



ENERGETISCHE BILANZIERUNG VON QUARTIEREN

in der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Die Begleitforschung zur BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt hat eine energetische Bilanzierungsmethode für Stadtquartiere entwickelt und an zunächst zwölf Vorhaben umgesetzt. Erreichen die Vorhaben die angestrebten Ziele?



Foto: Stadt Freiburg, Vermessungsamt

Heike Erhorn-Kluttig

ist Leiterin der Gruppe Gebäude – Quartier – Stadt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik und Mitglied im Begleitforschungsteam des BMWi-Forschungsschwerpunkts EnergieWendeBauen.
heike.erhorn-kluttig@ibp.fraunhofer.de

Hans Erhorn

ist Leiter der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima im Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Er erarbeitet mit seinem Forschungsteam seit 30 Jahren energiesparende und effiziente Konzepte für Gebäude, Stadtquartiere und Gesamtstädte.
hans.erhorn@ibp.fraunhofer.de

Die Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Die Forschungsinitiativen EnEff:Stadt (Energieeffiziente Stadt) und EnEff:Wärme (Energieeffiziente Wärmeversorgung) bündeln langjährige Forschungsaktivitäten des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) für mehr Energieeffizienz und Integration erneuerbarer Energien im kommunalen Bereich. Sie fördern die Vernetzung und integrale Zusammenführung der Bereiche „energetische Gebäudesanierung“ und „effiziente dezentrale Versorgungstechnologien“. Beide Forschungsinitiativen weisen inzwischen Erfolge in zahlreichen ambitionierten Projekten auf. Sie zeigen aber auch Felder auf, in denen noch Entwicklungsbedarf besteht.

EnEff:Stadt und EnEff:Wärme fördern Demonstrationsprojekte für energieeffiziente Stadtquartiere, die (Weiter-)Entwicklung von Technologien sowie Studien und Planungstools. Die Demonstrationsprojekte verlaufen in unterschiedlichen Phasen: die integrale Konzeptentwicklung und Planung, die Umsetzung unter Einsatz von innovativen Technologien und nicht zuletzt die Messung und damit die Evaluierung der Projekte.

Neben technologischen und energetischen Aspekten berücksichtigen die Analysen auch sozioökonomische Aspekte

te. Was hemmt Quartiersprojekte? Und welche Rolle spielen die involvierten Akteure?

Um die Ergebnisse der einzelnen Projekte nicht nur unter den involvierten Fachleuten zu diskutieren, sondern auch einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen und projektübergreifend auszuwerten, rief das BMWi im Jahr 2008 eine wissenschaftliche Begleitforschung zu diesen Bereichen ins Leben. Das Forschungsteam bestand zunächst aus Mitgliedern der zwei Fraunhofer-Institute IBP und UMSICHT sowie Herrn Dr. Reinhard Jank (ehemals Volkswohnung Karlsruhe) und der pro:21 GmbH. Eine Auswahl der Ergebnisse der Begleitforschungsarbeiten finden sich in der EnEff:Stadt-Schriftenreihe.

Im Jahr 2016 bündelte das BMWi die beiden Forschungsinitiativen zusammen mit anderen in der übergreifenden Forschungsinitiative „EnergieWendeBauen“. Auch das Begleitforschungsteam, mittlerweile bestehend aus der RWTH Aachen und drei Fraunhofer-Instituten, analysiert dadurch Ergebnisse aus den Forschungsfeldern EnEff:Stadt, EnEff:Wärme, Energieoptimiertes Bauen (EnOB) sowie um die Themen thermische Energiespeicher und Niedertemperatur-Solarthermie.

Die Entwicklung der energetischen Bilanzierungsmethode für Quartiere in EnEff:Stadt

Die energetische Querauswertung der Begleitforschung hat als Ziel, die Energieverbräuche von Demonstrationsquartieren vor und nach der Umsetzung der EnEff:Stadt-Pilotprojekte miteinander zu vergleichen und die realisierten Energieeinsparungen zu ermitteln. Zusätzlich sollen die geplanten Einsparungen mit den tatsächlich gemessenen Energieverbräuchen nach der Umsetzung verglichen werden, um herauszufinden, ob die Planung verlässlich war und wo es mögliche Abweichungen in der Umsetzung, in der Effizienz der Energieversorgung oder auch durch den Einfluss der Nutzer gibt. Während dies in den einzelnen Projekten durch das jeweilige Projektkonsortium geschieht, führt das Fraunhofer IBP eine globale vergleichende Bewertung der Pilotprojekte durch. Dazu müssen die Bewertungsmethodik und die Randbedingungen der Erhebung für alle Projekte gleich sein.

Ein weiteres Ziel der vergleichenden Querauswertung ist, typische Kennwerte (Benchmarks) für energieeffiziente Quartiere zu gewinnen. Allerdings lassen sich die Quartiere aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren nicht absolut miteinander vergleichen. Dafür weichen zum Beispiel die Art der Gebäude, die am Standort zur Verfügung stehenden Energiequellen, die Quartiersgröße, das Baualter und weitere Einflussgrößen zu stark voneinander ab. Um bessere Vergleichbarkeit zu erreichen, soll die bisher durchgeführte Querauswertung von zwölf Pilotprojekten um eine große Anzahl zusätzlicher Projekte (d. h. bereits laufender und noch zu beantragender und zu bewilligender Projekte) erweitert und zudem in verschiedene Schwerpunkte aufgeteilt werden. Die im Folgenden dargestellten Energievergleiche bieten jedoch schon eine erste Übersicht und zeigen die Möglichkeiten und Trends zur Reduzierung

1

Die vier für die Pilotprojekte untersuchten Phasen

Ausgangszustand	Für Projekte mit Bestandsgebäuden ist das der Zustand vor der energetischen Sanierung und der Umstellung der Energieversorgung. Bei Neubaugebieten wird die Mindestanforderung für Neubauten nach der jeweils gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) als Ausgangszustand herangezogen. Hierzu wird das zu bauende Gebäude über ein Referenzgebäude gespiegelt und mit festgelegten Referenztechnologien belegt. Dies ergibt einen maximal zulässigen Primärenergiebedarf, den das zu errichtende Gebäude nicht überschreiten darf. Daraus lässt sich der für die Querauswertung benötigte Endenergiebedarf ermitteln.
Zielzustand	Der Zielzustand stellt die geplante energetische Verbesserung dar. Dazu werden die konzipierten Effizienztechnologien sowohl baulich als auch anlagentechnisch abgebildet und so ein Zielwert für das Quartier ermittelt.
Messjahr 1	Nach der Umsetzung der Projekte sollen – gemäß Förderkonzept – die erreichten Verbrauchsergebnisse mindestens über zwei Jahre gemessen werden. Das ermöglicht den direkten Vergleich zwischen Planung und Realität. Oft sind im ersten Jahr nach der Umsetzung noch Betriebsoptimierungen in der Anlagentechnik nötig.
Messjahr 2	Im zweiten Messjahr sollten die wichtigsten Betriebsoptimierungen abgeschlossen sein, sodass im Regelfall ein etwas niedrigerer Energieverbrauch als im ersten Jahr erzielt werden kann. Es gibt allerdings auch Projekte, die innerhalb der Messjahre noch weiterentwickelt werden. Dann kann es, zum Beispiel bei einer größeren Gebäudeanzahl, zu einem höheren Energieverbrauch als im ersten Jahr kommen.

Quelle: Fraunhofer IBP

des Energieverbrauchs in Quartieren auf. Im Einzelnen werden bis zu vier Phasen der Pilotprojekte bewertet (siehe Abb. 1).

Die Auswertungen der Messjahre 1 und 2 beruhen vornehmlich auf gemessenen Verbräuchen. Einzelne Zwischenkennwerte darin wurden aber berechnet, zum Beispiel, wenn in einem Projekt nicht alle abgefragten Details durch die Messung abgedeckt waren oder die Messtechnik ausgefallen ist.

Demgegenüber wurden die Eingabekennwerte für den Zielzustand fast ausschließlich berechnet (Bedarfwerte). Diese Werte können aus der Summe der Einzelgebäudeberechnungen nach EnEV sowie aus Simulationen der Einzelgebäude, des Gesamtquartiers oder der Versorgungsnetze bestehen, oft auch in Kombination miteinander. Eine weitere Möglichkeit bieten dafür spezielle Berechnungstools für Stadtquartiere, so zum Beispiel der in EnEff:Stadt entwickelte „Energiekonzeptberater für Stadtquartiere“ (Erhorn-Klutzig et al. 2013), der sich für den frühen Planungsstand von Projekten eignet oder GIS-gekoppelte Simulationstools, wie sie auch in der Forschungsinitiative entwickelt werden.

Der Energiekonzeptberater für Stadtquartiere wird derzeit um weitere Typgebäude und Versorgungstechnologien in einem EU- und Zukunft-Bau-Projekt erweitert. Dann lassen sich auch Investitions- und Energiekosten ermitteln.

Basierend auf den Messungen und Berechnungen erfolgt die Bewertung der Quartierszustände über gebäudeweise eingetragene Endenergiekennwerte für Heizung und Warm-

wasser. Dafür muss der entsprechende Energieträger (z. B. Erdgas, Heizöl, Strom, Biogas, Biomasse, Fernwärme etc.) angegeben werden. Auch der Stromverbrauch muss für alle Gebäude eingetragen werden. Über die Primärenergiefaktoren der Energieträger ermittelt die Begleitforschung daraus dann den Primärenergiebedarf oder -verbrauch. Bei einer quartierszentralen Nahwärmeversorgung muss dafür der entsprechende Nahwärmeprimärenergiefaktor auf Basis der DIN V 18599 bestimmt werden. Die Endenergieverbräuche der Gebäude, die an die Nahwärme angeschlossen sind, sind dem Energieträger Nahwärme zuzuordnen. Abbildung 2 zeigt ein Schema der Endenergiemessstellen.

Die energetische Querauswertung der EnEff:Stadt-Demonstrationsquartiere erfolgt auf zwei Ebenen: der Gebäudeebene und der Quartierebene. Die Auswertung auf der Gebäudeebene ermöglicht Aussagen und Benchmarks zur energetischen Qualität der Gebäude in Kombination mit der dort eingesetzten technischen Gebäudeausrüstung: Wie stark wurde die Gebäudequalität zum Beispiel durch Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle verbessert? Wie viel besser sind die neuen Gebäude im Vergleich zu den Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV)?

Neben den Gesamtkennwerten für das Quartier werden Einzelkennwerte ermittelt, aufgeteilt in Wohn- und Nichtwohngebäude sowie in Wärme-, teilweise Kälte- und Stromseite. Die Bilanzierung auf Quartierebene bietet die Gelegenheit, die EnEff:Stadt-Projekte nach ihrem eigentlichen Ansatz zu bewerten: der Energieversorgung eines Quartiers unter Zuhilfenahme einer Nahwärmeversorgung.

Dieser Ansatz berücksichtigt auch die Energiegewinnung aus zentralen erneuerbaren Energiesystemen in der Bilanz. Besonderes Augenmerk gilt dabei der Analyse der Nahwärme.

Wie effizient ist die Erzeugung, wie groß sind die Anteile der dafür genutzten erneuerbaren Energien und wie hoch sind die Verluste im Nahwärmeverteilnetz? Auch hier werden zusätzlich zu den Gesamtkennwerten eines Quartiers Einzelkennwerte ermittelt, unterteilt in Wärme, Kälte und Strom. Detaillierte Gleichungen für die endenergetische Bilanzierung auf Gebäudeebene und auf Quartiersebene sowie die Ermittlung des Primärenergiefaktors für die Nahwärmeversorgung finden sich in der Veröffentlichung „Energetische Bilanzierung von Quartieren“ (Erhorn-Kluttig/Erhorn 2016).

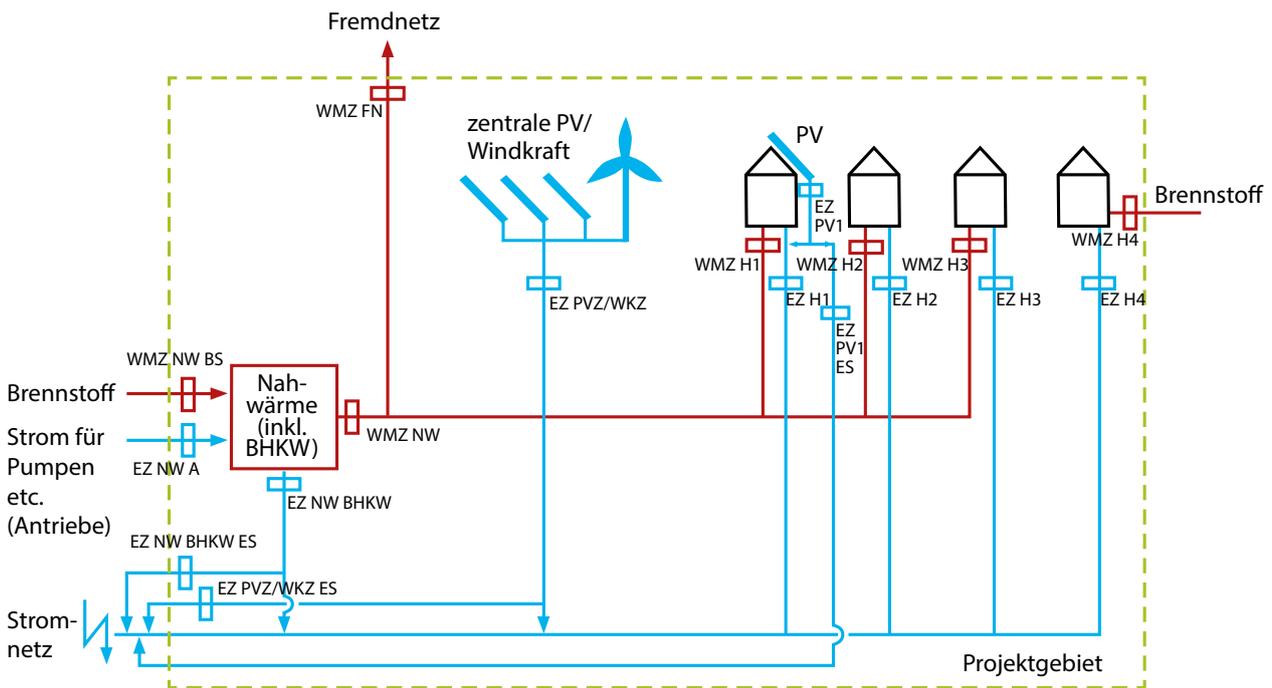
Um alle nötigen Kennwerte für die Bilanzierung zu erhalten und den Projektteams erste Ergebnisse der Quartiersbilanzierung an die Hand geben zu können, entwickelte das Fraunhofer IBP ein Bilanzierungstool, in das die Projektleiter

die geforderten Kennwerte eintragen. Wenn mindestens eines der Gebäude einen Nahwärmeanschluss hat, müssen sie auch die Nahwärmeerzeugung und die dabei entstehenden Verluste definieren. Das Bilanzierungstool berechnet dann den thermischen und den elektrischen Wirkungsgrad des Nahwärmeerzeugers, weist die Summe der abgenommenen Nahwärme der Gebäude im Quartier aus und ermittelt einen Primärenergiefaktor für die Nahwärmeversorgung auf Basis der DIN V 18599.

Die Primärenergiefaktoren der allgemeinen Energieträger (z. B. Erdgas, Heizöl, Biomasse, Bioöl, Biogas, Stein- und Braunkohle etc.) sind bereits ins Bilanzierungstool eingetragen. Ebenso ist festgelegt, dass solare Energie und Geothermie einen Primärenergiefaktor von 0 erhalten. Der Primärenergiefaktor von Strom hängt entsprechend der Energieeinsparverordnung vom Betrachtungsjahr ab. Deshalb müssen das Betrachtungsjahr ebenso wie eventuell zertifizierte Primärenergiefaktoren für die örtliche Fernwärme oder Fernkälte eingetragen werden.

2

Schema der Endenergiemessstellen als Grundlage der energetischen Querauswertung in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt.



Quelle: Fraunhofer IBP

Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten

Die Querauswertung beruht derzeit auf zwölf Demonstra-tionsprojekten, für die vollständige Angaben zu Ausgangs- und Zielzustand vorliegen. Für vier der Projekte liegen

zusätzlich auch Messwerte vor. Die betrachteten Projekte werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Bad Aibling und Berlin Adlershof

Vorhaben		Bad Aibling – Eine Militärbrache auf dem Weg zur Nullenergiestadt	Berlin Adlershof – Wärmeverbundnetz „Wohnen am Campus“
			
		Foto: RK-Stuttgart	Foto: Adlershof Projekt GmbH/Dirk Laubner
Projektleitung		B&O Wohnungswirtschaft GmbH & Co. KG	BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Hochschule Rosenheim	
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand	55.467 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 29 Gebäude	90.015 m ² beheizte Wohnfläche, 13 Quartiere (Anzahl Gebäude noch nicht bekannt)
	Zielzustand	28.753 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 38 Gebäude	
Projekttyp		Rückbau/Sanierung und Verdichtung durch Neubauten	Neubau
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Militärgebäude	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern
	Zielzustand	Mischung aus Einfamilienhaus-/Doppelhaus-siedlung, Siedlung kleiner Mehrfamilien-häuser, Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Gewerbegebiet	
Energie-versorgung	Ausgangszustand	Nahwärmeversorgung (Heizöl-Heizwerk)	Entsprechend Referenztechnologien aus der EnEV: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie
	Zielzustand	Nahwärmeversorgung (Erdgas- und Biomasse-Heizwerke, Solarthermie, teilweise Export in ein Fremdnetz), zentrales Photovoltaik-Feld mit Einspeisung in das allgemeine Stromnetz	Nahwärmeversorgung (Fernwärmeübergabe-station), teilweise Fernwärme und Solar-thermie
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2	Ausgangszustand, Zielzustand

Biberach und Braunschweig

Vorhaben		Biberach – Niedrigenergie-Quartiersentwicklung Bürgerheim Biberach	Braunschweig – blueMAP TU Braunschweig
		 <p>Foto: Der Hospital zum Heiligen Geist in Biberach</p>	 <p>Foto: TU Braunschweig, IGS</p>
Projektleitung		Der Hospital zum Heiligen Geist in Biberach	TU Braunschweig
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Assmann Beraten + Planen GmbH	
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand	17.525 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 10 Gebäude	344.174 m ² beheizte Nettogrundfläche, 103 Gebäude
	Zielzustand	26.243 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 13 Gebäude	
Projekttyp		Sanierung, Rückbau und Nachverdichtung durch Neubauten	Sanierung
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Soziale Dienstleistung (Altenpflege, Altenwohnungen), Schule	Universitätscampus
	Zielzustand		
Energieversorgung	Ausgangszustand	Nahwärme (Erdgas-Heizwerk), teilweise dezentrale Erdgaskessel	Fernwärmeversorgung
	Zielzustand	Nahwärmeversorgung (Biomasse- und Erdgasheizwerk, Biomasse-BHKW, Solarthermie)	Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW, Fernwärme), zentrales Photovoltaikfeld
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand

Freiburg Weingarten und Karlsruhe Rintheim

Vorhaben		Freiburg Weingarten – Modellhafte Stadtquartierssanierung Freiburg Weingarten-West	Karlsruhe Rintheim – Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe Rintheim
		 <p>Foto: Stadt Freiburg, Vermessungsamt</p>	 <p>Foto: Volkswohnung</p>
Projektleitung		Freiburger Stadtbau GmbH	Volkswohnung GmbH
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE	Dr. Reinhard Jank
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand	172.599 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude	66.310 m ² beheizte Wohnfläche, 32 Gebäude
	Zielzustand	178.175 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude	
Projekttyp		Sanierung	Sanierung
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern
	Zielzustand		
Energieversorgung	Ausgangszustand	Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk)	Dezentrale Erdgaskessel, teilweise Stromheizungen, teilweise Solarthermie
	Zielzustand	Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk)	Nahwärmeversorgung (Fernwärmeübergabestation), teilweise Strom-Wärmepumpen, teilweise Solarthermie
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2

Landshut und Ludwigsburg

Vorhaben		Landshut – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut	Ludwigsburg – Integriertes Energiequartiers- konzept Ludwigsburg Grünbühl/Sonnenberg
		 <p>Foto: Ludmilla-Wohnbau GmbH</p>	 <p>Foto: Stadt Ludwigsburg</p>
Projektleitung		Ludmilla-Wohnbau GmbH	
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Hochschule München	Hochschule für Technik, Stuttgart (HfT)
Projektgröße (Bilanzierungs- raum)	Ausgangszustand	5.637 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude	17.524 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude
	Zielzustand		
Projekttyp		Neubau	Neubau
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung mit kleinen Mehrfamilienhäusern	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser
	Zielzustand		
Energie- versorgung	Ausgangszustand	Entsprechend Referenztechnologien aus der EnEV: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie	Entsprechend Referenztechnologien aus der EnEV: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie
	Zielzustand	Einfamilienhäuser: dezentrale erdreichgekop- pelte Strom-Wärmepumpen, Mehrfamilien- häuser: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und -Heizwerk), dezentrale Photovoltaik, eingespeist ins allgemeine Stromnetz	Nahwärmeversorgung (Sole-/Wasserwärme- pumpe, Erdgas-BHKW und Erdgas-Kessel), abgebildet über einen zertifizierten Primär- energiefaktor für die Nahwärme
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2	Ausgangszustand, Zielzustand

Lüneburg und München

Vorhaben		Lüneburg – Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	München – Sanierung und CO ₂ -neutrale Wärmeversorgung einer 50er-Jahre Wohnanlage
			
		Foto: Stiftung Leuphana Universität Lüneburg	Foto: Fraunhofer IBP
Projektleitung		Leuphana Universität Lüneburg	GWG Städtische Wohnungsgesellschaft München mbH
Ausfüllen des Bilanzierungstools			Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand	75.430 m ² beheizte Nettogrundfläche, 21 Gebäude	7.550 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude
	Zielzustand		9.338 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude
Projekttyp		Sanierung und Neubau eines Zentralgebäudes	Sanierung und Nachverdichtung durch Neubau und zusätzliches Dachgeschoss
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Universitätscampus	Blockbebauung hoher Dichte
	Zielzustand		
Energieversorgung	Ausgangszustand	Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk), Neubau entsprechend Referenztechnologien aus der EnEV: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie	Dezentrale Erdgas-Einzelöfen, für Neubau Erdgas-Brennwertkessel
	Zielzustand	Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und Biogas-Heizwerk), zentrale Photovoltaikanlage mit Selbstnutzung	Nahwärmeversorgung (grundwasserkoppelte Erdgas-Motor-Wärmepumpe mit Saug- und Schluckbrunnen, Erdgaskessel, Solarthermie), zentrale Photovoltaikanlage mit Einspeisung ins allgemeine Stromnetz
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1

Stuttgart und Weimar

Vorhaben		Stuttgart – Neues Stadtquartier „Neckarpark Stuttgart“, Nahwärme und -kälte aus Abwasser	Weimar – Modellprojekt „Altes Zöllnerviertel“ in der Weimarer Innenstadt
		 <p>Foto: Landeshauptstadt Stuttgart</p>	 <p>Foto: gildehaus.reich architekten</p>
Projektleitung		Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz	Max-Zöllner-Stiftung
Ausfüllen des Bilanzierungstools		Fraunhofer-Institut für Bauphysik	TU Dresden
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand	108.520 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 16 Quartiere (Anzahl Gebäude noch nicht bekannt)	25.468 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 18 Gebäude
	Zielzustand		
Projekttyp		Neubau	Sanierung
Siedlungstyp	Ausgangszustand	Blockbebauung hoher Dichte (Gewerbe, Schule, Kindergarten, Sportbad)	Blockbebauung niedriger Dichte, Schule, Kindertagesstätte
	Zielzustand		
Energieversorgung	Ausgangszustand	Entsprechend Referenztechnologien aus der EnEV: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie	Dezentrale Erdgaskessel
	Zielzustand	Nahwärmeversorgung (Abwasser-Strom-Wärmepumpe, Erdgas-BHKW), abgebildet über einen berechneten Primärenergiefaktor für die Nahwärme	Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW, erdgekoppelte Erdgas-Wärmepumpe, Erdgas-Heizwerk), ein Gebäude wird durch eine Kombination aus Erdgas- und Biomassekesseln versorgt
Bilanzierte Projektphasen		Ausgangszustand, Zielzustand	Ausgangszustand, Zielzustand

Aus der energetischen Querauswertung ergeben sich Vergleiche und Mittelwerte zu folgenden Kenngrößen:

- Flächen und Gebäudearten
- Endenergie auf Gebäudeebene
- Endenergie im Quartier
- Eingesetzte Energieträger für die Wärmeversorgung und deren Erzeugereinheiten
- Nahwärmeversorgungskonzepte inkl. elektrischer Aufwand und Verteilverluste
- Anteil der erneuerbaren Energien
- Primärenergie im Quartier
- Primärenergiefaktoren im Quartier

Zusätzlich werden die Projekte auch noch in den avisierten Zielkorridor für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 eingeordnet. Er besteht aus Energieeinsparung und Erhöhung des erneuerbaren Energieanteils (BMWi 2014). In einem weiteren Schritt werden vergleichbare Projekte gesondert ausgewertet. Das betrifft zum Beispiel drei Projekte, die sich mit der Sanierung und teilweise der

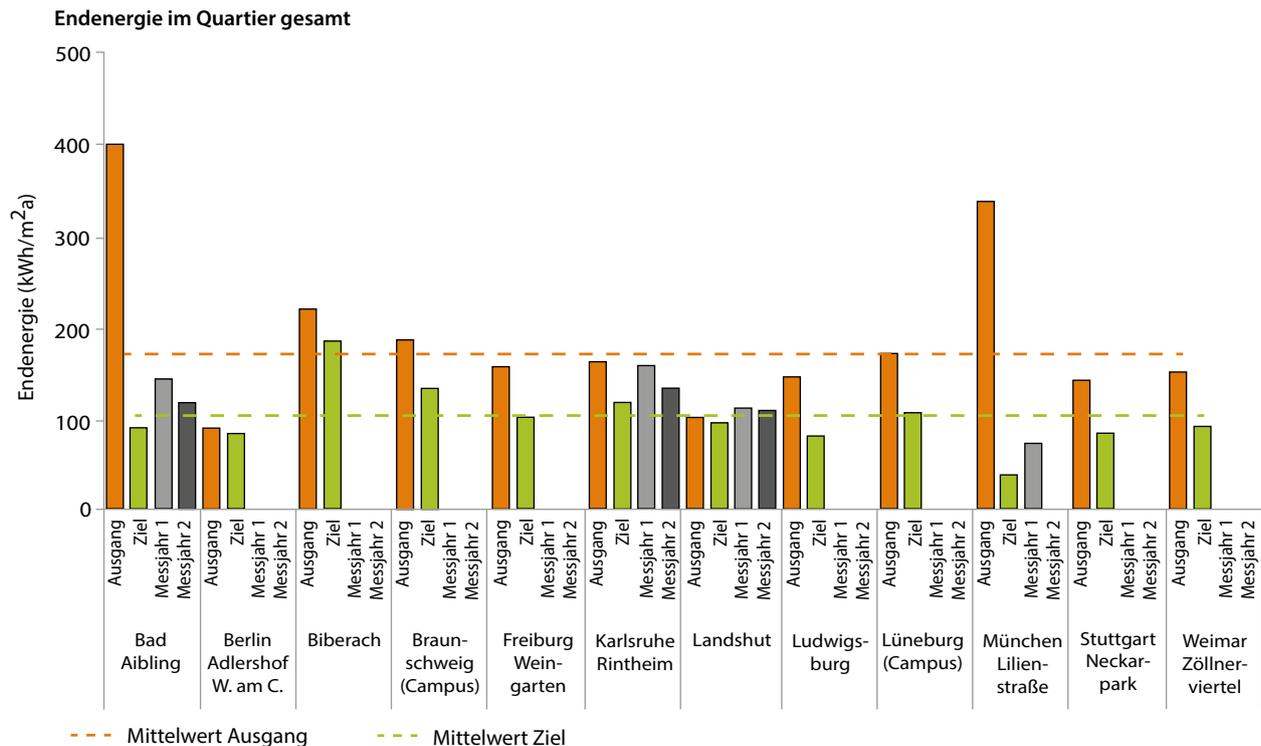
Nachverdichtung von Wohnquartieren beschäftigen oder die zwei Projekte, in denen ein Universitätscampus saniert wird.

In dieser Veröffentlichung können nur die wichtigsten Ergebnisse präsentiert werden. Weitere Details sind aus Erhorn-Kluttig/Erhorn (2016) zu entnehmen. Die flächenbezogenen Endenergiebedarfs- und -verbrauchskennwerte aller zwölf Quartiere stellt Abbildung 3 dar. Aufgrund der teilweise unterschiedlichen Bezugsflächen vor und nach Umsetzung der Maßnahme ist es sinnvoll, Ausgangszustand und Zielzustand der flächenbezogenen Endenergieeinsparung auf Quartiersebene zu vergleichen. Die geplante mittlere Endenergieeinsparung im Quartier beträgt 88 kWh/m²a oder 47 %. Die meiste Endenergie auf Quartiersebene soll das Projekt Bad Aibling mit 310 kWh/m²a einsparen, gefolgt vom Projekt München Lilienstraße mit 299 kWh/m²a. In Bad Aibling konnte das zuständige Projektteam im Messjahr 2 gemessene Endenergieeinsparung von 284 kWh/m²a nachweisen; München Lilienstraße erreichte eine gemessene Endenergieeinsparung von 264 kWh/m²a.

Die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs der Quartiere ist ein exakt quantifiziertes Ziel im Förderkonzept

3

Flächenbezogene Endenergiebedarfs- und -verbrauchswerte auf Quartiersebene in den Demonstrationsprojekten



Quelle: Fraunhofer IBP

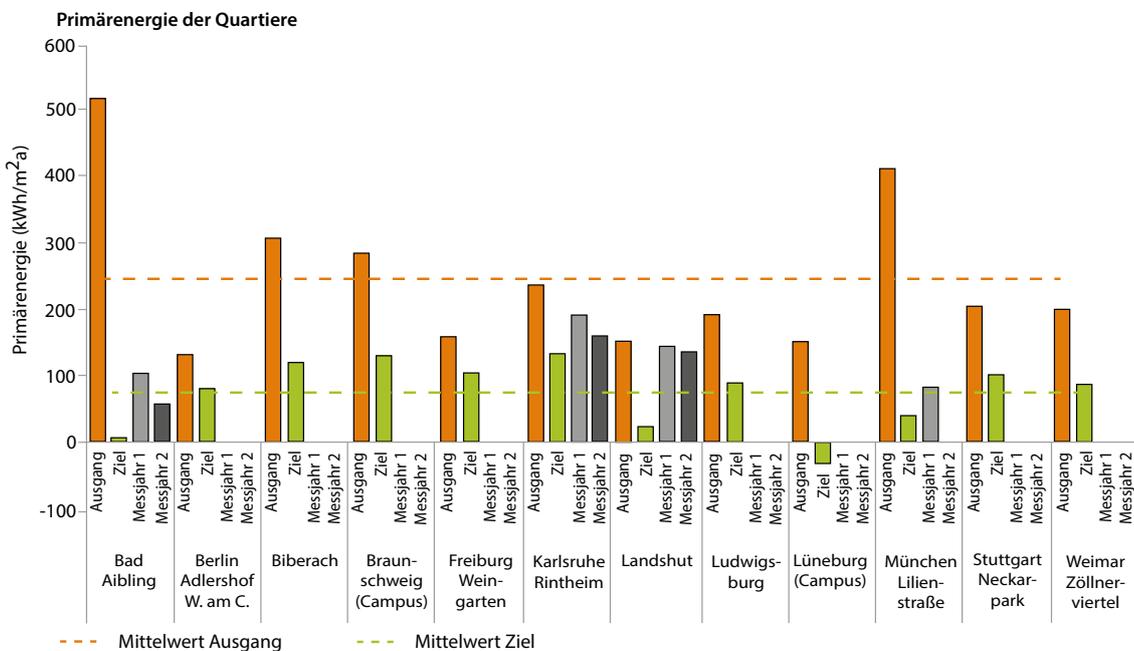
EnEff:Stadt. Hier heißt es unter den Auswahlkriterien für innovative Pilot- und Demonstrationsvorhaben unter anderem: „Erfüllung der Anforderungen an die Primärenergieeffizienz (Reduzierung um mehr als 30 %)“.

Abbildung 4 zeigt, dass unter den zwölf Demonstrationsvorhaben flächenbezogen Bad Aibling den mit 517 kWh/m²a höchsten Primärenergieverbrauch im Ausgangszustand aufweist. Den niedrigsten Kennwert erreicht im Ausgangszustand Berlin Adlershof mit 134 kWh/m²a. Dieser Wert wurde mit Bezug auf Referenztechnologien aus der EnEV berechnet. Der Mittelwert der Projekte im Ausgangszustand beträgt 246 kWh/m²a. Im Zielzustand bewegen sich die primärenergetischen Kennwerte zwischen -29 kWh/m²a (Campus Lüneburg) und 133 kWh/m²a (Karlsruhe Rintheim). Als Mittelwert im Zielzustand ergeben sich 74 kWh/m²a. Damit reduziert sich die Primärenergie im Mittel um 172 kWh/m²a oder 70 %. Alle Projekte planen eine primärenergetische Einsparung zwischen Ausgangszustand und Zielzustand von mehr als 30 %. Die jeweiligen Einsparungen sollen zwischen 34 % (Freiburg Weingarten) und 120 % (Campus Lüneburg mit einem berechneten negativen Primärenergiebedarf für den Zielzustand) liegen. Basierend auf Messungen ermittelten die Projektteams bisher flächenbezogene primärenergetische Einsparungen von 80 % respektive 89 % in Bad Aibling, 19 % respektive 33 % in Karlsruhe, 6 % respektive 11 % in Landshut und 80 % im Projekt München Lilienstraße.

Im Projekt Landshut lassen sich die weitaus geringeren primärenergetischen Einsparungen im Vergleich zur Planung (Zielzustand) vor allem darauf zurückführen, dass nicht das geplante Biogas in der Nahwärmeerzeugung eingesetzt wurde, sondern gewöhnliches Erdgas. Die drei anderen bereits gemessenen Projekte erreichen spätestens im Messjahr 2 eine Primärenergieeinsparung von 30 %, können aber die geplanten höheren Einsparungen nicht ganz erreichen. Die Hintergründe dafür deuten Erhorn-Kluttig/Erhorn (2016) an, werden aber genauer im jeweiligen Schlussbericht der Vorhaben erläutert (EnArgus 2017). Die Abweichungen zeigen auch, dass eine Messung von Pilotprojekten unerlässlich ist. Ohne eine detaillierte Aufschlüsselung der Verbräuche können die Erfahrungen nicht dokumentiert werden. Entsprechende Verbesserungen im zweiten Messjahr oder danach lassen sich dann nicht mehr durchführen. Zusätzlich zeigen die Vorhaben und der kontinuierliche Austausch mit den Projektleitern und Projektbearbeitern (u. a. in den halbjährlich stattfindenden EnEff:Stadt-Projektleitermeetings), dass diese Umsetzungsprojekte wichtig sind. Sie treiben vor allem generell eine energieeffizientere Stadtplanung und energieeffiziente Sanierungen von Bestandsquartieren in großer Breite voran. Nur wenn gute Projekte dokumentiert werden und besichtigt werden können, setzen auch andere Städte, Wohnungsbaugesellschaften und Investoren ähnliche Vorhaben um.

4

Flächenbezogene Primärenergiebedarfs- und -verbrauchswerte der Demonstrationsvorhaben



Quelle: Fraunhofer IBP

Die energetische Querauswertung erbrachte darüber hinaus unter anderem folgende erste Benchmarks:

Der Ausgangswert des Endenergieverbrauchs (Wärme plus Strom) der Wohngebäude aus den EnEff:Stadt-Demonstrationsquartieren auf Gebäudeebene beträgt 174 kWh/m²a. Er passt sehr gut zum entsprechenden Kennwert von 185 kWh/m²a, den die BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen für den gesamten Bestand an Wohngebäuden in Deutschland ermittelt hat.

Der Mittelwert des geplanten Endenergiebedarfs der energetisch optimierten Wohngebäude aus den EnEff:Stadt-Demonstrationsquartieren auf Gebäudeebene beträgt 93 kWh/m²a. Zielwerte für die mittlere Endenergie für Wohngebäude auf Gebäudeebene von unter 100 kWh/m²a oder Einsparungen von 40 % können damit in den Demonstrationsquartieren angestrebt werden.

Der mittlere Stromverbrauch der Wohngebäude ohne Berücksichtigung von Einspeisungen ins allgemeine Stromnetz hängt kaum von der Projektphase (Ausgangszustand oder Zielzustand) ab. Er beträgt 28 kWh/m²a.

Als Kennwert für den Strom-Input (Pumpenantrieb, Regelung etc.) in die Nahwärme in Abhängigkeit von der erzeugten thermischen Energie konnte 0,0132 MWh_{el} je MWh_{th} ermittelt werden.

Die Netzverluste der gemessenen Nahwärmeversorgungen betragen zwischen 13,4 % und 18,9 % der gesamten Endenergieabnahmen durch die Gebäude. Als Benchmark ist also von etwa 15 % Netzverluste in Abhängigkeit von der Endenergieabnahme der Gebäude auszugehen.

Die angestrebte Primärenergieeinsparung von 30 % im Quartier (Förderkriterium) halten alle Vorhaben ein. Gegebenenfalls lässt sich die Vorgabe auf 40 bis 50 % Primärenergieeinsparung im Quartier erhöhen.

Die ausgewerteten Vorhaben zeigen, dass für eine Wohnquartierssanierung ein Zielwert von unter 100 kWh/m²a Endenergie (Wärme plus Strom) auf Gebäudeebene angestrebt werden kann. Für ambitioniertere Maßnahmen an der Gebäudehülle kann dieser Zielwert auf 85 kWh/m²a gesenkt werden.

Für sanierte große Wohngebäude kann ein Endenergiebedarf Wärme auf Gebäudeebene von 60 kWh/m²a und ein Endenergiebedarf Strom auf Gebäudeebene von 30 kWh/m²a angestrebt werden.

Für eine Wohnquartierssanierung kann ein Zielwert von unter 120 kWh/m²a Primärenergie im Quartier angestrebt werden. Für eine Kombination aus ambitionierteren Maßnahmen an der Gebäudehülle und einer Nahwärmeversorgung mit hohen erneuerbaren Energieanteilen kann der Zielwert auch auf deutlich unter 100 kWh/m²a (bis hin zu 50 kWh/m²a, wie das Beispiel München Lilienstraße zeigt) abgesenkt werden.

Soweit sich aus nur zwei Vorhaben ein Benchmark bilden lässt, ist für den bezogenen Endenergieverbrauch Wärme auf Gebäudeebene eines Universitätscampus, der aus reinen Nichtwohngebäuden besteht, von etwa 100 kWh/m²a auszugehen. Dieser kann durch Sanierungsmaßnahmen an Teilen der Gebäude innerhalb eines Gesamtkonzepts deutlich gesenkt werden, nämlich um ungefähr 30 %.

Auch bei Quartieren mit relativ hohem Stromverbrauch wie einem Universitätscampus können erneuerbare Energieanteile an der Stromversorgung von 40 % und darüber erreicht werden (zum Beispiel durch eine Kombination aus zentralen und dezentralen Photovoltaikanlagen und Stromerzeugung aus Biogas-BHKW).

Die Neubauwohnquartiere in EnEff:Stadt haben einen geplanten Endenergiebedarf auf Gebäudeebene, der gegenüber den EnEV-Anforderungen um rund 25 % niedriger ist. Auch in Quartieren sollte also eine über die EnEV hinausgehende Gebäudeanforderung angestrebt werden.

Auch in Mischquartieren lassen sich Endenergiekennwerte auf Gebäudeebene von deutlich unter 100 kWh/m²a im Neubaubereich und um 160 kWh/m²a im Bestandsbereich planen. Eines der EnEff:Stadt-Bestandsquartiere, das Zöllnerviertel in Weimar, plant einen Endenergiekennwert auf der Gebäudeebene von 98 kWh/m²a.

Auch in Mischquartieren können erneuerbare Energieanteile an der Wärmeversorgung von 50 %, an der Stromversorgung von 30 % und an der gesamten Energieversorgung im Quartier von 40 % angestrebt werden.

In Mischquartieren können Primärenergiekennwerte von etwa 100 kWh/m²a geplant und, wie das Projekt Bad Aibling zeigt, auch messtechnisch nachgewiesen werden.

Die Nutzung von Geothermie zusammen mit anderen erneuerbaren Energieträgern führt in den EnEff:Stadt-Quartieren zu einem erneuerbaren Anteil an der Wärmeversorgung von 20 % bis 67 %.

Die EnEff:Stadt-Pilotprojekte zeigen, dass Geothermie zusammen mit anderen erneuerbaren Energieträgern dazu beitragen kann, den Primärenergiebedarf auf deutlich unter 100 kWh/m²a und im Mittel um 75 % zu senken.

Die bisher ausgewerteten Demonstrationsvorhaben mit solaren Anteilen an der Nahwärmeerzeugung weisen eher moderate Beiträge durch Solarthermie auf. Diese betragen in der Planung zwischen 1 % und 27 %, gemessen werden konnten bisher nur 7 %.

Bei einem Fokus auf erneuerbare Energien inklusive Solarthermie in der Nahwärmeerzeugung lässt sich ein Anteil von über 50 % erneuerbarer Energien in der Quartierswärmeversorgung planen und, wie Bad Aibling zeigt, auch messtechnisch nachweisen.

Der Einsatz von Photovoltaik kann den Strombedarf von Stadtquartieren mit vielen Wohngebäuden in der Quartiersbilanz (nahezu) vollständig abdecken. Das zeigen die zwei Demonstrationsvorhaben Bad Aibling und München Lilienstraße.

Der Einsatz von Photovoltaik kann generell zu einem erneuerbaren Energieanteil an der Stromversorgung von Quartieren von über 50 % führen.

Der Einsatz von Biogas in der Nahwärmeerzeugung ermöglicht einen erneuerbaren Energieanteil an der Wärmeversorgung von Quartieren von 60 % bis 70 %.

Ersetzt man aus Kosten-, Verfügbarkeits- oder anderen Gründen das geplante Biogas in der Nahwärmeerzeugung durch Erdgas, steigt der Primärenergieverbrauch um bis zu über 250 % an. Bei der Planung einer Nahwärmeversorgung mit

Biogas ist unbedingt sicherzustellen, dass das Biogas auch langfristig in der geplanten Menge zum Einsatz kommt.

Diese ersten Benchmarks sollten unbedingt durch weitere Projektergebnisse untermauert und geschärft werden. Weitere Vorhaben könnten auch Bereiche der Siedlungstypologie oder eingesetzte Technologien abdecken, die bis jetzt nicht oder nicht ausreichend für eine gesonderte Auswertung herangezogen werden konnten. Derzeit geht die Begleitforschung die Vervollständigung der Projektphasen und Querauswertung weiterer Demonstrationsvorhaben an.

Natürlich ist die energetische Bewertung nur ein Teil einer Gesamtbewertung der Vorhaben. Sie sollte mit einer finanziellen Bewertung gespiegelt werden, die die Investitionskosten, aber auch die Kosteneinsparungen durch die Maßnahmen in der Betriebsphase der Gebäude und ihrer Energieversorgung berücksichtigt. Dafür wurde eine erste vereinfachte Methode in der Begleitforschung entwickelt und mittels eines Tabellenformblatts an die Projektleiter der Vorhaben verteilt. Der Rücklauf der Formblätter ist allerdings derzeit noch gering. Eine Analyse der Nachhaltigkeit – also der bei der Produktion der Materialien eingesetzten Energie, deren Umweltverträglichkeit, der entstehenden Emissionen und des Aufwands für den Rückbau – könnte ein noch umfassenderes Bild der Maßnahmen ermöglichen. Sie ist aber vermutlich in naher Zukunft noch nicht detailliert möglich.

Zusätzlich zu dieser energetischen Querauswertung bearbeitete das EnEff:Stadt-Begleitforschungsteam weitere Themen. Dazu gehören zum Beispiel die Auswertung der beteiligten Akteure, der Projekthemmnisse und erfolgreicher Lösungen (Bloch et al. 2016) oder der Einsatz von Planungsinstrumenten und die damit gemachten Erfahrungen (Wrobel et al. 2016).

Derzeitige Arbeiten der Begleitforschung

Die laufenden Querauswertungen der Begleitforschung zum BMWi-Forschungsbereich EnergieWendeBauen beschäftigen sich unter anderem mit folgenden Themen: Verdichtung der energetischen Querauswertung der Quartiere, Bestimmung von Aufwandszahlen von Heiz- und Trinkwarmwassersystemen, maschinelle Lüftung in Schulen, Bewertung von Wärmepumpen, digitale Planungsprozesse

und Sektorenkopplung. Weitere Schwerpunkte der Arbeiten sind die Entwicklung einer erweiterten Stammdatenbasis mit der „Landkarte der Projekte“, eine gemeinsame Messdatenplattform für Gebäude und Quartiere und diverse Veranstaltungen, so zum Beispiel der Kongress EnergieWendeBauen Anfang des Jahres in Berlin (Projekträger Jülich 2017).

Literatur

Erhorn-Kluttig, Heike; Erhorn, Hans; Weber, Juri; Wössner, Simon; Budde, Eike, 2016: Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere. Ein Potentialbewertungstool aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt. Schriftenreihe EnEff:Stadt. IRB-Verlag, Stuttgart. 2013.

Erhorn-Kluttig, Heike; Erhorn, Hans, 2016: Energetische Bilanzierung von Quartieren. Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur energieeffizienten Stadt. Schriftenreihe EnEff:Stadt. IRB-Verlag, Stuttgart.

BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2014: Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie. Broschüre des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi).

EnArgus, 2017: Zentrales Informationssystem Energieforschungsförderung. Zugriff: www.enargus.de [abgerufen am 04.07.2017].

Bloch, Thomas; Dütz, Armand; Löffler, Jessica; Moltmann, Sara, 2016: Nichttechnische Erfolgsfaktoren der Quartiersentwicklung. Schriftenreihe EnEff:Stadt. IRB-Verlag, Stuttgart.

Wrobel, Patrick; Schnier, Matthias; Schill, Cornelius; Kanngießner, Annedore; Beier, Carsten, 2016: Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung. Schriftenreihe EnEff:Stadt. IRB-Verlag, Stuttgart.

Projektträger Jülich, 2017: 1. Kongress EnergieWendeBauen. Berlin. 30.-31. Januar 2017.

Die Arbeiten wurden und werden unter den folgenden Förderkennzeichen gefördert:

- Begleitforschung EnEff:Stadt: 03ET1109A
- Begleitforschung EnergieWendeBauen: 03ET1388B
- EU-Projekt MODER: H2020 680447;
Zufinanzierung Zukunft Bau: SWD-10.08.18.7-15.48