



Gebäude sanieren – Hochhaus-Wohnanlage

Abb 1



- ▶ **Heizwärmeverbrauch sank um ca. 45% auf 55 kWh/m²a**
- ▶ **Durch die Einzelraumregelung weitere Reduktion um 10 -15 kWh/m²a**
- ▶ **Das BHKW bewirkt die größte Einsparung an Primärenergie**
- ▶ **CO₂-Emissionen insgesamt um 68% reduziert**
- ▶ **Nutzerverhalten bezüglich Lüftung und Bedienung der Regelungssysteme nicht optimal**

Karlsruhe, Goerdelerstr. 12-18 vor und nach der Sanierung

Ende der 1950er bzw. Anfang der 1960er Jahre herrschte in zahlreichen Großstädten erheblicher Wohnungsmangel. Daraufhin wurden in den Randlagen der Städte verdichtete Wohnsiedlungen und z. T. völlig neue Stadtteile entwickelt. Mittlerweile ist eine grundlegende Sanierung dieser Wohnhochhäuser notwendig, um den Energieverbrauch zu senken und die Wohnqualität zu verbessern.

In Karlsruhe wurden drei Blöcke einer Hochhausanlage, Baujahr 1969/71 mit 375 Wohnungen saniert. Die Wärmedämmung und die neuen Fenster entsprechen jetzt dem Niedrigenergiehausstandard. Der Wärmeschutz und die Modernisierung der Lüftungstechnischen Einrichtungen, der Heizzentrale sowie der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) konnten den Primärenergiebedarf um ca. drei Viertel reduzieren.

Einer der drei 7- bis 12-geschossigen Wohnblöcke mit 147 Wohnungen wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens darüber hinaus

mit Einzelraumregelungen zur Heizwärme- und Lüftungssteuerung ausgestattet. In 76 Wohnungen wurden Systeme zweier verschiedener Hersteller installiert. Die Sanierungsarbeiten begannen im Herbst 2000 und dauerten bis Ende 2001. Das anschließende Messprogramm wurde im Frühjahr 2004 abgeschlossen.

Das Projekt wurde im Rahmen des Förderkonzeptes „Energetische Verbesserung der Bausubstanz (EnSan)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) gefördert. Mit dem Vorhaben sollten praktische Erfahrungen bei der ganzheitlichen Sanierung von Großwohnbauten gesammelt und im Detail dokumentiert werden. Untersucht wurde die energetische Wirkung einzelner Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen, insbesondere von Einzelraumregelungssystemen und bedarfsabhängiger Wohnraumbelüftung. Die Akzeptanz eines neuen Lüftungs- und Regelungssystems durch die Bewohner und der Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Erfolg der Maßnahme waren ebenfalls Gegenstand der Untersuchungen.

► Das Gebäude und sein Umfeld

Das Haus Goerdelerstr. 12-18 mit 147 Wohnungen gehört zu einer Wohnanlage aus drei ähnlichen Gebäuden im Südwesten von Karlsruhe (Abb 3). Der Komplex ist Teil einer Wohnsiedlung aus großen Mehr-

Abb 2a: Ausgewählte Gebäudedaten Goerdelerstr. 12-18

Baukonstruktion	Mauerwerk, Stahlbetondecken
Bruttogeschosfläche	12.612 m ²
Wohnfläche, beheizt	9.560 m ²
Bruttorauminhalt	34.146 m ³
A/V-Verhältnis	0,29
Endenergiebedarf	190 kWh/m ² a

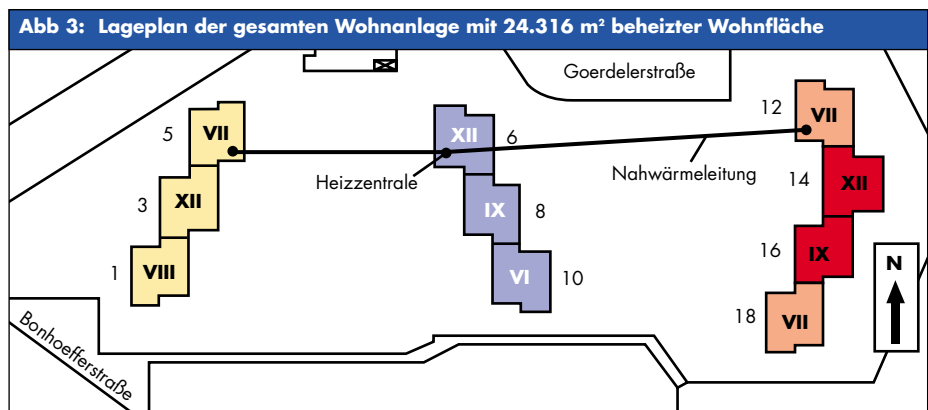


Abb 2b: Ausgangszustand und Sanierungsziele der gesamten Wohnanlage

	Fläche m ²	vor Sanierung ¹⁾ W/m ² K	nach Sanierung W/m ² K
Fassade U-Wert	5.770	0,77	0,22
Fenster-/Balkon-Brüstung U-Wert	1.270	1,10	0,21
Fenster U-Wert	1.740	2,50 (g = 0,80)	1,3 (g = 0,57)
Flachdach U-Wert	1.450	0,86	0,24
Kellerdecke U-Wert	1.400	1,08	0,32
Heizwärmebedarf ¹⁾		120 kWh/m ² a	56 kWh/m ² a
Endenergiebedarf ¹⁾		190 kWh/m ² a	108 kWh/m ² a
Installierte Heizleistung		2.800 kW	1.550 kW

1) Berechnung Planungsbüro ebök

familienhäusern. In den kostengünstigen Wohnungen leben überwiegend ältere Mieter, z. T. schon seit mehr als 15 Jahren. Der Anteil von Kleinkindern liegt nur bei 6%. Die Wohnhochhäuser zeigten vor der Sanierung erhebliche Mängel. Die Gebäudehülle war unzureichend gedämmt, Fenster und Wohnungseingangstüren undicht. Die mechanische Entlüftung in Bädern, WC und Küchen erfolgte über zeitgesteuerte Dachventilatoren und konnte durch die Mieter nicht beeinflusst werden.

► Sanierungskonzept Heizung und Lüftung Goerdelerstr. 12-18

Durch die Sanierung der Gebäudehülle und der Heizungs- und Lüftungstechnik sollte der Heizwärmebedarf in der gesamten Wohnanlage von 120 auf 56 kWh/m²a reduziert werden. Die Wärmeerzeugung erfolgt in der Heizzentrale mit einem Erdgas-NT-Kessel sowie zwei BHKW-Modulen für die Grundlast. Das BHKW deckt hierbei 80% des gesamten Wärmebedarfs. Im Rahmen des Gesamtkonzeptes wurde auch der Einfluss des Nutzerverhaltens sowie von zwei verschiedenen Systemen zur Einzelraumregelung untersucht.

Lüftung

Die vorhandene Lüftung wurde saniert, um energieeffizient den erforderlichen Luftwechsel zu realisieren. Die veralteten Dachventilatoren wurden gegen permanent betriebene

Geräte mit Konstantdrucksteuerung und Sockelschalldämpfern getauscht. Die Wohnungen erhielten Abluftventile mit veränderbaren Luftmengen (Grund-, Bedarfslüftung) in Küche, Bad und WC. Die Frischluft strömt über regelbare Außenluftdurchlässe mit Sturmsicherung in den Fenstern in die Räume.

Regelung

Im gesamten Gebäudekomplex wurden neue Thermostatventile installiert. Die Wohnungen in der Goerdelerstr. 14-16 erhielten zwei verschiedene Systeme zur Einzelraumregelung. Im Flur befindet sich ein wandmontiertes Zentralgerät mit dem alle weiteren Komponenten kommunizieren. Hier kann der Nutzer für jeden Raum und jedes beliebige Zeitfenster Raumsolltemperaturen eingeben.

Messprogramm

Um die energetische Wirkung einzelner Maßnahmen feststellen zu können, wurden in einigen Wohnungen Sensoren in allen Räumen installiert. Diese erfassen die raumklimatischen Verhältnisse, die Wärmeabgabe aller Heizkörper und die Stellung der Fenster, der Abluftventile und der Zuluftklappen. In den Wohnungen mit dem „System 2“ wurden wesentliche Daten direkt erfasst. Für die Erfassung der Daten in den anderen Wohnungen wurde ein funkbasiertes Messsystem entwickelt, das aus Kostengründen nur in 24 Wohnungen installiert wurde. Die Auswahl der Wohnungen erfolgte entsprechend der vertikalen Wärmeverteilung des Heizsystems so, dass die Wärmeabgabe aller an einem Vertikalstrang angeschlossenen Heizkörper bilanziert werden konnte.

Sanierungsmaßnahmen gesamte Wohnanlage

- Wärmeschutz Gebäudehülle
- Reinigung, Erneuerung der Wohnungslüftung
- Heizungsanlage (2 BHKW-Module je 120 kW_{el} mit Erdgas NT-Kessel 1,2 MW_{th})

zusätzlich im Forschungsgebäude Goerdelerstr. 14-16

- Einbau von zwei verschiedenen Einzelraumregelungssystemen und Praxisvergleich der Systeme
- Messtechnische Erfassung und Auswertung aller Energiebilanzen
- Sozialwissenschaftliche Begleitung

Sozialwissenschaftliche Begleitung

- Information der Mieter vor, während und nach der Sanierung, um Verständnis und Motivation zu gewinnen und damit die Energiesparziele erreichen zu können
- Untersuchung der Auswirkungen innovativer technischer Maßnahmen für die Bewohner sowie ihre Akzeptanz
- Ergebnisse für künftige Sanierungsprojekte, um eine optimale Ausschöpfung der Einsparpotenziale und eine größtmögliche Wohnzufriedenheit zu erreichen

► Ergebnisse

Heizwärmeverbrauch der gesamten Wohnanlage

Der Heizwärmeverbrauch lag im gesamten Komplex ohne Haus 14-16 bei 55 kWh/m²a. Der Endenergieverbrauch unter Einbeziehung des BHKWs konnte um 77% auf 35 kWh/m²a reduziert werden. Von allen durchgeführten Maßnahmen erzielt das BHKW (Stromgutschrift) den größten Effekt (Abb 4).

Heizwärmeverbrauch in der Goerdelerstr. 14-16

Der Heizwärmeverbrauch in den Wohnungen mit Einzelraumregelung sank im Mittel gegenüber den Standardwohnungen nochmals um 11 bzw. 17 kWh/m²a auf 44 kWh/m²a (System 1) und 38 kWh/m²a (System 2) (Abb 5).

Abb 5: Heizwärmeverbrauch der gesamten Wohnanlage und der Wohnungen mit Einzelraumregelung (witterungsbereinigt auf das langjährige Mittel Karlsruhe), Messperiode 7/2003 - 6/2004

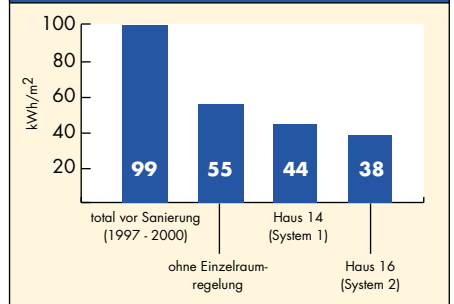


Abb 4: Energiekennwerte der gesamten Wohnanlage, Bezugsfläche: beheizte Wohnfläche 24.316 m², witterungsbereinigt, Verbrauchswerte vor der Sanierung sind Mittelwerte der Jahre 1997 - 2000

Verbrauchswerte		vor Sanierung (Mittelwert 1997 - 2000)	nach Sanierung		
			ohne Einzelraumregelung	mit Einzelraumregelung	
Nutzenergie [kWh/m ² a]	Heizung	98,5	55,4	43,9	37,6
	Trinkwassererwärmung ¹⁾	26,7			
	gesamt	125,2	82,2	70,6	64,4
Endenergie [kWh/m ² a]	Heizung	111,8	63,9	51,1	44,2
	Trinkwassererwärmung	51,0			
	gesamt	162,8	115,0	102,1	95,2
gesamt mit BHKW und Stromgutschrift		-	35,4	31,4	29,3

1) WW wurde nur 2003/04 gemessen, aber nicht für einzelne Gebäude

Vorteile der Kraft/Wärme-Kopplung

Durch die gleichzeitige Strom- und Wärmeerzeugung eines BHKW wird in der Heizzentrale zunächst mehr Brennstoff eingesetzt als bei reiner Wärmeerzeugung durch einen Kessel. Allerdings muss der vom BHKW erzeugte Strom nicht mehr in konventionellen Kraftwerken erzeugt werden. Für die Energiebilanz kann eine „Stromgutschrift“ vom Brennstoffbedarf in der Heizzentrale abgezogen werden. Deren Höhe hängt ab von der Stromkennzahl des BHKWs sowie vom Wirkungsgrad des „Vergleichskraftwerks“ (hier wurde ein durchschnittlicher Wirkungsgrad von 37% angesetzt).

► Ergebnisse Goerdelerstr. 14-16

Die Messungen ergaben, dass der Heizenergieverbrauch in den einzelnen Wohnungen sehr streut. Der Heizwärmeverbrauch liegt beispielsweise in den Wohnungen mit System 2 zwischen 5 und 49 im Mittel jedoch bei 38 kWh/m²a. Teilweise wurden Fenster häufig und über längere Zeit geöffnet, jedoch die Lüftungsschlitze nicht genutzt. Die Ansprüche an die Raumtemperatur variieren von 19°C bis zu 25°C.

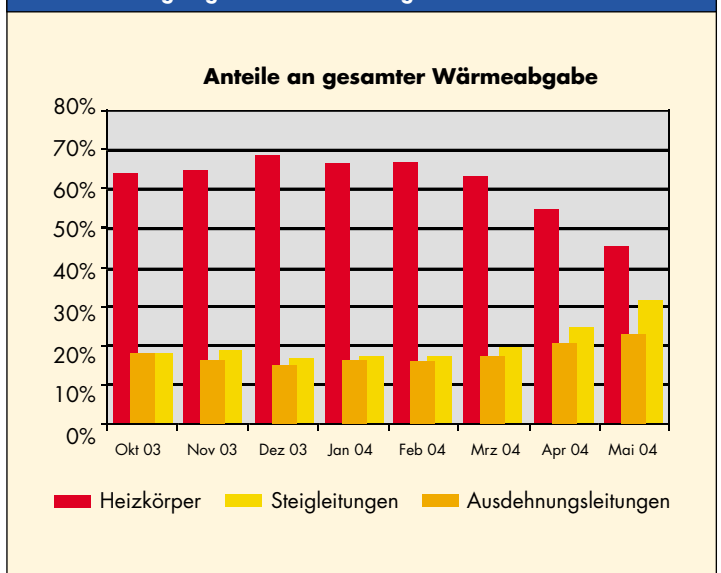
Als problematisch erwies sich, dass der Anteil der unregulierten Wärmezufuhr durch schlecht gedämmte Steigleitungen und Wärmeausdehnungsleitungen sehr hoch ist (Abb 6). Trotzdem wurde – bezogen auf den Durchschnittswert aller Wohnungen ohne Regelungssystem – mit dem System 2 eine Verbrauchsminderung von 32% und mit dem System 1 von 21% (Abb 5) erzielt. Vorteile für das System 2

zeigen sich vor allem in der Übergangszeit, wenn sich das effizientere Regelungsverhalten stärker auswirkt. Das System ermittelt aus den gemessenen Raumtemperaturen, den Positionen der Stellantriebe sowie der Außentemperatur einen Korrekturfaktor für den Sollwert der Vorlauftemperatur, der an die zentrale Regelung des Gebäudes weitergegeben wird. Die Lüftung wird ebenfalls zentral gesteuert.

Abb 7: Vergleich der beiden Einzelraumregelungssysteme

	System 1	System 2
Kosten je Wohnung:	1.280,- € (netto)	2.350,- € (netto)
Datenübermittlung	funkbasiert	Bus-Verdrahtung
Installationsaufwand	gering	hoch
Erfassung von Verbrauchswerten	nein	ja
Heizkostenabrechnung	nein	ja
Automatische Heizkörperventile	Batteriebetrieb	Stromnetz
Mindestluftwechsel automatisch sichergestellt	nein	ja
Datenlieferung zur Optimierung des Heizbetriebes	nein	ja
Nutzerfreundlichkeit	Muss verbessert werden, wobei gemäß Umfrage System 2 etwas besser abgeschnitten hat	
Rückkopplung Heizungsvorlauf	nein	ja
Steuerung Lüftungsanlage	nein	ja
Zusätzliches Energieeinsparpotenzial im Projekt	21%	32%
Amortisierung der Kosten	Bei heutigen Energiepreisen ist eine Amortisierung über die Energieeinsparung nicht möglich	

Abb 6: Übersicht über die Anteile der regulierten und unregulierten Wärmeeinträge



► Aspekte der sozialwissenschaftlichen Studie

Es erfolgten zwei schriftliche Befragungen aller Mieter, die durch persönliche Interviews mit einigen Bewohnern vor allem in der Goerdelerstr. 14 und 16 ergänzt wurden. Generell waren die Bewohner mit der Modernisierung sehr zufrieden. Neben dem attraktiven neuen Erscheinungsbild des Gebäudes wurden auch energiebezogene Verbesserungen wahrgenommen. Die Behaglichkeit in den Räumen hat sich infolge der Wärmedämmung und der erheblichen Verminderung der Zugerscheinungen am Fenster deutlich erhöht. Dennoch ist überraschend, dass immer noch gut ein Drittel der Befragten „etwas“ und noch 13 % „erheblich“ über Zugerscheinungen klagt, obwohl umfassende Maßnahmen zur Herstellung der Luftdichtigkeit durchgeführt wurden. Das Lüftungssystem über die ganze Wohnung mit den Außenluftdurchlässen und Absaugventilen war für viele Bewohner allerdings schwer verständlich. Einige empfanden es als Erleichterung, dass sie sich kaum noch um das Lüften kümmern müssen. Die meisten lüfteten aber im Winter weiterhin mit den Fenstern.

► Fazit

Die erzielten Ergebnisse beim Heizwärmeverbrauch entsprachen den Erwartungen und Modellrechnungen. Auch die Kombination von Wärmeschutz und kontrollierter Lüftung hat sich technisch bewährt. Der Einsatz eines BHKW ist unter heutigen Rahmenbedingungen bei großen Wohnanlagen wirtschaftlich möglich. Aber insgesamt sind die Kosten dieser Sanierung durch Einsparungen im Energieverbrauch bei heutigen Energiepreisen nur zum Teil kompensierbar. Die Maßnahmen müssen daher auch unter dem Aspekt der Wertsteigerung und Verbesserung der Wohnqualität, vor allem aber im Hinblick auf ihren Beitrag zu Energieeinsparung und Klimaschutz, betrachtet werden. Moderne Systeme zur Einzelraumregelung haben das Potenzial, den Heizwärmeverbrauch weiter zu senken, was jedoch von den Nutzern nicht ausgeschöpft wird. Technisch haben sie sich jedoch bewährt. Die Ergebnisse aus Messungen und sozialwissenschaftlicher Untersuchung zeigen, dass sich das Nutzerverhalten durch die Informationen zwar etwas verbessert hat. Es bestehen bei den Bewohnern aber erhebliche Unterschiede zwischen der Selbsteinschätzung und dem tatsächlichen Verhalten. Gründe hierfür sind, dass die Funktionsweise der neuen Lüftung oft nicht verstanden wird und die Möglichkeiten der Einzelraumregelung nicht optimal genutzt werden. Die Auswirkungen eines gekippten Fensters in einem unbeheiztem Raum (z. B. Schlafzimmer) auf den Heizwärmeverbrauch werden meist falsch eingeschätzt. Im Ergebnis zeigt die sozialwissenschaftliche Begleitforschung, dass der überwiegende Teil der Mieter mit den Maßnahmen sehr zufrieden ist und Verständnis für die Mieterhöhung hat. Die Einsparmöglichkeiten, die das automatische Lüftungssystem und die Einzelraumregelung bieten, werden allerdings wenig genutzt; zum Teil ist hier das technische Verständnis für diese Einrichtungen nicht gegeben. Es ist offensichtlich, dass neben der besseren Kommunikation mit den Nutzern eine deutliche Verbesserung der Bedienungsoberfläche der Geräte erforderlich ist. Außerdem sind eine zeitnahe Abrechnung der Heizkosten und eine individuelle Abrechnung des Trinkwarmwassers unbedingt erforderlich, damit die Mieter einen direkten Zusammenhang zwischen Verbrauch und Kosten erfahren.

► PROJEKTADRESSEN

- Volkswohnung GmbH
Herr Werner Emmerich
Ettlinger-Tor-Platz 2
76137 Karlsruhe
www.volkswohnung.com
- Klimaschutz- und Energieagentur
Baden-Württemberg (KEA)
Dr. Reinhard Jank
Griesbachstraße 10
76185 Karlsruhe
www.kea-bw.de

► ERGÄNZENDE INFORMATIONEN

Literatur

- Emmerich, W.; Garrecht, H.; Hildebrand, O. u.a.: EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße. Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens. Volkswohnung GmbH, Karlsruhe (Hrsg.) [2004]. 157 S., 6 S., FKZ 0329750F

Service

- Aktuelle Informationen über das ENSAN-Verbundprojekt und Daten weiterer Demonstrationsgebäude finden Sie unter www.ensan.de
- Ergänzende Informationen sind bei BINE im Internet unter www.bine.info (Service/InfoPlus) abrufbar.

PROJEKTORGANISATION

- **Förderung**
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
11019 Berlin

Projektträger Jülich (PTJ) des BMWA
Forschungszentrum Jülich GmbH
Steffen Hebestreit
52425 Jülich

- **Förderkennzeichen**
0329750 F

IMPRESSUM

- **ISSN**
0937 – 8367

- **Herausgeber**
Fachinformationszentrum Karlsruhe,
Gesellschaft für wissenschaftlich-technische
Information mbH
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

- **Nachdruck**
Nachdruck des Textes nur zulässig bei
vollständiger Quellenangabe und gegen
Zusendung eines Belegexemplares;
Nachdruck der Abbildungen nur mit
Zustimmung der jeweils Berechtigten.

- **Autorin**
Micaela Münter

BINE Informationsdienst Kompetenz in Energie

BINE informiert zu Energieeffizienz-
technologien und erneuerbaren Energien:

In kostenfreien Broschüren, unter
www.bine.info und per Newsletter zeigt
BINE, wie sich gute Forschungsideen in
der Praxis bewähren.

BINE ist ein vom Bundesministerium für
Wirtschaft und Arbeit geförderter Infor-
mationsdienst.

Kontakt:

Fragen zu diesem **projektinfo**?
Wir helfen Ihnen weiter – wählen Sie
die BINE Experten-Hotline:

Tel. 0228 / 9 23 79-44

Allgemeine Fragen?

Wünschen Sie allgemeine Informationen
zum energie- und umweltgerechten Pla-
nen und Bauen? Dann wenden Sie sich
bitte an die unten stehende Adresse.



BINE

Informationsdienst

Fachinformationszentrum Karlsruhe
Büro Bonn
Mechenstraße 57, 53129 Bonn

Fon: 0228 / 9 23 79-0
Fax: 0228 / 9 23 79-29

E-Mail: bine@fiz-karlsruhe.de
Internet: www.bine.info