

## **EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße**

### **Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens**

W. Emmerich, A. Georgescu, M. Ginter, Volkswohnung GmbH, Karlsruhe

Prof. Dr. H. Garrecht, J. Huber, Fachhochschule Karlsruhe

O. Hildebrand, A. König, M. Laidig, ebök GbR, Tübingen

E. Gruber, Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe

Dr. R. Jank, H. Bieber, KEA GmbH, Karlsruhe

### ***Zusammenfassung***

Durch die Volkswohnung GmbH Karlsruhe wurde in den Jahren 2000 und 2001 an einem Wohnkomplex im Stadtteil Oberreut mit 375 Wohneinheiten (erbaut 1970/71) eine umfassende energetische Sanierung und Modernisierung vorgenommen. Wärmedämmung und neue Fenster entsprechen heute dem Niedrigenergiehausstandard. Durch die Modernisierung der Lüftungstechnischen Einrichtungen mit Einführung einer kontrollierbaren Lüftung sowie durch Modernisierung der Heizzentrale konnte die installierte Leistung zur Wärmezeugung etwa halbiert werden. Durch Einsatz eines BHKW (240 kW<sub>el</sub>) konnte darüber hinaus der Brennstoffverbrauch unter Berücksichtigung der Gutschrift für den erzeugten Strom um rund drei Viertel, die CO<sub>2</sub>-Emission um rund zwei Drittel gesenkt werden. Die Gesamtkosten (Kostengruppen 300 und 400) lagen bei rund 9,5 Mio. €.

Die zentralen Verbrauchsdaten wurden über mehr als 2 Jahre detailliert erfasst und zur Betriebsoptimierung und zur Energiebilanzierung ausgewertet. In einem der drei sanierten Wohnblöcke (mit 147 Wohneinheiten; „EnSan-Forschungsblock“) wurden darüber hinaus in der Hälfte der Wohnungen zwei verschiedene Fabrikate moderner Einzelraumregelungen eingebaut, um deren Potenzial zur zusätzlichen Einsparung an Heizenergie festzustellen.

Das Vorhaben wurde in enger Zusammenarbeit der auftraggebenden Wohnungsgesellschaft, Volkswohnung Karlsruhe GmbH, mit Architekten, TGA-Planern, begleitenden Wissenschaftlern und nicht zuletzt dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik konzipiert. Dieser „integrale“ Ansatz wird von der Volkswohnung schon seit längerem praktiziert und ist bei so komplexen Vorhaben eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg.

Um die Verringerung des Energieverbrauchs durch die o.g. Maßnahmen nachweisen zu können, wurde ein umfassendes Messprogramm mit mehr als 1.200 Sensoren, die in 24 Wohneinheiten und in der Heizzentrale installiert wurden, realisiert. Alle Informationen zur Beheizung, zur Lüftung und zum Nutzerverhalten wurden eine Heizperiode lang über ein neuartiges funkbasiertes Messkonzept erfasst und von einem zentralen Rechner aufbereitet, um eine detaillierte Energiebilanz zu erhalten. Die Daten wurden in 18 Wohnungen in aufbereiteter Form on-line an die Mieter zurückgegeben, um diese zu informieren und sie in Richtung energieeffizientes Verhalten zu beeinflussen. Das Vorhaben wurde sozialwissenschaftlich

begleitet, um Rückschlüsse auf die Einflussmöglichkeiten auf Mieter und deren Akzeptanz für moderne Techniken im Gebäude ziehen zu können.

Die in den Modellrechnungen erwartete Reduzierung des Heizenergieverbrauchs um ca. 45 % wurde erreicht, im „Forschungsblock“ ergab sich durch den zusätzlichen Effekt der Einzelraumregelung und der Informationsrückkopplung an die Mieter eine Reduzierung um 52 %. Dabei lag der Einspareffekt beim Heizenergieverbrauch durch die beiden eingebauten automatischen Einzelraumregelungen bei 32 % (System Dr. Riedel) bzw. 21 % (Honeywell). Die Ergebnisse der Befragungen und die Messwerte in den Wohnungen zeigten jedoch, dass das Nutzerverhalten sich zwar durch die Informationen etwas verbessert hat, aber noch deutlich von wirklich energiebewusstem Verhalten entfernt ist. Überdies bestehen erhebliche Unterschiede zwischen der Selbsteinschätzung und dem tatsächlichen Verhalten. Zwei wichtige Ursachen dafür dürften darin liegen, dass die Funktionsweise der neuen Lüftung oft nicht verstanden wurde und dass Akzeptanzhemmnisse oder einfach Trägheit verhindert haben, dass die Möglichkeiten der automatischen Einzelraumregelung optimal genutzt wurden. Ferner ist die Rückkopplung durch die Auswirkung von energiesparendem Verhalten auf die Heizkosten zu gering (weitgehende Pauschalisierung) und zu spät (über eineinhalb Jahre verzögert), als dass hierdurch ein starker Anreiz zum Energiesparen ausginge. Dies betrifft besonders die Warmwassernutzung, die in dieser Wohnanlage mehr als doppelt so hoch lag wie erwartet.

Der spezifische Brennstoffeinsatz in der Wohnanlage wurde durch die Maßnahmen von 161 kWh/m<sup>2</sup> auf 37 kWh/m<sup>2</sup> (Bezug auf beheizte Wohnfläche) reduziert, also um 77 %. Von allen durchgeführten Maßnahmen hatte das installierte BHKW den größten Einzeleffekt und trug mit 46 %-Punkten zu dieser Einsparung bei, während die Wärmeschutzmaßnahmen und die Verbesserung der Lüftung mit 31 %-Punkten beitrugen.

Der Heizenergieverbrauch sank im Mittel über alle 375 Wohnungen von 100,5 (Mittelwert des temperaturbereinigten mittleren Heizenergieverbrauchs der letzten 5 Jahre vor der Sanierung) auf 55,5 kWh/m<sup>2</sup>. Durch die Einzelraumregelungen in einem Teil der Wohnungen konnte dieser Wert auf 43 bzw. 37 kWh/m<sup>2</sup> reduziert werden, wobei durch optimale Nutzung sogar noch niedrigere Werte möglich wären.

Während der Einbau eines BHKW, das eine enorm effiziente Klimaschutz-Maßnahme darstellt, unter den heutigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen als wirtschaftlich angesehen werden kann, wenn es optimal ausgelegt und betrieben wird, können sich die übrigen Maßnahmen nicht bereits durch die dadurch erzielten Kosteneinsparungen beim Energieeinsatz rechnen. Nur etwa ein Drittel der energiebedingten Mehrkosten des Vorhabens werden durch die Minderkosten beim Gasverbrauch kompensiert. Dabei machen die energierelevanten Mehrkosten wiederum nur etwa ein Drittel der Gesamtkosten der Sanierung und Modernisierung in diesem Vorhaben aus. Dementsprechend kann auch die Mieterhöhung – die die Gesamtkosten berücksichtigt – durch die Kostenreduktion beim Heizen bei weitem nicht kompensiert werden: Für eine Wohnung mit 67 m<sup>2</sup> ergibt die Erhöhung der Kaltmiete, die nach der Sanierung erfolgt ist, Mehrkosten von ca. 1.100 €/a, während die Minderung der Heizkosten bei einem Gaspreis im Jahr 2004 von 4,5 ct/kWhHo etwa 160 €/a ausmacht. Dennoch halten rund 75 % der Mieter, wie die Umfrage im Frühjahr 2004 ergab,

die Mieterhöhung (von 3,30 auf 4,75 € pro m<sup>2</sup> und Monat, also für die Durchschnittswohnung von 67 m<sup>2</sup> eine Kaltmiete von 318 €) für ganz oder „teilweise“ gerechtfertigt, weil sowohl der Komfort in den Wohnungen als auch das Äußere der Gebäude und des gesamten Wohnumfeldes eine erhebliche Aufwertung erfahren haben.

Der durch die die Bereitstellung von Warmwasser verursachte Energieverbrauch liegt nach der Sanierung fast so hoch wie der Energieverbrauch zur Beheizung. Hier und bei der Beeinflussung des Nutzerverhaltens sowie der regelmäßigen Qualitätsüberwachung des Anlagenbetriebes, die durch die moderne GLT ermöglicht, aber i.a. selten praktiziert wird, liegen die wesentlichen noch bestehenden Einsparpotenziale, die durch eine Kombination von moderner Regelungs- und Kommunikationstechnik sowie geeignete (fortlaufende) Informationen für die Nutzer zumindest zum Teil realisiert werden können. Kostensenkungen in der Technik und Erfahrungen mit „Good-Practice – Projekten“ von Wohnungsgesellschaften (und deren Dokumentation) könnten hierzu einen Beitrag liefern, z.B. im Zusammenhang mit der bevorstehenden Einführung eines Wärmepasses nach EnEV bzw. der 2006 in Kraft tretenden EU-Richtlinie zur Energieeinsparung in Gebäuden. Da mit Absenkung des Energiebedarfs auf der Wärmeseite der *Haushaltsstromverbrauch* immer mehr an Bedeutung gewinnt, sollte das Thema Stromeinsparung in diese Einspardiskussion einbezogen werden (Strombedarf eines 2-Personen-Haushalts in 2003 i.M. 2.350 kWh/a, entsprechend 35 kWh/m<sup>2</sup> oder 94,8 kWh/m<sup>2</sup> Primärenergie bzw. Jahreskosten von 400 €/a, d.h. mehr als die Heizkosten) – viele Untersuchungen zeigen, dass hier Einsparungen um 20 bis 30 % leicht möglich wären.

Zur Durchführung der detaillierten Messungen in den Wohnungen, die die Mieter möglichst nicht stören sollten, wurde von der FH Karlsruhe ein innovatives messtechnisches Konzept entwickelt, das im Projektablauf zu zeitlichen Verzögerungen geführt hat, sich aber letztendlich ausgezeichnet bewährt hat. Es wird nachfolgend bereits in weiteren Forschungsvorhaben der FH eingesetzt und könnte auch in anderen Vorhaben mit begleitender Messtechnik übernommen werden, bei denen viele verstreute Messstellen ausgewertet werden müssen.

**"EnSan-Block" Goerdeler Straße 12-18****Gebäudekennwerte gemäß EnEV sowie vergleichende Angaben**

Wärmeübertragende Umfassungsfläche A	9.808 m <sup>2</sup>
<b>Bruttovolumen</b>	34.146 m <sup>3</sup>
<b>Hüllflächenfaktor A/V</b>	0,29 (-)
<b>Nutzfläche A<sub>N</sub> (EnEV)</b>	10.927 m <sup>2</sup>
Wohnfläche (II. BV)	9.832 m <sup>2</sup>
<b>Höchstwerte gemäß EnEV:</b>	
Bezogener Jahres-Primärenergiebedarf QP" <sup>1)</sup>	<b>72,8 kWh/m<sup>2</sup>a</b>
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H <sub>T</sub> '	0,82 W/m <sup>2</sup> K
Nennleistung Kessel	1.150 kWth
Nennleistung BHKW	400 kWth
<b>Jahres-Primärenergiebedarf Qp" (EnEV) 53,4 kWh/m<sup>2</sup>a</b>	
Jahres-Primärenergiebedarf Qp (EnEV)	583.487 kWh/a
Heizlast	400 kW
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H <sub>T</sub> '	0,545 W/m <sup>2</sup> K
Spezifischer Transmissionswärmeverlust H <sub>T</sub>	5.955 W/K
Außentemperatur	siehe sep. Aufstellung
Globalstrahlung	
Jahres-Heizwärmebedarf Q <sub>h</sub> (EnEV, Bezug A <sub>N</sub> )	35,2 kWh/m <sup>2</sup> a
Heizwärmebedarf Q <sub>h</sub> nach LEG-Verfahren (Bezug WFI)	56 kWh/m <sup>2</sup> a
Trinkwasser-Wärmebedarf q <sub>tw</sub> (gemäß EnEV)	12,5 kWh/m <sup>2</sup> a
Anlagenaufwandszahl e <sub>p</sub>	1,118 (-)
Nutzungsgrad Kessel <sup>2)</sup>	90%
BHKW eta el	34%
BHKW eta th	56%
Deckungsgrad BHKW	80%
Speicherverluste	nicht ermittelt

1) Da &gt; 70% KWK, entfällt Hauptforderung (§ 32 Abs.3 EnEV)

2) gemessen aus Gasverbrauch und Wärmeabgabe im Dezember 2003

**Verbräuche in Messperiode (7/03 - 06/04),  
bereinigt:**

	Bezugsfläche:	WFI	A <sub>N</sub>
Heizwärme		47,5	42,8 kWh/m <sup>2</sup> a
TWW brutto		47,5	42,7 kWh/m <sup>2</sup> a
Verluste		18,6	16,8 kWh/m <sup>2</sup> a
TWW Nutzen		28,9	26,0 kWh/m <sup>2</sup> a
NW-Verluste		6,0	5,4 kWh/m <sup>2</sup> a

**Endenergieverbrauch**

(Nahwärme-Netzverluste je zur Hälfte Hz und WW; BHKW nicht berücksichtigt)

Heizung		56,1	50,5 kWh/m <sup>2</sup> a
Trinkwarmwasser		56,1	50,5 kWh/m <sup>2</sup> a
Beleuchtung			nicht erfasst

Primärenergie total		61,7	55,5 kWh/m <sup>2</sup> a
---------------------	--	------	---------------------------

(ohne BHKW, PE-Faktor 1,1 gem. EnEV)

	Bezugsfläche:	WFI	A <sub>N</sub>
Anteil BHKW (80%)		80,8	72,7 kWh/m <sup>2</sup> a
PE BHKW (eta th 56%)		143	129 kWh/m <sup>2</sup> a
Strom BHKW (eta el 34%)		48	44 kWh/m <sup>2</sup> a
Stromgutschrift (eta Ref. 37%)		131	118 kWh/m <sup>2</sup> a
PE Saldo		12	11 kWh/m <sup>2</sup> a
Anteil Kessel (20%)		20,2	18,2 kWh/m <sup>2</sup> a
Kessel Endenergie (eta 0,9)		22,4	20,2 kWh/m <sup>2</sup> a
Summe		34,4	31,0 kWh/m <sup>2</sup> a
PE-Faktor 1,1 gem. EnEV		1,1	1,1 (-)
<b>Primärenergie</b>		<b>37,9</b>	<b>34,1 kWh/m<sup>2</sup>a</b>

(Hilfsenergie (Strom) für Lüftung, Pumpen etc. hier nicht berücksichtigt, da nicht separat gemessen!)

<b>Relation Verbrauch zu Bedarf (EnEV):</b>	Bedarf	Verbrauch	Relation
Heizwärme	35,2	42,8	122%
Primärenergie	53,4	34,1	64%

**Kennwerte Lüftungsanlage:****Lüftungsanlage saniert (Schätzwerte)**

Luftvolumen	23.598	m <sup>3</sup>
ß Mittel	0,3	(-)
Vol.strom	7.079	m <sup>3</sup> /h
Spez. Leistung	0,1	W/m <sup>3</sup> h
Leistung	708	W
El. Energie	6.201	kWh/a
Strom spez.	0,63	kWh/m <sup>2</sup> a WFI
Strom spez.	0,57	kWh/m <sup>2</sup> a A <sub>N</sub>

**Altbestand (grobe Schätzung)**

Luftvolumen	23.598	m <sup>3</sup>
ß Mittel	0,7	(-)
Vol.strom	16.518	m <sup>3</sup> /h
Spez. Leistung	0,6	W/m <sup>3</sup> h
Leistung	9.911	W
El. Energie	26.227	kWh/a
Strom spez.	2,67	kWh/m <sup>2</sup> a WFI
Strom spez.	2,40	kWh/m <sup>2</sup> a A <sub>N</sub>

**Meteorologische Kennwerte:**

(Monatsmittelwerte)

	Globalstrahlung		Außentemperatur	
	LJM	1981-2000	LJM	2003
		kW/m <sup>2</sup>	1961-1990	°C
			°C	°C
Januar		0,779	1,2	1,0
Februar		1,538	2,5	0,8
März		2,482	6	8,9
April		3,936	9,9	11,1
Mai		4,977	14,3	16,2
Juni		5,376	17,5	23,0
Juli		5,466	19,6	21,7
August		4,726	18,8	24,3
September		3,27	15,4	16,3
Oktober		1,819	10,4	8,4
November		0,984	5,3	7,3
Dezember		0,603	2,2	3,1