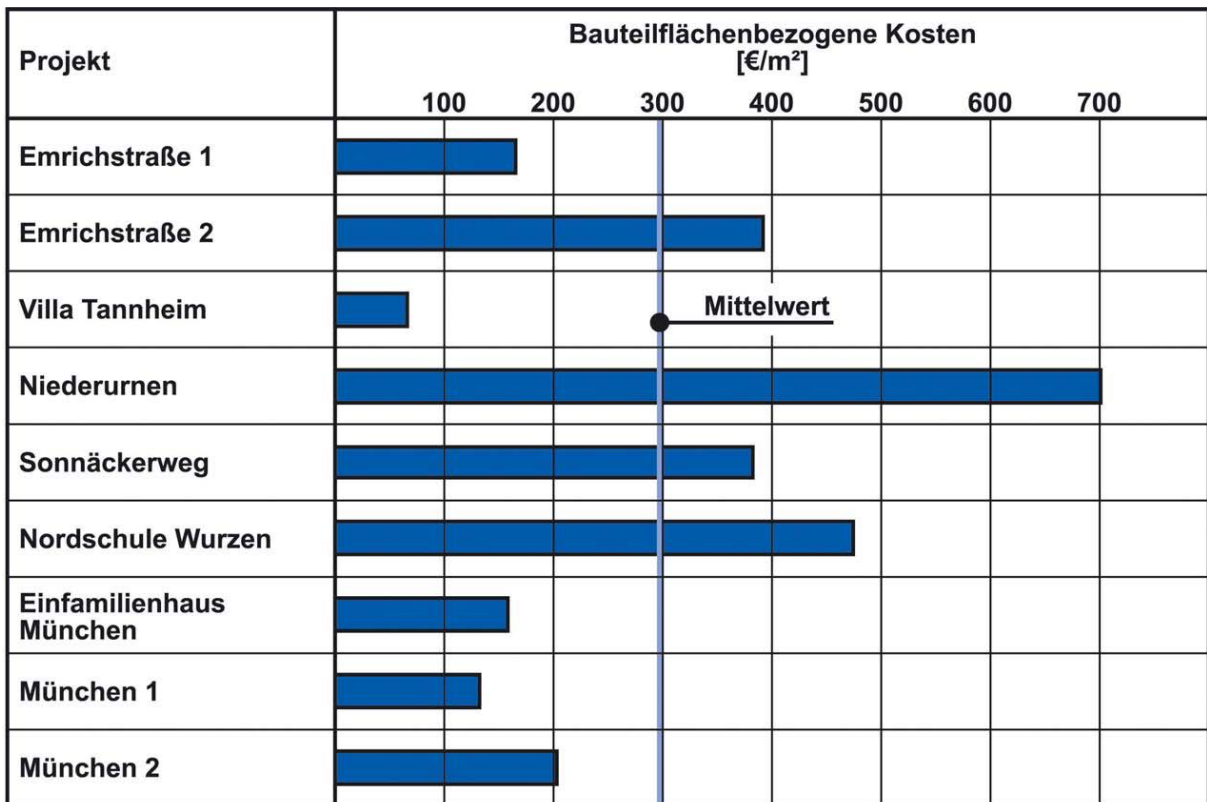
### Bauteilflächenbezogene Energiegewinne durch Transparente Wärmedämmung (TWD)





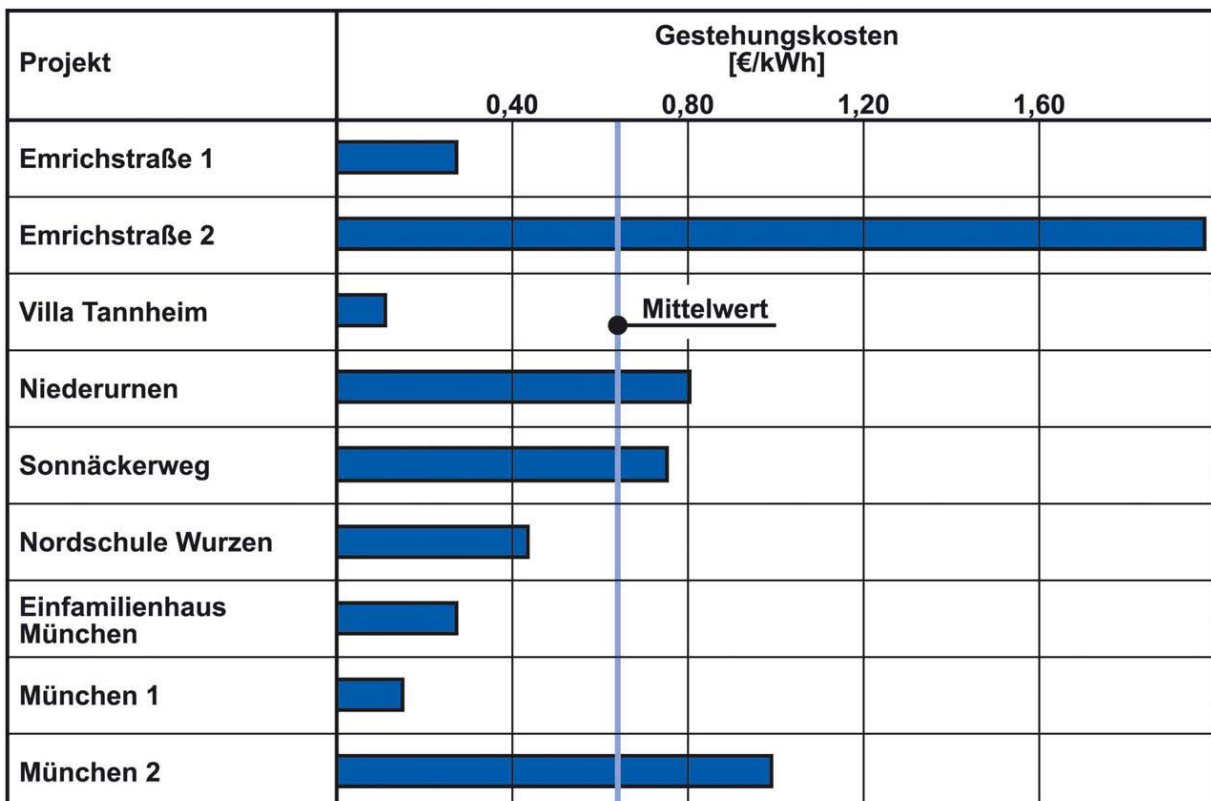
## Querauswertung von solaren Fassadensystemen

### Bauteilflächenbezogene Kosten der Transparenten Wärmedämmung (TWD)



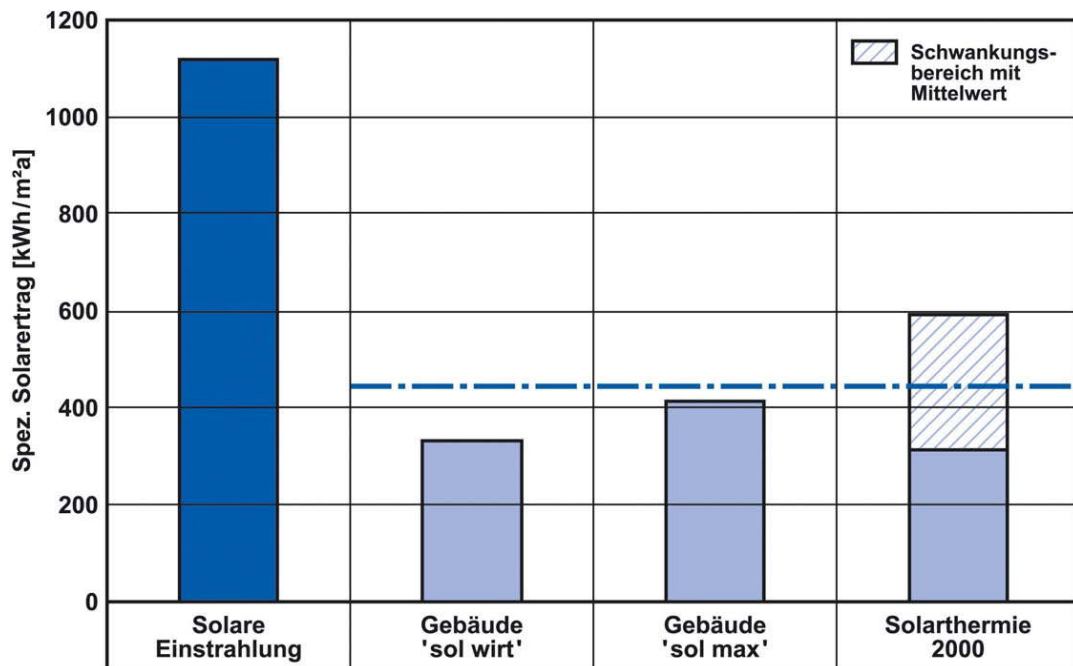
## Querauswertung von solaren Fassadensystemen

### Gestehungskosten der Transparenten Wärmedämmung (TWD)



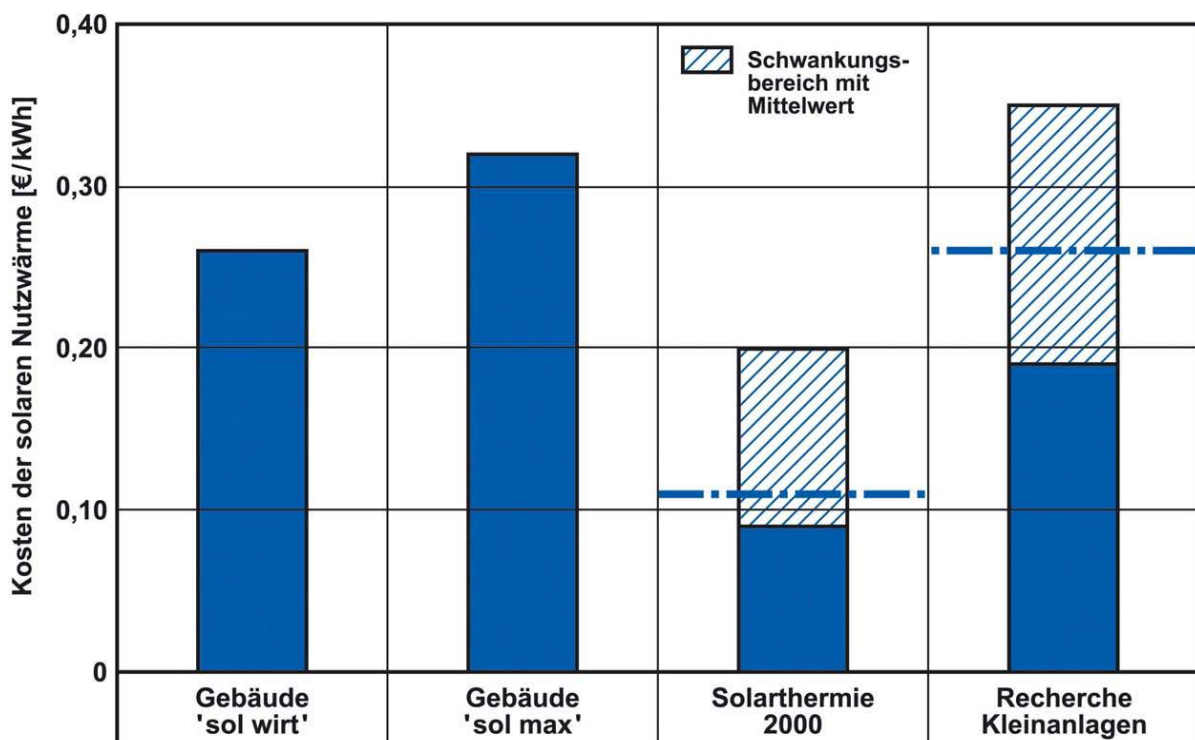
## Querauswertung von aktiven solaren Systemen

### Spezifischer Solarertrag von zwei EnSan-Gebäuden im Vergleich



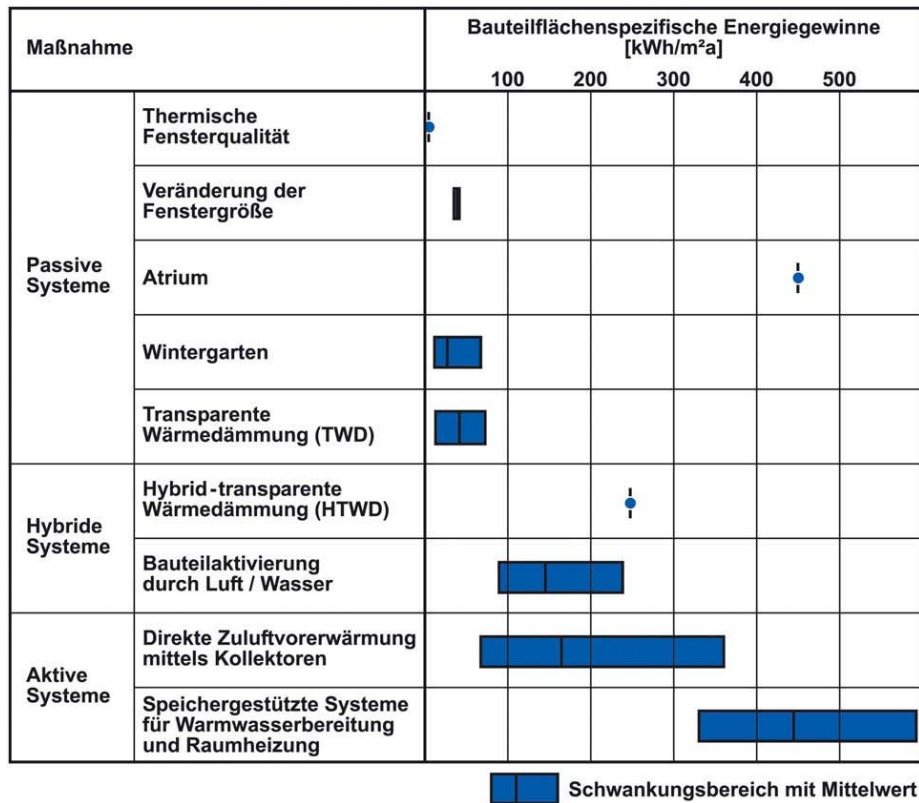
## Querauswertung von aktiven solaren Systemen

### Kosten der solaren Nutzwärme bei zwei EnSan-Gebäuden im Vergleich



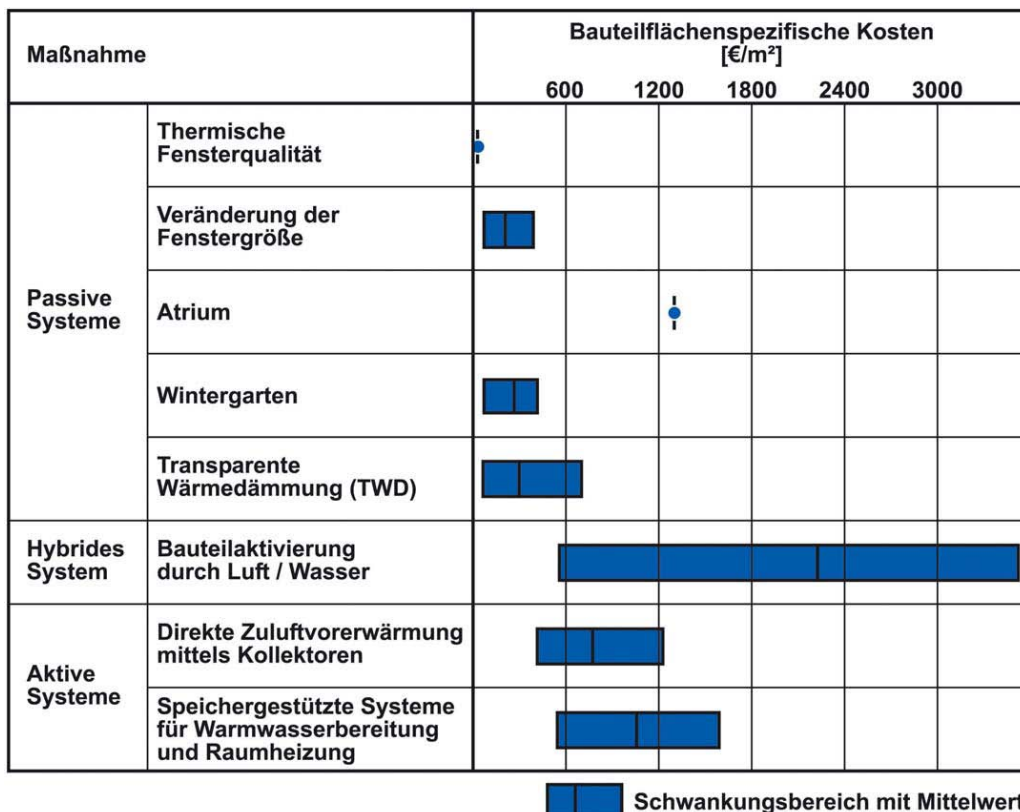
## Querauswertung von passiven, hybriden und aktiven Systemen

### Bauteilspezifische Energiegewinne



## Querauswertung von passiven, hybriden und aktiven Systemen

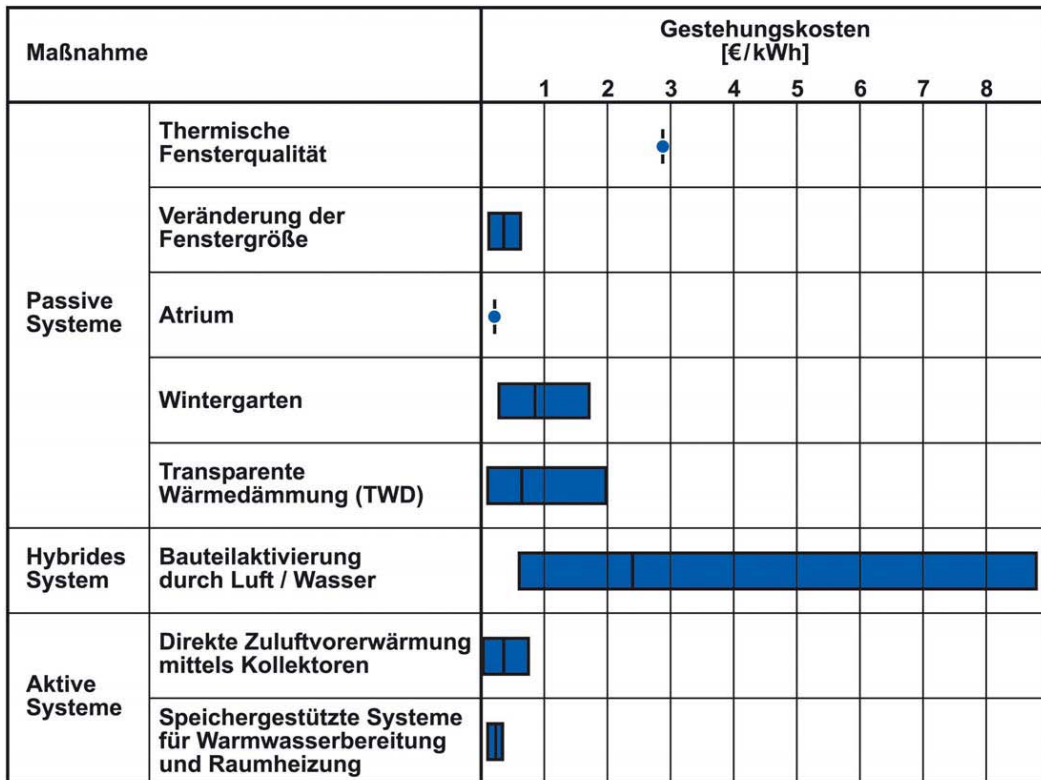
### Bauteilspezifische Kosten





# Querauswertung von passiven, hybriden und aktiven Systemen

## Gestehungskosten



■ Schwankungsbereich mit Mittelwert





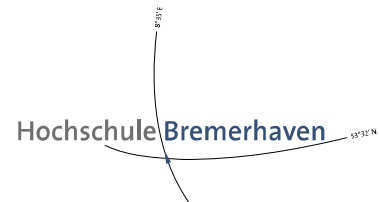
**Titel:** **GOSUB – “Messprogramm zur energetischen Sanierung der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen”**

Förderkennzeichen: 0327292B

Durchführung: **ttz Bremerhaven -Umweltinstitut-**  
An der Karlstadt 10  
27568 Bremerhaven  
[www.ttz-bremerhaven.de](http://www.ttz-bremerhaven.de)



**Hochschule Bremerhaven**  
An der Karlstadt 8  
27568 Bremerhaven  
[www.hochschule-bremerhaven.de](http://www.hochschule-bremerhaven.de)



**Schiller engineering**  
Ulmenstraße  
22299 Hamburg  
[www.ib-schiller.de](http://www.ib-schiller.de)



Projektleitung: *Prof. Dr. P. Ritzenhoff*  
*Dipl.-Ing. F. Aslan*  
*Dipl.-Ing. R. Pelzer*

Laufzeit: 04/2001 – 01/2007

## 1. Einleitung

Die Staats- und Universitätsbibliothek Bremen (SuUB) wurde Anfang der siebziger Jahre errichtet. Sie hat einen nahezu quadratischen Grundriss mit 25.000 m<sup>2</sup> Nutzfläche, die über fünf Ebenen verteilt sind, und wurde in Stahlbetonskelettbauweise mit einer Aluminium-Glas Vorhangsfassade ab der Ebene 1 ausgeführt. Jede Ebene ist in vier Quadranten aufgeteilt. Die Sanierung der SuUB bestand aus zwei Teilen, einer inhaltlichen Modernisierung und der energetischen Sanierung. Sämtliche Sanierungsmaßnahmen wurden von Ende 2002 bis Ende 2004 im laufenden Betrieb der SuUB durchgeführt. Die Arbeiten begannen in Ebene 5 und wurden spiralförmig nach unten fortgesetzt. Es wurden in der Regel nur in 1 bis 2 Quadranten der SuUB gleichzeitig saniert.

Vor der Sanierung wurde mit Hilfe eines Messprogramms der Istzustand der SuUB aufgenommen. Die Messwerte für Zustandsgrößen (Temperaturen, relative Feuchtig-



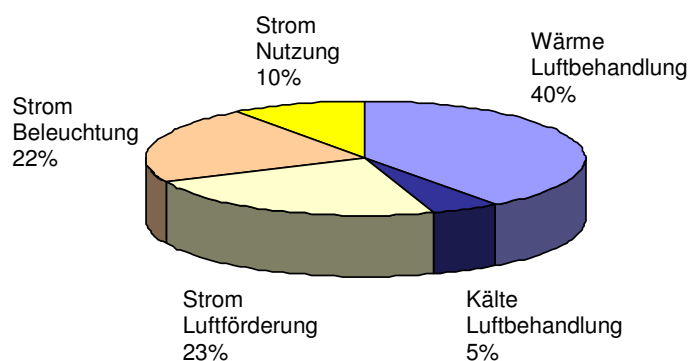
keiten, Drücke usw.) und Verbrauchsgrößen (Strom, Wärme Kälte usw.) wurden sowohl als globale Größen für das gesamte Gebäude, als auch für exemplarische RLT-Anlagen erfasst und aufbereitet.

Das Sanierungskonzept wurde auf Basis der ersten Messungen und Ergebnisse entwickelt und fortlaufend angepasst. Auch im weiteren Verlauf der Sanierung wurden regelmäßig Messungen zur Kontrolle der vorgesehenen Maßnahmen und Weiterentwicklung der Planungen genutzt.

Seit Beendigung der Sanierungsmaßnahmen wird das kontinuierlich laufende Messprogramm, mit Erfassung vergleichbarer Messgrößen zur ersten Messreihe vor der Sanierung, durchgeführt. Mit Abschluss des ersten Messjahres nach der Sanierung (Ende 2005) konnten die ersten Vergleiche angestellt werden und die Einsparungen durch die Sanierungsmaßnahmen quantifiziert werden.

## 2. Energetische Gesamtbetrachtung

Vor Projektbeginn im Jahr 2000 betrug der gesamte Primärenergieverbrauch nahezu  $900 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{NF}} \text{ a})$ . Um mögliche Einsparpotenziale aufzudecken, wurden die gemessenen Gesamtverbräuche der Vorjahre auf die jeweiligen Verbrauchergruppen mit Hilfe von Simulationsrechnungen aufgeteilt /1/. Abbildung 1 zeigt den großen Einfluss, der hierbei von der Raumluftechnik ausging. Da vor der Sanierung die gesamte Gebäudetemperierung (Heizen und Kühlen) über die Raumluftechnik realisiert wurde, mussten über zwei Drittel der aufgewendeten Primärenergie in der SuUB für die Luftbehandlung (Heizen, Kühlen und Befeuchten) und die Luftförderung aufgewendet werden. Die Beleuchtung trug mit einem Anteil von 22% ebenfalls maßgeblich zum Primärenergieverbrauch bei. Weitere 10% wurden durch die sonstige Stromnutzung hervorgerufen.



**Abbildung 1: Erwartete Aufteilung der primärenergetischen Verbräuche auf die Hauptverbraucher**

Entsprechend den Auslegungen während der Errichtung des Gebäudes in den 70er Jahren waren die Anlagen auf einen Luftvolumenstrom von  $400.000 \text{ m}^3/\text{h}$  ausgelegt. Zu Beginn des Projektes wurden noch rund  $290.000 \text{ m}^3/\text{h}$  Luft umgewälzt, wofür allein von den Ventilatoren ca. 190 MWh Strom pro Monat benötigt wurden. Die



Luftförderung führte damit bereits zu einem Primärenergieverbrauch von etwa 258 kWh/(m<sup>2</sup><sub>NF</sub> a).

Bei der Betrachtung des Jahres-Primärenergiebedarfes von der ersten Messreihe im Jahr 2002 bis hin zu den Ergebnissen der zweiten Messreihe von 2005 in Abbildung 2 wird die Reduzierung von rund 70 % (ohne Berücksichtigung der Nutzungseinflüsse) deutlich. Die gesetzte Zielstellung wurde bei den Maßnahmen an den RLT-Anlagen (Wärme, Kälte und Luftförderung) noch übertroffen. Bei der Beleuchtung hingegen lagen die Messergebnisse über der Zielsetzung, weil hier eine deutliche Verbesserung der Beleuchtungssituation gefordert wurde, die in einer Erhöhung der installierten Lichtleistung resultierte.

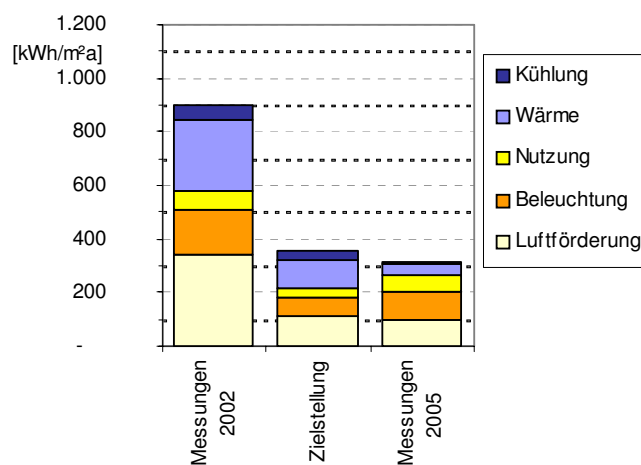


Abbildung 2: Entwicklung des Jahres-Primärenergieverbrauch der SuUB

### 3. Sanierungskonzept RLT

Da die hohe Relevanz der Raumluftechnik für die Sanierung der SuUB signifikant war, wurden unmittelbar mit dem Beginn der messtechnischen Begleitung diverse Untersuchungen im Hinblick auf die bewegten Luftvolumina und die Raumlufqualität durchgeführt. Um für die Planung des sanierten Zustandes belastbare Auslegungsgrößen zu haben, wurden an einzelnen Tagen die Besucherzahlen erfasst. Die Messungen der Volumenströme, die sowohl an allen RLT-Anlagen als auch in den Außenluft- und Fortluft-Schächten durchgeführt wurden, haben die gegenüber dem Auslegungszustand deutlichen Reduzierungen der Luftvolumenströme aufgedeckt.

Die Reduzierung der Volumenströme wurde u.a. durch die Auswechslung von Riemenscheiben an den Ventilatorantrieben realisiert und führte zu einer Verschlechterung des Ventilatorbetriebes. Der Außenluft-Anteil wurde durch die Maßnahmen um 15 % reduziert. Dennoch betrug die Luftwechselrate immer noch 3,3 h<sup>-1</sup>. Im Zuge der Sanierung sollten nicht nur die Anlagen modernisiert werden, sondern auch die geförderten Luftmengen weiter auf die hygienisch notwendigen Dimensionen reduziert werden.

Die Zählungen haben ergeben, dass sich maximal 230 Besucher gleichzeitig in der Bibliothek aufhalten. Dies entspricht einem maximalen Besucheraufkommen von



etwa 70 m<sup>2</sup>/Nutzer. Durch die relativ geringe Belegungsdichte konnte mit Hilfe der manuellen Besucherzählungen, die an verschiedenen Tagen jeweils während der gesamten Öffnungszeit stattfanden, ein Einfluss auf die Raumluftqualität ausgeschlossen werden. Als zweiter Schritt wurde der Einfluss des Interieurs (Teppich, Möbel, Bücher usw.) auf die Raumluftqualität untersucht /2/. Dazu wurden an verschiedenen Messorten die VOC's und Formaldehyd gemessen. Es gab vier Messreihen, mit unterschiedlichen Außenluft-Raten. Auch bei starker Reduzierung der Außenluft-Rate auf rund 65 % konnte keine wesentliche Verschlechterung der Raumluftqualität festgestellt werden.

Daraus wurde für die Planung der Sanierung gefolgert, dass ein großes Einsparpotenzial bei den RLT-Anlagen durch eine Reduzierung der Luftvolumenströme ohne maßgeblichen Komfortverlust erreicht werden kann. Nachfolgend werden einzelne Maßnahmen erläutert, die auf diesem Ansatz entwickelt wurden.

#### Trennung der Funktionen Heizen, Kühlen, Belüften

Das Sanierungskonzept für die SuUB sah vor, die Funktionen Heizen, Kühlen, Belüften über eigenständige, voneinander getrennte Systeme zu realisieren. Vor der Sanierung wurden sämtliche Funktionen von Vollklimaanlagen erfüllt, was zu den großen Volumenströmen und letztendlich hohen Energieverbräuchen führte. In den Randzonen wurden Zweikanal-Klimaanlagen und für die übrigen Bereiche sowie die Fensterschleier wurden Einkanal-Klimaanlagen eingesetzt. Seit der Sanierung wird die Beheizung mit statischen Heizflächen, die Raumkühlung mit Umluftkühlgeräten und die Belüftung über die RLT-Anlagen realisiert.

#### Reduzierung der geförderten Luftmengen

Durch eine räumliche Trennung der Büroräume der SuUB von den Freiflächen und den Benutzerbereichen, konnte dort eine natürliche Lüftung realisiert werden. Dadurch und durch die Trennung der Systeme wurde der gesamte umgewälzte Volumenstrom auf maximal 177.000 m<sup>3</sup>/h begrenzt, was eine Luftwechselrate von etwa 2,4 h<sup>-1</sup> ausmacht. Durch Anlagen zur variablen Volumenstromregelung (VVS) können die Volumenströme weiter runtergeregelt werden. Sämtliche Ventilatoren sind mit Frequenzumrichtern ausgerüstet, um die Drehzahlen dem geforderten Volumenstrom anzupassen.

#### Wärmerückgewinnung

Weiterhin wurden die Abluft- und Außenluft-ströme in der Klimazentrale in der Ebene 0 zusammengeführt, wodurch eine regenerative Wärmerückgewinnung mittels zweier Rotationswärmetauscher realisiert wurde. Dadurch konnten die thermische Luftaufbereitung wie auch die Luftbefeuchtung effizienter gemacht werden.

#### Raumkühlung und Freie Kühlung

Die Speisung des Kühlkreises für die Umluftkühlgeräte erfolgt in der Klimazentrale zum einen Teil durch das universitätseigene Kältenetz und zum anderen Teil durch Freie Kühlung. Die Freie Kühlung wird solange wie möglich genutzt, um den Kälteverbrauch für die Umluftkühlgeräte so weit wie möglich zu reduzieren.

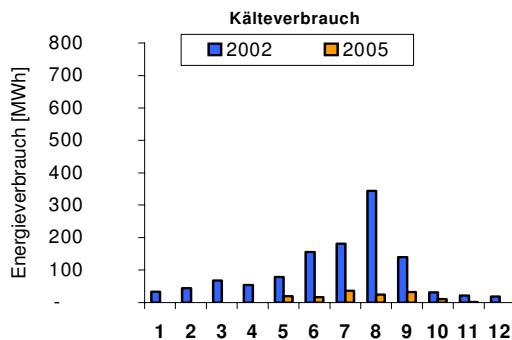
#### Optimierung der Regelung

Die vor der Sanierung auf Pneumatik basierende Regelung wurde auf den Stand der Technik gebracht. Es wurde eine elektronische Regelung mit den erforderlichen

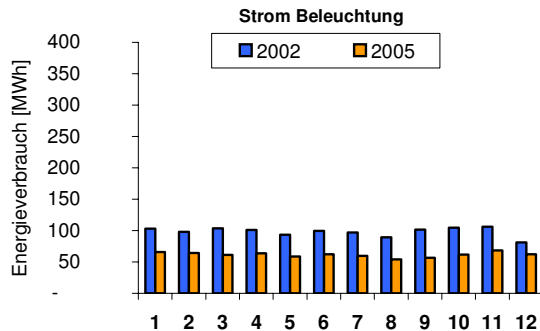
Sensoren und einer Gebäudeleittechnik installiert. Auf diese Weise konnten neue Betriebsmöglichkeiten umgesetzt werden. Zum Beispiel werden die RLT-Anlagen außerhalb der Öffnungszeiten der SuUB außer Betrieb genommen. Lediglich eine Anlage wird für die Kühlung der zentralen EDV-Bereiche kontinuierlich betrieben. Dabei wird außerhalb der Betriebszeiten auf Umluftbetrieb umgeschaltet.

#### 4. Ergebnisse und Erfahrungen

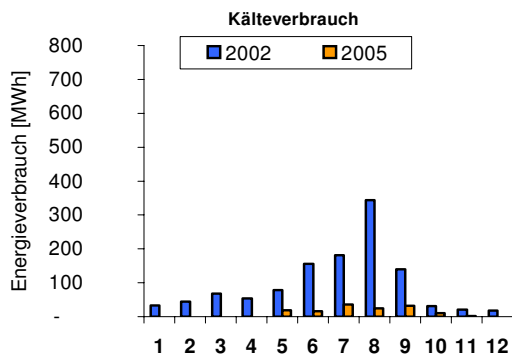
In Abbildung 2 sind bereits die angestrebten und erreichten Gesamteinsparungen dargestellt, die durch die verschiedenen Maßnahmen erreicht wurden. Die Reduzierung der Volumenströme, die Verwendung moderner Anlagenkomponenten wie auch der Einsatz einer neuen Regelung haben zu der dargestellten Energieeinsparung von 70% beim Stromverbrauch, 75% beim Wärmeverbrauch und von 80% beim Kälteverbrauch geführt. Diese Einsparungen sind in den Abbildungen 3, 4 und 5 im Jahresverlauf dargestellt. In Abbildung 6 sind die monatlichen Stromverbräuche für die Beleuchtung der Jahre 2002 und 2005 gegenübergestellt. Durch die Verwendung neuer Leuchtmittel mit elektronischen Vorschaltgeräten und einer neuen Verteilung der Leuchten konnte sowohl eine bessere Ausleuchtung, als auch eine Energieeinsparung von etwa 40 % erreicht werden.



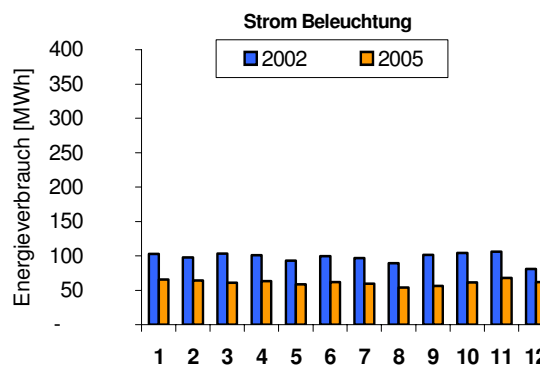
**Abbildung 3: Einsparung Strom bei den RLT-Anlagen in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 70 %**



**Abbildung 4: Einsparung Wärme für Beheizung und Lufterwärmung in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 75 %**



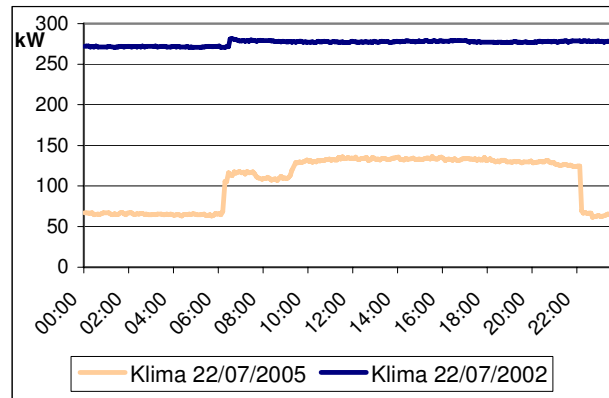
**Abbildung 5: Einsparung Kälte in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 80 %**



**Abbildung 6: Einsparung Strom Beleuchtung in MWh (Vergleich 2002 – 2005) => ~ 40 %**



Bei den Stromverbräuchen in Abbildung 3 zeigt sich ein relativ konstanter monatlicher Verbrauch über das gesamte Jahr, was durch die einheitlichen Nutzungsbedingungen in der SuUB hervorgerufen wird. Aus diesem Grund kann am Beispiel eines exemplarischen Tages entsprechend Abbildung 7 die Leistungsaufnahme der RLT-Anlagen die Reduzierung des Stromverbrauchs verdeutlichen.



**Abbildung 7: Elektrische Leistungsaufnahme der RLT-Anlagen am 22.7.2002 und am 22.7.2005**

Für 2002 ist eine durchgehende Leistungsaufnahme zu erkennen, die auf den 24-stündigen Betrieb der RLT-Anlagen an allen Wochentagen zurückgeführt werden kann, der vor der Sanierung erforderlich war, damit das Gebäude nicht auskühlt oder überhitzt. Seit der Sanierung ist die durchgehende Leistungsaufnahme bereits auf rund ein Viertel reduziert worden. Bei Vollbetrieb beträgt die Leistungsaufnahme nach der Sanierung ca. die Hälfte des Wertes vor der Sanierung. Hier machen sich günstigere Druckverhältnisse, drehzahlregelte Ventilatoren und vor allem die Reduzierung der geförderten Luftvolumenströme bemerkbar.

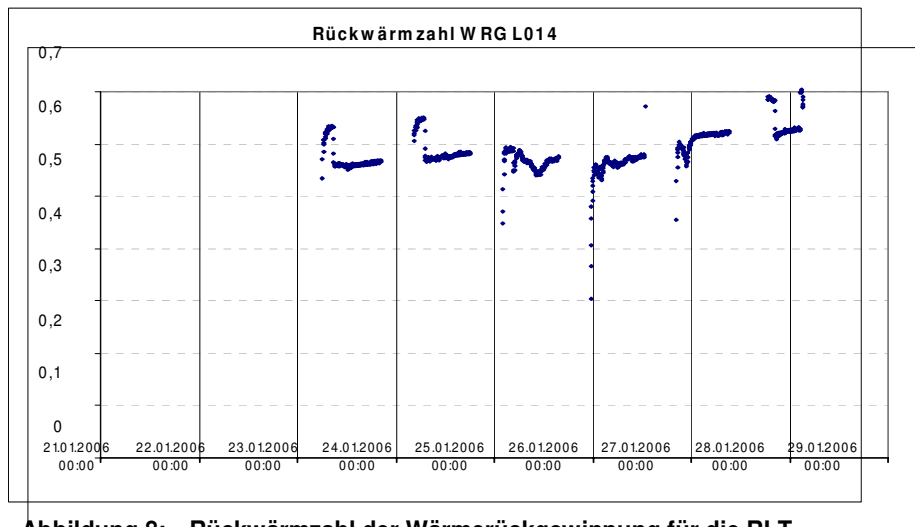
## 5. Weitere Maßnahmen

Zur Aufdeckung weiterer Einsparmaßnahmen werden nachfolgend einzelne Komponenten und Betriebsweisen der Lüftungsanlagen untersucht.

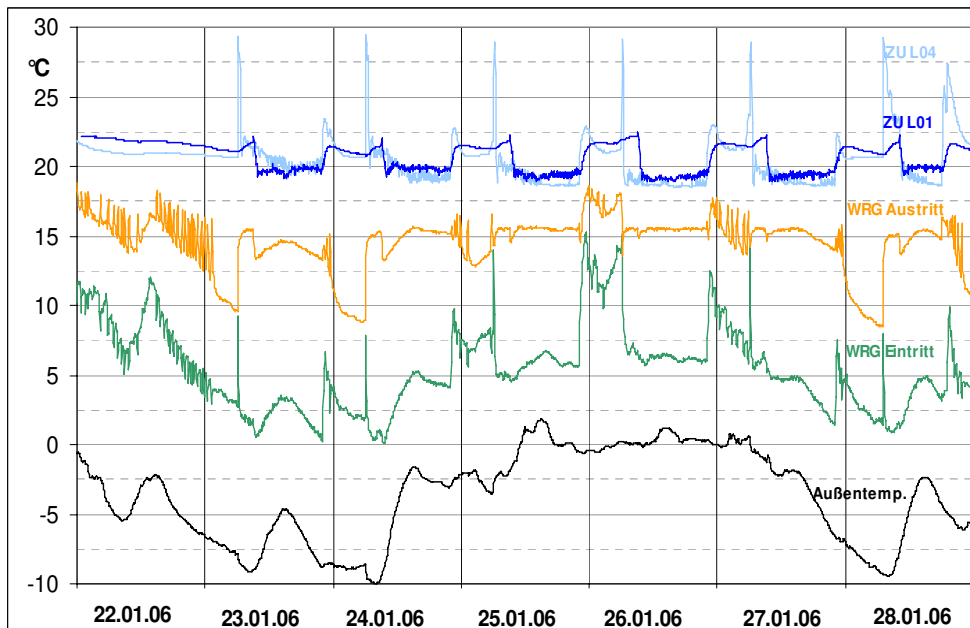
Laut Herstellerangaben kann bei der Wärmerückgewinnung eine Rückwärmzahl von 0,75 erreicht werden. Die bisherigen Messungen haben jedoch, wie in Abbildung 8 am Beispiel einer kalten Woche im Januar 2006 zu entnehmen ist, nur Rückwärmzahlen zwischen 0,5 und 0,6 ergeben. Demnach müssten noch weitere Potenziale zur Reduktion des Energieverbrauchs vorhanden sein, die bei den aktuellen Betriebsweisen noch nicht genutzt werden.

Die Messergebnisse der zugehörigen Temperaturen aus diesem Zeitraum sind in Abbildung 9 dargestellt und zeigen während der Öffnungszeiten der SuUB eine Temperaturdifferenz von ca. 3 bis 5 K zwischen dem Austritt der WRG und der Zulufttemperatur der nachgeschalteten Anlagen.





**Abbildung 8: Rückwärmzahl der Wärmerückgewinnung für die RLT-Anlagen L01 und L04 über eine Woche im Januar 2006**

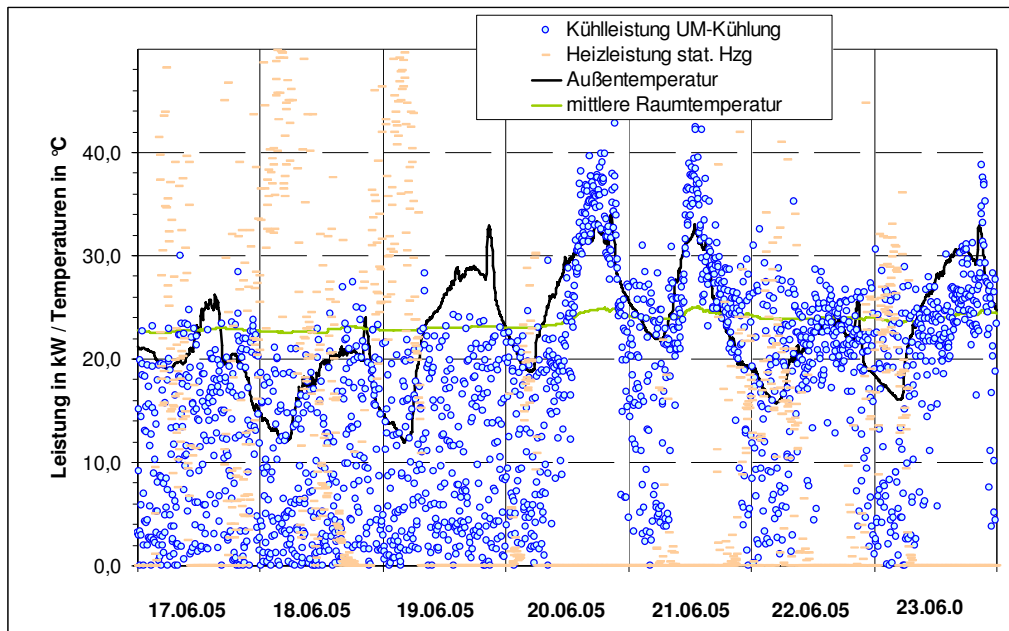


**Abbildung 9: Temperaturverläufe der Wärmerückgewinnung und der RLT-Anlagen L01 und L04, sowie der Außentemperatur der exemplarischen Woche**

Der Sollwert der Austrittstemperatur der WRG ist offensichtlich auf 15°C eingestellt, während die beiden nachgeschalteten RLT-Anlagen eine Zulufttemperatur von rund 20°C aufweisen. Durch eine Verknüpfung der Sollwerte der WRG mit den nachgeschalteten RLT-Anlagen würde, unter Berücksichtigung der zusätzlichen Einsparung bei allen 4 RLT-Anlagen, ein zusätzliches Potenzial von geschätzten 10 MWh pro Jahr erschlossen werden, was etwa weiteren 3% Einsparung bei der Lufterwärmung entspricht.

Ein weiteres Beispiel für zusätzliche Einsparpotenziale stellt die Regelung von Heizung und Kühlung dar. In Abbildung 10 wurde auch im Sommerbetrieb bei über 20°C Außentemperatur ein Betrieb der Heizung festgestellt, obwohl die Heizgrenz-

temperatur bei diesem Gebäude deutlich unter 15°C liegen müsste. Gleichfalls sind der Abbildung Zustände zu entnehmen, in denen gleichzeitig geheizt und gekühlt wird. In den folgenden Untersuchungen werden die Ursachen für dieses Verhalten analysiert und geeignete Vorschläge zur Verbesserung der Betriebsweise gegeben.



**Abbildung 10: Heizleistung und Kühlleistung während einer Sommerwoche**

Für die Erschließung dieser Einsparpotenziale im Rahmen der Optimierungsphase steht auch weiterhin die Arbeitsgruppe aus der Bauleitung, dem Projektsteuerer, der wissenschaftlichen Begleitung, des Baudezernats der Universität Bremen und den beteiligten Firmen als Gesprächspartner zur Verfügung.

#### Quellen

/1/ Schnaars, Schiller: Energetische Gesamtoptimierung der Staats- und Universitätsbibliothek Bremen GOSUB; in EnSan-Symposium zum Förderkonzept 3.+4. Juli 2002 in Stuttgart

/2/ Ritzenhoff, Aslan, Pelzer: GOSUB – Luftqualitätsmessungen; Interner Bericht vom 7. August 2002; [www.gosub.uni-bremen.de](http://www.gosub.uni-bremen.de)



**Titel:** **Wärmetechnische Bewertung von Vakuumisolationspaneelen (VIP) zur Sanierung des Pfarrzentrums und des Kindergartens „Guter Hirte“**

**im Rahmen des Projektes**

**„Messtechnische Validierung der energetischen Sanierung des katholischen Gemeindezentrums Guter Hirte in Ulm-Böfingen sowie wissenschaftliche Begleitung des Einsatzes von Vakuumdämmpaneelen“**

Förderkennzeichen: FKZ 0329750R

Durchführung: Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V.  
(ZAE Bayern)  
Am Hubland  
97074 Würzburg

Projektleitung: Dr. J. Manara

Laufzeit: 01.07.2003 bis 30.06.2006



## 1 Dämmung des Fußbodens im Kindergarten mit VIPs

Das Ziel der Untersuchungen ist die wärmetechnische Bewertung von Vakuumisolationspaneelen (VIP) zur Sanierung des Pfarrzentrums und des Kindergartens „Guter Hirte“. Die Untersuchungen fanden und finden im Rahmen des Projektes „Messtechnische Validierung der energetischen Sanierung des katholischen Gemeindezentrums Guter Hirte in Ulm-Böfingen sowie wissenschaftliche Begleitung des Einsatzes von Vakuumdämmpaneelen“ statt, das vom Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP), Herrn Johann Reiß, geleitet wird und das in das BMWA-Projekt EnSan (Energetische Verbesserung der Bausubstanz) eingebunden ist.

Es wurden der Fußboden des Kindergartens und die Fassade des Pfarrhauses mit Vakuumisolationspaneelen gedämmt. Die Planung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Architekturbüro Günter Hermann Architekten. Die Berechnungen wurden mit den Computer-Programmen Heat 2 und 3 zur Erfassung des Wärmedurchgangskoeffizienten des Wand- bzw. Fußbodenaufbaus und der Temperaturverteilung innerhalb der Bauteile sowie an den Bauteiloberflächen durchgeführt. Zusätzlich wurden Simulationen des Feuchtetransports mit dem Computer-Programm WUFI 2D vorgenommen. Der Einbau der VIPs der Firma Porextherm Dämmstoffe GmbH konnte bereits abgeschlossen werden.

Die VIPs wurden darüber hinaus zur Qualitätssicherung teilweise mit Temperatursensoren ausgestattet, um eine Beschädigung erkennen zu können. Die Datenaufnahme und -auswertung läuft zurzeit noch.

## 2 Dämmung des Fußbodens im Kindergarten mit VIPs

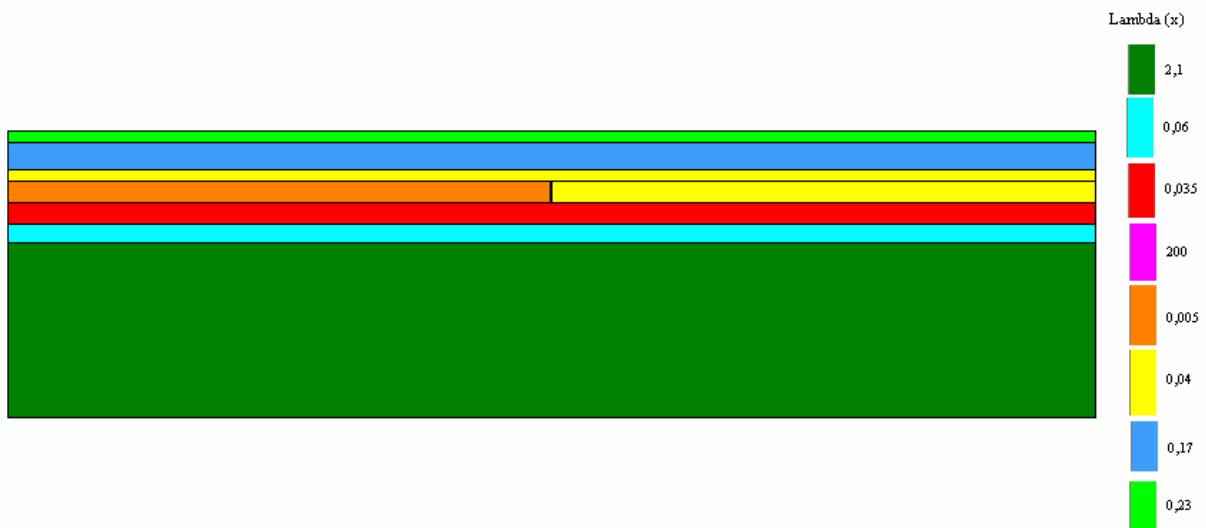
### 2.1 Fußbodenaufbau

Der Fußboden ist folgendermaßen aufgebaut (von oben nach unten mit Angabe der Materialstärke  $d$  und der dazugehörigen Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$ ):

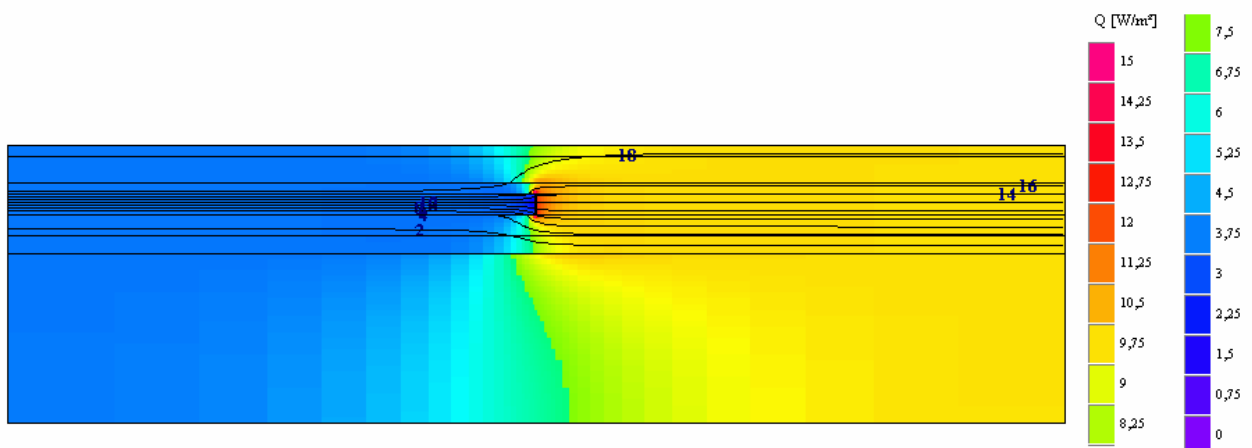
- |                                 |                        |                                   |
|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| • Linoleum:                     | $d = 5.0 \text{ mm}$   | $\lambda = 0.171 \text{ W/(m K)}$ |
| • Textilbelag statt Linoleum:   | $d = 10.0 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.230 \text{ W/(m K)}$ |
| • Verlegespanplatte (doppelt):  | $d = 26.0 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.170 \text{ W/(m K)}$ |
| • Trittschalldämmung:           | $d = 10.0 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.040 \text{ W/(m K)}$ |
| • Vakuumisolationspaneel (VIP): | $d = 20.0 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.005 \text{ W/(m K)}$ |
| • PUR-Dämmung:                  | $d = 20.0 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.035 \text{ W/(m K)}$ |
| • Perlit-Schüttung:             | $d = 16.6 \text{ mm}$  | $\lambda = 0.060 \text{ W/(m K)}$ |
| • Beton:                        | $d = 160.0 \text{ mm}$ | $\lambda = 2.100 \text{ W/(m K)}$ |

Insgesamt beträgt die Dicke des in Abb. 1 gezeigten Fußbodenaufbaus 257.6 mm (mit Linoleum) bzw. 262.6 mm (mit Textilbelag). Die Dicke der Perlit-Schüttung, die zur Nivellierung eingebracht wird, variiert sowohl zwischen den verschiedenen Räumen als auch innerhalb der Räume selbst. Daher wurde für die Berechnungen von einer minimalen durchschnittlichen Dicke von 16.6 mm ausgegangen. Eine größere Dicke verringert den U-Wert nur minimal, die berechneten U-Werte sind damit eine gute, obere Abschätzung.

Abb. 1 zeigt den Querschnitt durch den Fußbodenaufbau am Übergang eines Fußbodenabschnitts mit Vakuumdämmung zu einem konventionell gedämmten Fußbodenabschnitt (Passstücke). Abb. 2 zeigt für den Querschnitt aus Abb. 1 die berechneten Wärmeströme und Isothermen. Deutlich zu erkennen ist der geringere Wärmestrom auf der linken Seite, auf der die Vakuumdämmung eingebaut ist. Abb. 3 zeigt schließlich die berechnete Temperaturverteilung des gleichen Aufbaus.



**Abb. 1:** Querschnitt durch den Fußbodenaufbau am Übergang einer Vakuumdämmung (linke Hälfte) und zu einem konventionell gedämmten Fußbodenabschnitt (rechte Hälfte).

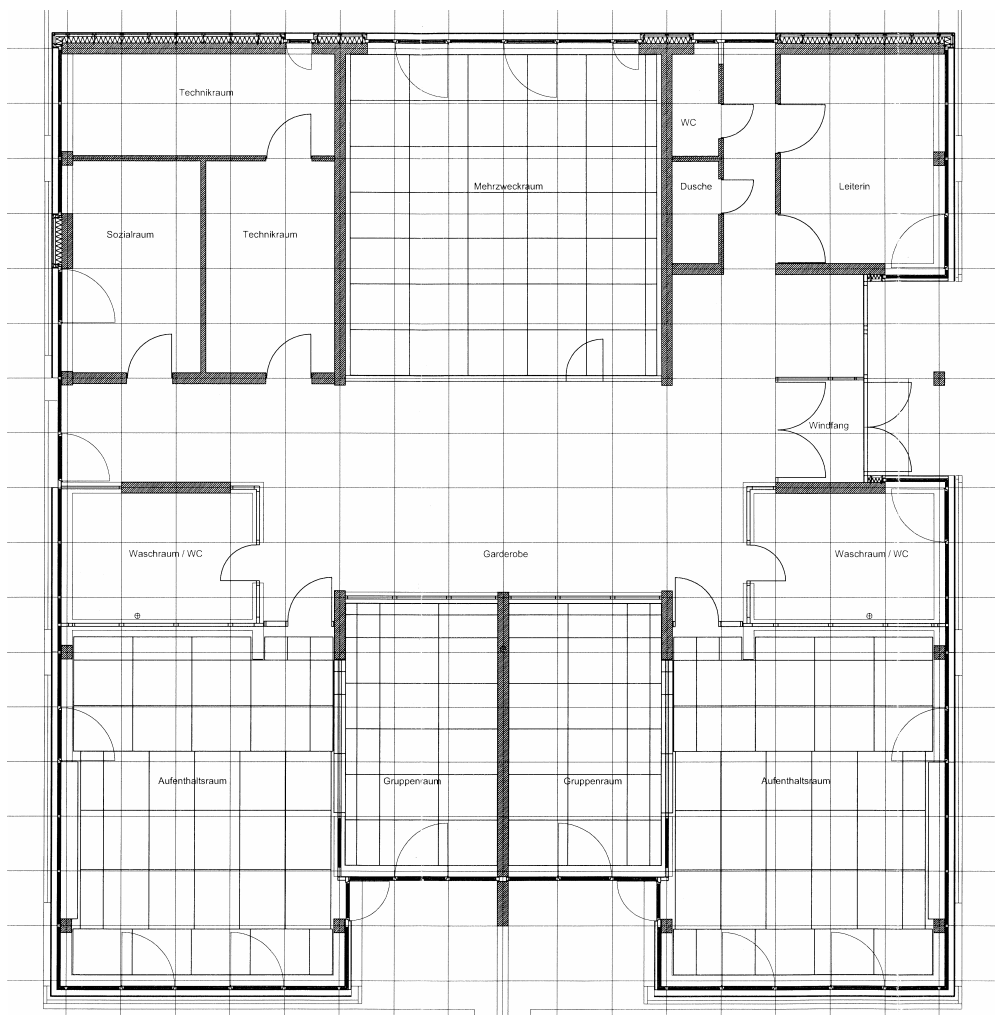


**Abb. 2:** Für den Querschnitt aus Abb. 1 berechnete Wärmeströme und Isothermen. Die Wärmeströme  $Q$  in  $W/m^2$  sind gemäß der Farbskala auf der rechten Seite eingetragen.



**Abb. 3:** Für den Querschnitt aus Abb. 1 berechnete Temperaturverteilung. Die Temperaturen  $T$  in °C sind gemäß der Farbskala auf der rechten Seite eingetragen.

Die Verlegung der unterschiedlich großen Vakuumisoliationspaneele im Kindergarten ist aus Abb. 4 zu entnehmen.



**Abb. 4:** Geplanter Fußbodenaufbau im Kindergarten „Guter Hirte“. Die beiden Aufenthalts- und Gruppenräume wurden ebenso wie der Mehrzweckraum mit VIPs gedämmt werden.



Das Gebäude des Kindergartens ist nicht unterkellert, die Betonfundamente reichen 1 m in den Boden und werden etwa 30 cm in das Erdreich hinein mit 14 cm konventioneller Dämmung versehen.

## 2.2 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmetransport durch den Fußboden wurde mit Heat 2 simuliert. Dabei wurde von einer Raumtemperatur von 20 °C und einer Erdreichtemperatur von 0 °C ausgegangen. Der raumseitige Wärmeübergangswiderstand  $R_{\text{innen}}$  wurde zu 0.17 m<sup>2</sup> K/W angenommen und der Wärmeübergangswiderstand  $R_{\text{außen}}$  zum Erdreich zu 0 m<sup>2</sup> K/W.

Für den Wärmedurchgangskoeffizienten des ungestörten Fußbodenaufbaus (d.h. der gesamte Fußboden wird mit nur einem, passend geformten, Paneel abgedeckt) ergibt sich ein Wert von  $U = 0.18 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Bei der Berechnung des U-Wertes wurden zwischen 2 Vakuumpaneelen Fugen mit einer Breite von 4 mm und zwischen einem Vakuumpaneel und einem EPS-Passstück von 2 mm angenommen. Dabei ergeben sich folgende Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV), bei einer Dicke der Aluminiumschicht von 300 nm:

- 4 mm Fugebreite zwischen zwei VIPs:  $\text{WBV} = 0.0061 \text{ W}/(\text{m K})$ .
- 2 mm Fugenbreite zwischen VIP und EPS:  $\text{WBV} = 0.0041 \text{ W}/(\text{m K})$ .

### 2.2.1 Mehrzweckraum mit Textilbelag

Raumfläche:	48.23 m <sup>2</sup>
Davon mit VIPs gedämmt:	46.24 m <sup>2</sup>
Davon mit EPS gedämmt:	1.99 m <sup>2</sup>

Paneelgrößen:

- 36 Paneele mit 1200 mm x 1000 mm
- 4 Paneele mit 1000 mm x 600 mm
- 1 Paneel mit 800 mm x 800 mm

U-Wert des Fußbodens:  $U = (0.21 \pm 0.02) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .



### 2.2.2 Gruppenraum mit Linoleum

Raumfläche:	19.80 m <sup>2</sup>
Davon mit VIPs gedämmt:	18.00 m <sup>2</sup>
Davon mit EPS gedämmt:	1.80 m <sup>2</sup>

Paneelgrößen:

- 14 Paneele mit 1200 mm x 1000 mm
- 1 Paneel mit 1000 mm x 600 mm
- 4 Paneele mit 600 mm x 250 mm

U-Wert des Fußbodens:  $U = (0.22 \pm 0.02) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

### 2.2.3 Aufenthaltsraum mit Linoleum

Raumfläche:	43.30 m <sup>2</sup>
Davon mit VIPs gedämmt:	40.57 m <sup>2</sup>
Davon mit EPS gedämmt:	2.73 m <sup>2</sup>

Paneelgrößen:

- 27 Paneele mit 1200 mm x 1000 mm
- 3 Paneele mit 1000 mm x 600 mm
- 7 Paneel mit 1200 mm x 500 mm
- 4 Paneele mit 1000 mm x 300 mm
- 6 Paneele mit 600 mm x 250 mm
- 1 Paneel mit 300 mm x 250 mm

U-Wert des Fußbodens:  $U = (0.21 \pm 0.02) \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .

**Der Gesamt-U-Wert des sanierten Fußbodens beträgt  $U = 0.21 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .**

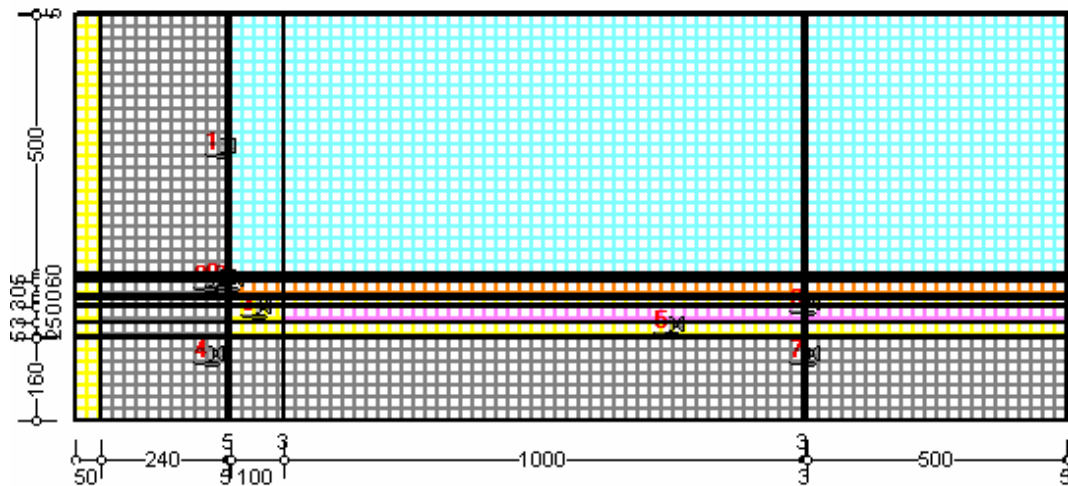
Würde die Dämmung konventionell mit Polystyrol ausgeführt, so würde der U-Wert, bei gleicher Höhe des Fußbodenaufbaus,  $0.49 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$  betragen.

**Der Einsatz der Vakuumdämmung kann den U-Wert somit mehr als halbieren.**

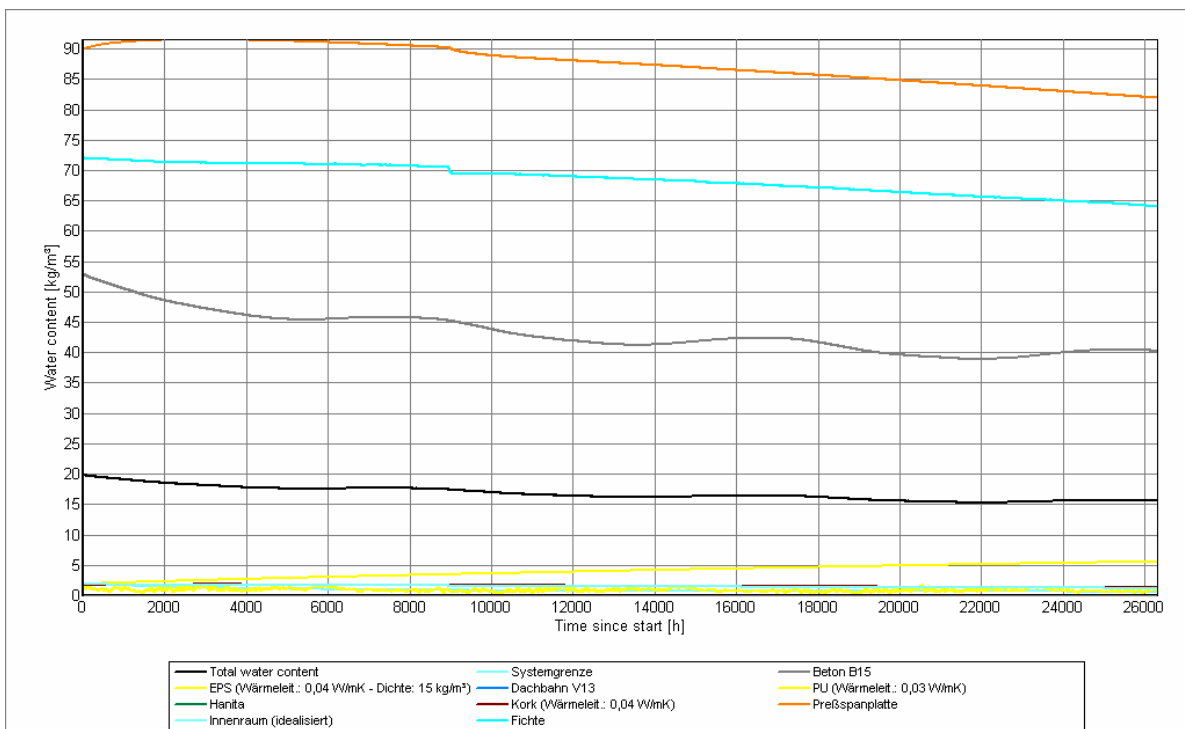
### 2.3 Betrachtungen zur Feuchte

Zur Überprüfung, ob der gewählte Fußbodenaufbau Probleme hinsichtlich Feuchtigkeit verursachen könnte, wurden Berechnungen mit dem Programm WUFI 2D durchgeführt. Der eingegebene Querschnitt ist in Abb. 5 zu sehen. Abb. 6 zeigt den Gesamt-Wassergehalt in den verschiedenen Materialien während der Simulationszeit von 3 Jahren. Es treten weder insgesamt, noch an den Monitorpunkten für diese Materialien kritische Feuchten oder Wassergehalte auf.





**Abb. 5:** Querschnitt durch den Fußbodenaufbau.

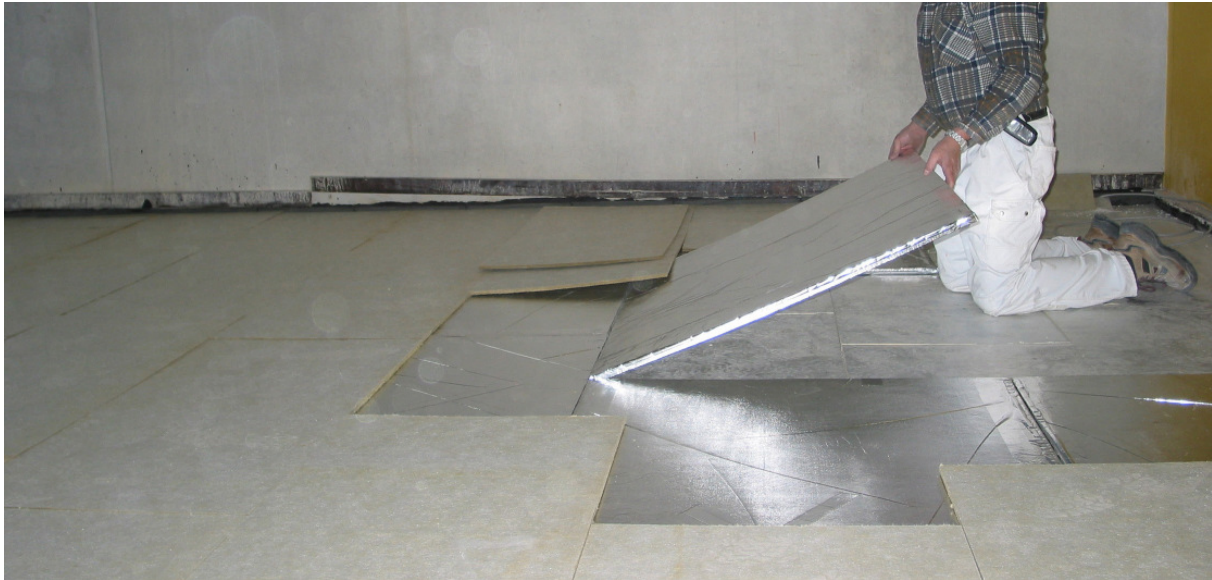


**Abb. 6:** Gesamtwassergehalt in den verschiedenen Materialien.

## 2.4 Fazit

Die Dämmung des Fußboden erweist sich als relativ unproblematisch, da hier großformatige VIPs verwendet wurden, bei denen die Wärmebrückeneffekte am Rand deutlich geringer ausfallen als bei kleineren VIPs. Aus preislichen Gründen wurden Standardgrößen verwendet. Zur Dämmung der Restfläche wurden Passtücke aus EPS verwendet, die den Vorteil haben, dass sie, im Gegensatz zu den VIPs, auf der Baustelle zugeschnitten werden können. Der Einsatz dieser Passtücke erhöht den U-Wert nur geringfügig.

Der Einbau der Vakuumisolationspaneele erfolgte durch die Firma A. Ruckgaber GmbH & Co. Wichtig war dabei die sorgfältige Verlegung der VIPs auf der Baustelle, um eine Beschädigung der empfindlichen Hülle zu verhindern. Dazu wurden die Vakuumpaneele in einem Arbeitsschritt auf die PUR-Dämmung aufgelegt und mit der Trittschalldämmung abgedeckt (Abb. 7). Danach konnte der Fußboden wieder normal betreten werden.



**Abb. 7:** Verlegung des Fußbodens im Kindergarten.

### 3 Dämmung der Fassade des Pfarrhauses mit VIPs

#### 3.1 Wandaufbau

Im Rahmen der Sanierung wurden an der Fassade des Pfarrhauses Vakuumisolationspaneele (VIPs) auf die Außenseite der bestehenden Betonwände aufgebracht. Der Wandaufbau mit Dämmung sieht dabei folgendermaßen aus (von innen nach außen), wobei die jeweiligen Wärmeleitfähigkeiten  $\lambda$  mit angegeben sind:

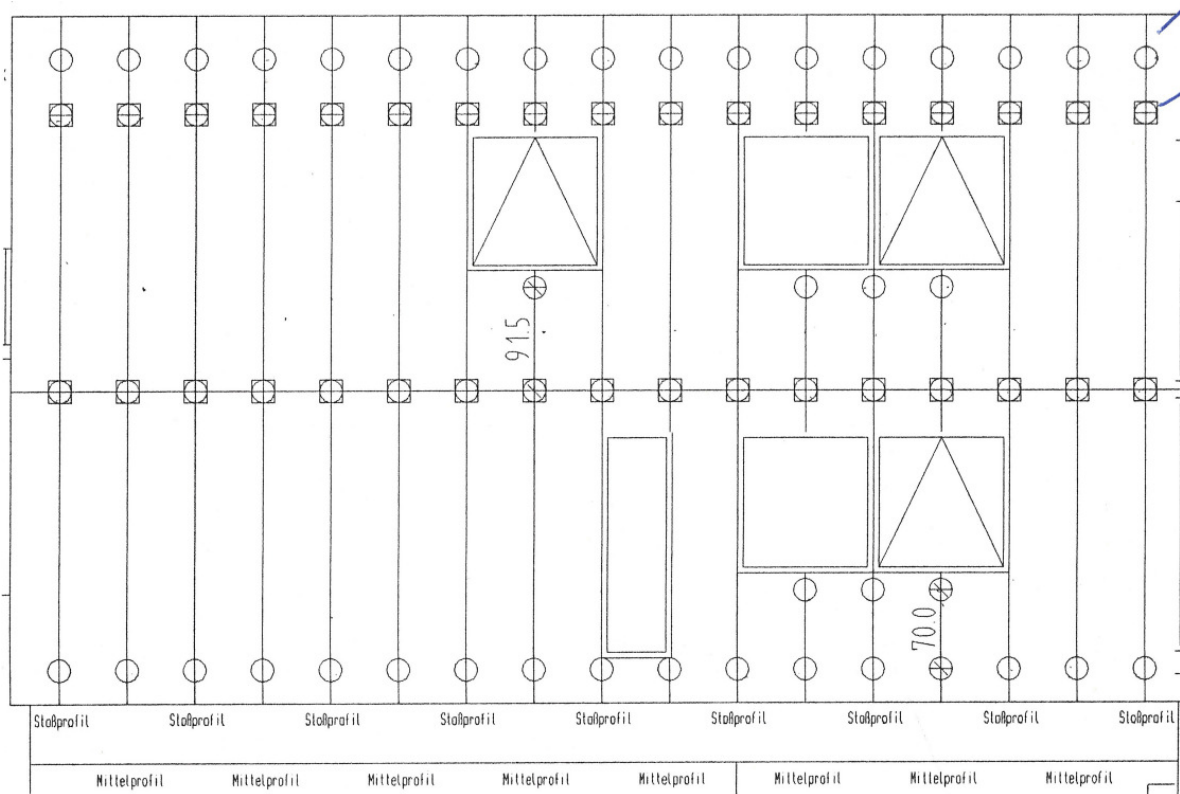
- Beton:  $d = 140 \text{ mm}$   $\lambda = 2.1 \text{ W/(m K)}$
- Expandiertes Polystyrol (EPS):  $d = 10 \text{ mm}$   $\lambda = 0.040 \text{ W/(m K)}$
- Vakuumisolationspaneel (VIP):  $d = 30 \text{ mm}$   $\lambda = 0.005 \text{ W/(m K)}$
- Expandiertes Polystyrol (EPS):  $d = 10 \text{ mm}$   $\lambda = 0.040 \text{ W/(m K)}$

Insgesamt beträgt die Dicke  $d$  des Wandaufbaus 190 mm. Auf der Außenseite kommt noch eine vorgehängte Fassade hinzu. Der Wärmeübergangswiderstand auf der Außenseite  $R_{\text{außen}}$  wird daher zu  $0.08 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  angenommen und der Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite  $R_{\text{innen}}$  zu  $0.13 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Die Vakuumisolationspaneele sind mit einer aluminisierten Kunststoffolie umhüllt, wobei die Dicke der Aluminiumschicht 300 nm beträgt. Die Vakuumisolationspaneele

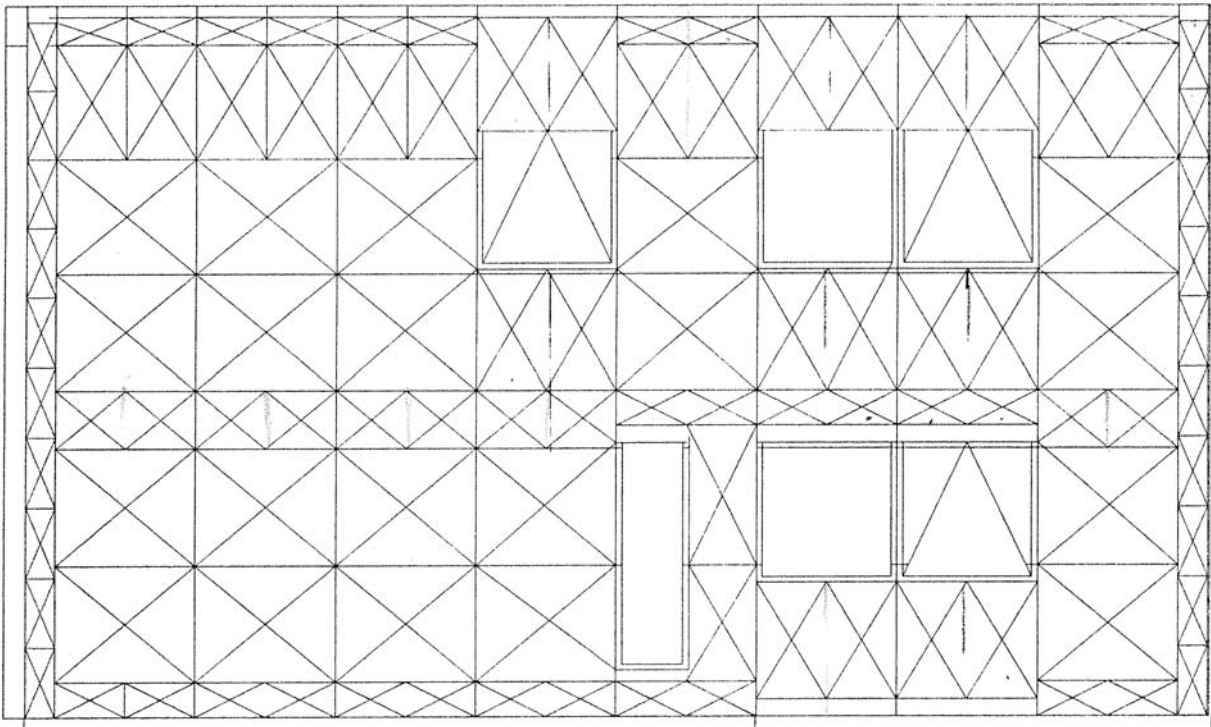
wurden vor der Anlieferung auf die Baustelle beidseitig mit Polystyrolplatten beklebt, um sie dauerhaft und während des Einbaus vor Beschädigung zu schützen.

Die aus architektonischen Gründen auf der Außenseite befindliche vorgehängte Fassade aus Faserzementplatten wurde an Aluminiumschienen mit einer Wärmeleitfähigkeit  $\lambda = 200 \text{ W/(m K)}$  befestigt. Zur Befestigung der Aluminiumschienen an der Fassade wurde das System Gaubatz-Thermostar gewählt, da es eine Minimierung der Durchdringungspunkte erlaubt. Die Durchdringungen bzw. Befestigungspunkte der Aluminiumschienen an der Außenwand sind aus Abb. 8 zu entnehmen. Die Größen der angebrachten VIPs sind in Abb. 9 am Beispiel der Ostfassade dargestellt.

Bei den Befestigungen handelt es sich um Konsolen aus Edelstahl mit einer Stärke von jeweils 3 mm. Die Konsolen wurden mit Schrauben aus Edelstahl an der Wand befestigt, wobei sich unter den Konsolen eine 5 mm dicke Dämmung mit dem Produkt Thermostop befindet, das eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.1 \text{ W/(m K)}$  aufweist. Edelstahl besitzt im Gegensatz zu Stahl eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit ( $18 \text{ W/(m K)}$  statt  $60 \text{ W/(m K)}$ ).



**Abb. 8:** Rasterplan der Ostfassade des Pfarrhauses „Guter Hirte“ mit den Befestigungspunkten bei einem Rastermaß von 600 mm.



**Abb. 9:** Verlegeplan der Ostfassade des Pfarrhauses „Guter Hirte“ mit VIPs bei einem Rastermaß von 600 mm.

### 3.2 Wärmedurchgangskoeffizient $U$

Die Berechnungen wurden mit Heat 3 durchgeführt. Für den Wärmedurchgangskoeffizienten der ungestörten Dämmung (d.h. die gesamte Wand wird mit nur einem, passend geformten Paneel abgedeckt) ergibt sich ein Wert von  $U = 0.15 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ . Außerdem ergeben sich folgende Wärmebrückenverlustkoeffizienten (WBV) bei einer VIP-Folie mit einer 300 nm dicken Aluminiumbeschichtung:

- WBV pro senkrechter Fuge mit 10 mm Breite: 0.0090 W/(m K).
- WBV pro waagerechter Fuge mit 0.2 mm Breite: 0.0022 W/(m K).
- WBV pro Konsole mit Edelstahlschraube und Thermostop: 0.0149 W/K.
- WBV für das Vordach auf der Nordseite: 0.4730 W/K.

Die Berechnungen wurden für verschiedene Konfigurationen bzw. Hausseiten durchgeführt und die Ergebnisse sind aus Tab. 1 zu entnehmen. Dabei wurden eine senkrechte Fuge von 10 mm und ein Flächenanteil der VIPs von 91 % angenommen. Für die Passstücke (d.h. die restlichen 9 % Flächenanteil) wurde eine Wärmeleitfähigkeit von  $\lambda = 0.040 \text{ W}/(\text{m K})$  angesetzt.





**Tab. 1:** Wärmedurchgangskoeffizienten  $U$  des Wandaufbaus für verschiedene Konfigurationen bzw. Hausseiten.

<b>Berechnete Dämmvariante</b>	<b><math>U / \text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}</math></b>
Westseite	$0.27 \pm 0.02$
Nordseite mit Vordach	$0.29 \pm 0.02$
Ostseite	$0.28 \pm 0.02$
Mittlerer U-Wert aller drei Seiten	$0.28 \pm 0.02$

Der Einbau der Paneele erfolgte weitgehend ohne waagerechte Spalten. An den Stellen, an denen dies nicht gelang wurden die Spalten ausgeschäumt. Die senkrechten Fugen, die z.B. an den Konsolen auftraten, wurden ebenfalls ausgeschäumt.

Insgesamt lässt sich sagen, dass bei den Dämmmaßnahmen am Pfarrhaus Guter Hirte ein Befestigungssystem ausgewählt wurde, das den besonderen Anforderungen der Vakuumisulationspaneele Rechnung trägt.

**Der Gesamt-U-Wert der sanierten Fassade beträgt  $U = 0.28 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ .**

### 3.3 Betrachtungen zur Feuchte

Ähnlich wie beim Fußbodenaufbau erfolgte eine feuchte- und wärmetechnische Überprüfung der Konstruktion mit der Simulationssoftware WUFI 2D. Für die mit VIPs gedämmten Bereiche der Fassade sowie für die Bereiche zwischen den VIPs an den jeweils zwei VIPs aneinander stoßen, treten keine kritischen Feuchten in der Wand oder an der Wandinnenseite auf.

### 3.4 Fazit

Die Dämmung einer Außenwand mit VIPs, an die eine vorgehängte Fassade angebracht wird, erfordert einen deutlich höheren Planungsaufwand als dies beim Fußboden der Fall ist. Speziell die Anzahl und Art der Befestigungspunkte der Aluminiumschienen, an denen die vorgehängten Faserzementplatten angeschraubt werden, können den U-Wert der Fassade erheblich beeinflussen. Aufgrund der sehr geringen Dämmstärke der Vakuumisulationspaneele und der extrem niedrigen Wärmeleitfähigkeit der VIPs, wirken sich Durchdringungen der Dämmebene wesentlich stärker aus, als dies bei konventionellen Dämmstoffen der Fall ist. Die Verwendung von Edelstahlschrauben statt Stahlschrauben vermindert den Wärmedurchgangskoeffizienten bereits signifikant. Darüber hinaus wurde bei der vorliegenden Fassade die Anzahl der Befestigungspunkte möglichst gering gehalten.

Die Anbringung der Vakuumisulationspaneele an der Fassade erfolgte durch die Firma Schmiedle & Kaiser GmbH. Die Abmessungen der VIPs wurden dabei auf die Abstände der Befestigungspunkte angepasst.

Ein Ausschnitt der Pfarrhausfassade ist aus Abb. 10 zu entnehmen.

**Aluminiumprofil zur Befestigung der Faserzementplatten**

**Edelstahlkonsole zur Befestigung der Alu-Profile**



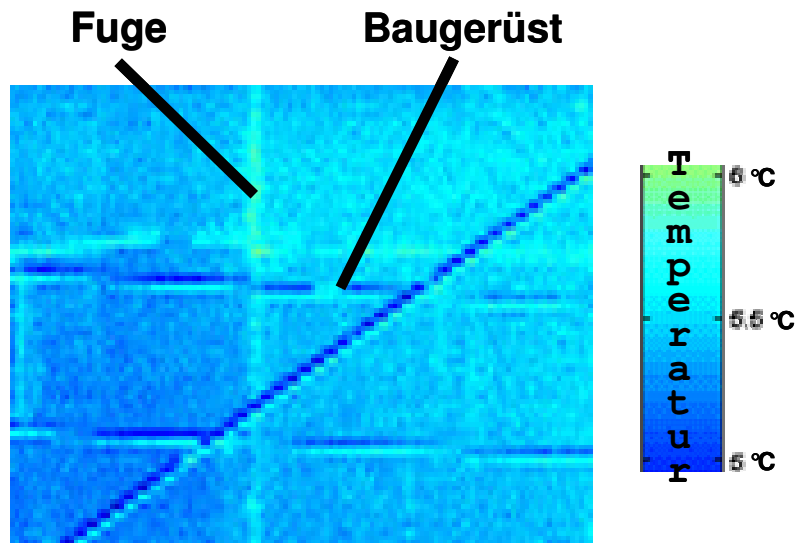
**nord-östliche Gebäudeecke**

**Stirnseite eines VIP mit beidseitiger EPS-Beklebung**

**Ausgeschäumte Fuge zwischen den VIPs**

**Abb. 10:** Foto der nord-östlichen Gebäudeecke im Rohbau. Zu erkennen sind die beidseitig mit EPS-Platten kaschierten Vakuumisulationspaneele, sowie die Fugen zwischen den VIPs, die ausgeschäumt wurden. Die Aluminiumprofile befinden sich vor der Dämmebene und haben keinen direkten Kontakt mit der Außenwand. Die Befestigung an der Betonwand erfolgte mittels Edelstahlkonsolen, welche die Dämmebene durchdringen.

Zur Überprüfung der Vakuumisulationspaneele wurden vor der Anbringung der Faserzementplatten Wärmebildaufnahmen der Außenwand mit VIPs durchgeführt. Ein Ausschnitt ist in Abb. 11 zu sehen. Es war keine Beschädigung der eingebauten Paneele erkennbar.



**Abb. 11:** Wärmebildaufnahme des Pfarrhauses (Ausschnitt) im Rohbau nach Anbringung der Vakuumisulationspaneele und vor Befestigung der vorgehängten Fassade. Die Fugen zwischen den Paneelen sind als geringfügige Temperaturerhöhungen zu erkennen. Im Bild ist außerdem das vor der Fassade befindliche Baugerüst sichtbar.

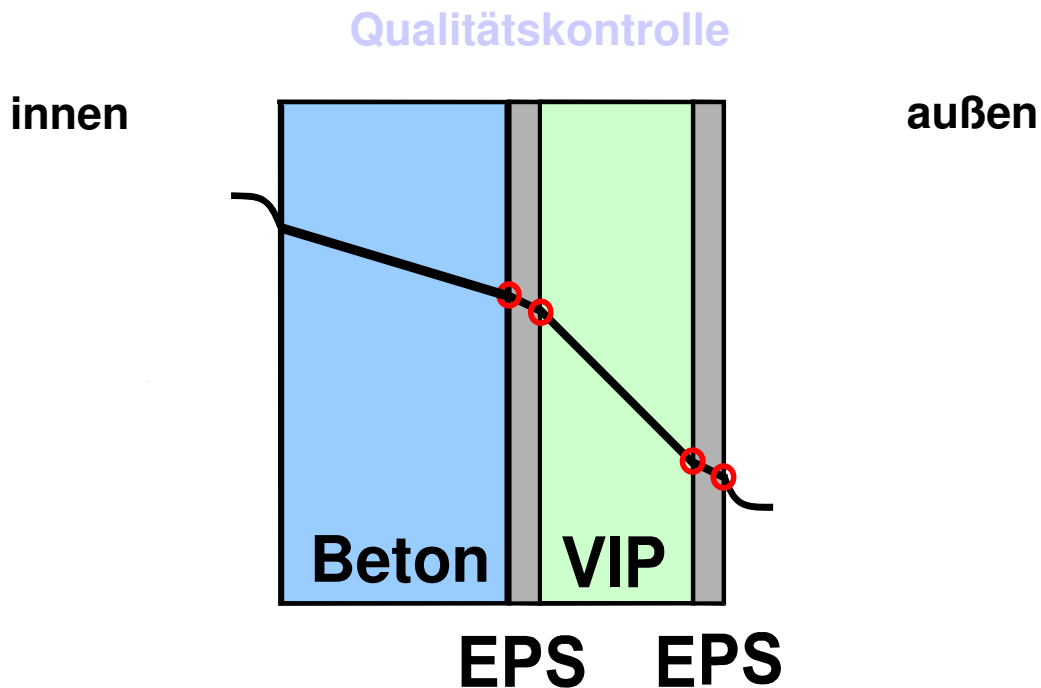
#### 4 Qualitätssicherung

Da sich der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand deutlich erhöht, falls die Paneele belüftet, d.h. beschädigt sind, ist eine Langzeitprüfung der Qualität der VIPs notwendig. Im eingebauten Zustand sind hierzu grundsätzlich zwei Verfahren möglich: Zum einen lassen sich VIPs mit einer höheren Wärmeleitfähigkeit im Winter mit einer Wärmebildkamera aufgrund der dann höheren Oberflächentemperatur außen erfassen, zum anderen kann dies auch dadurch erreicht werden, dass die VIPs mit Temperatursensoren versehen werden, was jedoch in der Montage aufwändiger ist.

Bei der vorgehängten Fassade ist das Aufspüren von belüfteten VIPs mit einer Wärmebildkamera nicht oder nur mit großem Aufwand (abnehmen der vorgehängten Faserzementplatten) möglich. Daher kam im Rahmen dieses Projektes die zweite Methode zum Einsatz. Ein weiterer Vorteil des Einbaus von Temperatursensoren besteht darin, dass man lückenlose Werte über die Temperaturverteilung innerhalb des Wandaufbaus erhält, aus denen man ein Versagen einzelner VIPs zeitlich genau erfassen kann.

Der Einbau der Temperatursensoren ist in Abb. 12 skizziert. Um die Qualität der Paneele zu prüfen, soll deren Wärmeleitfähigkeit bestimmt werden. Ein Druckanstieg in einem Paneel, aufgrund einer Beschädigung oder eines Materialversagens, ist mit einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit korreliert. Es werden mindestens zwei Thermolemente benötigt, um den Wärmestrom durch die Wand zu bestimmen. Dazu kann z.B. die bekannte Wärmeleitfähigkeit von EPS verwendet werden. Dann braucht man mindestens ein drittes Thermolement, um die Wärmeleitfähigkeit des

VIPs zu ermitteln. Um die Genauigkeit der Methode zu erhöhen, ist ein viertes Thermoelement im Wandaufbau wünschenswert. Zusätzlich werden noch die Innenraumtemperatur und die Außenlufttemperatur gemessen. Da vier Thermoelemente pro Paneel insgesamt eine sehr große Zahl an Thermoelementen bedeuten würde, wurden im Rahmen des Projektes auch Paneele mit einem, zwei bzw. drei Thermoelementen ausgestattet, um die Genauigkeit der Methode bei weniger Thermoelementen zu überprüfen.



**Abb. 12:** Integration von Temperatursensoren in den Wandaufbau zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit der Vakuuminulationspaneele.

Es wurden sowohl Berechnungen als auch Messungen vorgenommen, um den Zusammenhang zwischen Druck im Paneel, Wärmeleitfähigkeit des Paneels und der Oberflächentemperaturen auf dem Paneel zu ermitteln. Die theoretischen Werte stimmten dabei sehr gut mit den Messwerten überein. Eine Beispielmessung ist in Abb. 13 gezeigt. Es wurden Temperatursensoren an den beiden Oberflächen der VIPs und der EPS-Umhüllung angebracht (ähnlich wie in Abb. 12), jedoch ohne Beton und mit zwei 20 mm dicken EPS-Schichten. Die Innen- und Außentemperaturen wurden auf 20 °C und 0 °C geregelt. Auf diese Weise ist es möglich, die im eingebauten Zustand durchgeführten Messungen theoretisch zu interpretieren sowie auf die Wärmeleitfähigkeit und damit verbunden auf den Druck im Paneel bzw. dessen Qualität zu schließen, auch bei weniger eingebauten Sensoren pro Paneel.

Die gasdruckabhängige Wärmeleitfähigkeit der Paneele ist in Abb. 14 für ein Vakuuminulationspaneel (nanoporöses SiO<sub>2</sub>), im Vergleich zu einem evakuierten konventionellen Dämmstoff (Schaum), gezeigt. Man erkennt, dass selbst die maximale Wärmeleitfähigkeit eines Vakuuminulationspaneels im belüfteten Zustand noch deutlich geringer ist wie die Wärmeleitfähigkeit konventioneller Dämmstoffe.



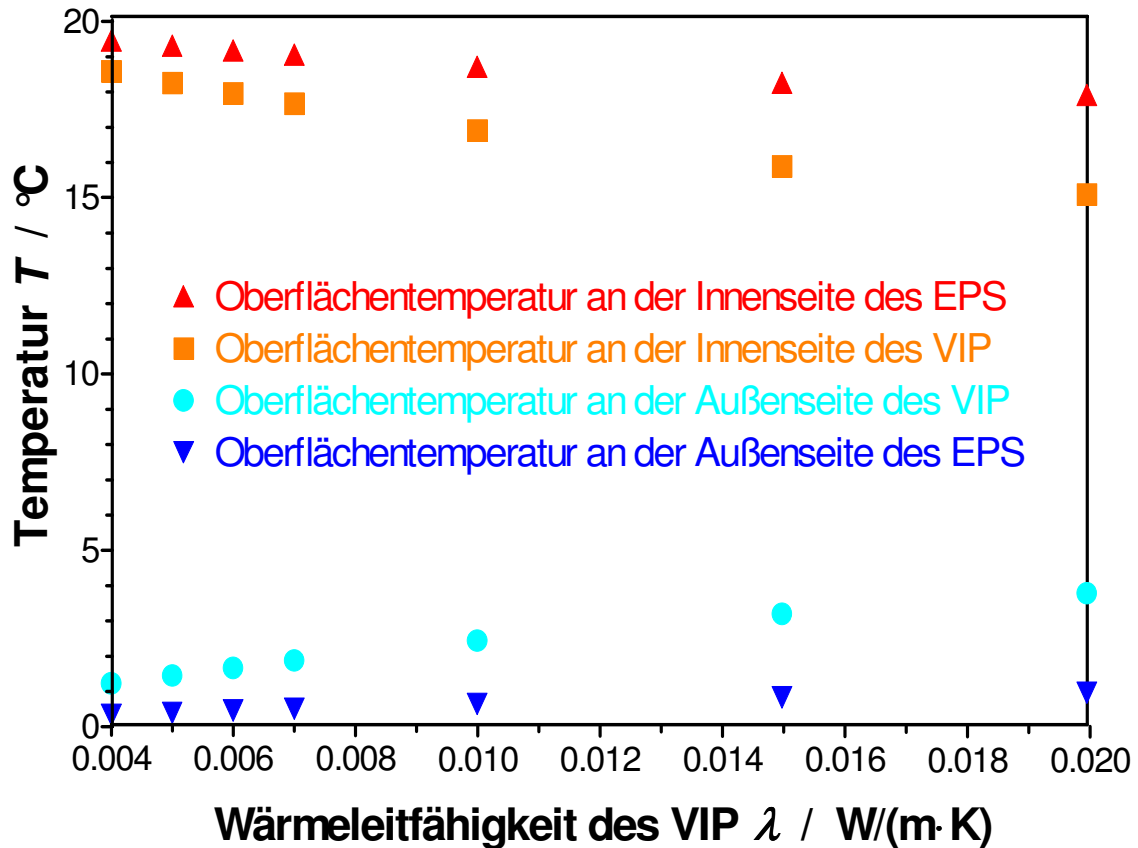


Abb. 13: Oberflächentemperaturen eines VIPs und der umhüllenden EPS-Schichten.

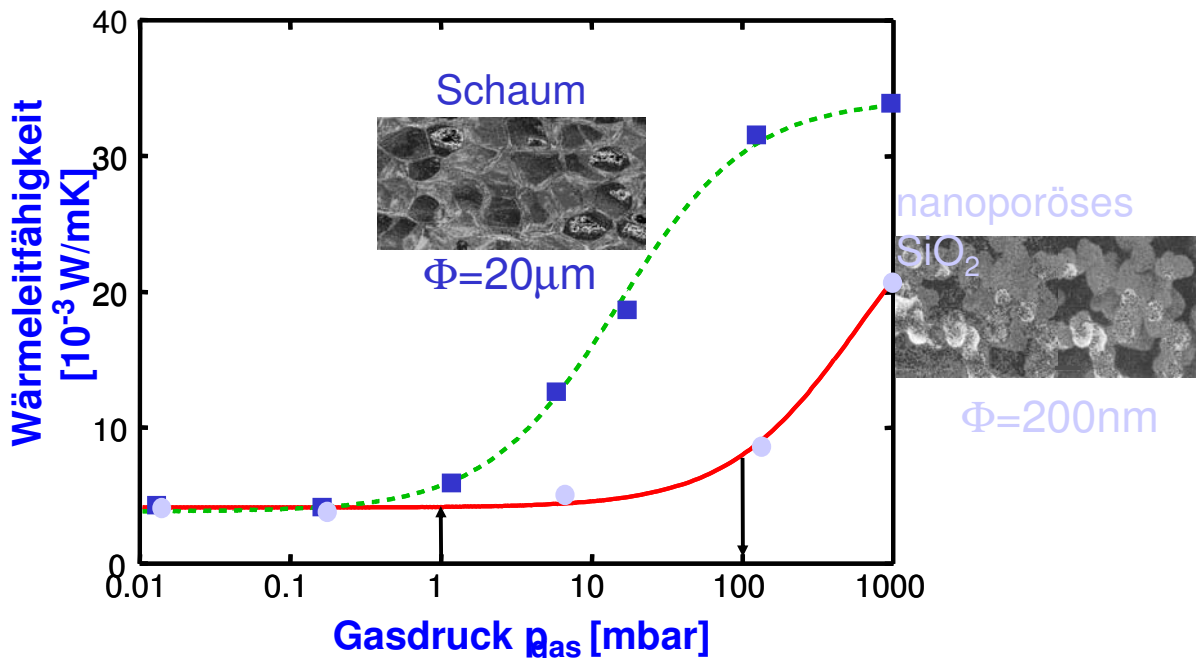


Abb. 14: Gasdruckabhängige Wärmeleitfähigkeit von nanoporösem SiO<sub>2</sub> (findet in den VIPs Verwendung) und von konventionellem Schaum. Die Wärmeleitfähigkeit eines VIPs ist selbst im belüfteten Zustand mit 0.02 W/(m K) nur halb so groß, wie die Wärmeleitfähigkeit von EPS.



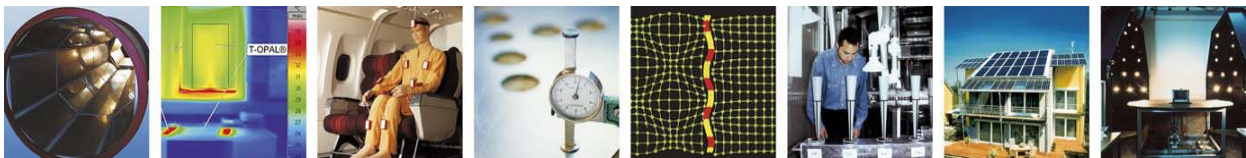
**Titel:**  
**Energetische Verbesserung der Bausubstanz,  
Teilkonzept 3: Messtechnische Validierung der Sanierung eines  
Gemeindezentrums unter Einsatz von Vakuumdämmpaneelen**

**Förderkennzeichen:** 032 9750R

**Durchführung:**  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik  
Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart  
[www.ibp.fhg.de](http://www.ibp.fhg.de)

**Projektleitung:** Johann Reiß

**Laufzeit:** 1. Juli 2003 bis 31. März 2007



## **Energetische Sanierung des kath. Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen**

Johann Reiß

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

## Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

Bauherr: Katholische Kirchengemeinde Ulm-Böfingen



Gemeindehaus  
Bj.: 1966



Kindergarten  
Bj.: 1974



Pfarrhaus  
Bj.: 1974

## Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

### Beteiligte

Bauherr: Katholische Kirchengemeinde Guter Hirte

Architekt: Günter Hermann Architekten

Wissensch. Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Begleitung: Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V.

Bauphysik: Gesellschaft für bauphysikalische Objektberatung mbH

Simulation: VIKA-Integral Ingenieure

Haustechnik: Trippe & Partner Ingenieurgesellschaft mbH

## **Sanierungsgründe**

- **Bauschäden durch eindringendes Wasser**
- **Verschlissener Zustand der Fassade und der Räume**
- **Veraltete Wärmeverteilstation im Gemeindehaus**
- **Ungenügende Regelungsmöglichkeit der Vorlauftemperaturen**
- **Keine Möglichkeit der Nacht- und Wochenendabsenkung**
- **Unzureichend gedämmte Heizungsleitungen**

## **Ziel**

- **Ökologische Bestandsentwicklung durch Steigerung der Energie- und Nutzungseffizienz des Gebäudebestandes unter Berücksichtigung der architektonischen Qualitäten**
- **Minimierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste**
- **Passive Solarenergienutzung**
- **Intelligente technische Unterstützung des Nutzerverhaltens**
- **Effizienzsteigerung der Heizanlage**
- **Solare Unterstützung der Brauchwassererwärmung**

### Maßnahmen – Gemeindehaus

- Dämmung der Gebäudehülle (Innendämmung)
- Minimierung der Wärmebrücken
- Anpassung / Umbau der Fernwärmeübergabestation
- Einzelraumregelung mit Abschaltung der Heizflächen über Fensterkontakt
- Erneuerung der Raumheizflächen an der Südfassade
- Austausch von vorhandenen Leuchtmitteln und Leuchten gegen Energiesparbeleuchtung
- Sanierung der Elektroinstallation
- Photovoltaikanlage an der Südfassade
- Visualisierungssystem für Photovoltaik, Wärme und Elektro

### Südfassade Gemeindehaus nach Sanierung



## Gemeindesaal nach Sanierung



### Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

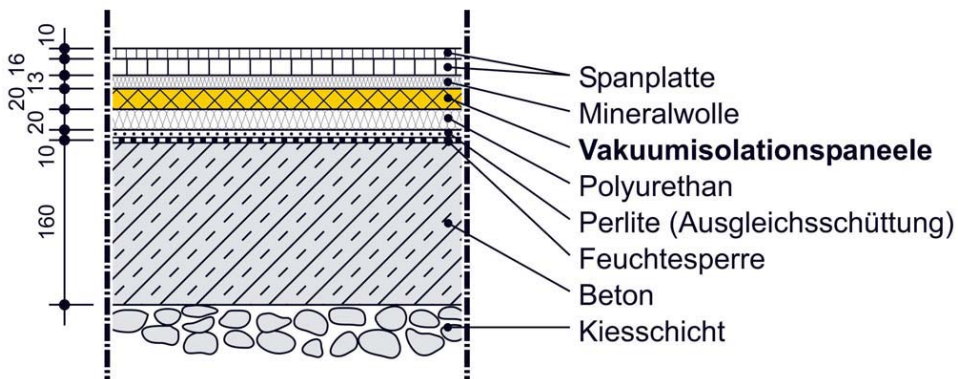
#### Maßnahmen – Kindergarten / Appartements

- Dämmung der Gebäudehülle mit 14 cm Mineralwolle
- Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung
- Dämmung des KIGA-Fußbodens mit Vakuumisulationspaneelen
- Schaffung von Pufferräumen zu Minimierung der Wärmebrücken
- Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung (nur für Kindergarten)
- Solartechnische Anlage zur Warmwasserbereitung Kindergarten
- Anpassung / Umbau der Heizkreisverteilung
- Einzelraumregelung mit Abschaltung der Heizflächen über Fensterkontakt
- Erneuerung der Raumheizflächen an der Südfassade EG
- Erneuerung Wärmedämmung der Heizungs-Verbindungsleitung zwischen Gemeindezentrum und Kindergarten im Bereich des zugänglichen Kanals



## Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

### Fußbodenaufbau



$$U = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}$$



## Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen



Schaffung von Pufferzonen zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung





## Kindergarten nach Sanierung



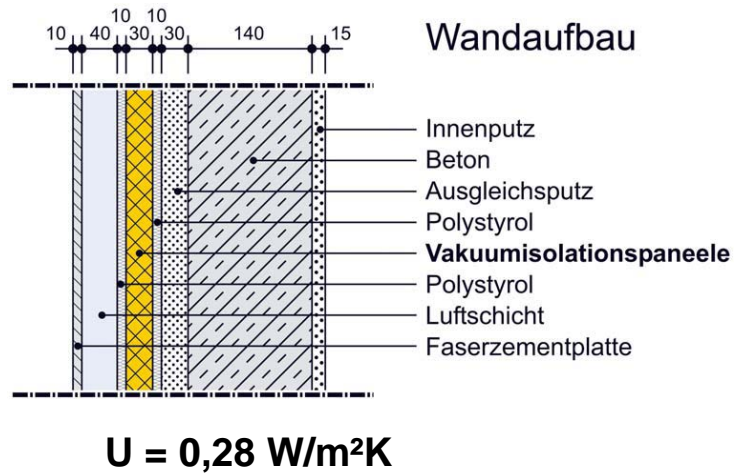
### Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

#### Maßnahmen – Pfarrhaus

- Dämmung der Gebäudehülle mit Vakuumisulationspaneelen
- Dreischieben-Wärmeschutzverglasung
- Minimierung der Wärmebrücken (Abtrennen der Balkone)
- Außenliegende Verschattung
- Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung
- Solartechnische Anlage zur Warmwasserbereitung
- Einzelraumregelung mit Abschaltung der Heizflächen über Fensterkontakt
- Erneuerung der Raumheizflächen an der Südfassade
- Austausch von vorhandenen Leuchtmitteln und Leuchten gegen Energiesparleuchten
- Erneuerung Wärmedämmung der Heizungs-Verbindungsleitung zwischen Gemeindezentrum und Pfarrhaus im Bereich des Kanals

# Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen

## Außenwanddämmung mit Vakuumisulationspaneelen



# Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen



Fassade vor Anbringung der VIPs



Aufbringung des Klebemörtels

## Modernisierung des katholischen Gemeindezentrums „Guter Hirte“ in Ulm-Böfingen



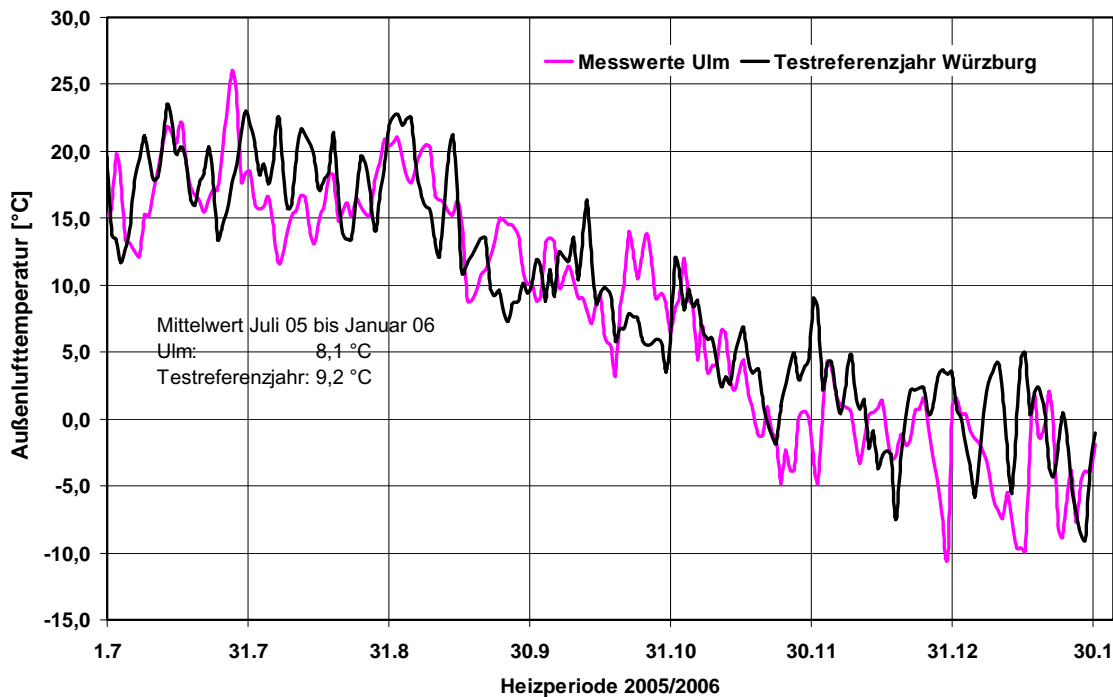
Anbringung der VIPs



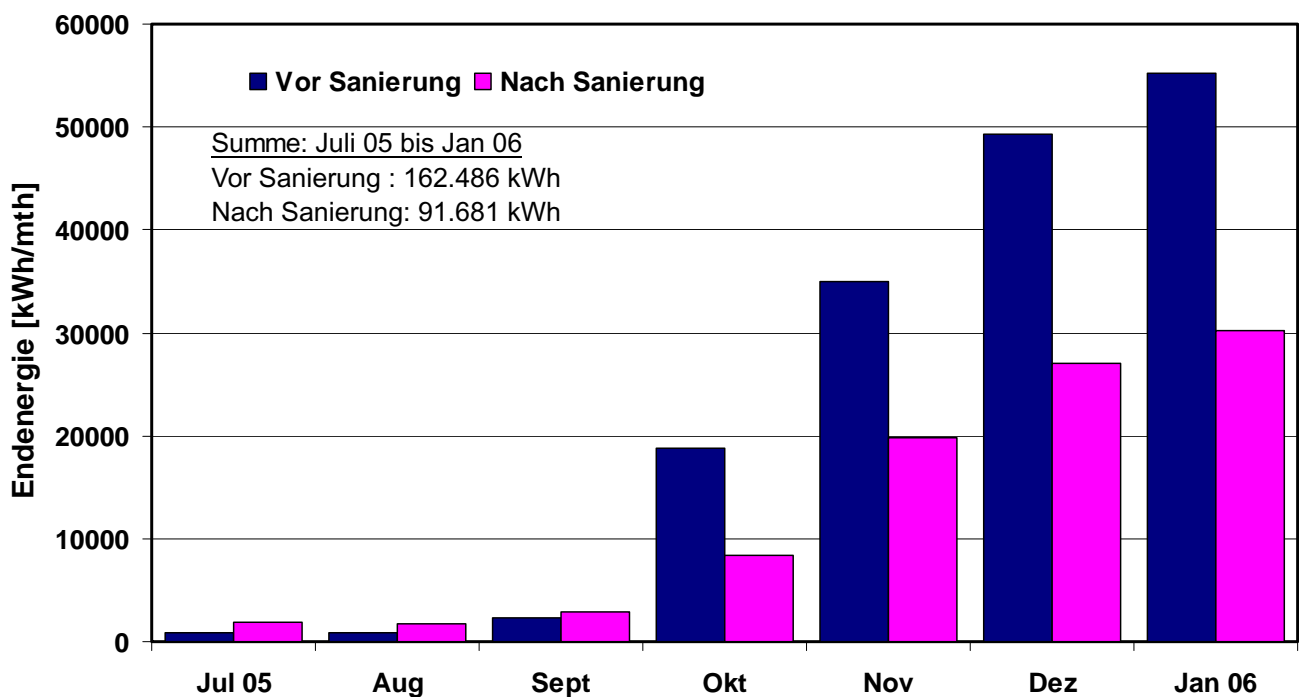
Pfarrhaus nach Sanierung



## Außenlufttemperatur

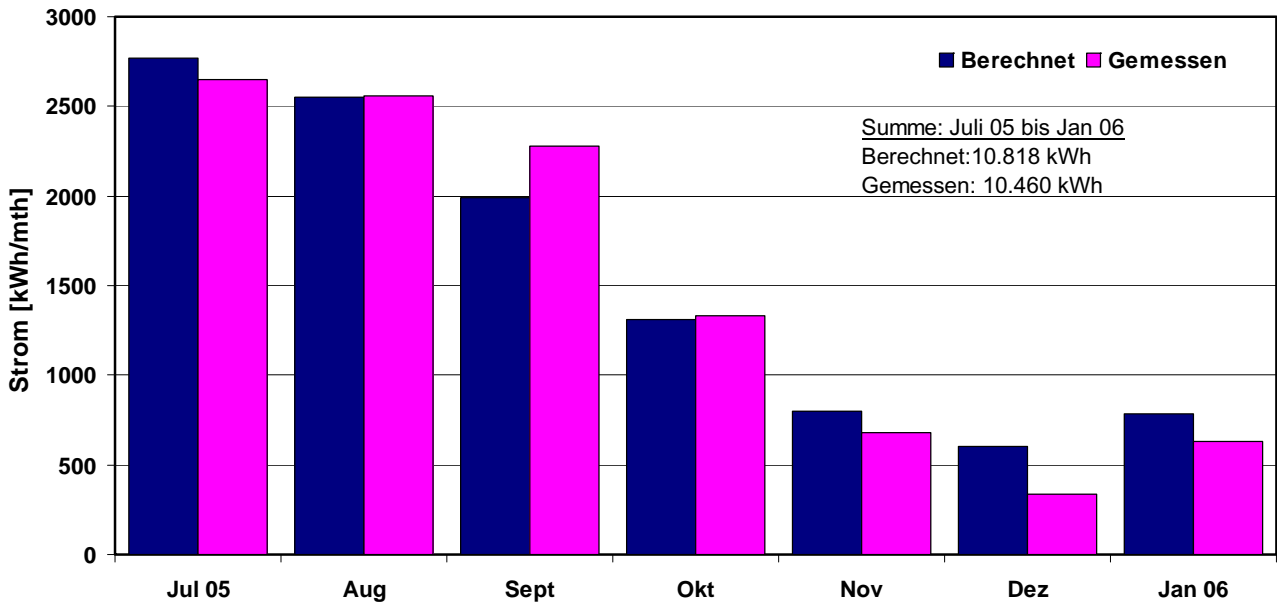


## Gesamt - Endenergieverbrauch für Heizung und Trinkwassererwärmung für Gemeindehaus, Kindergarten, Pfarrhaus



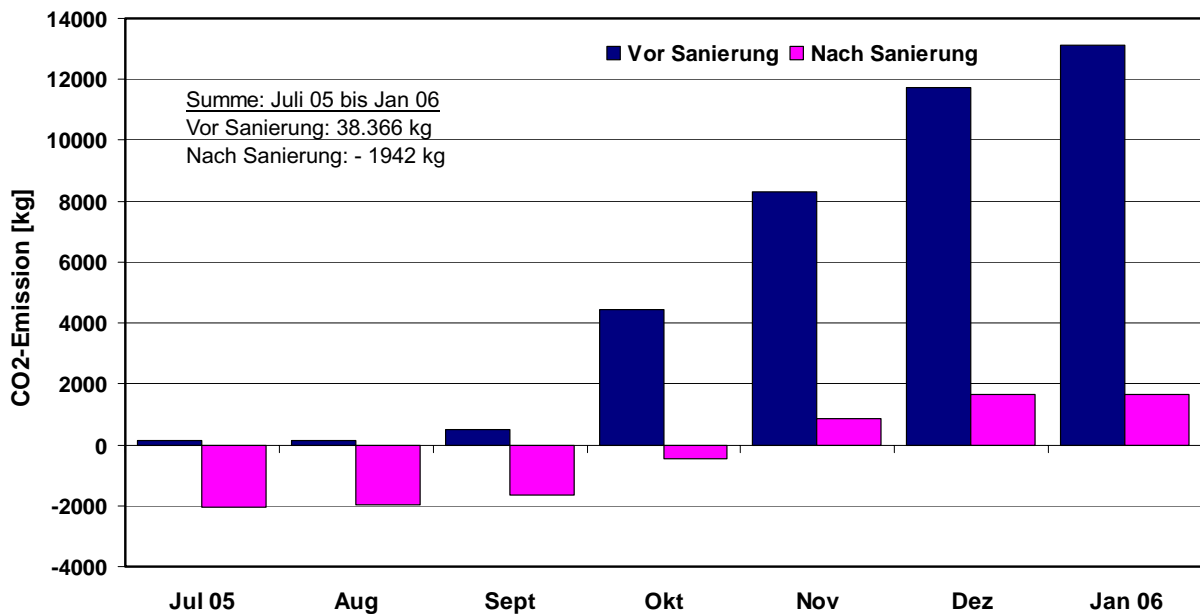


# Energiegewinne Photovoltaik



**Installierte Leistung: 1,92 kW Fassade**  
**19,04 KW Dach**  
**1,0 KW Pylone**

# Summe CO<sub>2</sub>-Emissionen Gemeindehaus, Kindergarten und Pfarrhaus



**Emissionsfaktor Fernwärme vor Sanierung: 0,238 kg/kWh**  
**Emissionsfaktor Fernwärme nach Sanierung: 0,071 kg/kWh**  
**Emissionsfaktor Strom: 0,623 kg/kWh**





## Sanierung des Altenpflegeheims in Stuttgart-Sonnenberg

Förderkennzeichen: **0329750H**

Durchführung: Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz,  
Gaisburgstraße 4, 70182 Stuttgart  
[www.stuttgart.de/energie](http://www.stuttgart.de/energie)

Projektleitung: Dr. Jürgen Görres, 0711/216-2912, [Juergen.Goerres@stuttgart.de](mailto:Juergen.Goerres@stuttgart.de)

Laufzeit: 01.12.2000 bis 31.03.2007

Dr. Jürgen Görres

Johann Reiß

Landeshauptstadt Stuttgart

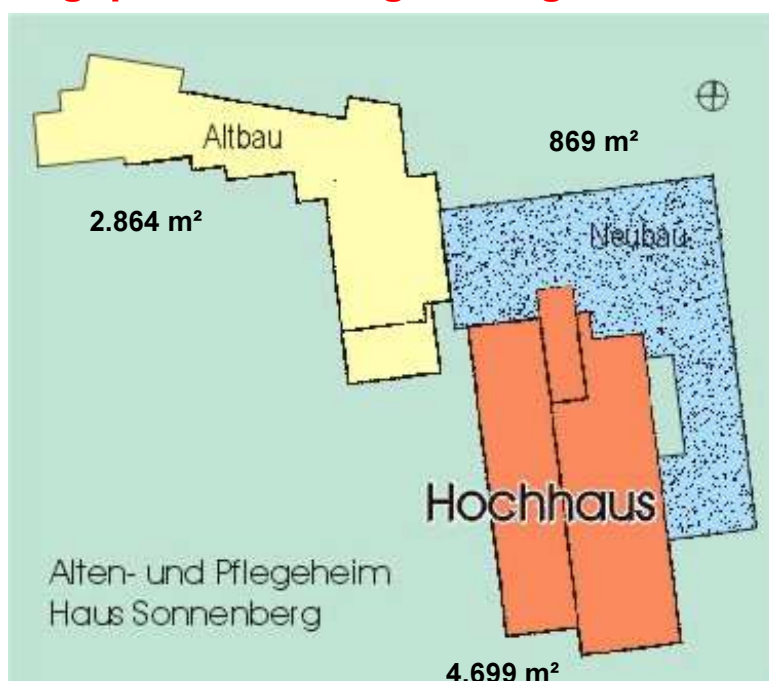
Fraunhofer-Institut für Bauphysik Stuttgart

Dr. Görres

Amt für Umweltschutz



### Lageplan und Energiebezug



Gesamtfläche  
8.432 m<sup>2</sup>

Energieverbrauch  
**2.500 MWh Gas**  
**500 MWh Strom**

Dr. Görres

Amt für Umweltschutz

## Nord-Ostfassade



### Balkonabtrennung



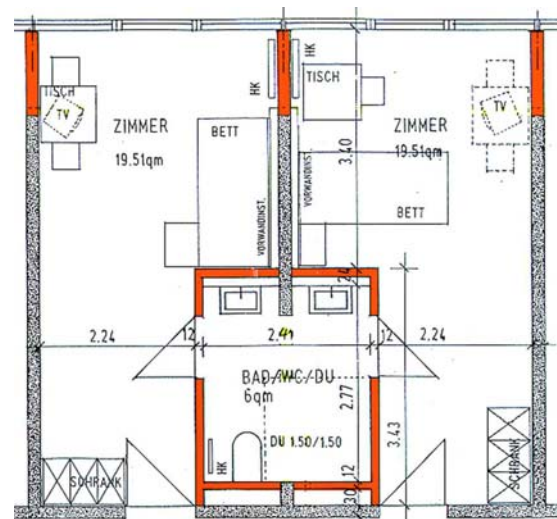
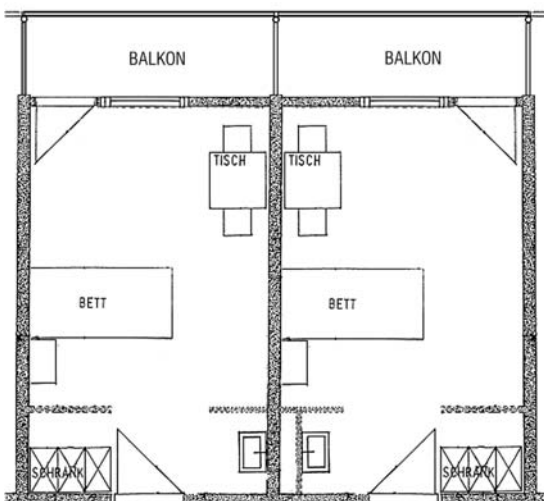
2,8 W/m<sup>2</sup>K

0,9 W/m<sup>2</sup>K

## Zimmernaufteilung

vorher

nachher

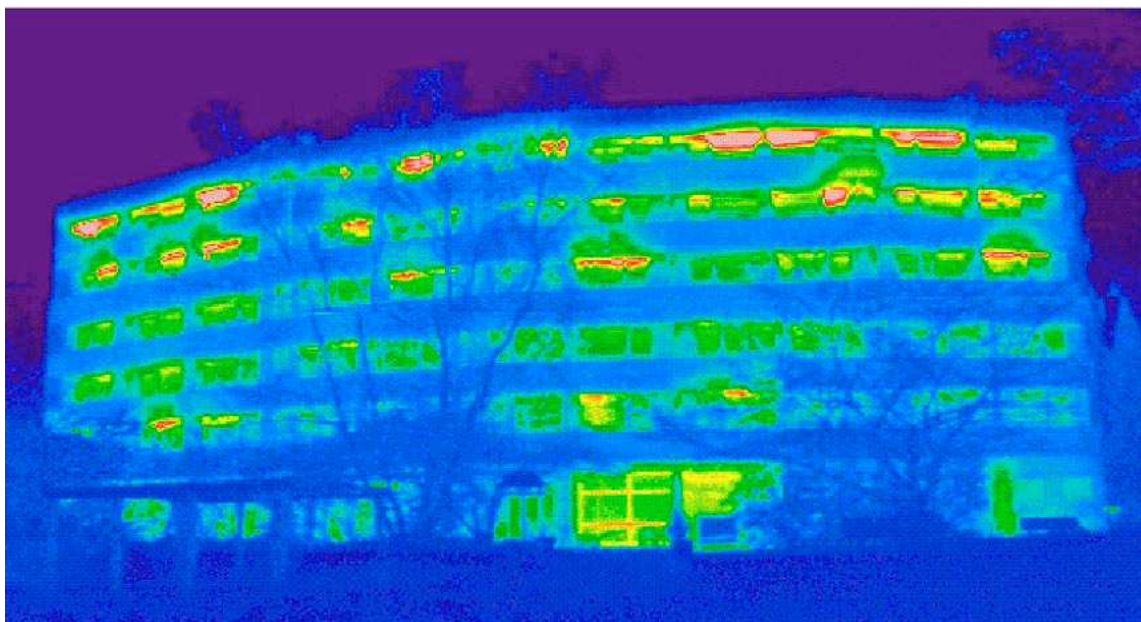




## Zimmer



## Thermographieaufnahme der Westfassade





## Heizung



2 Gaskessel mit 1800 kW

## Neue Wärmeversorgung

BHKW (50 kW<sub>el</sub>, 100 kW<sub>th</sub>)  
mit Abgaswärmetauscher



Brennwertkessel



Reduzierung der Heizleistung von auf 720 kW



## Dämmung der Fassade, Dach und der Kellerdecke



Außenwand  $U = 0,24 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Fenster  $U = 0,9 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Dach  $U = 0,13 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Kellerdecke =  $0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

## Innovative energiesparende Technologien



Tageslichtlenksystem



tageslichtabhängige Regelung

## Neuerungen in den Zimmern



Einzelraumregelung



Zuluftelemente in der Fassade



Abluft im Bad

## Luftkollektor zur solaren Vorerwärmung

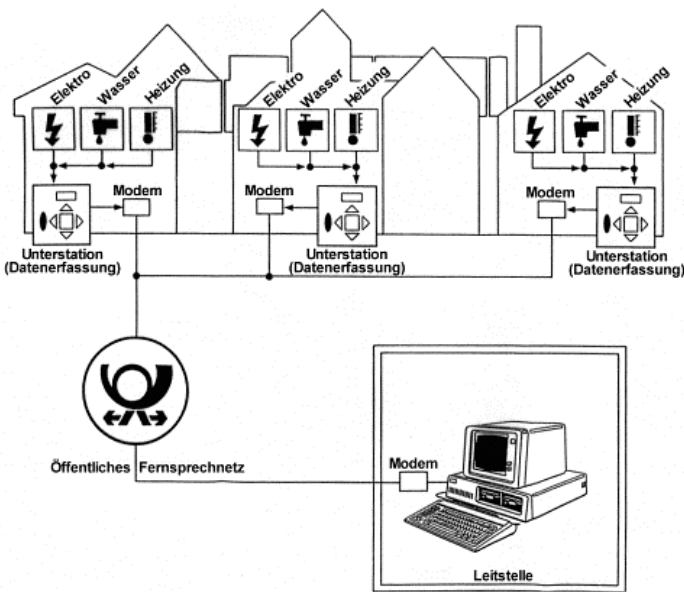


Einstellung

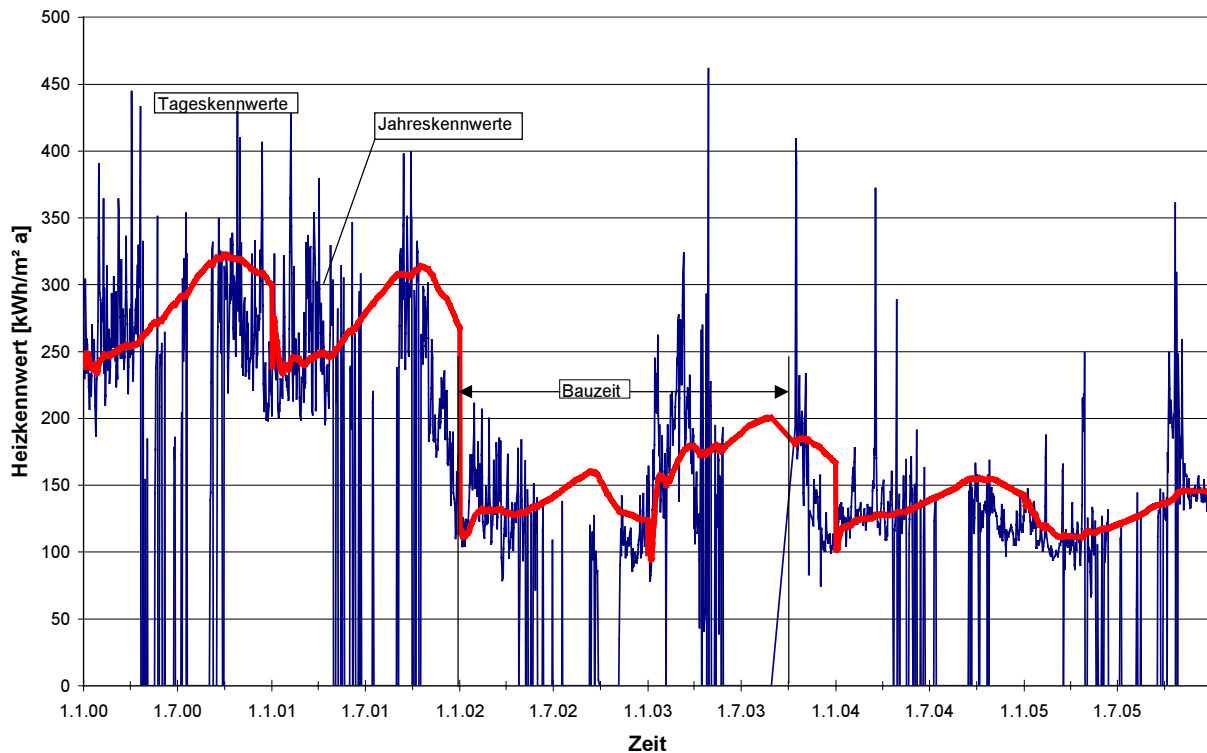




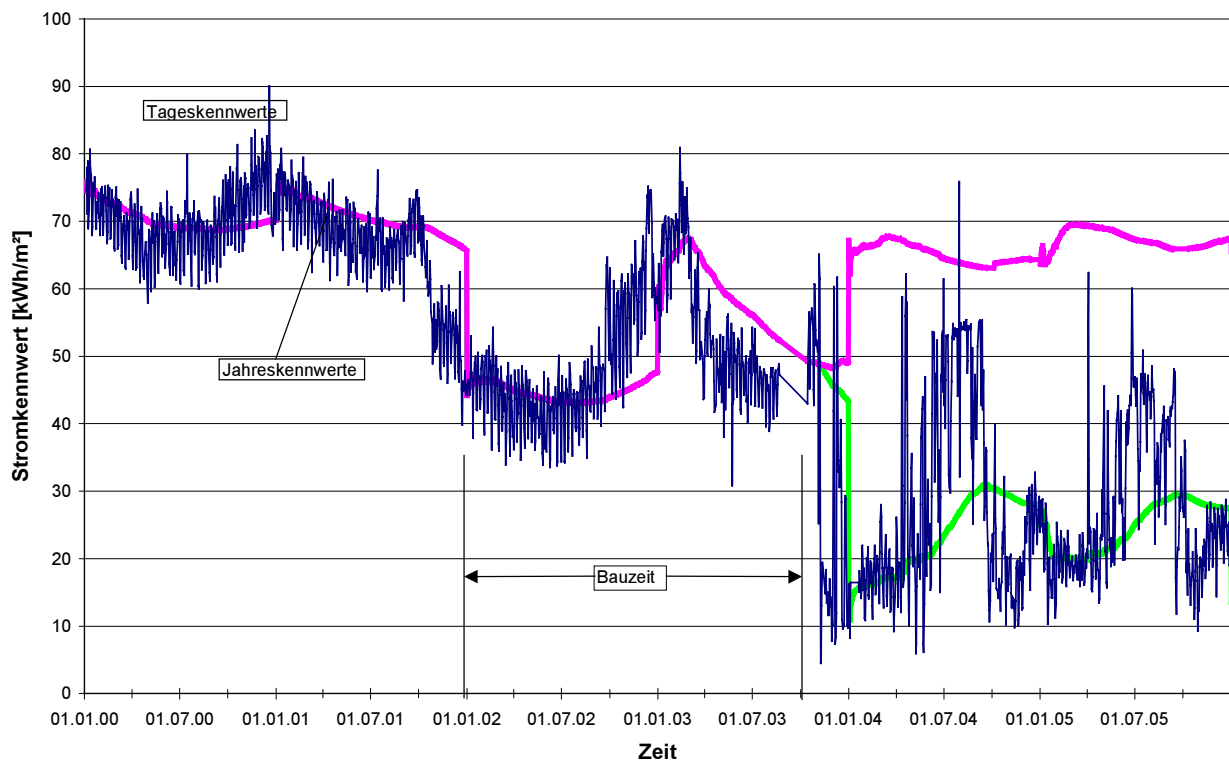
## Stuttgarter-Energie-Kontroll-System



## Entwicklung des Heizkennwerts (Gesamtkomplex)



## Entwicklung des Stromkennwerts (Gesamtkomplex)



## Motivation für das Projekt

- Energetisch vorbildhafte Sanierung eines bestehenden Gebäudes
- Bauliche Verbesserung der Gebäudehülle → Erhöhung der Behaglichkeit
- Sanierung der Räume und der Anlagentechnik (Beleuchtung, Heizung, Lüftung)
- Kosten-Nutzen-Analyse der einzelnen Maßnahmen
- Auswertung der Sanierungsmaßnahmen
- Übertragung auf andere Gebäude in Stuttgart, in Deutschland, in Europa oder ...





## Dank an

### Projektpartner



LANDES-  
HAUPTSTADT  
STUTT GART



### Förderung



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



Projekträger des BMBF und BMWi



**Titel:**

**Erarbeitung und Realisierung eines modellhaften Sanierungskonzepts für ein Alten- und Pflegeheim in Stuttgart-Sonnenberg**

**Förderkennzeichen:** 0329750H

**Durchführung:**

Landeshauptstadt Stuttgart – Amt für Umweltschutz – Abt. Energiewirtschaft

**Projektleitung:** Dr. Görres

**Laufzeit:** bis 31.03.2007



## **Sanierung des Altenpflegeheims in Stuttgart-Sonnenberg**

Johann Reiß  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

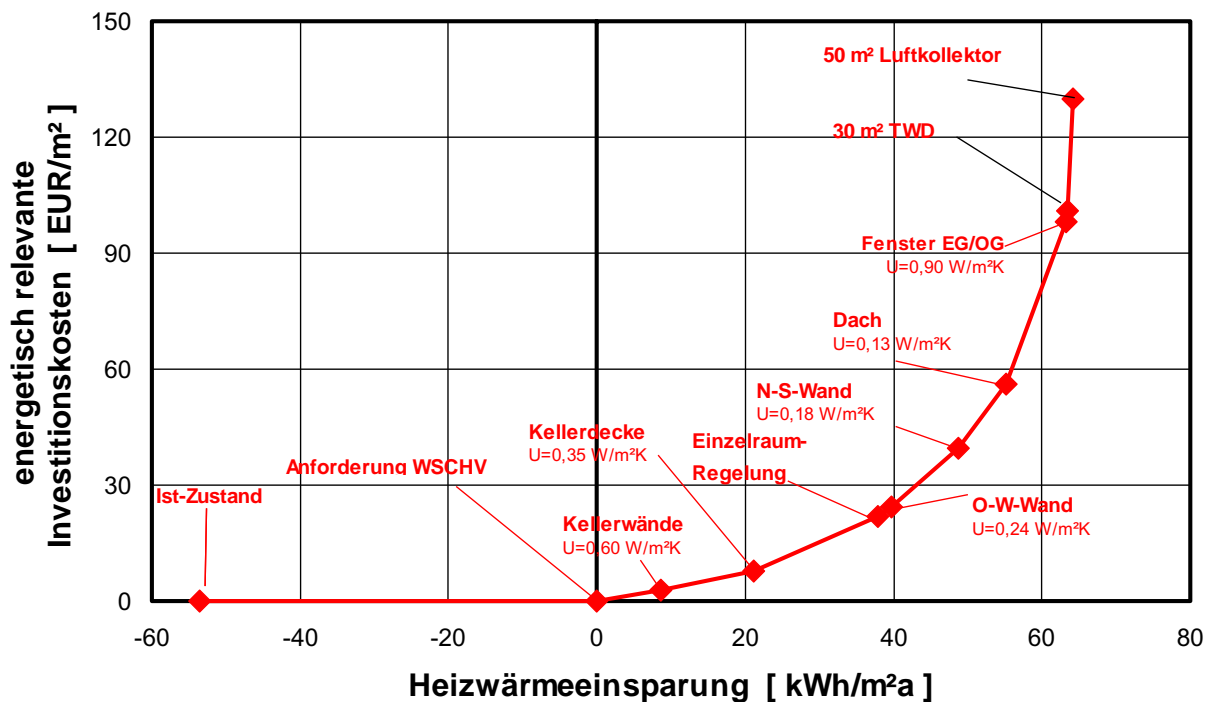
# Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

## Maßnahmen an der Gebäudehülle

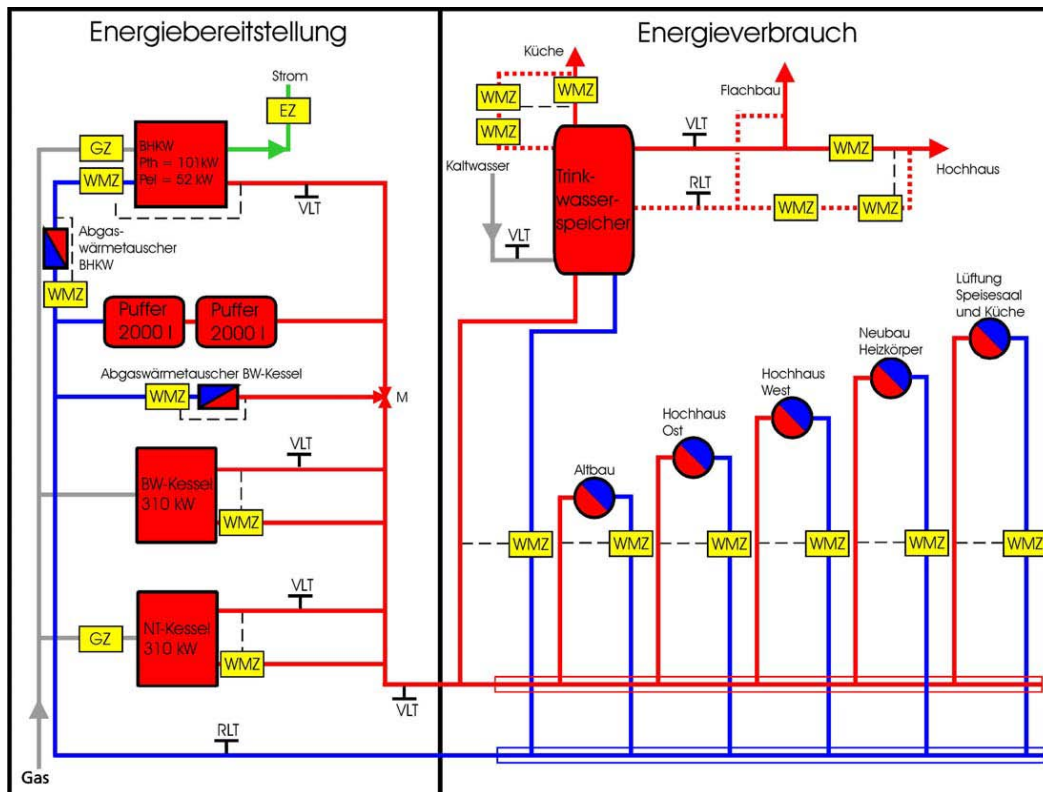
Bauteil	U-Wert [W/m²K]		Maßnahmen
	Vor Sanierung	Nach Sanierung	
Ost-West-Fassade	0,66	0,24	20 cm Mineralwolle
Nord-Süd-Fassade	1,4	0,18	20 cm WDVS
Fenster	2,5 - 2,8	0,9	3-fach-Wärmeschutzverglasung
Dach	0,7	0,13	30 cm Hartschaumdämmung
Kellerdecke	2,18	0,35	12 cm Mineralwolle

# Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

## Kostenpotentialkurve



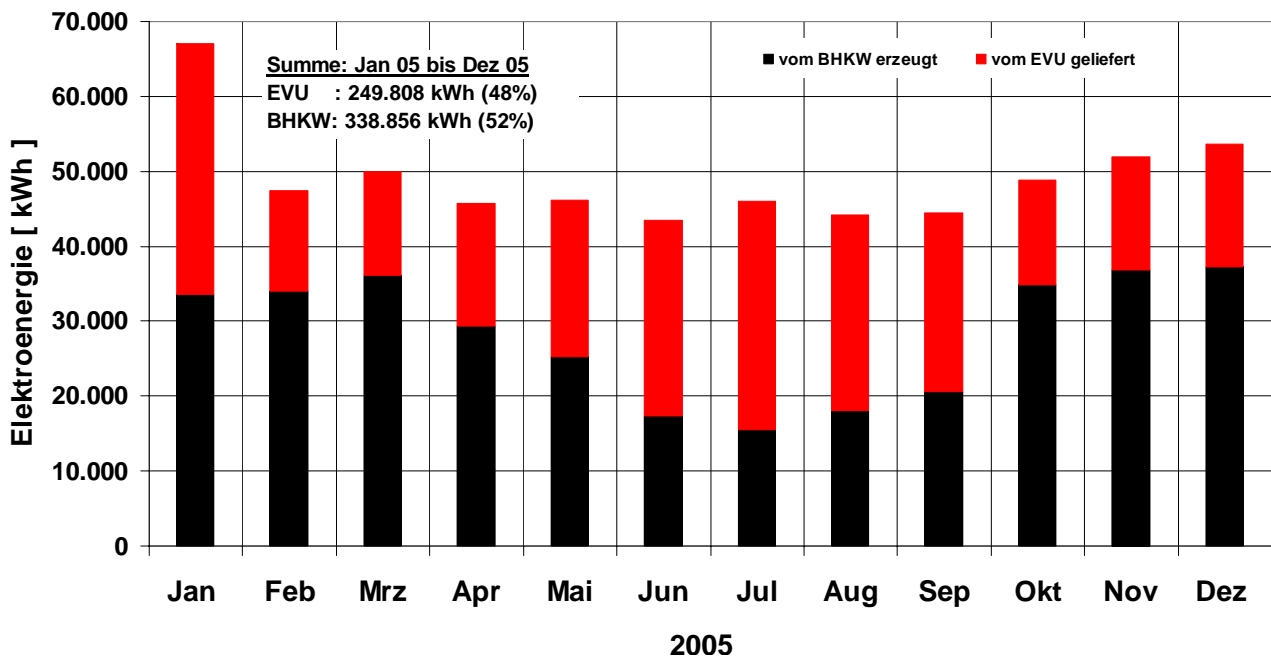
## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg



2

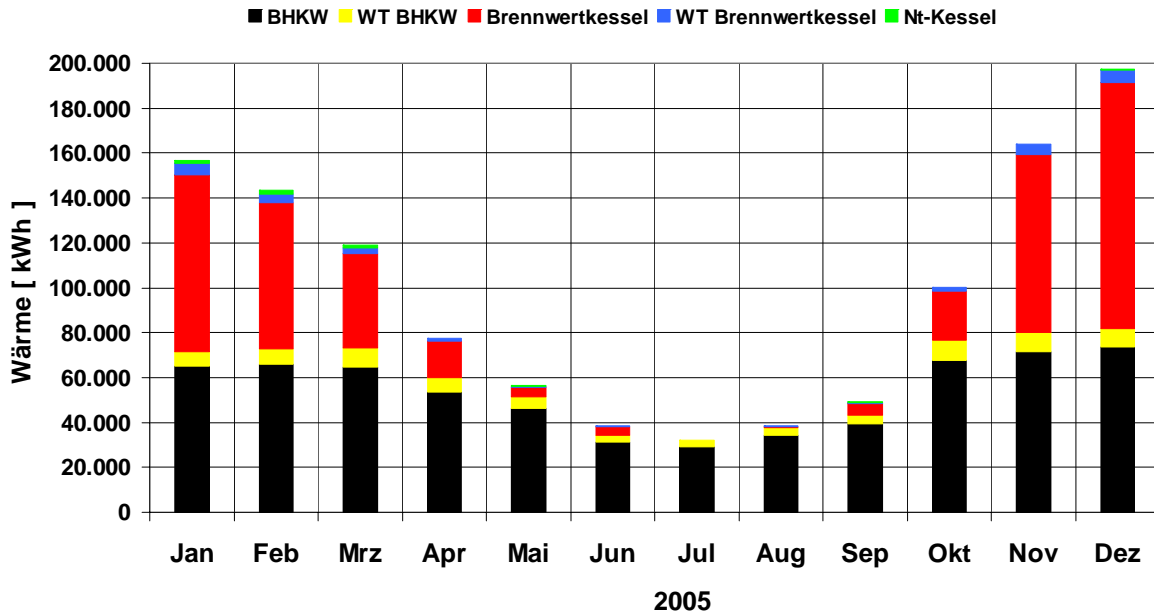
## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

### Monatswerte der vom BHKW erzeugten und der vom EVU gelieferten Elektroenergie



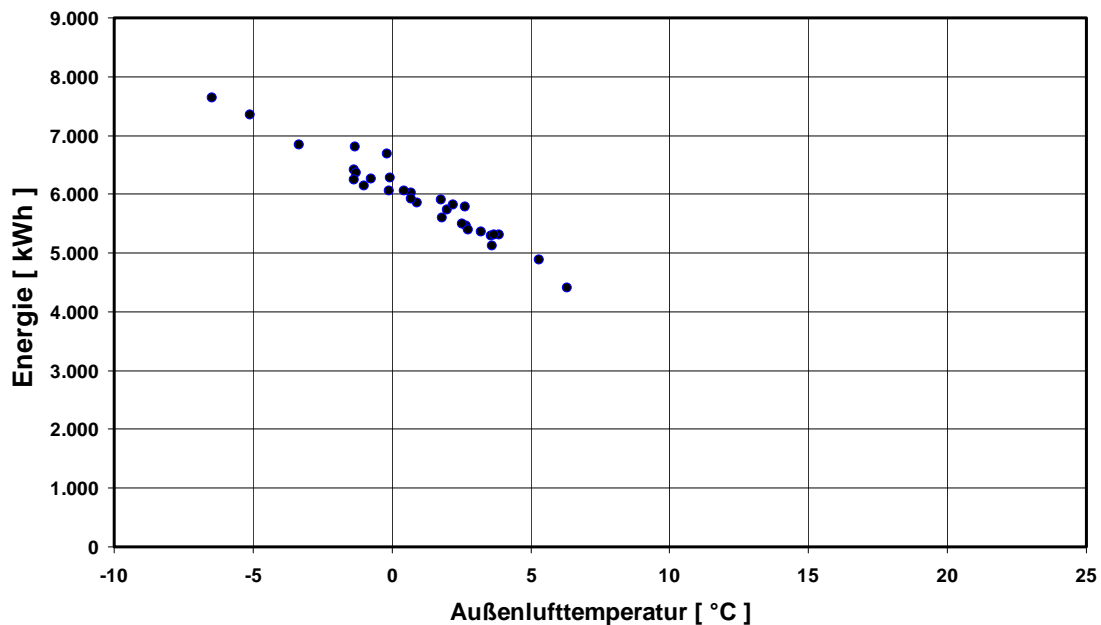
# Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

## Von den Wärmeerzeugern bereitgestellte Wärme



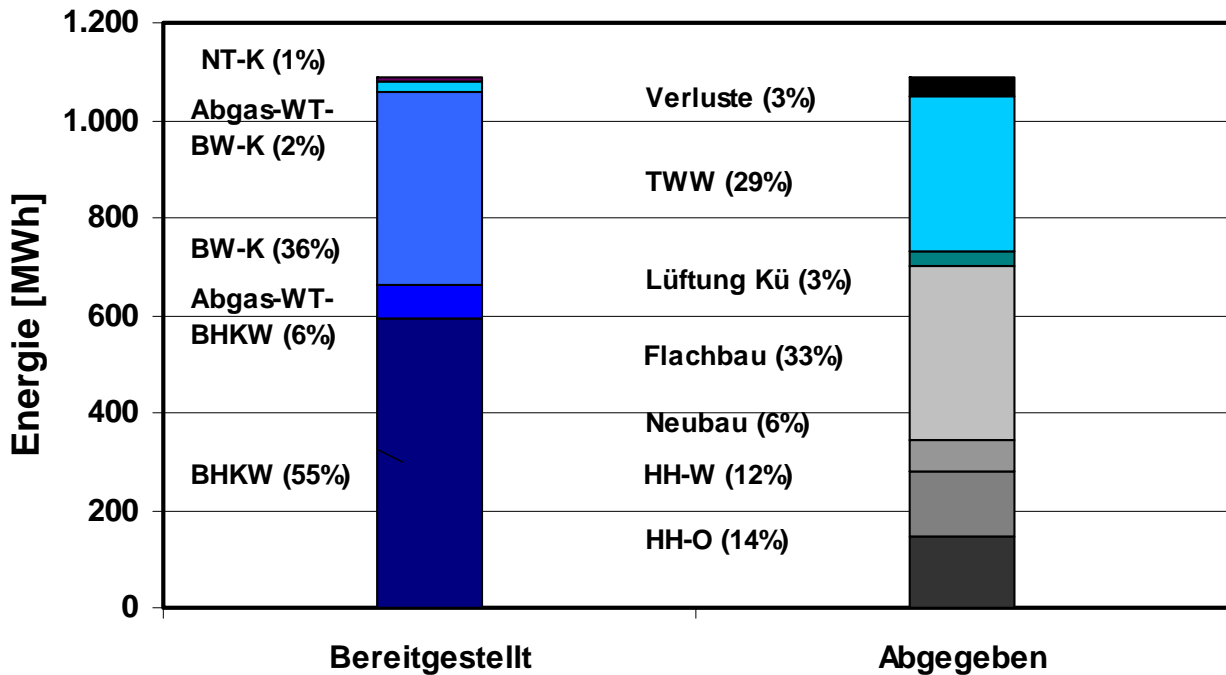
# Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

## Wärmeverbrauch in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur (Tagesmittelwerte Dezember 2005)



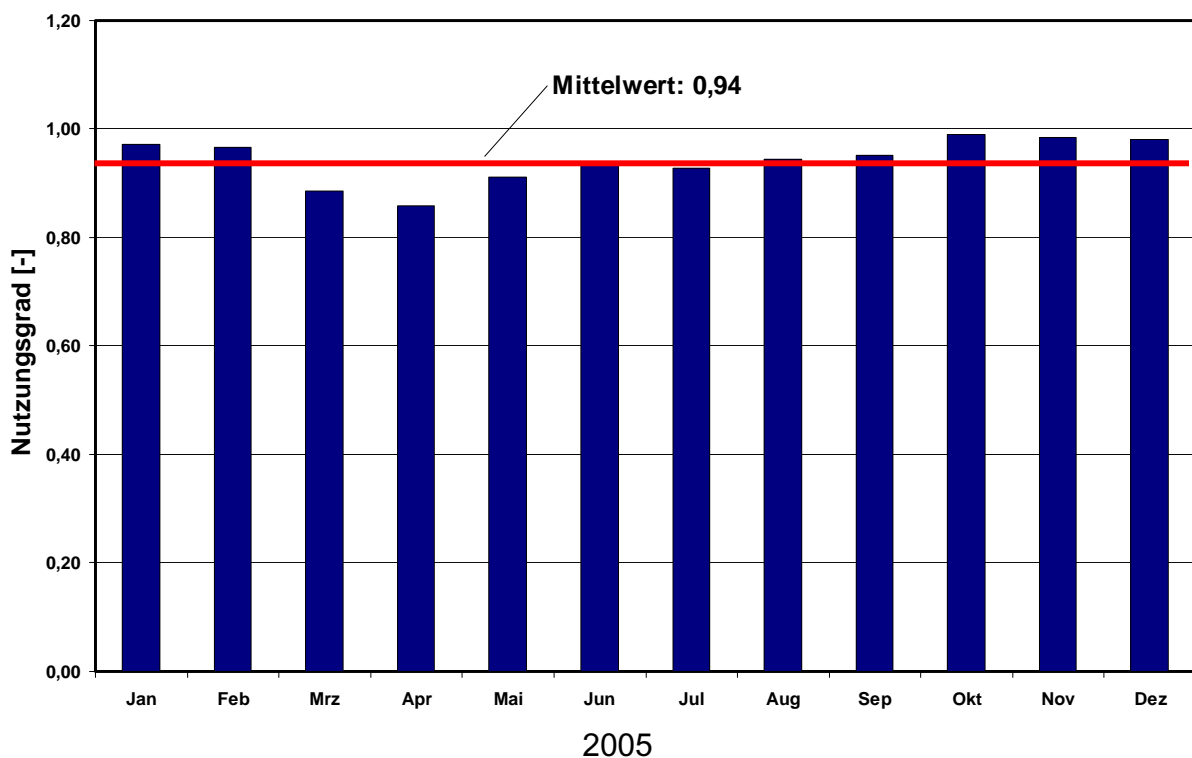
## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

### Von den Wärmeerzeugern bereitgestellte und an die Verbraucher abgegebene Energie



## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

### Nutzungsgrad Wärmeerzeugung gesamt



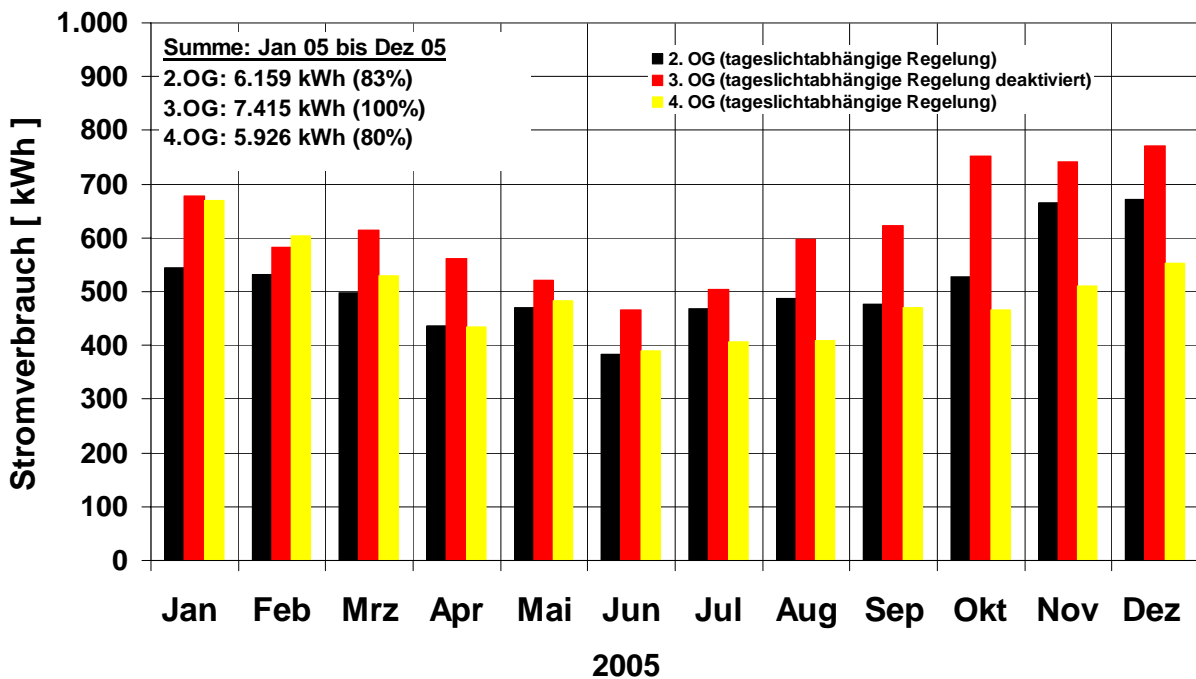
## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

Verbrauch	Vor Sanierung	Nach Sanierung <sup>1)</sup>
	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/m <sup>2</sup> a
Heizwärme Hochhaus	195	52
Strom	70	67
Primärenergie	411	205

1) Jan 05 bis Dez 05

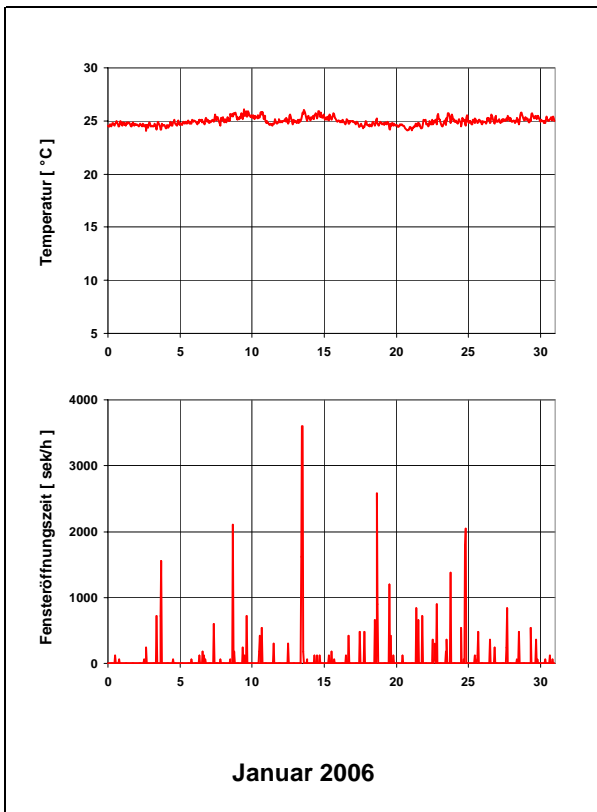
## Sanierung Altenpflegeheim Stuttgart-Sonnenberg

### Monatswerte des für die Beleuchtung verbrauchten Stromes in verschiedenen Stockwerken

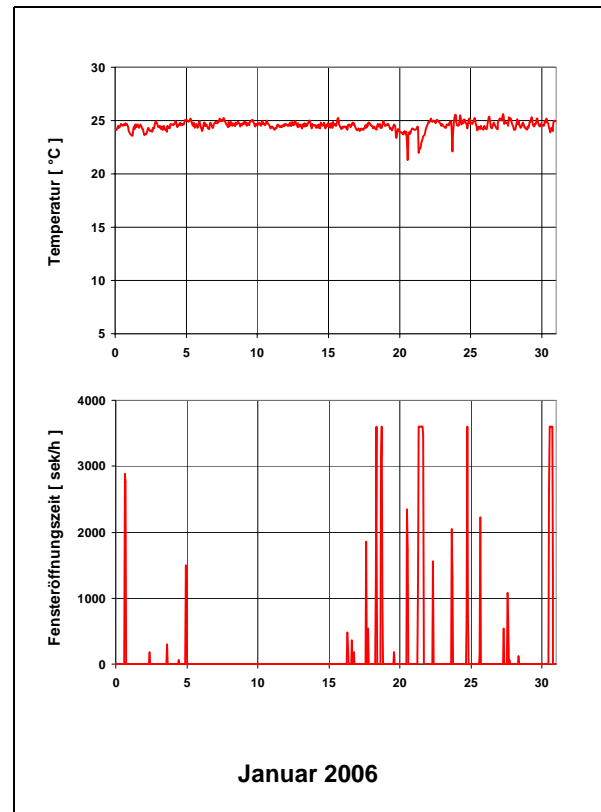


# Bewohnerverhalten

## Raum 309



## Raum 409









**Titel:**

Förderkennzeichen: 0329750U

Durchführung: Bergische Universität Wuppertal  
Fachbereich Architektur, Design, Kunst  
Lehrgebiet Bauphysik und TGA, b+tga  
Prof. Dr.- Ing. Karsten Voss  
Pauluskirchstr. 7  
42285 Wuppertal

Projektleitung: Dipl.-Ing. Peter Engelmann

Laufzeit: 05.2004 – 09.2007

## Zusammenfassung

Nach umfangreicher Sanierung des 1977 errichteten Wohnheims „Burse“, bestehend aus zwei Gebäudeteilen mit insgesamt 600 Wohneinheiten, wurde 2001 bei der Fertigstellung des ersten Bauabschnitts das Verbrauchsniveau eines Niedrigenergiehauses angestrebt. Die Lüftung der Apartments erfolgt hauptsächlich über Fensterlüftung, zusätzlich gibt es einen bedarfsgesteuerten Abluftventilator im Zimmer sowie in den innen liegenden Bädern.

Beim 2003 fertig gestellten zweiten Bauabschnitt wurde durch weitere Verbesserung des Wärmeschutzes und Einbau einer zentralen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung der Heizwärmebedarf noch einmal deutlich reduziert. Dieser Teil der "Neuen Burse" ist derzeit das größte Wohnhaus Deutschlands, das in Anlehnung an das Passivhaus-Konzept im Bestand realisiert wurde.

Durch die dauerhafte Be- und Entlüftung des zweiten Bauabschnitts konnte eine deutliche Verbesserung der Raumluftqualität sichergestellt werden. Probleme im Regelungskonzept bei der Zufuhr von Heizwärme über die Lüftung verursachten in den ersten Betriebsjahren jedoch unnötige Wärmeverluste, die in Verbindung mit dem höheren Verbrauch an elektrischer Hilfsenergie für die Lüftungsventilatoren derzeit die Primärenergiebilanz belasten.



**Bild 1** Das Studentenwohnheim „Neue Burse“ vor (links) und nach der Sanierung (rechts). Nach Abtragen der vorgehängten Fassadenplatten wurde durch Vorstellen einer tragenden Schottenstruktur Raum für Sanitäreinheiten in den Apartments gewonnen. Der ehemalige Kernbereich mit Gemeinschaftsräumen für Küche und sanitäre Einrichtung, die vorher mit bis zu 32 Personen benutzt wurden, wurde entfernt. Die Erschließung von jeweils zwei Gebäudeflügeln erfolgt jetzt über außerhalb der thermischen Hülle liegende Treppenhäuser.

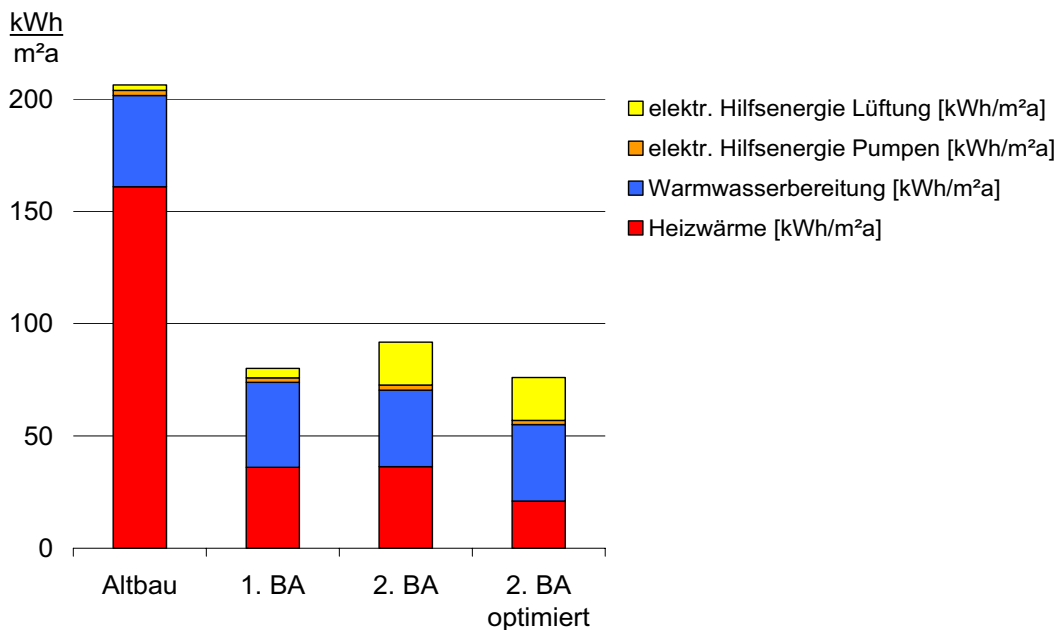
Bildquelle: Architektur Contor Müller Schlüter

Foto: Tomas Riehle

## Energiekennzahlen 2005

Auswertungen des gemessenen Energieverbrauchs des Wohnheims „Neue Burse“ haben gezeigt, dass für den ersten Bauabschnitt (1. BA) die energetische Zielsetzung der Sanierung in Bezug auf den Heizwärmeverbrauch eingehalten wurde. Das im weiter verbesserten Wärmeschutz liegende Einsparpotential durch den Einsatz passivhaustauglicher Komponenten im zweiten Gebäude (2. BA) wurde jedoch noch nicht voll ausgenutzt.

Trotz dieser noch nicht vollständig zufrieden stellenden Ergebnisse zeigen die Verbrauchsdaten für 2005, dass im Zuge der Sanierung des Wohnheims „Neue Burse“ der Energieverbrauch für Wärme (Heizung und Trinkwassererwärmung) fast um den Faktor 3 verringert werden konnte.



**Bild 2:** Vergleich der Primärenergiekennzahlen vor der Sanierung mit den beiden Bauabschnitten im Kalenderjahr 2005. Bezugsfläche ist die Nettogeschossfläche (NGF). Die Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, (Primärenergiefaktor 0,7<sup>1</sup>). Der Stromverbrauch der Lüftung im 1. BA wurde aus gemessener Leistungsaufnahme der Lüfter, sowie messtechnisch ermittelter mittlerer Laufzeiten bestimmt.

Nutzungsbedingt ergibt sich ein sehr hoher Wärmeverbrauch der Warmwasserbereitung. Das Potential des verbesserten Wärmeschutzes durch Einsatz von passivhaustauglichen Komponenten im 2. Bauabschnitt wird noch nicht ausgenutzt. Die Heizwärmeeinsparung durch den Einsatz der Lüftung mit Wärmerückgewinnung kompensiert primärenergetisch nicht den elektrischen Mehrverbrauch. Durch eine Optimierung der Heizwärmeversorgung im 2. BA kann der Heizwärmebedarf deutlich reduziert werden, sodass sich im Vergleich zum ersten Sanierungsabschnitt eine zusätzliche Einsparung ergibt.

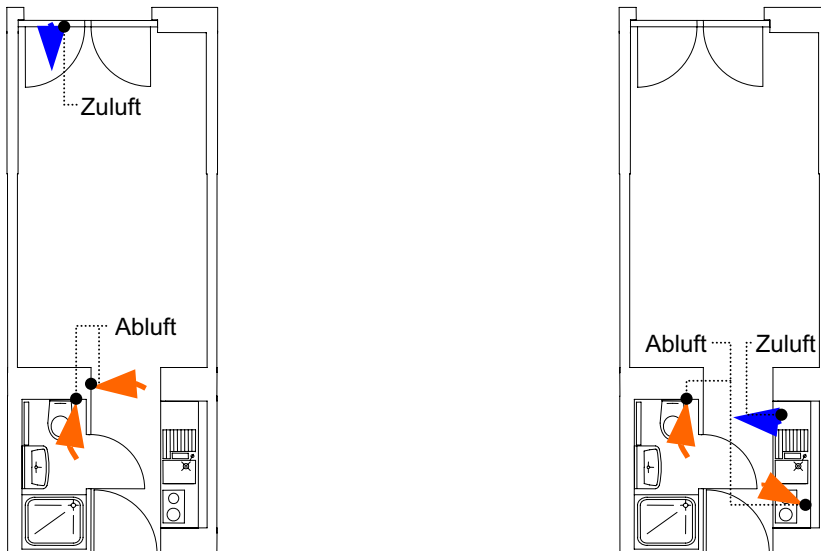
**Tab 1** Primärenergieverbrauchsdaten Wohnheim „Neue Burse“, Altbau sowie Verbrauchsdaten 2005

	Altbau [kWh/m <sup>2</sup> a]	1. BA [kWh/m <sup>2</sup> a]	2. BA [kWh/m <sup>2</sup> a]	2. BA opt. [kWh/m <sup>2</sup> a]
Heizwärme	161.0	36.0	36.3	21.0
Warmwasserbereitung	40.6	37.8	34.1	34.1
Hilfsenergie Pumpen, Regelung	2.3	2.0	2.3	1.9
Lüftung	2.4	4.2	19.0	19.0
Summe	206.3	80.0	91.7	76.0

<sup>1</sup> Quelle: Arbeitsgemeinschaft für Wärme und Heizkraftwirtschaft, Daten der Wuppertaler Stadtwerke WSW, 2005, deckungsgleich mit PE Faktor aus DIN 4701-10

## Vergleich Lüftungskonzepte

Der erste Bauabschnitt wird über Fenster gelüftet, die (innen liegenden) Bäder verfügen über bedarfs- und intervallgeführte Abluftventilatoren, im Zimmer ist ebenfalls eine bedarfsgeregelte Zusatzlüftung installiert. Das Nachströmen von Zuluft erfolgt über Durchlassöffnungen oberhalb der Fenster.



**Bild 3:** Lüftungskonzept der beiden Bauabschnitte am Beispiel eines Apartments. Der 1. BA (linkes Bild) verfügt über bedarfsgeführte Abluftventilatoren, Frischluft strömt über Lüftungsschlitze in den Fenstern nach. Der Wohnraum wird über Fenster gelüftet. Im zweiten Bauabschnitt (Bild rechts) werden die Apartments dauerhaft be- und entlüftet, jeder Gebäudeflügel verfügt über eine zentrale Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung auf dem Dach.

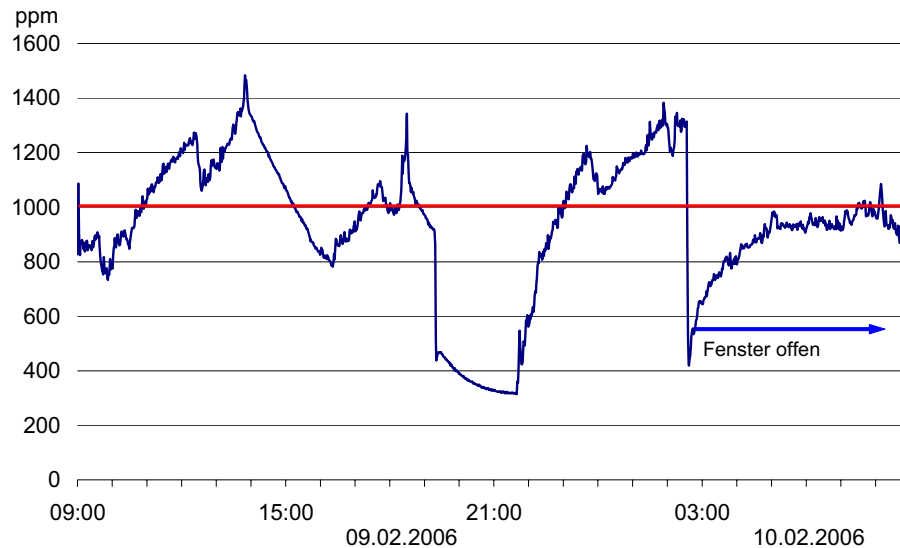
Problematische raumlufthygienische Zustände führten dazu, beim zweiten Sanierungsabschnitt eine dauerhafte Be- und Entlüftung des Gebäudes einzurichten. Durch eine Wärmerückgewinnung können so auch die Lüftungswärmeverluste deutlich reduziert werden.

Über die Lüftungsanlage des 2. BA wird zudem über die Erwärmung der Zuluft Heizwärme ins Gebäude eingebracht. Die Anlage wurde nachträglich so einreguliert, dass jedes Apartment mit 30 m<sup>3</sup>/h Frischluft (entspricht einem Luftwechsel von 0,7 1/h in den Apartments) versorgt wird.

## Vergleich Raumlufthqualität – CO<sub>2</sub> Konzentration

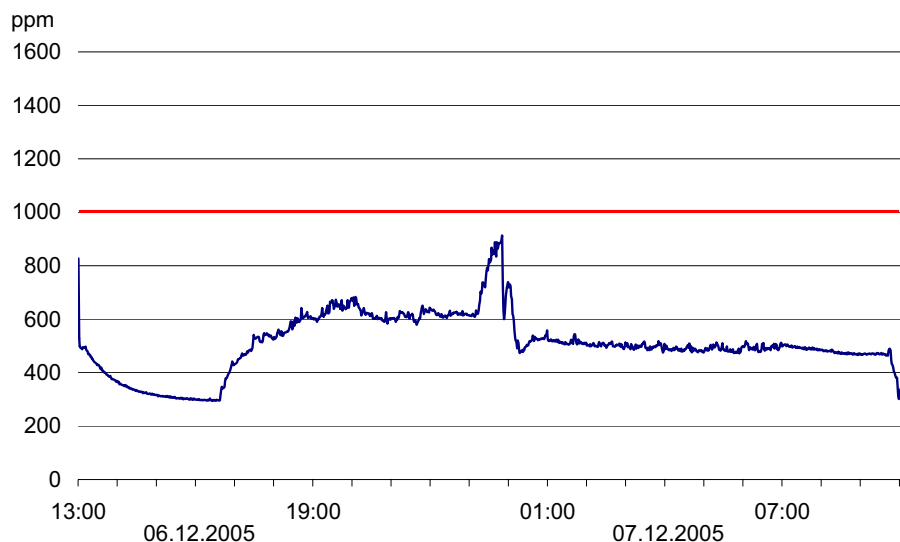
Zur Beurteilung der Wirksamkeit der Lüftungskonzepte wurden in beiden Bauabschnitten Stichprobenmessungen zur CO<sub>2</sub> Konzentration durchgeführt. Die beiden hier gezeigten Messungen zeigen jeweils typische Verläufe der CO<sub>2</sub> Konzentration in den Apartments.

**Bild 4:** Messung der CO<sub>2</sub> Konzentration in einem Zimmer im 1. BA. Die Grenze von 1000ppm CO<sub>2</sub> wird bei Anwesenheit einer Person schnell erreicht und anhaltend überschritten. Ein Unterschreiten der 1000ppm- Grenze ist nur durch dauerhaftes Öffnen des Fensters, also kontinuierlichen Luftaustausch möglich.



Im ersten BA bestätigten sich die Probleme, die zur Entscheidung einer dauerhaften Be- und Entlüftung beim 2. BA führten: bei geschlossenen Fenstern ergeben sich bei Anwesenheit einer Person durch die geringe Größe des Apartments schnell CO<sub>2</sub> Konzentrationen über 1000ppm. Abhilfe wäre nur durch eine dauerhafte Lüftung möglich, die einen kontinuierlichen Luftwechsel sicherstellt. Eine Umrüstung ist möglich, würde sich jedoch stark auf die Hilfsenergie für Lüftung auswirken und hätte deutlichen Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch (siehe folgenden Abschnitt).

**Bild 5:** Messung der CO<sub>2</sub> Konzentration im 2. BA. Durch die dauerhafte Be- und Entlüftung werden dauerhaft niedrige CO<sub>2</sub> Konzentrationen sichergestellt.



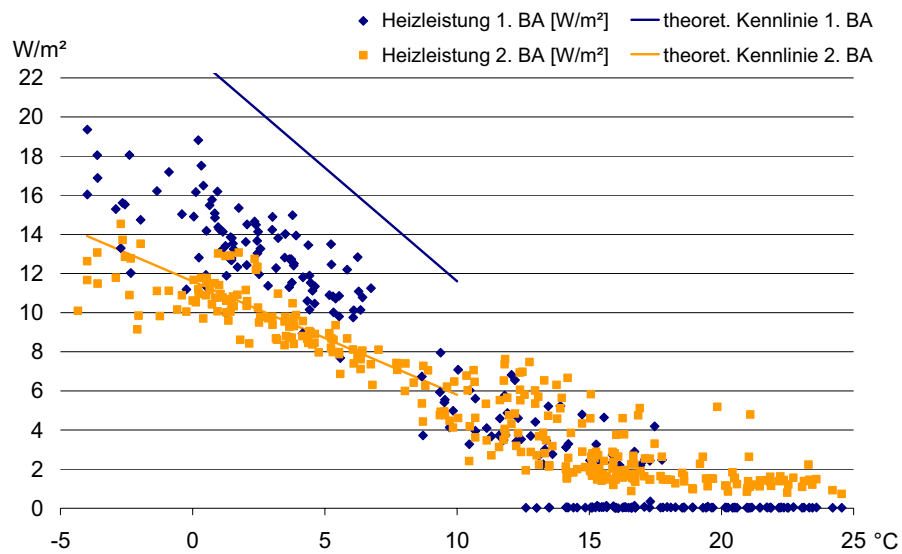
Im 2. BA kann durch den kontinuierlichen Luftaustausch eine dauerhaft geringe CO<sub>2</sub> Konzentration sichergestellt werden.

## Vergleich Energieverbrauch

Die unterschiedlichen Lüftungskonzepte haben auch entscheidenden Einfluss auf den Heizwärmeverbrauch der beiden Gebäude.

Wie eingangs erwähnt, konnte das im verbesserten Wärmeschutz und Einsatz einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung liegende Potential in Bezug auf geringeren Heizwärmeverbrauch im zweiten Bauabschnitt noch nicht genutzt werden. Die Gründe hierfür liegen zum großen Teil in den RLT Anlagen begründet. Erste Hinweise auf die Gründe des erhöhten Heizwärmeverbrauchs des 2. BA liefert ein Vergleich der Heizkennlinien der beiden Gebäude.

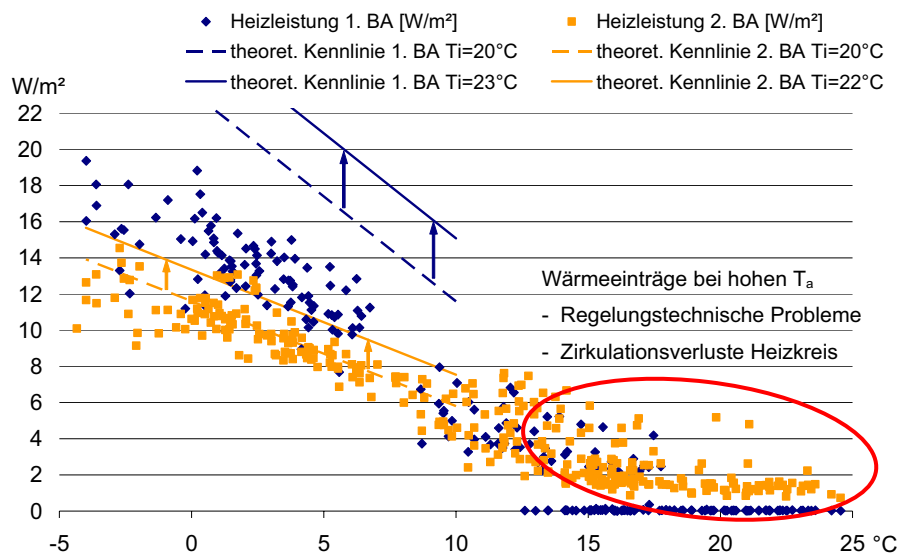
**Bild 6:** Heizkennlinie der beiden Bauabschnitte. Das Heizleistungs-niveau des 2. BA liegt, zumindest bei niedrigen Außentemperaturen, unter dem des ersten. Ab ca. 10°C Außentemperatur überschneiden sich die Kennfelder, bzw. die Wärmeeinträge im 2. BA werden größer und sind vor allem bei hohen Außentemperaturen ausgeprägt.



Interessant ist der Vergleich der Messwerte (tagesmittlere spezifische Heizleistung aufgetragen über der tagesmittleren Außentemperatur) mit der theoretischen Geraden, die sich in vereinfachter Form als lineare Funktion des Heizwärmebedarfs  $Q_H$  über der Außentemperatur ergibt, d.h.  $Q_H = H \times (T_{\text{innen}} - T_{\text{außen}})$ , also ohne Berücksichtigung solarer und interner Gewinne. Die Lage der Geraden ergibt sich aus dem Gesamtwärmeverlust  $H$ , sowie einer angenommenen Raumtemperatur  $T_{\text{innen}}$ . In Bild 6 ist  $T_{\text{innen}}$  bezogen auf 20°C.

Durch Langzeitmessung der Raumlufttemperaturen in jeweils 20 Apartments der beiden Bauabschnitte konnten während der Heizperiode mittlere Temperaturen von 23°C für den ersten und 22°C für den zweiten Bauabschnitt ermittelt werden. Werden diese in der Heizkennlinie berücksichtigt, verschieben sich die theoretischen Kennlinien parallel nach oben.

**Bild 7:** Heizkennlinie der beiden Bauabschnitte unter Berücksichtigung gemessener mittlerer Raumlufttemperaturen. Im 1. BA ist der große Abstand zwischen Kennlinie und Messwerten durch geringere Lüftungswärmeverluste aufgrund geringer Luftwechsel erklärbar. Regelungstechnische Probleme sowie Zirkulations- bzw. Bereitstellungsverluste im RLT Heizkreis des 2. BA verursachten Wärmeeinträge bei hohen Außen-temperaturen



Der große Abstand von Kennlinie und Messwerten im 1. BA deutet auf einen in der Realität geringeren Gesamtwärmeverlust  $H$  hin, also geringeren Transmissions- oder Lüftungswärmeverlusten. Es ist davon auszugehen, dass die niedrigeren Verluste durch geringere Lüftungswärmeverluste, d.h. Luftwechsel verursacht werden. Aus der weiteren Analyse des Kennfeldes kann auf einen Luftwechsel von ca. 0,2 1/h rückgerechnet werden. Dieser Wert wurde durch Stichprobenmessungen der  $CO_2$  Konzentration bestätigt. Der geringe Verbrauch an Heizwärme trotz erhöhter Innenraumtemperaturen geht also zu Lasten der Raumluftqualität. Eine Umrüstung auf eine dauerhafte Entlüftung würde entscheidende Verbesserungen der Raumluftqualität bringen (siehe vorangegangenen Abschnitt), damit einhergehend aber auch größere Lüftungswärmeverluste und somit einen höheren Heizwärmeverbrauch sowie höheren elektrischen Energieverbrauch für die Lüftung.

Die Gründe für den hohen Heizwärmeverbrauch beim 2. BA liegen zum großen Teil in der Heizwärmezufuhr über die Lüftung begründet. Zunächst führte das regelungstechnische Konzept einer Zuluftheizung über eine fest eingestellte Zuluft-Solltemperatur zu Wärmeeinträgen bei hohen Außen-temperaturen. Die Wärmezufuhr wurde mittlerweile umgestellt auf eine ablufttemperaturgeführte Regelung. Weitere Wärmeverluste entstanden durch Zirkulations- und Bereitstellungsverluste. Dauerhafte Zirkulation im RLT- Heizkreis führte ganzjährig zu Wärmeverlusten in den Verteilsträngen und Anschlussinstallationen in den Lüftungsgeräten. Diese Verlustquellen konnten im Rahmen des Monitoring identifiziert und quantifiziert werden. Sie können durch gezielte Optimierungsmaßnahmen behoben werden, sodass sich im 2. BA ein im Vergleich zum 1. BA um die Hälfte reduzierter Heizwärmeverbrauch ergibt.









vor der Sanierung vorhanden gewesen sein. Dies ist durch den Umstand erklärbar, dass bereits Mitte der 90-er Jahre sämtliche Fenster erneuert worden waren und somit die wahrscheinlich größten Luftundichtheiten bereits damals beseitigt wurden.

Bei einer genaueren Untersuchung zu den Lüftungsverlusten wurde der Luftwechsel im Gebäude mit der Indikatorgasmethode sowie über die Luftgeschwindigkeit in der Abluft untersucht. Hierbei stellte sich heraus, dass der durch Infiltration/Exfiltration und durch die mechanische Belüftungsanlage verursachte Luftwechsel mit  $n = 0,31 \text{ h}^{-1}$  (Nordgebäude) bzw.  $n = 0,25 \text{ h}^{-1}$  (Südgebäude) deutlich unterhalb des für energetische Prognoseverfahren vorgeschriebenen Luftwechsels von  $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$  (Abluftanlage) liegt. Dieser Umstand sowie die Reduzierung des beheizten Luftvolumens gegenüber dem Zustand vor der Sanierung und der Entnahme von vorgewärmter Luft aus dem ungeheizten Atrium tragen dazu bei, dass sich die Lüftungswärmeverluste nach der Sanierung auf einen Wert im 1. Betriebsjahr von  $Q_v = 25.000 \text{ kWh}$  reduziert haben. Legt man für das Gebäude vor der Sanierung einen rechnerisch bestimmten Lüftungswärmeverlust von ca.  $Q_v = 117.000 \text{ kWh}$  zu Grunde, so reduzieren sich die Lüftungswärmeverluste auf ca. 21 % des unsanierten Zustandes.

## 2 Gebäudebeschreibung

Die Kindertagesstätte „Plappersnut“ wurde 1972 als DDR-Typenbau in Plattenbauweise errichtet. Der Energieverbrauch dieser Einrichtung war aufgrund der Gebäudestruktur, der mangelhaften Qualität der Außenbauteile und des schlechten Zustandes der technischen Einrichtungen hoch.

Zielsetzung des vom Institut für Gebäude+Energie+Licht Planung unter Leitung von Prof. Dipl.-Ing. Martin Wollensak und Prof. Dr.-Ing. Thomas Römhild ausgeführten und Prof. Dr.-Ing. Georg Mainka und Dipl. Ing. Heiko Winkler begleiteten Projektes war eine deutliche Senkung des Energieverbrauchs innerhalb eines wirtschaftlich vertretbaren Rahmens. Ebenso wichtig waren dabei die architektonische Verbesserung der äußeren und inneren Gestalt sowie die Erweiterung der Nutzungsmöglichkeiten. Es sollte gezeigt werden, dass ein ganzheitlicher über die reine Energieeinsparung hinausgehender Planungsansatz zu einer neuen Qualität des Gebäudes führen kann. Damit wäre die Betriebskostenreduzierung nur ein Aspekt der wirtschaftliche Bewertung energetischer Maßnahmen und die verbesserten Nutzungsmöglichkeiten, verbunden mit dem verbesserten Image aufgrund der erhöhten architektonischen Qualität, würde einen weiteren Beitrag zur Wirtschaftlichkeit leisten. So könnte die Nachhaltigkeit der Baumaßnahme deutlich gegenüber rein energetisch motivierten Verbesserungen der Gebäudesubstanz gesteigert werden.



*Bild 1: Ansicht der Kindertagesstätte vor der Sanierung*

Die aus Gründen der Belichtung und Belüftung entstandene Grundstruktur (doppelter Schustertyp) führt aus heutiger Energie orientierter Sicht zu Problemen. Durch die beidseitige Belichtung der Gruppenräume und die aufwändige Erschließung mit ein- oder zweigeschossigen überwiegend verglasten Verbindungsfluren, ergibt sich ein schlechtes Außenwandvolumenverhältnis. Andererseits bietet gerade diese Grundstruktur gute Nutzungsmöglichkeiten. Die Kindergartengruppen stellen ein Raumgefüge von hoher funktionaler Qualität dar. Die von den Gruppen gemeinschaftlich zu nutzenden Spiel und Erlebnisräume fehlen oder sind nur unter schlechten räumlichen Bedingungen zu finden.

Das Sanierungsprojekt basierte auf der Idee, die aus energetischer und gestalterischer Sicht schlechte Außenhülle des Kindergartens dadurch zu verbessern, dass über die bestehenden Gebäude eine zweite dämmende Haut gezogen wird, um die unzureichende Dämmung vieler Außenbauteile und die vielfältigen Wärmebrücken zu vermindern.

Die aufwändigen Erschließungsflure werden entfernt und durch einen verglasten Zwischenbereich ersetzt, in dem ein vor Regen und Wind geschützter Bereich mit einem etwas über den Außenlufttemperaturen liegenden Temperaturniveau als neuer Aufenthaltsbereich entsteht. Diese neu geschaffene Zwischenklimazone eröffnet vielfältige Möglichkeiten pädagogische Aufgaben mit erhöhter Qualität zu realisieren. Sie stellt eine wertvolle Ergänzung zu den Warmräumen der Gruppeneinheiten und dem Außenbereich dar. Dieser zusätzliche Lebensraum, der den Kindern eine Vielzahl von neuen Erfahrungen ermöglicht und damit Bildungsprozesse auslöst und verstärkt, ist in dieser Größe ein optimaler Wettbewerbsvorteil, der den Erhalt einer Kindertagesstätte dieser Größe mehr als rechtfertigt. Dadurch ist der langfristige Erhalt vorhandener Bausubstanz möglich geworden.

## **Problem: Lüftung in Kindergärten**

Die Gruppenräume in Kindertagesstätten werden sehr unterschiedlich genutzt. Mal wird in den Räumen von allen Kindern getobt, mal beschäftigen sich die Kinder eher still oder die Räume werden sogar als Schlafräume genutzt. In der Früh- und Spätschicht sind nur wenige Kinder in der Gruppe. Häufig wird der Tagesablauf dadurch



*Bild 2: Nordansicht des Gebäudes nach der Sanierung*

unterbrochen, dass die Kinder in das Außengelände gehen oder Essen im „Restaurant“, Turnen im Sportraum oder Malen im Atelier. Dann sind die Gruppenräume verwaist. Neben diesen kurzfristigen alltäglichen unterschiedlichen Nutzungssituationen, gibt es längerfristige Veränderungen, die sich aus der unterschiedlichen Belegung der Kindertagesstätte in Bezug Altersstruktur und Aufenthaltsdauer ergibt. Eine hohe Flexibilität zeichnet eine moderne Einrichtung, die auf Bedürfnisse der Kinder und Eltern angemessen reagiert, aus.

In dieser Kindertagesstätte wurde bisher manuell über die Fenster gelüftet. Befragungen und Beobachtungen zeigten, dass oft durch das „Offenstehenlassen“ eines Fensters oder durch Lüften während der Abwesenheit der Gruppe gelüftet wurde. Neben den bekannten klimabedingten Schwierigkeiten einer richtigen manuellen Steuerung der Lüftung kommen hier noch die Probleme der stark differenzierten Nutzungsintensität und organisatorische Schwierigkeiten hinzu.

Eine kurze gezielte Querlüftung ist kaum möglich. Durch unsere Idee der zweiten Haut wird diese Möglichkeit weiter eingeschränkt.

Durch das manuelle Lüften wurde die an sich ideale Anordnung der WC- Bereiche direkt neben den Gruppenräumen bei ungünstiger Wetterlage zu einem Problem. Die Abluft der Sanitärräume wurde der Windrichtung folgend über die Gruppenräume geleitet.

**Idee:** Für diese Kinderstätte haben wir eine Lüftung vorgeschlagen, die auf die Differenziertheit der Nutzungssituationen reagiert, die Sanitärräume ausreichend entlüftet und gleichzeitig die



in der Abluft enthaltene Energie nutzt. Dabei musste der enge Kostenrahmen und der in den vorhandenen Räumen eingeschränkte Platz berücksichtigt werden. Da keine Komplettsanierung durchgeführt wurde, musste die Verletzung der Oberflächen so gering wie möglich gehalten werden. Schließlich war eine Führung der Lüftungsleitungen innerhalb der beheizten Hülle wünschenswert.

Durch Feuchte geführte Zuluftführungen in die Gruppenräume kann auf die wechselnde Nutzungsintensität reagiert werden. Durch Absaugung der Abluft ausschließlich aus den Sanitärbereichen kann aufgrund des Druckunterschiedes ein Überströmen der Abluft in die Aufenthaltsräume vermieden werden.

Um für die Anordnung der Öffnungen ein einfaches System zu finden wurden eine Aufteilung in Zuluft und Abluftbereiche vorgenommen. Dabei stellte sich heraus, dass fast alle Aufenthaltsräume an die Zwischenklimazone anschließen.

Daher konnte die Zuluft der Gruppenräume direkt aus der Zwischenklimazone entnommen werden, wo sie vorgewärmt worden ist.

Die Abluft wird in den Nassräumen über ein Rohrsystem abgezogen und über einen Wärmetauscher nach außen geführt. In der Winternacht wird die Lüftung abgeschaltet bzw. auf ein Minimum reduziert.

Für die Zwischenklimazone haben wir eine natürliche Lüftung vorgesehen, die über motorisch zu öffnende Klappen gesteuert werden kann.

Im Winter werden die Klappen geschlossen gehalten und nur kurz zur Querlüftung geöffnet. Im Sommer sind die Klappen überwiegend geöffnet. Solange die Temperaturen in der Zwischenklimazone unter den Temperaturen der Außenluft liegen, bleibt die Lüftungsanlage in Betrieb. Steigen die Temperaturen, werden die Räume über die Fenster gelüftet.



Für die Zwischenklimazone haben wir eine natürliche Lüftung vorgesehen, die über motorisch zu öffnende Klappen gesteuert werden kann.

Im Winter werden die Klappen geschlossen gehalten und nur kurz zur Querlüftung geöffnet. Im Sommer sind die Klappen überwiegend geöffnet.

Solange die

Temperaturen in der Zwischenklimazone unter den Temperaturen der Außenluft liegen, bleibt die Lüftungsanlage in Betrieb. Steigen die Temperaturen, werden die Räume über die Fenster gelüftet.

Es war geplant, die Wärmeerzeugung durch eine Luft/Wasserwärmepumpe zu realisieren, die durch einen Brennkessel für die Abdeckung der Spitzenlast ergänzt wird. Die Wärmequelle der Wärmepumpe sollte ein Schichtenspeicher sein, in dem die Abwärme der Abluftanlage und die Erträge der Solaranlage gespeichert wurde.

**Realisierung:** Da wir nicht die Planung der technischen Gebäudeausrüstung übertragen bekommen haben, konnte dieses Konzept nicht vollständig umgesetzt werden.



*Bild 3: Blick in das Atrium der Kindertagesstätte*



*Bild 4: Zuluftelement (Fenster zum Atrium)*

Durchgesetzt werden konnte, dass die Belüftung der Gruppenräume durch eine mechanische Abluftanlage erfolgt. Die Zuluft strömt, wie geplant, von der Zwischenklimazone durch Zuluftelemente, die im Festerrahmen integriert sind, den Räumen zu. Der Zuluftquerschnitt wird durch die Raumluftfeuchte geregelt. Durch die Vorwärmung in der Zwischenklimazone liegt die

Zulufttemperatur in der Regel über der Außenlufttemperatur. Die Absaugung der Abluft erfolgt in den Nassräumen durch je ein Rohrsystem und je einen Ventilator pro Gebäudeteil. Im Abluftwärmestrom befindet sich das Verdampfermodul je einer Wärmepumpe. Auf diese Weise wird die Abluftwärme in einem Gebäudeteil monovalent zur Brauchwassererwärmung verwendet. Nachteil dieses Systems ist, dass die Wärmepumpe auch im Sommer laufen muss. Allerdings ist der Warmwasserbedarf gering, so dass die Lüftung auch ohne die Wärmepumpe betrieben werden kann. Im anderen Teil gibt es eine Kopplung mit dem Energiespeicher der Solaranlage. Dieser etwas eigenwillige Aufbau wurde mit den Kosten und den Energieverlusten begründet, die ein Abluftsystem beider Bauteile verursacht hätten.

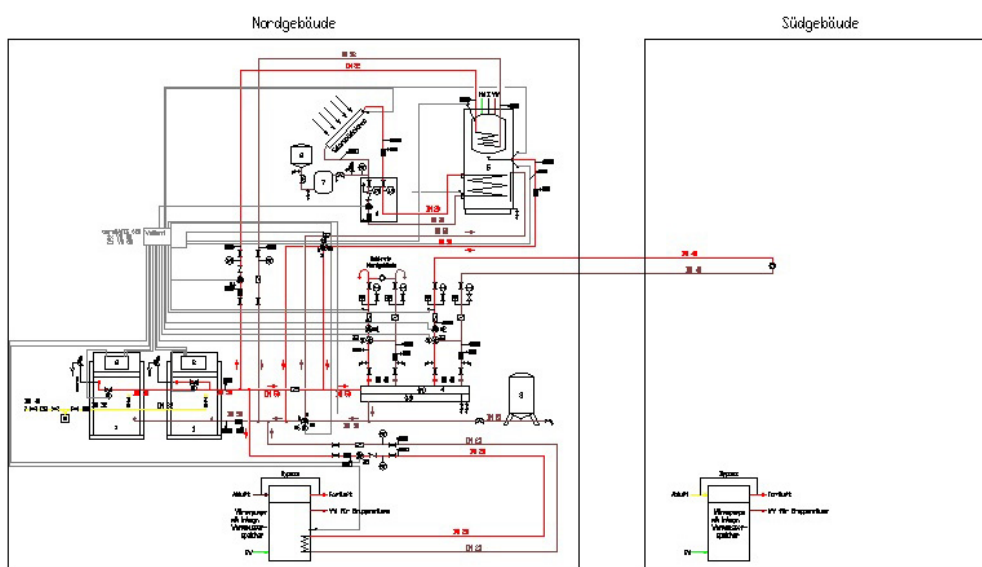


Bild 5: Übersichtsplan Haustechnik

Die Belüftung der Zwischenklimazone wird über freie Belüftung bewerkstelligt. Die



Bild 6: Zuluftöffnungen für das Atrium

Lüftungsöffnungen befinden sich auf den Giebelseiten und im Bereich der oben im Süden und Norden angeordneten Lichtbänder. Sie werden entsprechend den klimatischen Verhältnissen in der Zwischenklimazone automatisch über die an den Öffnungen angebrachten Stellantriebe geöffnet. Den Berechnungen zufolge ist ein freier Lüftungsquerschnitt von mindestens  $9,3 \text{ m}^2$  in jeder Himmelsrichtung notwendig.

### **Wärmeversorgung:**

Der vorhandene Niedertemperatur-Gasheizkessel wurde durch einen Gas-Brennwertkessel mit angepasster Leistung ausgetauscht.

### **Wärmeverteilung und Wärmeübergabe:**

Das neu installierte Wärmeverteilnetz gliedert sich auf in zwei Heizkörperheizkreise (Nord- und Südgebäude) und einen Heizkreis für die Warmwasserbereitung der Küche. Die Sanitärbereiche waren bereits mit neuen Heizkörpern ausgestattet, es wurde in diesen Bereichen daher keine Änderung vorgenommen. Die in den anderen Räumen vorhandenen alten Guss- und Konvektorheizkörper wurden komplett demontiert und durch Flach- und Kompaktheizkörper ersetzt. Die Anbringung der neuen Heizkörper erfolgte sowohl an den zur Außenluft als auch an den zur Zwischenklimazone angrenzenden Außenwänden unterhalb der Fenster. Die Raumlufttemperatur wird durch Heizkörperthermostatventile geregelt.

### **Beleuchtung:**



*Bild 7: Innenansicht Eingangshalle Nordgeb.*

In den Gruppenräumen wurden Langfeldleuchten mit perforiertem Reflektor sowie Wandleuchten zur indirekten Beleuchtung installiert. Dadurch dass diese Leuchten in unterschiedlichen Gruppen geschaltet werden können, können drei verschiedenen Lichtsituationen geschaffen werden. Eine Deckenaufhellung in der Mittelzone, wenn in Schlechtwetter- oder Dämmerstunde, nur eine kleine Aufhellung benötigt wird. Die Beleuchtung der Arbeitsplätze, wenn in Gruppen gearbeitet wird, oder die Gesamtbeleuchtung, wenn in dem gesamten Gruppenraum eine normgerechte Beleuchtung benötigt wird.

Diese wird mit dimmbaren elektronischen Vorschaltgeräten der Außenbeleuchtung angepasst. Ein Lichtsensor steuert jeweils alle Leuchten eines Raumes an, so dass stets die geforderte minimale Beleuchtungsstärke im Raum vorhanden ist. Durch diese Beleuchtung werden, sowohl energetische als auch pädagogische Aspekte berücksichtigt.

Die Nebenräume erhielten Langfeldleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten und Prismenabdeckungen oder Armaturen mit Energiesparlampen. Im Büro wurden bildschirmarbeitsplatztaugliche Spiegelrasterleuchten installiert. Die Beleuchtung der Zwischenklimazone erfolgt mit 8 Halogenmetaldampflampen in ca. 6 m Höhe.





### 3 Energetische Bewertung des Gebäudes nach dem 1. Betriebsjahr

Nach der Wiederinbetriebnahme der Kindertagesstätte im Februar 2005 konnte im Februar 2006 ein erster energetischer Vergleich zum Zeitraum vor der Sanierung gezogen werden. In der folgenden Tabelle ist der Endenergieverbrauch der Jahre 2000 und 2001 den entsprechenden Werten aus dem 1. Betriebsjahr gegenübergestellt. Eine energetische Bewertung der einzelnen baulichen Maßnahmen erfolgt an dieser Stelle noch nicht.

*Tabelle 1: Vergleich der Energieverbräuche aus dem 1. Jahr nach der Sanierung mit den Verbräuchen der Jahre 2000 und 2001 (vor Sanierung)*

	vor Sanierung <sup>2)</sup>		n. Sanierung	Verbesserung auf	
	[kWh]		[kWh]	[%]	
Jahr	2000	2001	2006	2000/2006	2001/2006
Zeitraum	06.07.1999 - 03.07.2000	04.07.2000 – 11.07.2001	14.02. 2005 - 14.02.2006		
Elektro ges.	56835	37020	25350	44,6	68,5
Erdgas <sup>1)</sup>	499853	506073	164944	33,0	32,6
Gesamt-	556688	543093	190294	34,1	35,0

<sup>1)</sup> Verbrauch Erdgas in 2006 = 12775 m<sup>3</sup>; Brennwert 11,3 kWh/m<sup>3</sup>; Umrechnungsfaktor f = 0,967

<sup>2)</sup> Werte aus **Vorhabenbeschreibung 2002**

Aus der *Tabelle 1* ist ersichtlich, dass der Gesamtenergieverbrauch (Endenergie) nach der Sanierung um ca. 65% auf 35% des Niveaus vor der Sanierung gesunken ist. Die Gegenüberstellung der Daten erfolgt in o. g. Tabelle ohne Witterungsbereinigung.

Anzumerken bleibt an dieser Stelle, dass während der ersten Heizzeit von Februar 2005 bis ca. Mai 2005 an den Giebelwänden Ost und West noch keine Vakuumdämmung installiert war. Bei einer in der Zwischenzeit experimentell (mittels Wärmestrommessung) nachgewiesenen Reduktion des Wärmedurchgangskoeffizienten der Giebelwände von ca.  $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Wert vor der Sanierung) auf  $U=0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Wert nach der Sanierung mit Vakuumdämmung) ist in den folgenden Betriebsjahren mit einer weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs (gewichtet nach dem Flächenanteil der Giebelwänden an der Gesamtverlustfläche) zu rechnen.



## 4 Energetische Bewertung der Lüftungsverluste im 1. Betriebsjahr

Die Lüftungsenergieverluste bilden einen Teilaspekt in der Bilanzierung aller Energieströme im Gebäude. Um für die Lüftungsverluste den Grad der Verbesserung gegenüber dem Zustand vor der Sanierung und den Vorteil des gewählten Belüftungskonzeptes (Abluftanlage mit im Atrium vorgewärmter Zuluft) aufzuzeigen, sollen folgende Teilbetrachtungen durchgeführt werden:

- Ermittlung der Energieverluste aus Lüftung für den Zustand des Gebäudes vor der Sanierung
- Berechnung der Energieverluste aus Lüftung nach der Sanierung mit einer Abluftanlage und Außenluft
- Berechnung der Energieverluste aus Lüftung nach der Sanierung mit einer Abluftanlage mit vorgewärmter Luft aus dem Atrium

Durch Vergleich der o. g. Untersuchungen untereinander sind die jeweiligen Verbesserungen erkennbar. Um hierbei einen witterungsbereinigten Vergleich vornehmen zu können, werden alle Berechnungen mit dem Wetter des 1. Betriebsjahres (Februar 2005 bis Februar 2006) durchgeführt.

### 4.1 Grundlagen

Im Zustand des Gebäudes vor der Sanierung erfolgte die Versorgung mit Frischluft über eine freie Lüftung. Bei den energetischen Berechnungen der Lüftungswärmeverlusten wird nach **DIN V 4108-6 2003** für das Monatsbilanzverfahren folgender Zusammenhang verwendet:

$$H_v = \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_{pL} \quad (1)$$

Hierin bedeuten:

$H_v$  spezifischer Lüftungswärmeverlust [W/K]

$\dot{V}$  Volumenstrom für den Lüftungsverlust [m<sup>3</sup>/h]

$\rho_L c_{pL}$  Wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Luft [Wh/m<sup>3</sup>K]; i. d. R 0,34



Der Volumenstrom für den Lüftungsverlust ergibt sich nach o. g. Norm wie folgt:

$$\dot{V} = n \cdot V \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

$n$  Luftwechselrate [ $\text{h}^{-1}$ ]

$V$  Netto-Volumen (Luftvolumen) des beheizten Gebäudes [ $\text{m}^3$ ]

Bei mechanischer Lüftung (Gebäude nach der Sanierung) gelten nach **DIN V 4108-6 2003** folgende Zusammenhänge:

$$\dot{V} = \dot{V}_f + \dot{V}_x \quad (3)$$

$$\dot{V} = \dot{V}_f(1 - \eta_V) + \dot{V}_x \quad (4)$$

Hierin bedeuten

$\dot{V}_f$  Betrag des Abluftvolumenstromes [ $\text{m}^3$ ]

$\dot{V}_x$  Luftvolumenstrom infolge Wind und Druckdifferenz (Infiltration / Exfiltration) auf Grund der Temperaturunterschiede zwischen innen und außen [ $\text{m}^3$ ]

$\eta_V$  Nutzungsfaktor der Wärmerückgewinnungsanlage

Anmerkung:

Letztgenannter Nutzungsfaktor  $\eta_V$  für die Wärmerückgewinnungsanlage korrigiert entsprechend der Gleichung (4) den Abluftvolumenstrom. Bei der Lüftungsanlage an der Kita „Plappersnut“ ist eine Wärmerückgewinnung vorhanden. Die zurück gewonnene Energie dient hier aber nicht zur Erwärmung der Frischluft. Aus diesem Grund kommt die letztgenannte Gleichung in den weiteren Betrachtungen nicht zum Ansatz und ist hier nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt.

Liegen keine Daten über die Größe  $\dot{V}_x$  (Infiltration / Exfiltration) vor so kann diese nach folgender Gleichung abgeschätzt werden:

$$\dot{V}_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e_{Wind}}{1 + \frac{f_{Wind}}{e_{Wind}} \left( \frac{\dot{V}_s - \dot{V}_E}{V \cdot n_{50}} \right)^2} \quad (5)$$



Hierin bedeuten:

$n_{50}$  Luftwechselrate bei 50 Pa Druckdifferenz [ $\text{h}^{-1}$ ]

$\dot{V}_s$  Zuluftvolumenstrom [ $\text{m}^3$ ]

$\dot{V}_E$  Abluftvolumenstrom [ $\text{m}^3$ ]

$f_{Wind}, e_{Wind}$  Windschutzkoeffizienten

Der Gesamtwärmeverlust durch Lüftung ergibt sich aus folgenden Beziehungen:

$$Q_{V,M} = H_V \cdot \Delta T \cdot t \quad (6)$$

$$Q_V = \sum_M Q_{v,M} \quad (7)$$

Hierin bedeuten (bei monatlicher Betrachtungsweise):

$Q_{V,M}$  monatlicher Lüftungswärmeverlust [W bzw. kWh]

$\Delta T$  monatliche mittlere Temperaturdifferenz zwischen innen und außen [K]

$t$  Länge des Berechnungszeitraumes [h] mit  $t = t_M \cdot 24 \text{ h/d}$

$t_M$  tatsächliche Heiztage des jeweiligen Monats

## 4.2 Messtechnische Untersuchungen

Wie aus den o. g. Gleichungen hervorgeht, sind zur Ermittlung der Lüftungswärmeverluste einige messtechnische Untersuchungen z. B. zur Ermittlung des  $n_{50}$ -Wertes oder der realen Wetterbedingungen notwendig. An dieser Stelle werden diese Untersuchungen erläutert und die für die weitere Betrachtung bedeutsamen Kennwerte herausgestellt.

### 4.2.1 Luftdichtheit

Bei Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen ist der Nachweis der Luftdichtheit nach **DIN EN 13829 2001** zu führen, wobei der Grenzwert für den Luftvolumenstrom bei einer Druckdifferenz von 50 Pa von  $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$  nach **DIN 4108-7 2001** einzuhalten ist.

Zu erwähnen ist hierbei, dass im Zuge der Sanierungsarbeiten an der Kindertagesstätte, die schon im Vorfeld vorhandenen, wirksamen Luftdichtheitsebenen (Innenputz, Fenster, Decken, Fußböden) nicht angetastet wurden. So blieben die in der Mitte der 90-er Jahre erneuerten Fenster im Gebäude erhalten.

Die Luftdichtheitsuntersuchung wurde im Sommer 2005 im Zuge von ersten Tracergas-Messungen (mit  $\text{CO}_2$ ) vorgenommen. Hierzu wurde durch den Betreiber des Kindergartens der gesamte Südkomplex für mehrere Tage bereitgestellt.



Als Ergebnis der Luftdichtheitsuntersuchungen wurde ein Wert von  $n_{50} = 1,29 \text{ h}^{-1}$  für den südlichen Gebäudekomplex bestimmt. Dieser Wert wurde durch weitere Kontrollmessungen in seiner Größenordnung bestätigt. Für den nördlichen Gebäudekomplex wird auf Grund der baugleichen Ausführung bei den weiteren Betrachtungen ein identischer Wert angenommen.

*Tabelle 2: Ergebnisse der „Blower-Door“-Untersuchung*

	Zul. Wert $n_{50}$ [ $\text{h}^{-1}$ ]	Vorh. Wert $n_{50}$ [ $\text{h}^{-1}$ ]	Auswertung
Gebäude süd	$\leq 1,5$	1,29	erfüllt

#### **4.2.2 Bestimmung des energetisch relevanten Luftwechsels**

Zur Abschätzung der Lüftungswärmeverluste ist der tatsächlich vorhandene Luftwechsel von Bedeutung. Dieser Luftwechsel ist im geringen Maße von der Infiltration/Exfiltration durch die Gebäudehülle und im wesentlichen durch den durch die Abluftanlage erzeugten Unterdruck innerhalb des Gebäudes und der durch die regulären Belüftungsöffnungen im Fenster hineinströmenden Luft abhängig.

Die Bestimmung des energetisch relevanten Luftwechsels erfolgte an der Kindertagesstätte „Plappersnut“ auf zweierlei Weise:

- 1) Einbau von Flügelrädern in die Abluftanlage – Langzeitmonitoring der Schwankungen des Abluftvolumenstromes über die Messung der Luftgeschwindigkeit im Zentrum des Rohres
- 2) Tracer-Gas-Messungen zur Abschätzung der natürlichen Infiltration / Exfiltration und zum Abgleich von Messunsicherheiten beim Flügelrad (ev. Einfluss von turbulenten Strömungen bei Flügelradmessungen)

Luftwechsel aus der Luftgeschwindigkeit in der Abluft (Flügelrad)

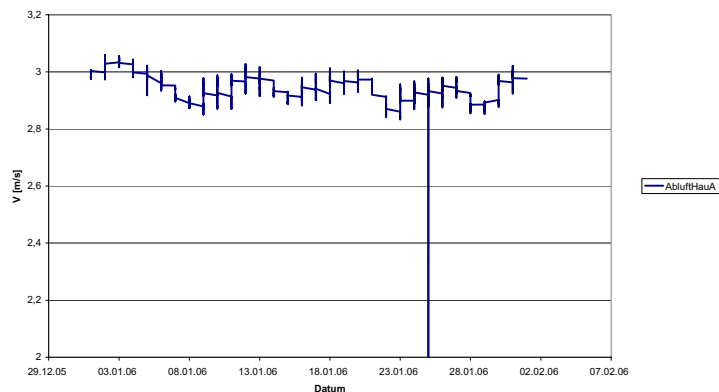
Im Bild 8 ist das in die zentrale Abluftöffnung des Südgebäudes integrierte Flügelrad dargestellt. In gleicher Weise wurde bei der Abluftanlage des Nordgebäudes verfahren.



*Bild 8: Einbau eines Flügelrades in die zentrale Abluftöffnung auf dem Dach des Südgebäudes*

Bedingt durch die luftfeuchteabhängigen Zuluftsteuerung ist für die weiteren Betrachtungen zunächst die Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit zu ermitteln, da durch die Abwesenheit von Personen am Wochenende die Luftfeuchte gering ist und demzufolge die Zuluftöffnungen in den Fenstern den Luftstrom aus dem Atrium drosseln.

Aus dem Bild 9 ist die Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit für den Monat Januar 2006 in der Abluft des Nordgebäudes dargestellt. Hierbei wird die schon oben geäußerte Vermutung bestätigt, dass intervallmäßig an den Wochenenden die Luftgeschwindigkeit auf einen unteren Grenzwert von 2,85 m/s absinkt.



*Bild 9: Schwankungsbereite der Luftgeschwindigkeit der Abluft im Nordgebäude im Monat Januar 2006*



Tabelle 3: Schwankungsbreite der Luftgeschwindigkeit der Abluftanlage in Rohrmitte

	Abluftgeschwind. in Rohrmitte $v$ [m/s]	
	Nordgebäude	Südgebäude <sup>1)</sup>
Obere Grenze $v_{\max}$	3,03	2,30 <sup>1)</sup>
Untere Grenze $v_{\min}$	2,85	-
Mittlung Schwankung $v$	2,94	-
Standardabweich. $\sigma$	0,11	-

<sup>1)</sup> Fühler nur manuell an Wochentagen auslesbar, Wert wird für alle weiteren Betrachtungen verwendet

Aus der *Tabelle 3* geht hervor, dass die Schwankungsbreite der Abluftgeschwindigkeit eher gering ist und dass bei letztgenannter Größe zwischen den beiden Gebäudeteilen ein deutlicher Unterschied besteht. Aus dem erstgenannten Grunde werden die weiteren Betrachtungen, so fern möglich, mit den Mittelwerten der Luftgeschwindigkeit durchgeführt.

Mittels der Bildung der mittleren Luftgeschwindigkeit über den Rohrquerschnitt (Annahme: laminare Rohrströmung in den Abluftrohren), den Rohrquerschnittsflächen sowie dem Luftvolumen in den beiden Gebäudeteilen kann jetzt der Anlagenluftwechsel ermittelt werden.

Tabelle 4: Anlagenluftwechsel (aus Luftgeschwindigkeitsmessungen)

	Luftwechsel $n$ [h <sup>-1</sup> ]		Bemerkung
	Nordgebäude	Südgebäude	
$v$ [m/s]	2,94	2,30	Luftgeschw. in Rohrmitte
$\bar{v}$ [m/s]	1,47	1,10	mittlere Abluftgeschw. (laminare Strömung) über Rohrquerschnitt
$R$ [m]	0,18	0,18	Radius Abluftrohr
$A$ [m <sup>2</sup> ]	0,10	0,10	Querschnittsfläche Abluftrohr
$\dot{V}$ [m <sup>3</sup> /h]	538,66	421,40	Abluftvolumenstrom
$V$ [m <sup>3</sup> ]	2679	2678	Gebäudeluftvolumen
$n_{\text{Anl}}$ [h <sup>-1</sup> ]	0,21	0,16	Anlagenluftwechsel

#### Luftwechselbestimmung mit dem Indikatorgasverfahren (Tracer-Gas-Methode)

Zur Bestimmung der Infiltration/Exfiltration sowie als Kontrolle der über Luftgeschwindigkeitsmessungen bestimmten Anlagenluftwechselraten wurden im Juli 2005 (CO<sub>2</sub> als Spurengas) sowie im Dezember 2005 (SF<sub>6</sub> als Spurengas) Luftwechsellmessungen mittels dem Indikatorgasverfahren nach **DIN EN ISO 12569 2001** durchgeführt..



Auf Grund der Größe des Gebäudes konnten nur in einzelnen Räumen das Indikatorgas injiziert werden. Bei der Messung wurden die Türen (alle Innentüren ohne Lüftungsschlitze) zu Nachbarräumen geschlossen.



Bild 10: Gasanalysator (SF<sub>6</sub>), Auswerteeinheit und Gasflasche der Indikatorgas-Messeinrichtung

Insgesamt wurde der Luftwechsel in 3 Räumen (2 Räume aus dem Nordgebäude, 1 Raum aus dem Südgebäude) sowie im Atrium untersucht.

Die Messungen selbst wurden bei der Untersuchung mit SF<sub>6</sub> kontinuierlich über die Nachtstunden (Dauer ca. 12 h) und mit CO<sub>2</sub> über ca. 1 Stunde durchgeführt. Während der Messungen befand sich ein Ventilator im Dauerbetrieb. Bei den Messungen zur Infiltration / Exfiltration war die Abluftanlage ausgeschaltet und deren Öffnungen abgeklebt.

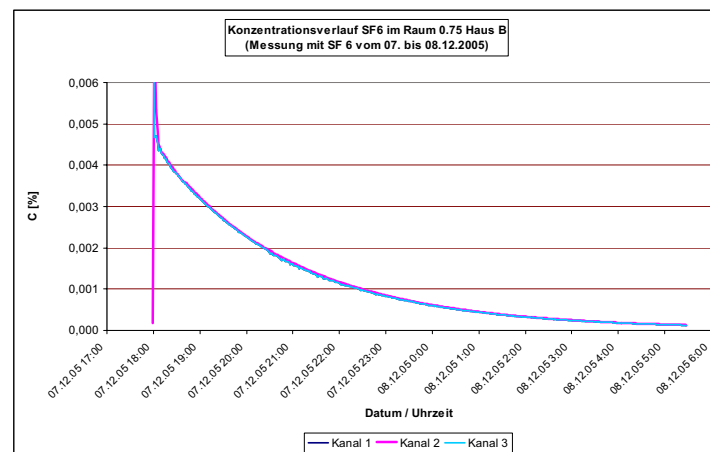


Bild 11: Abklingkurve im Raum 075, Haus A (mit Abluft)

In der *Tabelle 5* sind die Ergebnisse der Indikatorgasmessungen aufgeführt. Im Nordgebäude wurden während der Messungen im Sommer 2005 mit dem Spurengas CO<sub>2</sub> aus Sicherheitsgründen (Ferienbetrieb des Kindergartens nur im Nordgebäude) keine Untersuchung durchgeführt.

Trotz der Fehlermöglichkeiten mit dem Spurengas CO<sub>2</sub> (in der Luft vorhanden, Absorption/Desorption durch Materialien der Umgebung, Einfluss von Menschen) besitzen die Ergebnisse zwischen den Spurengasen SF<sub>6</sub> und CO<sub>2</sub> ungefähr dieselbe Größenordnung. Abweichungen können durch die unterschiedlichen Messzeiträume (Sommer, Winter 2005) und den dadurch unterschiedlichen Messrandbedingungen (Temperaturdifferenz zwischen innen und außen) bzw. durch o. g. Nachteile der CO<sub>2</sub>-Messung begründet sein.



*Tabelle 5: Ergebnisse für den Luftwechsel mit der Indikatorgasmethode*

Gebäude - Raum	Luftwechsel [ $\text{h}^{-1}$ ]	
	Spurengas SF <sub>6</sub> (Dez. 2005)	Spurengas CO <sub>2</sub> (Juli 2005)
<i>- mit Abluftanlage (Anlagenluftwechsel inkl. Infiltration / Exfiltration)</i>		
Nord – R 0.75	0,31	-
Süd – R 0.55	0,286	0,257
Süd – R 1.35	0,250	0,252
<i>- ohne Abluftanlage (Infiltration / Exfiltration)</i>		
Süd – R 1.35	0,08	0,061
Atrium	0,11	

Für die weitere Betrachtung werden nur die Ergebnisse der Messungen mit dem Spurengas SF<sub>6</sub> (Dezember 2005) wegen deren höherer Genauigkeit herangezogen.

*Bewertung der Ergebnisse der Luftwechselfmessungen (Flügelrad und Indikatorgas)*

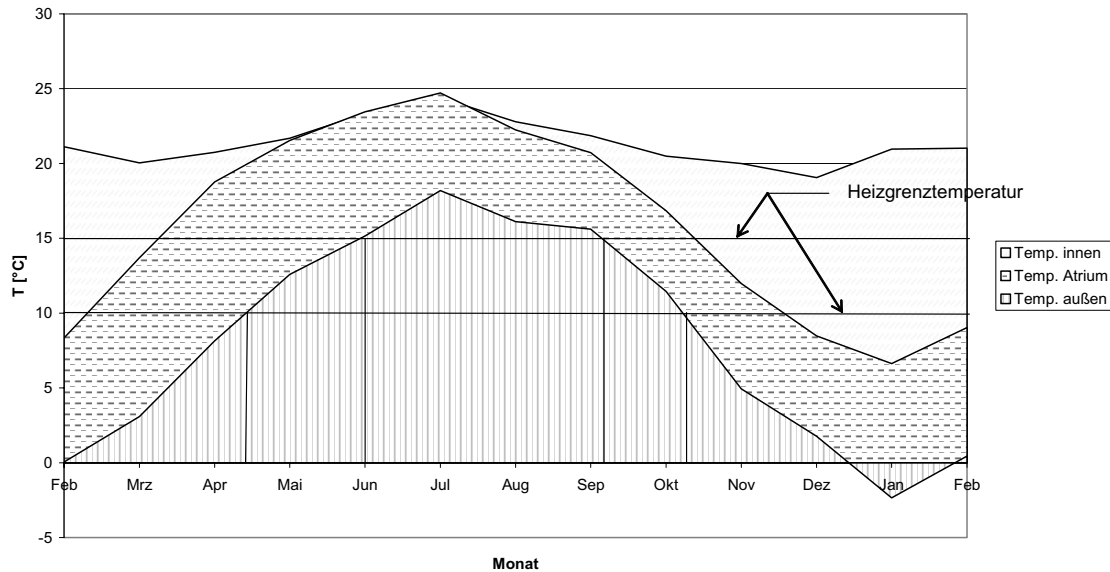
Die Auswertung der Luftwechselfmessungen über die Luftgeschwindigkeit in der Abluft ergibt einen um ca. 30% geringeren Luftwechsel als die Messungen mit der Indikatorgasmethode zeigen. Möglicherweise befinden sich die Flügelräder trotz größtmöglichem Abstand noch nicht in einem ausgeprägtem laminaren Strömungsbereich des Abluftrohres, so dass der tatsächliche Luftdurchsatz größer ist, als den Berechnung durch Mittelung der maximalen Strömungsgeschwindigkeit im Abluftrohr zu Grunde gelegt wurde.

Trotzdem ist das Monitoring der Luftgeschwindigkeit in der Abluft für die Abschätzung der Schwankungsbreite des Luftwechsels von Bedeutung. Hier konnte aufgezeigt werden, dass bedingt durch die feuchteabhängige Zuluftsteuerung zum Wochenende der Luftwechsel intervallmäßig absinkt, die Schwankungen selbst aber für die energetischen Betrachtungen zum Lüftungsverlust gering sind. Die Berechnung zu den Lüftungswärmeverlusten werden aber aus den o. g. Gründen mit den aus den Indikatorgasmessungen gewonnenen Luftwechsel für das Nord- (Ansatz von  $n=0,31 \text{ h}^{-1}$ ) und Südgebäude (Ansatz von  $n=0,25 \text{ h}^{-1}$ ) durchgeführt, da diese Werte den realen Luftdurchsatz widerspiegeln.

### **4.2.3 Temperaturverläufe**

Um einen witterungsbereinigten Vergleich der Lüftungsverluste für den Zustand vor der Sanierung und nach der Sanierung sowie für das Gebäude nach der Sanierung mit Zuluft direkt von außen und vorgewärmte Zuluft aus dem Atrium (Vorteil der Atrium-Vorwärmung) durchführen zu können, werden die Wetterdaten für das 1. Betriebsjahr (Lufttemperaturen außen, innen und im Atrium) als Monatsmittel aufbereitet und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt.

### Temperaturverlauf außen, innen, Atrium (Monatsmittel von Februar 2005 bis Februar 2006)



*Bild 12: mittlere, monatliche Lufttemperaturen außen, innen und im Atrium sowie Heizgrenztemperaturen zur Bestimmung der Heizperiodendauer für das Gebäude vor und nach der Sanierung (Daten aus den Messungen während des 1. Betriebsjahres von Februar 2005 bis Februar 2006)*

Außerdem erfolgt an Hand der Grafik im *Bild 12* die Abschätzung der Heizperiodendauer für die Heizgrenztemperaturen  $t_G = 15\text{ °C}$  (Gebäude vor der Sanierung) und  $t_G = 10\text{ °C}$  (Gebäude nach der Sanierung).

### 4.3 Lüftungsverluste des Gebäudes (Variantenvergleich)

An dieser Stelle werden die Lüftungsverluste für folgende Varianten ermittelt und verglichen:

- Variante V0: Gebäude vor Sanierung, mittlere Luftwechsel  $n = 0,55\text{ h}^{-1}$ , Außenluft als Frischluft, Heizgrenztemperatur  $t_G = 15\text{ °C}$ , beh. Luftvolumen  $V = 6004\text{ m}^3$  (→ Annahmen für Zustand vor Sanierung)
- Variante V1: Gebäude nach Sanierung, mittlere Luftwechsel  $n = 0,55\text{ h}^{-1}$ , Außenluft als Frischluft, Heizgrenztemperatur  $t_G = 10\text{ °C}$ , beh. Luftvolumen  $V = 5357\text{ m}^3$
- Variante V2: Gebäude nach Sanierung, mittlere Luftwechsel  $n = 0,55\text{ h}^{-1}$ , vorgewärmte Luft aus dem Atrium, Heizgrenztemperatur  $t_G = 10\text{ °C}$ , beh. Luftvolumen  $V = 5357\text{ m}^3$
- Variante V3: Gebäude nach Sanierung, mittlere Luftwechsel  $n = 0,28\text{ h}^{-1}$  (Mittel aus 0,31 und 0,25 nach Tabelle 5), vorgewärmte Luft aus dem Atrium, Heizgrenztemperatur  $t_G = 10\text{ °C}$ , beh. Luftvolumen  $V = 5357\text{ m}^3$  (→ tatsächlicher Zustand nach Sanierung)



Die Varianten V0 und V3 sind die Varianten, die zur Beurteilung der realen Verhältnisse vor bzw. nach der Sanierung dienen. Die Varianten V1 und V2 stellen weitere Möglichkeiten dar und sind zu Vergleichszwecken aufgeführt.

Für die Variante V0 (Gebäude vor der Sanierung) wurde ebenfalls ein Luftwechsel von  $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$  zu Grunde gelegt, da bereits Mitte der 90-er Jahre die Fenster komplett erneuert worden sind und während der Sanierung keine weiteren Verbesserungen an der Luftdichtheitsebene vorgenommen wurden, so dass die nach der Sanierung festgestellte Luftdichtheit auch schon vor der Sanierung gegeben war.

*Tabelle 6: Lüftungsverluste der Varianten V0 bis V3*

Jahr	Monatsmittel d. Lufttemp. $t_M (t_G 15/10^\circ\text{C})$			Lüftungsverluste					
	außen [°C]	Atrium [°C]	innen [°C]	vor San. [d]	n. San. [d]	V0 [kwh]	V1 [kwh]	V2 [kwh]	V3 [kwh]
Feb	0,05	8,34	21,12	28	28	15895	14183	8603	4380
Mrz	3,09	13,7	20,05	31	31	14165	12640	4732	2409
Apr	8,15	18,77	20,75	30	10	10184	3029	476	242
Mai	12,58	21,54	21,68	31	0	7600	0	0	0
Jun	15,15	23,45	23,35	0	0	0	0	0	0
Jul	18,19	24,72	24,39	0	0	0	0	0	0
Aug	16,11	22,25	22,79	0	0	0	0	0	0
Sep	15,61	20,72	21,86	0	0	0	0	0	0
Okt	11,45	16,84	20,5	31	21	7559	4569	1848	941
Nov	4,94	11,98	19,99	30	30	12164	10854	5777	2941
Dez	1,78	8,48	19,05	31	31	14424	12871	7877	4010
Jan	-2,35	6,63	20,96	31	31	19468	17372	10680	5437
Feb	0,45	9,04	21,02	28	28	15517	13847	8064	4105
Summe				271	210	116976	89365	48057	24466

#### **4.4 Vergleich und Bewertung der Ergebnisse**

Aus der *Tabelle 6* geht hervor, dass sich die Lüftungsverluste stark reduziert haben. Gründe hierfür sind:

- Die Reduzierung des beheizten Luftvolumens führt zu einer Minderung der Lüftungsverluste um ca. 24 % (Abriss der Verbindungsgänge zwischen Nord- und Südgebäude, Vergleiche Variante V0 mit V1).
- Die Vorwärmung der Luft im Atrium mindert die Lüftungsverluste nochmals um ca. 50% (Vergleiche V1 mit V2).
- Der in der Realität vorhandene geringere Luftwechsel nach der Sanierung (Vergleiche V2 mit V3) reduziert die Lüftungsverluste um weitere ca. 50%.

Bezüglich eines normgerechten Luftwechsels für den Zustand des Gebäudes nach der Sanierung stellt die Variante V2 mit einem Luftwechsel von  $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$  die korrekte Variante dar. Die tatsächlich vorhandenen Luftwechsel (V3) von  $n = 0,31$  (Nordgebäude) bzw.  $0,25$



(Südgebäude) unterschreiten den Normluftwechsel, wie er in den Varianten V0, V1 und V2 berücksichtigt wurde.

Auf Grund der Ergebnisse für den tatsächlich vorgefundenen Luftwechsel wurde eine Überprüfung der hygienischen Verhältnisse im Raum 0.75 durchgeführt. Diese ergab, dass der CO<sub>2</sub>-Spiegel seinen Höchstwert mit 1200 ppm (März 2005) nach dem Mittagsschlaf der Kinder erreichte und danach wieder schnell absank. Die maximale relative Luftfeuchte wurde für den Februar 2006 im Raum 0.75 mit 54% als kurzzeitiger Spitzenwert bestimmt.

## **Literatur**

- DIN V 4108-6 2003** Norm DIN V 4108 Teil 6 2003-06. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs
- DIN EN 13829 2001** Norm DIN EN 13829. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden, Differenzdruckverfahren
- DIN 4108-7 2001** Norm DIN 4108 Teil 7. Wärmeschutz- und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele
- Vorhabenbeschr. 2002** Institut für Energie-, Licht- und Gebäudeplanung: Vorhabenbeschreibung als Anlage zum Antrag auf Förderung für das Vorhaben „Energetische Verbesserung der Bausubstanz der Kindertagesstätte „Plappersnut“ in Wismar“ : Eigenverlag, 2002
- DIN EN ISO 12569 2001** Norm DIN EN 12569. Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Bestimmung des Luftwechsels in Gebäuden, Indikatorgasverfahren

## Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige EnSan - Demonstrationsbauvorhaben



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



Projektträger für BMBF, BMWi  
und BMU,  
die EU  
sowie die Bundesländer



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie



Baden-Württemberg,  
Bayern,



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz  
und Reaktorsicherheit



Berlin,  
Mecklenburg-Vorpommern und  
Nordrhein-Westfalen



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

### BMW-Förderschwerpunkt **ENERGIEOPTIMIERTES BAUEN (ENOB)** im Energieforschungsprogramm des Bundes

- Zusammenführung der Fördermaßnahmen
    - Solaroptimiertes Bauen – Gebäude mit minimalem Energiebedarf („SolarBau“, seit 1995)
    - Energetische Verbesserung der Bausubstanz („EnSan“, seit 1997)
- Ein neues Förderkonzept – was bleibt, was ändert sich?*
- Keine inhaltlichen Brüche oder zeitlichen Unterbrechungen, sondern gleitender Übergang und fachliche Kontinuität!



Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

Förderkonzept

**Energetische Verbesserung der Bausubstanz EnSan**

**Bisherige Unterteilung in Teilkonzepte**

Planungshilfsmittel **TK1**

innovative Komponenten (FuE) **TK2**

Pilot- und Demonstrationsgebäude **TK3**

Verbreitung in Lehre und Ausbildung **TK4**

*... wird in dieser Form nicht fortgeführt!*

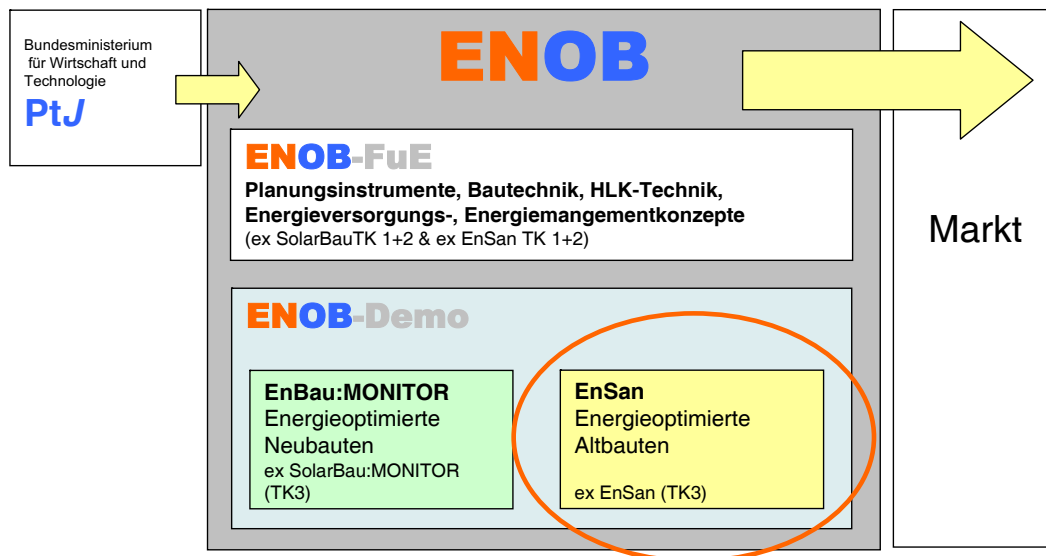


Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

BMWi-Förderschwerpunkt

**ENERGIEOPTIMIERTES BAUEN (ENOB)**



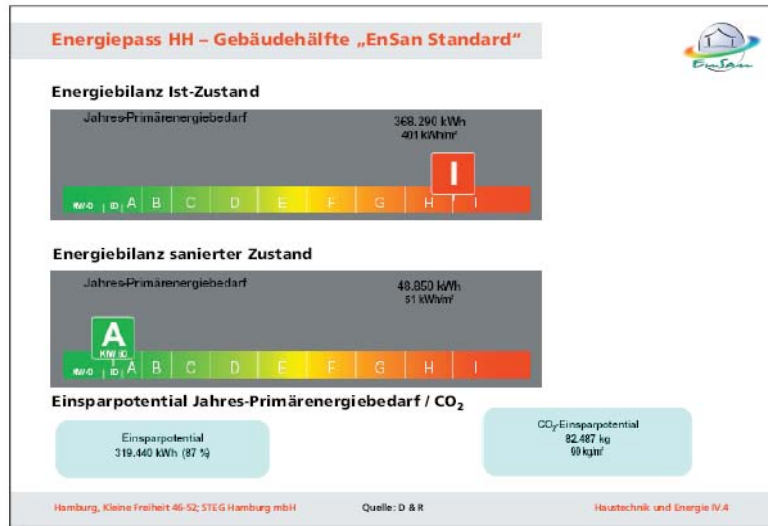
Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben



**Förderkonzept****Energetische Verbesserung der Bausubstanz EnSan**

Eine energetische Sanierung von Geschosswohnungsbauten, die eine **Halbierung des bisherigen Verbrauchs** anstrebt, ist wirtschaftlich durchführbar, wenn ohnehin Sanierungsbedarf besteht.



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

**Förderkonzept****Energetische Verbesserung der Bausubstanz EnSan**

So genannte „3-Liter-Haus-Sanierungen“ stellen derzeit den Stand der Technik dar (Bsp.: Mannheim, Schwabach, Hofheim).

Da sich aber bezogen auf die aktuellen Energiekosten der erhöhte Aufwand für 3-Liter-Sanierung noch nicht rechnet, wurden entsprechende Fördermaßnahmen eingerichtet:

**KfW40-Haus  
CO<sub>2</sub> Gebäudesanierung**



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben **EnBau** und **EnSan** Ziele und Vorgaben für neue Projekte

### Übergeordnete Auswahlkriterien

- Piloteinsatz neuartiger Verfahren oder Techniken (möglichst aus ENOB-FuE-Vorhaben)
- Integraler Planungsprozess
- Erfüllung der energetischen Anforderungen
- Hohe architektonische und städtebauliche Qualität
- Ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit
- Bundesweite Signalwirkung und Multiplikationspotential

*Nur innovative und forschungsintensive Projekte!*



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben **EnSan** Ziele und Vorgaben für neue Projekte

### Energetische Anforderung an Altbauten (Nicht-Wohnungsbau)

- Primärenergiebedarf mindestens **30%** unter den Grenzwerten der EnEV 2006 für Neubauten
- Ergänzend: Einhaltung eines max. mittleren U-Wertes der Gebäudehülle
- Vorgabe **für Wohnungsbau**
- Primärenergiebedarf mindestens **50%** unter den Grenzwerten der **EnEV 2006** für Neubauten
- Keine Verbrennung fossiler Energieträger nur zur **direkten** Wärmeerzeugung als anzustrebendes Ziel (optional)



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben **EnBau** und **EnSan**

### Organisation und Ablauf

- **Projektphase 1**  
Planung, Bauausführung, Inbetriebnahme und Betriebsoptimierung
  
- **Projektphase 2** (zeitlich überlappend mit Phase 1)  
Messprogramm inkl. Betriebsdiagnose und Beratung bei der Betriebsoptimierung, Evaluierung
  
- **Projektphase 3** (im Rahmen der Begleitforschung)  
Langzeit-Monitoring
  
- **Begleitforschungsprojekt**
  - Beratung
  - Dokumentation und Langzeit-Monitoring
  - Analyse und übergreifende Evaluierung
  - Kommunikation



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben **EnBau** und **EnSan**

- **Projektmanagement (PtJ)**
  - Prüfung von Projektskizzen und Förderanträgen, Beratung der Antragsteller, Förderempfehlungen an BMWi
  - Fachliche Begleitung, administrative Abwicklung und betriebswirtschaftliche Kontrolle der Fördervorhaben
  
- **Förderfähige Kosten bzw. Ausgaben** (Projektphase 1)
  - Mehraufwand für die integrale Planung
  - Aufwendungen für externe wiss.-techn. Beratung
  - Investitionen für den Piloteinsatz neuartiger Techniken
  - Aufwendungen für die forschungsbedingte Messtechnik
  - Mehraufwand für die Betriebsoptimierung in Einzelfällen
  - Aufwendungen für die Abwicklung des Förderprojektes



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben **EnBau** und **EnSan**

### **Zweistufiges Verfahren:**

#### **1. Projektskizze**, die wie folgt gegliedert sein sollte:

- Kurze Beschreibung: Aufgabenstellung und Bezug zum Förderkonzept
- Ergebnisdarstellung zum aktuellen Stand der Technik
- Einschätzung der Anwendungsmöglichkeiten
- Geschätzter Gesamtaufwand

#### **2. Nach Bewertung der Skizze wird bei Aussicht auf Förderung empfohlen einen förmlichen Antrag vorzulegen.**



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben

## ENOB-Demonstrationsvorhaben

### **Weitere Informationen**

In diesem Zusammenhang wird auf das elektronische Antragssystem **easy** hingewiesen. Vorlagen zur Skizzenerstellung können unter <http://www.kp.dlr.de/profi/easy/skizze/> bezogen werden.

Neben der **TIB - Technische Informationsbibliothek** Uni Hannover, die sämtliche Forschungsberichte in einer Datenbank führt, übernimmt das Fachinformationszentrum Karlsruhe mit dem **BINE Informationsdienst** über kostenfreie Broschüren, Newsletter und die Information im Internet eine zentrale Rolle bei der zeitnahen Ergebnisverbreitung für Forscher- und Anwendergruppen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Projektträger Jülich

Forschungszentrum Jülich GmbH

Energieoptimiertes Bauen: Rahmenbedingungen für künftige Demonstrationsbauvorhaben



