



Reinhard Jank, Reiner Kuklinski

# Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim

Optimierungsmethoden · Praxiserfahrungen · Ergebnisse



Gefördert durch:



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](http://www.eneff-stadt.info)) im Bereich Begleitforschung angekündigt.

Reinhard Jank, Reiner Kuklinski

## **Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim**

Optimierungsmethoden · Praxiserfahrungen · Ergebnisse



# Inhalt

<b>Vorwort zur Schriftenreihe</b>	<b>11</b>
<b>Vorwort</b>	<b>13</b>
<b>I Einleitung: Das Quartier „Rintheimer Feld“</b>	<b>15</b>
I.1 Das Wohnquartier	16
I.2 Ergebnisse der Quartiersanalyse	18
<b>II Quartiers-Energiebilanz – Ausgangsdaten 2008</b>	<b>22</b>
<b>III Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim</b>	<b>26</b>
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 <sub>2</sub> -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
<b>IV Forschungsgebäude</b>	<b>42</b>
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
<b>V Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen</b>	<b>61</b>
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
<b>Literatur</b>	<b>73</b>



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.

<b>Anhänge:</b>	<b>75</b>
<b>Anhang I: Methoden der energetischen Bilanzierung</b>	<b>77</b>
AI-1: Primärenergie- und CO <sub>2</sub> -Emissions-Faktoren	77
AI-2: Nahwärmenetz Rintheim: Primärenergie- und CO <sub>2</sub> -Emissions-Faktoren	80
AI-3: Energiebilanz auf Quartiersebene	82
AI-4: Heizgradtage und Temperaturbereinigung	87
AI-4.1 Berechnung des Jahres-Heizenergieverbauchs mit der Heizgradtag-Methode	87
AI-4.2 Rechenhilfen für den Gebäude-Energiemanager	89
<b>Anhang II: Gebäude- und Quartiersoptimierung</b>	<b>91</b>
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
<b>Anhang III: Wirtschaftlichkeitsrechnung: Nahwärme und Wohnungsunternehmen</b>	<b>124</b>
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
<b>Danksagung</b>	<b>133</b>

## Abkürzungen:

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

<sup>1</sup> 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. <b>Definition nach DIN V 18599:</b> 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	<b>DIN V 18599:</b> Berechnete Energiemenge, die der Anlagentechnik (Heizungsanlage, raumluftechnische Anlage, Warmwasserbereitungsanlage, Beleuchtungsanlage) zur Verfügung gestellt wird, um die festgelegte Raummittentemperatur, 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"> <li>• im Heizungskeller, d. h. die Heizenergie enthält die Verteilungsverluste im Gebäude oder</li> <li>• in der beheizten Wohnung.</li> </ul>
Heizwärmebedarf	<b>DIN V 18599:</b> Rechnerisch ermittelter Bedarf an Wärme zur Aufrechterhaltung der festgelegten thermischen Raumbedingungen innerhalb einer Gebäudezone während der Heizzeit.
Warmwasser	Energieinhalt des bereitgestellten Warmwassers, je nach Kontext gemessen entweder <ul style="list-style-type: none"> <li>• im Heizungskeller, d. h. die Warmwasserenergie enthält die Verteilungsverluste im Gebäude, oder</li> <li>• in der beheizten Wohnung.</li> </ul>
Warmwasserbedarf	<b>DIN V 18599: Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser</b> Rechnerisch ermittelter Energiebedarf, der sich ergibt, wenn die Gebäudezone mit der im Nutzungsprofil festgelegten Menge an Trinkwarmwasser entsprechender Zulauftemperatur 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 Energiewende<sup>2</sup> soll für den Gebäudebestand in Deutschland langfristig nahezu „CO<sub>2</sub>-Neutralität“ erreicht werden<sup>3</sup>. 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:Stadt<sup>4</sup> 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.

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

<sup>3</sup> Gemeint ist eigentlich „Klimaneutralität“. Im Fall der Energieversorgung von Gebäuden läuft dies darauf hinaus, dass Gebäude bis 2050 (fast) keine „CO<sub>2</sub>-Äquivalent“-Emissionen mehr verursachen sollen.

<sup>4</sup> 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](http://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.