



Reinhard Jank, Reiner Kuklinski

Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim

Optimierungsmethoden · Praxiserfahrungen · Ergebnisse

 **EnEff:Stadt**
Forschung für
die energieeffiziente Stadt


VOLKS WOHNUNG

Gefördert durch:

 **Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Impressum

Herausgeber:

Begleitforschung EnEff:Stadt
c/o pro: 21 GmbH
Am Hofgarten 3, 53113 Bonn
Dr. Armand Dütz (V.i.S.d.P.), Jessica Löffler
Tel.: 0228 - 97 14 49 - 21
Fax: 0228 - 97 14 49 - 29
E-Mail: j.loeffler@pro-21.de

Inhalte basieren auf den Ergebnissen
des Forschungsprojekts "Integrales Quartiers-
Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim"
(Förderkennzeichen 0327400H)

Lektorat und Gestaltung:

löwenholz kommunikation GbR, Berlin
Rüdiger Buchholz, Claudia Oly

Druck:

Fraunhofer IRB Verlag

Titelbild:

© Volkswohnung

Bonn, 2015

ISBN (Print): 978-3-8167-9421-9

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9422-6

Schriftenreihe EnEff:Stadt

Diese Publikation wird herausgegeben im Rahmen
der Schriftenreihe EnEff:Stadt. In dieser werden
fortlaufend die für Fachwelt und Praxis besonders
relevanten Ergebnisse und Erkenntnisse aus der
Forschungsinitiative EnEff:Stadt des
Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
(BMWi) veröffentlicht.

Bislang erschienen:

- Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere
- Energetische Stadtraumtypen
- Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-
Rintheim

Neuerscheinungen werden fortlaufend über die
Website der Förderinitiative (www.eneff-stadt.info)
im Bereich Begleitforschung angekündigt.

Reinhard Jank, Reiner Kuklinski

Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim

Optimierungsmethoden · Praxiserfahrungen · Ergebnisse

Inhalt

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Vorwort zur Schriftenreihe | 11 |
| Vorwort | 13 |
| I Einleitung: Das Quartier „Rintheimer Feld“ | 15 |
| I.1 Das Wohnquartier | 16 |
| I.2 Ergebnisse der Quartiersanalyse | 18 |
| II Quartiers-Energiebilanz – Ausgangsdaten 2008 | 22 |
| III Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim | 26 |
| III.1 Einleitung | 26 |
| III.2 Energiekonzept | 27 |
| III.3 Gebäudesanierungs-Zeitplan | 28 |
| III.4 Entwicklung der Quartiers-Energiebilanz 2008-2015 | 30 |
| III.4.1 Eckpunkte der Bilanzierung | 30 |
| III.4.2 Gemessener Wärmeverbrauch 2012 | 31 |
| III.4.3 Entwicklung des spezifischen Heizenergiebedarfs bis 2015 | 33 |
| III.4.4 Primärenergie- und CO ₂ -Bilanz Quartier Rintheimer Feld (VOLKSWOHNUNGS-Gebäude), 1997 bis 2015 | 35 |
| III.4.5 Wirkungsgrade der Hausübergabestationen (HÜS) | 38 |
| III.4.6 Volllastbenutzungsdauern der installierten HÜS-Heizleistungen | 40 |
| IV Forschungsgebäude | 42 |
| IV.1 „Standardsanierung“: Vergleichsgebäude | 44 |
| IV.2 Forschungsansatz für die beiden Forschungsgebäude | 47 |
| IV.3 „3-Liter-Gebäude“: Heilbronner Straße 33-37 | 48 |
| IV.4 „Experimentiergebäude“: Mannheimer Straße 43-47 | 49 |
| IV.5 Rechnerische Energiekennzahlen für das „Experimentiergebäude“ | 52 |
| IV.6 Messtechnische Begleitung und Evaluierung: Stand 2013 | 55 |
| IV.7 Übersichtsauswertung Forschungsgebäude | 56 |
| IV.7.1 Heizenergieverbrauch | 56 |
| IV.7.2 Verbrauch an Trinkwarmwasser | 59 |
| V Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen | 61 |
| V.1 Einleitung | 61 |
| V.2 Ergebnisse der „konventionellen energetischen Sanierung“ von Mehrfamilienhäusern im Quartier | 62 |
| V.3 Sanierung von Bestands-Mehrfamilienhäusern und Quartierskonzept – integraler Ansatz | 64 |
| V.4 Energiecontrolling | 65 |
| V.5 Forschungsgebäude – Betriebserfahrungen | 66 |
| V.6 Schlussfolgerungen | 71 |
| Literatur | 73 |

Der Schlussbericht dient einer Übersicht über das Gesamtvorhaben. Die wichtigsten Informationen und Ergebnisse sind den nachstehenden Kapiteln zu entnehmen. Einige Themen müssen jedoch detaillierter behandelt werden, als es im Hauptteil möglich ist. Diese werden daher in Form thematischer Anhänge dargestellt.

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Anhänge: | 75 |
| Anhang I: Methoden der energetischen Bilanzierung | 77 |
| AI-1: Primärenergie- und CO ₂ -Emissions-Faktoren | 77 |
| AI-2: Nahwärmenetz Rintheim: Primärenergie- und CO ₂ -Emissions-Faktoren | 80 |
| AI-3: Energiebilanz auf Quartiersebene | 82 |
| AI-4: Heizgradtage und Temperaturbereinigung | 87 |
| AI-4.1 Berechnung des Jahres-Heizenergieverbrauchs mit der Heizgradtag-Methode | 87 |
| AI-4.2 Rechenhilfen für den Gebäude-Energiemanager | 89 |
| Anhang II: Gebäude- und Quartiersoptimierung | 91 |
| All-1 Optimierung des Wärmeschutzes der Gebäude-Hüllflächen | 91 |
| All-1.1 Kostenstruktur der Wärmeschutzmaßnahmen | 92 |
| All-1.2 Wirtschaftliches Optimum der Dämmstärke | 93 |
| All-1.2.1 Energieeinsparung durch Wärmedämmung | 93 |
| All-1.2.2 Graue Energie der Wärmedämmung | 96 |
| All-1.2.3 Energieeinsparkosten durch Dämmung der Hüllflächen | 99 |
| All-1.3 Gebäudebetrachtung | 103 |
| All-1.3.1 Heizenergieverbrauch | 103 |
| All-1.3.2 Wirtschaftlichkeit von energetischen Verbesserungsmaßnahmen der Hüllfläche | 107 |
| All-1.3.3 Energetische Verbesserungsmaßnahmen der technischen Gebäudeausrüstung: Einzelgebäude | 112 |
| All-1.4 Nahwärmeversorgung | 115 |
| All-1.5 Gesamtbetrachtung der Gebäude-Modernisierung | 118 |
| All-2: Verluste der Wärmeverteilung im Gebäude | 121 |
| Anhang III: Wirtschaftlichkeitsrechnung: Nahwärme und Wohnungsunternehmen | 124 |
| AIII-1: Nahwärmenetz Rintheim | 124 |
| AIII-2: Kosten und Wirtschaftlichkeit in der Wohnungswirtschaft | 128 |
| AIII-2.1 Wirtschaftlichkeitsanalysen in der Wohnungswirtschaft | 128 |
| AIII-2.2 Integrale Energieplanung | 130 |
| Danksagung | 133 |

Abkürzungen:

| | | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|
| 2-S-Fenster | 2-Scheibenfenster | KIT | Karlsruher Institut für Technologie (Techn. Univ. Karlsruhe) |
| A_N | Nutzfläche nach EnEV (in Wohngebäuden: $A_N = 0,32 \cdot V_e$) | kWhth | Kilowattstunde thermisch – Einheit Wärmeenergie ¹ |
| AP | Arbeitspreis (€/MWhth) | kWhel | Einheit el. Energie |
| AW | Anschlusswert (Fernwärme) | kWhHo | Energie in Form von Erdgas, oberer Heizwert |
| BHKW | Blockheizkraftwerk | kWhHu | Brennstoffenergie, unterer Heizwert |
| BMWi | Bundesministerium für Wirtschaft und Energie | kWhPE | Einheit Primärenergie |
| DFÜ | Datenfernübertragung | kWhEE | Einheit Endenergie |
| DN | Nennweite | KWK | Kraft/Wärme-Kopplung |
| DP | Durchschnittspreis (von LP und AP) | LED | Leuchtdiode |
| EE | Endenergie | LJM | langjähriges Mittel |
| EEWärmeG | Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Energien im Gebäudesektor | LP | Leistungspreis (€/kWhth) |
| EiFER | European Institute for Energy Research, Karlsruhe | MFH | Mehrfamilienhaus |
| EnBW | Energie Baden-Württemberg AG | MiRO | Mineralölraffinerie Oberrhein GmbH & Co. KG |
| EnEV | Energieeinsparverordnung | NW | Nahwärme oder Nennweite |
| E.ON-ERC | Energy Research Center, RWTH Aachen | oGD | oberste Geschossdecke |
| EPS | expandiertes Polystyrol (Wärmedämmung; Styropor, Hartschaum) | PE | Primärenergie |
| F&E | Forschung und Entwicklung | PH | Passivhaus |
| Hochsch. BB | Hochschule beider Basel | PHI | Passivhaus-Institut |
| FW | Fernwärme | PtJ | Projektträger Jülich |
| FWE | Frischwasserstationen (dezentrale Warmwasser-Bereitung in den Wohnungen) | qHZ | spezif. Heizenergiebedarf (kWh/(m ² ·a)) |
| GFZ | Geschossflächenzahl | qP | spezif. Primärenergieverbrauch (kWh/(m ² ·a)) |
| GP | Grundpreis (€/m ² ·a)) | qww | spezif. Warmwasser-Verbrauch (kWh/(m ² ·a)) |
| GuD | Gas- und Dampfkraftwerk | RDK | Rheinhafen-Dampfkraftwerk |
| HEL | leichtes Heizöl | RESOL | Phenolharz (Kunstharz) |
| HH | Haushalt | RWTH | Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen |
| HKV | Heizkostenverordnung | SK | Solarkollektor(en) |
| HKW | Heizkraftwerk | SW KA | Stadtwerke Karlsruhe |
| Ho | oberer Heizwert (von Erdgas; kWhHo/m ³) (heute: H_s ... superior heating value) | TGA | Technische Gebäudeausrüstung |
| HOAI | Honorarordnung für Architekten und Ingenieure | THG | Treibhausgas(e) |
| H_T | spezif. Transmissionswärmeverlust (W/(m ² ·K)) | WDVS | Wärmedämmverbundsystem (beheizte) Wohnfläche |
| Hu | unterer Heizwert (von Erdgas; kWhHu/m ³) (heute: H_i ... internal heating value) | Wfl. | Wohnfläche |
| HÜS | Hausübergabestation | WE | Wohneinheit |
| HZ | Heizzentrale | W/I | Wartung und Instandhaltung |
| KA | Karlsruhe | WLG | Wärmeleitgruppe |
| KES | Karlsruher Energie-Service GmbH | WMZ | Wärmemengenzähler |
| KfW | Kreditanstalt für Wiederaufbau | WP | Wärmepumpe |
| KGR | Kostengruppe (nach DIN 276 definierte Kostenbestandteile von Maßnahmen an Bau bzw. TGA zwecks Kostenermittlung, z.B. für die HOAI) | WRG | Wärmerückgewinnung |
| | | WW | Warmwasser(-bereitung) |
| | | Ve | beheiztes Gebäudevolumen (= Bruttovolumen) |
| | | VIP | Vakuum-Isolations-Paneele |
| | | XPS | extrudiertes Polystyrol |

¹ Oder die entsprechende Energieeinheit in Megawattstunden (MWh) anstelle kWh.

Energiearten in der Heizungstechnik:

Bedeutung der verwendeten energetischen Begriffe umgangssprachlich und nach der zugehörigen Norm DIN V 18599, „Energetische Bewertung von Gebäuden“:

| | |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Primärenergie | Energieinhalt des eingesetzten Energieträgers (Erdgas, Heizöl, Kohle, Biomasse etc.) unter Berücksichtigung des Energieaufwandes bei Gewinnung und Verteilung. Definition nach DIN V 18599: Berechnete Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt des notwendigen Brennstoffs und der Hilfsenergien für die Anlagentechnik auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen. |
| „Nicht-erneuerbare Energie“ = oft auch „fossile Primärenergie“ | Primärenergieinhalt des betrachteten Energieträgers unter Abzug des im Energieträger enthaltenen Anteils an regenerativer Energie (enthält gegebenenfalls auch Kernenergie). |
| Endenergie | Energie, die der Energieverbraucher bezahlt (Gas, Strom, Fernwärme ...) – auch „Sekundärenergie“ bezeichnet. |
| Endenergiebedarf | DIN V 18599: Berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumlufttechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Rauminnentemperatur, die Erwärmung des Warmwassers und die gewünschte Beleuchtungsqualität über das ganze Jahr sicherzustellen. Diese Energiemenge bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik benötigte Hilfsenergie ein. Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die der Verbraucher für eine bestimmungsgemäße Nutzung unter normierten Randbedingungen benötigt. Der Endenergiebedarf wird vor diesem Hintergrund nach verwendeten Energieträgern angegeben. |
| Nutzwärme | Aus Endenergie (mit Heizkessel oder Fernwärme-Hausübergabestation) erzeugte Wärmeenergie. |
| Heizenergie | Nutzwärme, die zur Beheizung verwendet wird, je nach Kontext gemessen entweder <ul style="list-style-type: none"> • im Heizungskeller, d. h. die Heizenergie enthält die Verteilungsverluste im Gebäude oder • in der beheizten Wohnung. |
| Heizwärmebedarf | DIN V 18599: Rechnerisch ermittelter Bedarf an Wärme zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumkonditionen innerhalb einer Gebäudezone während der Heizzeit. |
| Warmwasser | Energieinhalt des bereitgestellten Warmwassers, je nach Kontext gemessen entweder <ul style="list-style-type: none"> • im Heizungskeller, d. h. die Warmwasserenergie enthält die Verteilungsverluste im Gebäude, oder • in der beheizten Wohnung. |
| Warmwasserbedarf | DIN V 18599: Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser Rechnerisch ermittelter Energiebedarf, der sich ergibt, wenn die Gebäudezone mit der im Nutzungsprofil festgelegten Menge an Trinkwarmwasser entsprechender Zulufttemperatur versorgt wird. |

Vorwort zur Schriftenreihe

Die Energieeffizienz im Gebäudesektor ist ein zentrales Thema der Energiepolitik der Bundesregierung. Seit vielen Jahren flankiert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen seiner Energieforschung Anstrengungen in diesem Bereich und fördert gezielt Maßnahmen zur Entwicklung und Erprobung neuer Technologien und Verfahren für energieoptimierte Gebäude und Quartiere. In diesem Zeitraum wurden viele Innovationen entwickelt, deren breite Umsetzung am Markt wichtige Beiträge zur Erreichung der energiepolitischen Ziele leisten kann. Um die Effizienz der Forschungsförderung zu erhöhen und den Ergebnistransfer in die Praxis zu beschleunigen, hat das BMWi das Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren gegründet. Im Mittelpunkt steht die strategische Vernetzung der Akteure: Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie wichtige Multiplikatoren wirken mit, um den Austausch an den Schnittstellen der Forschung zur Praxis und zur Politik zu intensivieren. Neben Technologieunternehmen, Energie- und Wohnungswirtschaft spielen auch Städte und Kommunen eine wichtige Rolle auf der Anwenderseite. Sie entscheiden über Versorgungsstrukturen, Bebauungspläne und energetische Standards in öffentlichen Gebäuden und können Investitionsentscheidungen und Verbraucherverhalten positiv beeinflussen. Der Einsatz neuer Technologien und moderner Planungsinstrumente kann diesen Gestaltungsspielraum deutlich erweitern.

Die Forschungsinitiativen „EnEff:Stadt“ und „EnEff:Wärme“ der Energieforschung des BMWi sind integraler Bestandteil des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren. Sie bündeln langjährige praxisnahe Forschungsaktivitäten für mehr Energieeffizienz und Integration erneuerbarer Energien im kommunalen Bereich und fördern die Vernetzung und integrale Zusammenführung der Bereiche „energetische Gebäudesanierung“ und „effiziente dezentrale Versorgungstechnologien“. Mit Blick auf die Ausweitung des Umsetzungspotenzials werden vor allem wirtschaftlich machbare Innovationen auf Quartiersebene in den Mittelpunkt gestellt. Beide Initiativen können inzwischen Erfolge in zahlreichen ambitionierten Projekten vorweisen. Die praktischen Erfahrungen zeigen aber auch Schwachstellen auf bzw. Felder, in denen noch Entwicklungsbedarf besteht. Es ist daher wichtig, diese Ergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. Dies ist ein großes Anliegen der öffentlich geförderten Energieforschung und eine der zentralen Aufgaben im Rahmen des Forschungsnetzwerks.

Die wichtigsten Ergebnisse werden in unregelmäßigen Abständen innerhalb der Schriftenreihe veröffentlicht. Initiator und Herausgeber ist die Begleitforschung der Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“, die sowohl Erfahrungsberichte ausgewählter Einzelprojekte als auch übergreifende Broschüren zu praxisrelevanten Themen publiziert. Praktiker aus Kommunen, Versorgungsunternehmen, Wohnungsunternehmen, aber auch Planer, Ingenieure, Handwerker

sowie Studierende der einschlägigen Fachrichtungen, finden hier umfangreiche Hilfestellungen und Anregungen für ihre eigenen Vorhaben sowie besonders interessante Praxisbeispiele aus Einzelprojekten, die im Rahmen der Forschungsinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme des BMWi entstanden sind.

Dr. Rodoula Tryfonidou
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Vorwort

Im Zuge der Energiewende² soll für den Gebäudebestand in Deutschland langfristig nahezu „CO₂-Neutralität“ erreicht werden³. Dies wird große Investitionen erfordern. Während die erforderlichen Techniken bereits (größtenteils) vorhanden sind, wird dieses Ziel dennoch nur realistisch sein, wenn die resultierenden Kosten so gestaltet werden können, dass sie im Ergebnis für Gebäudeeigentümer und Mieter akzeptabel sind. Dies zeigt die aktuelle Diskussion um die Energiewende: Laut Meinungsumfragen gibt es hierfür in der Bevölkerung breiteste Zustimmung, jedoch wird der resultierende Strompreisanstieg ebenso breit abgelehnt. Der Umbau des Gebäudebestandes und seiner Energieversorgung wird jedoch noch höhere Belastungen mit sich bringen.

Es bestehen jedoch durchaus Spielräume, diese Kostenbelastung zu reduzieren. Ein Ansatz ist dabei, eine Optimierung der Kosten nicht für einzelne Gebäude, sondern für ganze Quartiere oder Stadtteile anzustreben und auf dieser Ebene zusätzliche Potenziale für eine Erhöhung der Kosteneffizienz zu suchen. Im Rahmen der Initiative EnEff:Stadt⁴ soll genau das in konkreten Projekten erreicht werden. Wenn es gelingt, wird dies der Energiewende insgesamt einen deutlichen Schub verleihen.

Das zu EnEff:Stadt gehörende Forschungsprojekt „Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim“ ist Teil eines umfassenden Konzepts für das Wohnquartier „Rintheimer Feld“, das von 2008 bis 2015 mit einem Kostenaufwand von rund 70 Mio. Euro von der VOLKSWOHNUNG GmbH in Karlsruhe realisiert wird. Dieses Konzept verknüpft die „integrale“ Sanierung von Bestandsgebäuden aus den 50er und 60er Jahren so mit einem übergreifenden Konzept zur Verbesserung der Wohnqualität im Wohnquartier, dass auch langfristig mit der Nachfrage von Mietern gerechnet werden kann. Den Bedarf an Heizungsenergie und Warmwasser langfristig wirtschaftlich decken zu können, ist dabei ein wichtiger Faktor. Wegen der auf diese Weise erhöhten Attraktivität des Standortes sind der Rückfluss der investierten Mittel gesichert und das Investitionsrisiko verringert.

Die Ausarbeitung und der Einstieg in die Umsetzung eines Quartiers-Energiekonzeptes waren Gegenstand dieses Forschungsprojektes, gefördert mit einem Umfang von rund 3 Mio.

² Oberziel der Energiepolitik ist der Klimaschutz. Daraus folgt das Ziel einer Reduzierung des Verbrauchs an fossilen Energieträgern. Wegen des Ausstiegs aus der CO₂-freien Kernenergie ist aus Klimaschutz-Gründen gleichzeitig ein möglichst weitgehender Ersatz von CO₂-intensiver Kohle durch Nutzung CO₂-ärmerer Brennstoffe und erneuerbarer Energien notwendig. Das Ziel der Kosteneffizienz erfordert die weitgehende Reduzierung des Endenergieverbrauchs vor dessen Deckung durch erneuerbare Energien.

³ Gemeint ist eigentlich „Klimaneutralität“. Im Fall der Energieversorgung von Gebäuden läuft dies darauf hinaus, dass Gebäude bis 2050 (fast) keine „CO₂-Äquivalent“-Emissionen mehr verursachen sollen.

⁴ Die Forschungsinitiative EnEff:Stadt ist Teil des Energieforschungsprogramms des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Detaillierte Informationen über EnEff:Stadt-Projekte sind zu finden unter www.eneff-stadt.info.

Euro aus dem Energieforschungsprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden

- das integrale Quartiers-Energiekonzept entwickelt und umgesetzt,
- ein Monitoring-System als Grundlage zur Berechnung der Quartiers-Energiebilanz installiert,
- zwei typgleiche Gebäude mit einer Reihe von technischen Innovationen energetisch saniert und
- ein umfassendes messtechnisches Begleitprogramm von der Hochschule Karlsruhe installiert, das bis 2015 von der RWTH Aachen/Inst. E.ON Energy Research Center ERC als Forschungsbegleiter der VOLKSWOHNUNG ausgewertet wird.

Die vorliegende Publikation beschreibt die Ausgangslage in Rintheim, die Vorgehensweise bei der „integralen Quartierssanierung“ und die bis 2013 erzielten Ergebnisse. Im Anhang wird auf methodische Fragen der energetischen Bilanzierung und Optimierung von Wohnquartieren eingegangen, die auch für andere Quartiersprojekte von Interesse sind.