



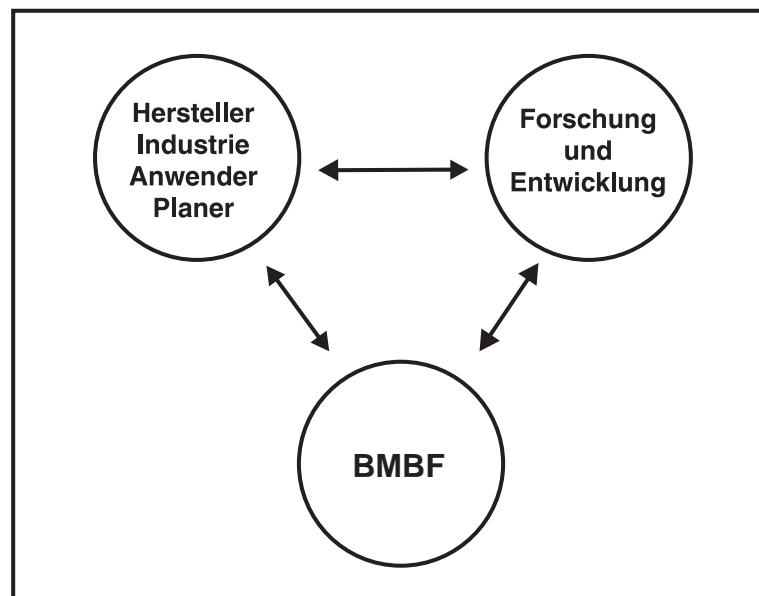
Forschungs-Informations-Austausch



H. Bieber, W. Emmerich, Prof. Dr. H. Garrecht, A. Georgescu, M. Ginter, E. Gruber, O. Hildebrand, J. Huber, Dr. R. Jank, A. König, M. Laidig,

EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße

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



Forschungsberichte

EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße

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

Herausgeber: FIA-Projekt – Forschungs-Informations-Austausch
unterstützt durch das
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

im Fachinstitut Gebäude-Klima e.V.
Danziger Straße 20
74321 Bietigheim-Bissingen
Tel.: 071 42/5 44 98
www.fgk.de

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

Zuwendungsempfänger:
Volkswohnung Karlsruhe GmbH

Veröffentlicht im November 2004 Best. Nr.: 100
ISBN 3-938210-04-4
Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren

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. Hildebrandt, A. König, M. Laidig, ebök GbR, Tübingen

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

Dr. R. Jank, H. Bieber, KEA Klimaschutz- und Energieagentur GmbH, Karlsruhe

Zuwendungsempfänger:	Volkswohnung Karlsruhe GmbH
Kennzeichen:	BEO43/0329750F
Vorhabensbezeichnung:	Modellhafte integrale Gesamtsanierung eines Gebäudekomplexes mit 147 Wohneinheiten in Karlsruhe
Laufzeit des Vorhabens:	01.06.2000 – 30.06.2004

Berichtsblatt

1. ISBN ISBN 3-938210-04-4	2. Berichtsart Abschlussbericht
3a. Titel des Berichts EnSan-Projekt Karlsruhe - Goerdelerstraße: Integrale Sanierung eines großen Wohngebäudes	
3b. Titel der Publikation	
4a. Autoren des Berichts (Name, Vorname(n)) Emmerich, Werner; Jank, Reinhard (Projektleitung). Bieber, Harald; Garrecht, Harald; Georgescu, A.; Ginter, Monika; Gruber, Edelgard; Hildebrandt, Olaf; Huber, Jochen; König, Achim; Laidig, Matthias.	5. Abschlussdatum des Vorhabens August 2004
4b. Autoren der Publikation (Name, Vorname(n)) s.o.	6. Veröffentlichungsdatum Oktober 2004
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Volkswohnung Karlsruhe GmbH Ettlinger-Tor-Platz 2 76137 Karlsruhe	7. Form der Publikation Gebundener Forschungsbericht
13. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) 53107 Bonn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen BEO43/0329750F
	11a. Seitenzahl Bericht 171
	11b. Seitenzahl Publikation
	12. Literaturangaben -
	14. Tabellen 5
	15. Abbildungen 122
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) EnSan-Statusseminar FZ Jülich, Oktober 2004	
18. Kurzfassung Durch die Volkswohnung Karlsruhe wurde in den Jahren 2000 und 2001 an einem Wohnkomplex mit 375 Wohneinheiten (erbaut 1970/71) eine integrale energetische Sanierung und Modernisierung auf Niedrigenergiehausstandard (umfassender Wärmeschutz für alle Hüllflächen, Dichtung von Fenstern und Türen, Sanierung der Lüftungstechn. Einrichtungen, Einführung einer kontrollierbaren Lüftung, teilw. Einzelraumregelung, Modernisierung der Heizzentrale, Einsatz eines BHKW (240 kW _a)) mit Gesamtkosten von rund 9,5 Mio. € vorgenommen. Die Verbrauchsdaten nach Sanierung wurden detailliert erfasst und zur Betriebsoptimierung und zur Energiebilanzierung ausgewertet, um einen Bezug zwischen Maßnahmen und Erfolg zu ermöglichen. Um die Energieverbrauchsverringerung nachweisen zu können, wurde ein umfassendes Messprogramm mit mehr als 1.200 Sensoren realisiert, mit dem alle Informationen zur Beheizung, zur Lüftung und zum Nutzerverhalten über ein neuartiges funkbasiertes Messkonzept erfasst wurden. Die Daten wurden in 18 Wohnungen in aufbereiteter Form on-line an die Mieter zurückgegeben, um diese in Richtung energieeffizientes Verhalten zu beeinflussen. Das Vorhaben wurde sozialwissenschaftlich begleitet, um Rückschlüsse auf die Mieterakzeptanz für moderne Techniken im Gebäude ziehen zu können. Im Forschungsblock ergab sich eine Reduzierung des Heizenergiebedarfs um 52 %. Der zusätzliche Einspareffekt beim Heizenergieverbrauch durch die beiden eingebauten automatischen Einzelraumregelungen lag zwischen 21 und 32 %, bezogen auf den bereits ohne dieses System erzielten Heizenergieverbrauch von 54 kWh/m ² . Der spezifische Brennstoffeinsatz in der Wohnanlage wurde durch die Maßnahmen - unter Berücksichtigung der BHKW-Stromgutschrift - auf 34 kWh/m ² reduziert. Von allen durchgeführten Maßnahmen hatte das BHKW den größten Einzeleffekt und trug mit 46 %-Punkten zu dieser Einsparung bei, die Wärmeschutzmaßnahmen und die Verbesserung der Lüftung trugen mit 31 %-Punkten zu diesem Ergebnis bei. Während der Einbau des BHKW 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.	
19. Schlagwörter Integrale Sanierung, Blockheizkraftwerk, kontrollierte Lüftung, Einzelraumregelung, Nutzerverhalten, Niedrigenergiehaus	
20. Verlag Fachinstitut Gebäude Klima e. V., Bietigheim-Bissingen	21. Preis 15,40 €

Inhalt:**Zusammenfassung****Teil I: Konzept, Maßnahmenübersicht und Umsetzungserfahrungen**

- 1. Ausgangszustand und Zielsetzung**
- 2. Maßnahmen und rechnerische Wirkung**
- 3. Investitionskosten**
- 4. Messwerterfassung und Visualisierung**
- 5. Messtechnisches Untersuchungsprogramm**
 - 5.1 Messkonzept*
 - 5.2 Messwerterfassung und Kommunikation*
 - 5.2.1 Messwerterfassung*
 - 5.2.2 Visualisierung*
 - 5.3 On-line – Auswertung auf Leitrechner*
- 6. Betrieb eines BHKW**
 - 6.1 Vorteile der Kraft/Wärme-Kopplung*
 - 6.2 Rechnerische BHKW-Auslegung und Bilanz*
 - 6.3 Gesetzliche Möglichkeiten für den BHKW-Betrieb*
- 7. Lüftungsanlagen**
 - 7.1 Bestandsaufnahme*
 - 7.2 Sanierungskonzept Lüftung*
 - 7.3 Umsetzung der Lüftungskonzeption*
- 8. Regelungstechnik**
 - 8.1 Bestandsaufnahme*
 - 8.2 Sanierungskonzept Regelung*
 - 8.3 Umsetzung der Regelungskonzeption*
 - 8.4 Erfahrungen bei der Ausführung*
- 9. Soziale Begleituntersuchung durch ISI**

Teil II: Ergebnisse**10. Energieerzeugung Heizzentrale***10.1 Gesamtenergiebilanz**10.2 Entwicklung der Energiebilanz**10.3 Entwicklung der CO₂-Emissionen**10.4 BHKW: Betriebserfahrungen und Wirtschaftlichkeit***11. Energiebedarf Block 1 bis 3: Gesamtübersicht****12. „EnSan-Block“:***12.1 Wohnungsenergiebilanzen: Verfahren zur Berücksichtigung unregelter Wärmeeinträge**12.2 Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlich ausgestatteten bzw. geregelten Wohnungen**12.3 Messergebnisse zum Mieterverhalten**12.4 Teilprojekt „Informationsrückkopplung Mieter“***13. Mieter- und Akteurskommunikation: Ergebnisse der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung***13.1 Einstellungen, Erwartungen und sozialstrukturelle Merkmale der Bewohner**13.2 Mieterkommunikation: Information, Motivation, Betreuung**13.3 Auswirkungen der Sanierung, Wohnverhalten und Handhabung des Heizungs- und Lüftungssystems**13.4 Zusammenhang zwischen Heizkosten und Messergebnissen zum Wohnverhalten***14. Gesamtergebnis und Schlussfolgerungen***14.1 Gesamtenergiebilanz**14.2 Bilanz BHKW**14.3 Brauchwarmwasserbedarf**14.4 Wirtschaftliche Auswirkungen der Sanierung für die Mieter**14.5 Erfahrungen mit der Regelungstechnik**14.6 Lüftungsverhalten**14.7 Nutzerverhalten**14.8 Feed-Back an Hersteller und Planer**14.9 Feed-Back an Volkswohnung**14.10 Feed-Back an EnSan-Programm*

ANHÄNGE:**Anhang 1:****Beispielhafte Tagesgänge der Wärmeerzeugung in der Heizzentrale****Anhang 2:****Wärmeabgabe in die Wohnungen****Anhang 3:****Feed-Back – Tool zur Information der Mieter über das Energieverhalten:
Gebrauchanleitung****Anhang 4:****Konzept des Bewertungsalgorithmus zur automatischen Erstellung von Rückkopplungs-
informationen an die Mieter auf der Basis der Messwerte in den Wohnungen****Anhang 5:****Fragebogen ISI – Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung – März
2003**

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 Wärmeerzeugung etwa halbiert werden. Durch Einsatz eines BHKW (240 kW_{el}) konnte darüber hinaus der Brennstoffverbrauch unter Berücksichtigung der Gutschrift für den erzeugten Strom um rund drei Viertel, die CO₂-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 energieeffizienten 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 Heizenergiebedarfs um ca. 45 % wurde erreicht, die installierte Kesselleistung konnte von 2.790 auf 1.550 kW reduziert werden. Im „Forschungsblock“ ergab sich durch den zusätzlichen Effekt der Einzelraumregelung und der Informationsrückkopplung an die Mieter eine Reduzierung um 52 %. Dabei lag der Einspareffekt des Heizbedarfs 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 Ursa-

chen 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^2 auf 37 kWh/m^2 (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.

Die Heizbedarfskennzahl sank im Mittel über alle 375 Wohnungen von 100,5 (Mittelwert des temperaturbereinigten mittleren Heizenergiebedarfs der letzten 5 Jahre vor der Sanierung) auf $55,5 \text{ kWh/m}^2$. Durch die Einzelraumregelungen in einem Teil der Wohnungen konnte dieser Wert auf 43 bzw. 37 kWh/m^2 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^2 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^2 und Monat, also für die Durchschnittswohnung von 67 m^2 eine Kaltmiete von 318 €) für ganz oder „teilweise“ gerechtfertigt, weil sowohl der Komfort in den Wohnungen als auch 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 Wohnungsge-

sellschaften (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 Strom-einsparung in diese Einspardiskussion einbezogen werden (Strombedarf eines 2-Personen-Haushalts in 2003 i.M. 2.350 kWh/a, entsprechend 35 kWh/m² oder 94,8 kWh/m² 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.