

Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn

Energetische Bilanzierung von Quartieren

Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten –
Forschung zur energieeffizienten Stadt



Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn

Energetische Bilanzierung von Quartieren

Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten –
Forschung zur energieeffizienten Stadt

Heike Erhorn-Kluttig, Hans Erhorn

Energetische Bilanzierung von Quartieren

Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten –
Forschung zur energieeffizienten Stadt

Impressum

Herausgeber:

Begleitforschung EnEff:Stadt
 c/o pro:21 GmbH
 Dresdner Straße 31
 D-10179 Berlin
 Tel.: 0049 30 3904222
 Fax: 0049 30 3904231
 Dr. Armand Dütz (V.i.S.d.P.), Jessica Löffler
 E-Mail: a.duetz@pro-21.de

Die Inhalte basieren auf den Ergebnissen der wissenschaftlichen Begleitforschung zur Forschungsinitiative EnEff:Stadt (Förderkennzeichen 03ET1109A).

Lektorat und Gestaltung:

löwenholz kommunikation GbR, Berlin
 Rüdiger Buchholz, Claudia Oly

Titelfoto:

© Stadt Freiburg i. Br., Vermessungsamt

Druckerei:

BELTZ, Bad Langensalza

Bonn, 2016

ISBN (Print): 978-3-8167-9629-9
 ISBN (E-Book): 978-3-8167-9630-5

Verlag und Vertrieb:

Fraunhofer IRB Verlag
 Fraunhofer-Informationszentrum
 Raum und Bau IRB
 Nobelstraße 12
 70569 Stuttgart
 Telefon +49 7 11 9 70-25 00
 Telefax +49 7 11 9 70-25 08
 irb@irb.fraunhofer.de
 www.baufachinformation.de

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
- Energetische Bilanzierung von Quartieren Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten – Forschung zur Energieeffizienten Stadt
- Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung
- Energetischer Stadttumbau. Energieleitplanung und Wärmenetze für neue Nachbarschaften in Ludwigsburg Grünbühl-Sonnenberg
- Der energieeffiziente Universitätscampus: Pilotprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt
- Vision 2020. Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot.
- Energieeinsparpotenzial sanierter Wohngebäude unter Berücksichtigung realer Nutzungsbedingungen
- Nichttechnische Erfolgsfaktoren der Quartiersentwicklung

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

Inhalt

1.	Einleitung	9
2.	Methodik der energetischen Querauswertung	11
2.1	Bewertung in bis zu vier Projektphasen	11
2.2.	Messwerte vs. berechnete Werte	12
2.3	Messstellen und Kennwerte	13
2.4	Bewertung auf Gebäudeebene und Quartiersebene	14
2.5	Energetisches Bilanzierungstool	16
3.	Bisher ausgewertete Demonstrationsprojekte	20
3.1	Demonstrationsvorhaben Bad Aibling: Eine Militärbrache auf dem Weg zur Nullenergiestadt	21
3.2	Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof: Wärmeverbundnetz „Wohnen am Campus“	22
3.3	Demonstrationsvorhaben Biberach: Niedrigenergie-Quartiersentwicklung Bürgerheim Biberach	23
3.4	Demonstrationsvorhaben Braunschweig (Campus): blueMAP TU Braunschweig	24
3.5	Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten: Modellhafte Stadtquartierssanierung Freiburg Weingarten-West	25
3.6	Demonstrationsvorhaben Karlsruhe Rintheim: Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe Rintheim	26
3.7	Demonstrationsvorhaben Landshut: Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut	27
3.8	Demonstrationsvorhaben Ludwigsburg: Integriertes Energie-Quartierskonzept Ludwigsburg Grünbühl/Sonnenberg	28
3.9	Demonstrationsvorhaben Lüneburg (Campus): Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	29
3.10	Demonstrationsvorhaben München Lilienstraße: Sanierung und CO ₂ -neutrale Wärmeversorgung einer 50er-Jahre-Wohnanlage	30
3.11	Demonstrationsvorhaben Stuttgart Neckarpark: Neues Stadtquartier „Neckarpark Stuttgart“, Nahwärme und -kälte aus Abwasser	31
3.12	Demonstrationsvorhaben Weimar Zöllnerviertel: Modellprojekt „Altes Zöllnerviertel“ in der Weimarer Innenstadt	32
3.13	Vergleichbarkeit der Demonstrationsquartiere	33

4. Ergebnisse der energetischen Querauswertung	36
4.1 Querauswertung der Flächen und Gebäudearten	36
4.2 Querauswertung der Endenergie an der Gebäudekante	40
4.3 Querauswertung der Endenergie des Quartiers	52
4.4 Querauswertung der eingesetzten Energieträger für die Wärme und deren Erzeugereinheiten	60
4.5 Auswertung der Nahwärmeversorgungskonzepte	66
4.6 Querauswertung des Anteils der erneuerbaren Energien	79
4.7 Querauswertung der Primärenergie der Quartiere	87
4.8 Querauswertung der Primärenergiefaktoren im Quartier	92
4.9 Mittelwerte der Endenergie und Primärenergie im Quartier	96
4.10 Einordnung in den Zielkorridor aus Energieeinsparung und Erhöhung des erneuerbaren Energieanteils	96
4.11 Untersuchungen von vergleichbaren Projekten	98
4.11.1 Sanierung und zum Teil Nachverdichtung von Quartieren mit mehrheitlich oder ausschließlich Wohngebäuden (Mehrfamilienhäuser) und Nahwärmeversorgung im Zielzustand	99
4.11.2 Universitätscampus-Projekte mit mehrheitlich zu sanierenden Bestandsgebäuden (ausschließlich Nichtwohngebäude) mit zentraler Versorgung im Ausgangs- und Zielzustand und geplantem Einsatz von erneuerbaren Energien (Photovoltaik und Biogas)	105
4.11.3 Neubauprojekte mit Wohngebäuden und mehrheitlich zentraler Energieversorgung im Zielzustand	111
4.11.4 Quartiere mit Wohn- und Nichtwohngebäuden, Nahwärmeversorgung im Zielzustand sowie großen Anteilen an der Energieerzeugung durch erneuerbare Energien	117
4.11.5 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung geothermischer Wärmepumpen	122
4.11.6 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung von Solarthermie	126
4.11.7 Quartiere mit zentralen Photovoltaikfeldern	131
4.11.8 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung von Biogas	135
5. Schlussfolgerungen und Ausblick	143
6. Danksagung	149
Anhang	150

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 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 und Wohnungsunternehmen, aber auch Planer, Ingenieure, Hand-

werker 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

1. Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland hat mit ihren klimapolitischen und energiewirtschaftlichen Zielen eine Vorreiterrolle innerhalb Europas und der Welt inne. Um diese Ziele zu erreichen, müssen im Hinblick auf den Gebäudebestand und kommende Neubauten zahlreiche Veränderungen auf der kommunalen Ebene umgesetzt werden. Ambitionierte energieeffiziente Einzelgebäude dienen dabei als Pilot- und Demonstrationsprojekte, anhand derer die technologischen Möglichkeiten zur Energieeinsparung in Gebäuden gezeigt werden. Die Umsetzung in die Breite und somit eine signifikante Reduzierung des Gebäudeenergieverbrauchs muss jedoch auch im größeren Maßstab auf Stadtquartiersebene erreicht werden. Das in den Städten bestehende Potenzial zur Energieeffizienzsteigerung ist hoch und die erforderlichen Maßnahmen sind technologisch mehrheitlich bereits entwickelt, die praktische Umsetzung wird aber durch organisatorische und teilweise auch ökonomische Hemmnisse erschwert.

Die Forschungsinitiative „Energieeffiziente Stadt“ (EnEff:Stadt) bildet seit 2007 einen Schwerpunkt der Energieforschung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Sie bündelt Forschungsaktivitäten aus den Bereichen energetische Gebäudesanierung, Konzepte zur effizienten Energieversorgung und neue Energietechnologien und nutzt daraus entstehende Synergien. Gefördert werden Forschungs- und Entwicklungs-Projekte (FuE) sowie Pilotprojekte. Mit diesen Projekten soll gezeigt werden, wie der Energieverbrauch von Kommunen im Gebäudebereich reduziert und welche Technologien dazu eingesetzt werden können. Gleichzeitig werden auch kommunale Planungsprozesse und mögliche Barrieren bei der Umsetzung analysiert.

Die Anzahl der EnEff:Stadt-Pilotprojekte wächst seit 2007 stetig. Derzeit werden auf der EnEff:Stadt-Website (www.eneff-stadt.info) mehr als 20 Pilotvorhaben präsentiert. Dem Förderkonzept entsprechend liegt deren Schwerpunkt auf typischen Quartieren, deren Primärenergieeinsatz mittels integraler Planung und neuer Technologien um mindestens 30 % gesenkt werden soll. Die Projekte decken unterschiedliche Siedlungstypologien und sowohl Quartiere, die vorrangig aus Wohngebäuden bestehen als auch Gebiete mit Nicht-Wohngebäuden (Nutzgebäude) ab. Auch die eingesetzten energieeffizienten Technologien sind vielfältig. Ein fast allen Quartierskonzepten gemeinsames Element ist jedoch das Wärmenetz.

Die Pilotprojekte und Entwicklungsarbeiten von EnEff:Stadt werden von unterschiedlich besetzten Projektkonsortien durchgeführt. Parallel wird eine übergeordnete Begleitforschung durchgeführt. Die Aufgaben dieser Begleitforschung sind vielfältig und umfassen die Beratung des Ministeriums und des Projektträgers Jülich bei der Schwerpunktsetzung innerhalb des Programms, die Entwicklung von Bewertungskriterien für die Projektauswertung, Untersuchungen zum Einsatz von Planungshilfsmitteln und die Erarbeitung von Handlungsempfehlungen.

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) zeichnet dabei unter anderem für die energetische Querauswertung der Pilotprojekte verantwortlich, und hat dafür Methoden und ein energetisches Bilanzierungstool auf Grundlage der DIN V 18599 entwickelt, die es ermöglichen, alle Projekte unter den gleichen Randbedingungen auszuwerten. Die vorliegende Ausgabe der EnEff:Stadt-Schriftenreihe fasst die Methodik und die Ergebnisse der energetischen Querauswertung zusammen, beschreibt die bisher ausgewerteten Demonstrationsprojekte und enthält neben ersten energetischen Kennwerten (sog. Benchmarks) aus der Forschungsinitiative auch Schlussfolgerungen für eine weitere energetische Bilanzierung der Projekte im Rahmen von EnEff:Stadt.

2. Methodik der energetischen Querauswertung

Das Ziel der energetischen Querauswertung ist, die Energieverbräuche der betreffenden Quartiere 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 ggf. 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.

Typische Kennwerte (im Folgenden: „Benchmarks“) für energieeffiziente Quartiere zu gewinnen, ist ein weiteres Ziel der vergleichenden Querauswertung. Dabei ist zu beachten, dass die Quartiere aufgrund der Vielzahl unterschiedlicher Einflussfaktoren nicht absolut miteinander vergleichbar sind. Dafür weichen im Einzelnen z. B. 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 deshalb die im Weiteren dargestellte Querauswertung von bis jetzt 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 hier dargestellten Energievergleiche bieten allerdings schon eine erste Übersicht und zeigen die Möglichkeiten und Trends zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Quartieren auf.

2.1 Bewertung in bis zu vier Projektphasen

Im Einzelnen werden bis zu vier Phasen der Pilotprojekte bewertet:

1. **Ausgangszustand:** Das ist für Projekte mit Bestandsgebäuden der Zustand vor der energetischen Sanierung und der Umstellung der Energieversorgung. Bei Neubaugebieten wird als Ausgangszustand die Mindestanforderung für Neubauten nach der jeweils gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) herangezogen. Hierzu wird über ein sogenanntes Referenzgebäude das zu bauende Gebäude gespiegelt und mit festgelegten Referenztechnologien belegt. Dies ergibt einen maximal zulässigen Primärenergiebedarf, den das zu errichtende Gebäude nicht überschreiten darf. Daraus kann dann, wie in 2.2 erläutert, auch der für die Querauswertung benötigte Endenergiebedarf ermittelt werden.

2. **Zielzustand:** Dieser 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.
3. **Messjahr 1:** Nach der Umsetzung der Projekte sollen – gemäß Förderkonzept – die erreichten Verbrauchsergebnisse mindestens über zwei Jahre gemessen werden. Die so erzielten Werte ermöglichen den direkten Vergleich zwischen Planung und Realität. Oft sind im ersten Jahr nach der Umsetzung noch Betriebsoptimierungen in der Anlagentechnik nötig.
4. **Messjahr 2:** Im zweiten Messjahr sollten die wichtigsten Betriebsoptimierungen abgeschlossen sein, so dass 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, z. B. bei einer größeren Gebäudeanzahl, zu einem höheren Energieverbrauch als im ersten Jahr kommen.

2.2. Messwerte vs. berechnete Werte

Die Auswertungen der Messjahre 1 und 2 beruhen vornehmlich auf gemessenen Verbräuchen. Einzelne Zwischenkennwerte darin wurden dennoch durch Berechnungen ermittelt, zum Beispiel, wenn in einem Projekt nicht alle abgefragten Details durch die Messung abgedeckt waren, oder bei Ausfällen der Messtechnik.

Demgegenüber sind die Eingabekennwerte für den Zielzustand fast ausschließlich berechnete Werte (Bedarfwerte). Diese 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 z. B. der im Rahmen von EnEff:Stadt entwickelte „Energiekonzeptberater für Stadtquartiere“ für den frühen Planungsstand von Projekten oder GIS-gekoppelte Simulationstools, wie sie auch in der Forschungsinitiative entwickelt werden.

Für den Ausgangszustand stammen die Energiekennwerte bei Bestandsgebäuden meist aus Messungen, bei Neubauten muss als Vergleichswert gebäudeweise die Referenzanforderung aus der Energieeinsparverordnung eingetragen werden. Da für den Bauantrag grundsätzlich ein Energieausweis berechnet werden muss, liegt ein maximal zulässiger Primärenergiebedarf (Referenzanforderung der EnEV) zur Bewertung vor. Die meisten EnEV-Berechnungstools bieten neben der primärenergetischen Anforderung auch Informationen zu den zugrunde liegenden Endenergiekennwerten des Referenzgebäudes. Bei fehlenden Kennwerten für Bestandsgebäude müssen Durchschnittsverbrauchskennwerte, z. B. aus der „Gemeinsamen Bekanntmachung der Regeln für Energieverbrauchswerte und der Vergleichswerte

des Bundeswirtschafts- und des Bundesbauministeriums“, oder andere nachvollziehbare Abschätzungen eingesetzt werden.

2.3 Messstellen und Kennwerte

Basierend auf den Messungen bzw. Berechnungen erfolgt die Bewertung der Quartierszustände über gebäudeweise eingetragene Endenergiekennwerte für Heizung und Warmwasser, für die der entsprechende Energieträger (z. B. Erdgas, Heizöl, Strom, Biogas, Biomasse, Fernwärme etc.) angegeben werden muss. Auch der Stromverbrauch muss für alle Gebäude angegeben werden. Daraus wird dann über die Primärenergiefaktoren der Energieträger der Primärenergiebedarf oder -verbrauch ermittelt. Bei einer quartierszentralen Nahwärmeversorgung muss dafür der entsprechende Nahwärmeprimärenergiefaktor auf Basis der DIN V 18599 ermittelt werden. Die Endenergieverbräuche der Gebäude, die an die Nahwärme angeschlossen sind, müssen dem Energieträger Nahwärme zugeordnet werden. Bild 1 zeigt ein **Schema der Endenergiemessstellen**.

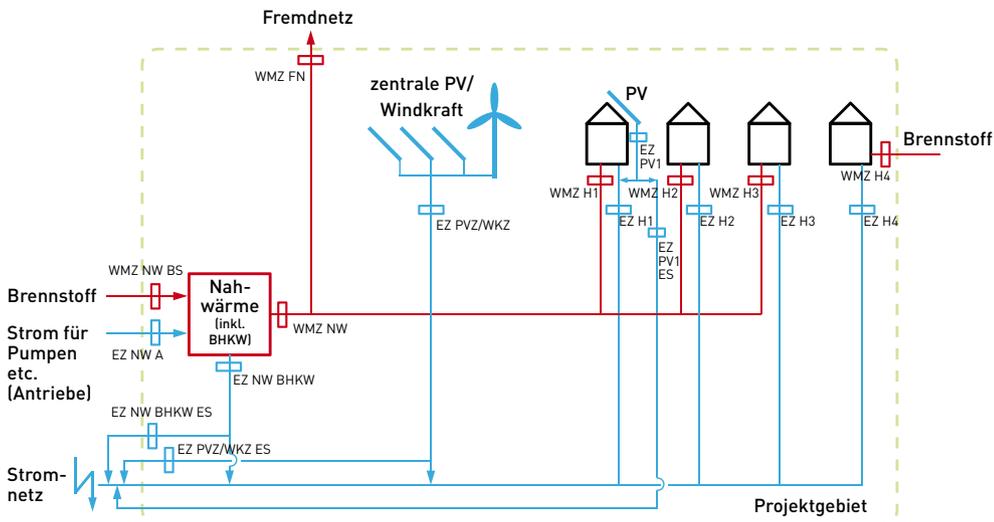


Bild 1: Schema der Endenergiemessstellen als Grundlage der energetischen Querauswertung im Rahmen von EnEff:Stadt. Eingezeichnet sind die benötigten Endenergiekennwerte an der Gebäudekante sowie die Kennwerte der zentralen Energieversorgung.

Da kein Projekt alle eingetragenen Energieversorgungsarten (dezentrale gebäudeweise Versorgung, zentrale Versorgung über Nahwärme, erneuerbare Energien am Gebäude und zentral im Quartier, jeweils selbstgenutzt und eingespeist) nutzt, kann das Schema jeweils angepasst und vereinfacht werden.

2.4 Bewertung auf Gebäudeebene und Quartiersebene

Die energetische Querauswertung der EnEff:Stadt-Demonstrationsquartiere erfolgt auf zwei Ebenen: der Gebäudeebene und der Quartiersebene. **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 z. B. 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 und in die Wärme-, teilweise Kälte- und Stromseite. Die endenergetische Bilanzierung auf Gebäudeebene erfolgt nach Gleichung (1):

$$(1): \quad EE_G = \sum (\text{WMZ H1 ... WMZ H4}) + \sum (\text{EZ H1 ... EZ H4}) \quad [\text{MWh/a}]$$

wobei:

EE_G : Endenergie an der Gebäudekante

WMZ: Wärmemengenzähler an der Gebäudekante (Abnahme Nahwärme oder Abnahme Fernwärme oder Abnahme eines Brennstoffs für Kessel o. Ä. oder Abnahme Strom für eine Wärmepumpe)

EZ: Elektrozähler an der Gebäudekante (Abnahme Strom aus dem allgemeinen Stromnetz). Selbst erzeugter und selbst genutzter Strom aus erneuerbaren Energiesystemen reduziert die Abnahme aus dem allgemeinen Stromnetz. Selbst erzeugter, aber eingespeister Strom auf dem Gebäude wird hier noch nicht berücksichtigt, weil er die eigentliche energetische Qualität des Gebäudes nicht verbessert. Er wird jedoch auf der Quartiersebene berücksichtigt.

H4: Gebäude mit einer dezentralen Wärmeversorgung als Stellvertreter von möglichen weiteren Gebäuden mit dezentraler Wärmeversorgung.

Rot markiert ist der Wärmeanteil, blau markiert der Stromanteil an der Endenergie.

Sollte auch eine Kälteabnahme erfolgen, muss sie je nach Art des Energieträgers (Kälte aus Wärme, Fern- oder Nahkälte oder Kälte aus Strom) berücksichtigt werden.

Die **Bilanzierung auf Quartiersebene** bietet die Gelegenheit, die EnEff:Stadt-Projekte nach ihrem eigentlichen Ansatz zu bewerten: der Energieversorgung eines Quartiers unter Zuhilfenahme einer Nahwärmeversorgung. Hier wird auch die Energiegewinnung aus zentralen erneuerbaren Energiesystemen in der Bilanz berücksichtigt. 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 Nahwärmever-

teilnetz? Auch hier werden zusätzlich zu den Gesamtkennwerten eines Quartiers Einzelkennwerte ermittelt, unterteilt in Wärme, Kälte und Strom. Die endenergetische Bilanzierung auf Quartiersebene erfolgt nach Gleichung (2):

$$(2): \quad EE_Q = WMZ H4 + (WMZ NW BS * \frac{\eta_{th}}{\eta_{th} + \eta_{el}} + EZ NW A) * \frac{WMZ NW - WMZ FN}{WMZ NW} \\ + \sum (EZ H1 \dots EZ H4) + WMZ NW BS * \frac{\eta_{el}}{\eta_{th} + \eta_{el}} * \\ \frac{EZ NW BHKW - EZ NW BHKW ES}{EZ NW BHKW} - (EZ NW BHKW - EZ NW BHKW ES) \\ - (EZ PVZ/WKZ - EZ PVZ/WKZ ES) - EZ PVZ/WKZ ES - EZ PV1 ES \quad [MWh/a]$$

wobei:

- EE_Q : Endenergie auf Quartiersebene
- $WMZ H4$: Wärmemengenzähler an der Gebäudekante von Haus 4. Haus 4 ist im Schema als Stellvertreter für alle dezentral wärmeversorgten Gebäude eingetragen. Wenn es mehr als ein dezentral wärmeversorgtes Gebäude im Quartier gibt, müssen hier alle Wärmemengenzähler aufaddiert werden.
- $WMZ NW BS$: (Summe der) Wärme- bzw. Energiemengenzähler der Brennstoffe, die für die Nahwärmeerzeugung eingesetzt werden.
- $\frac{\eta_{th}}{\eta_{th} + \eta_{el}}$: Anteil der Brennstoffe für die Nahwärme, der für die Wärmeerzeugung eingesetzt wird, ermittelt über die Effizienz der Wärme- und Stromerzeugung. Ohne den Einsatz eines BHKWs ist der Anteil = 1.
- $EZ NW A$: Elektrozähler der Nahwärmeversorgung für die Antriebe (Pumpen) und die Regelung des Wärmenetzes. Dieser Strombedarf oder -verbrauch wird hier komplett dem Wärmeanteil zugerechnet, da er mehrheitlich Pumpenstrom beinhaltet.
- $WMZ NW$: Summe der erzeugten und ins Netz eingespeisten Nahwärme (thermische Energie) in der Nahwärmestation.
- $WMZ FN$: Nahwärme, die in ein Fremdnetz (außerhalb des betrachteten Quartiers) eingespeist wird.
- $EZ H1 \dots EZ H4$: Stromabnahme der einzelnen Gebäude aus dem allgemeinen Stromnetz.
- $\frac{\eta_{el}}{\eta_{th} + \eta_{el}}$: Anteil der Brennstoffe für die Nahwärme, der für die Stromerzeugung (BHKW) eingesetzt wird, ermittelt über die Effizienz der Wärme- und Stromerzeugung.
- $EZ NW BHKW$: Summe der Stromerzeugung durch ein BHKW als Bestandteil der Nahwärmeeinheit.

EZ NW BHKW ES:	Eingespeiste Strommenge aus dem Nahwärme-BHKW in das allgemeine Stromnetz.
EZ PVZ/WKZ:	Strommenge, die durch ein quartierszentrales Photovoltaikfeld und/oder eine quartierszentrale Windkraftanlage erzeugt wird.
EZ PV/WKZ ES:	Strommenge, die durch ein quartierszentrales Photovoltaikfeld und/oder eine quartierszentrale Windkraftanlage erzeugt und in das allgemeine Stromnetz eingespeist wird.
EZ PV1 ES:	Strommenge, die durch PV auf den Gebäuden (im Schema auf Haus 1) erzeugt und in das allgemeine Stromnetz eingespeist wird. Außerdem würde hier der Stromertrag von Mikrowindkraftanlagen hinzuaddiert, die es allerdings derzeit auf den Gebäudegrundstücken der EnEff:Stadt-Quartiere noch nicht gibt.

Rot markiert ist wieder der Wärmeanteil, blau der Stromanteil an der Endenergie.

2.5 Energetisches Bilanzierungstool

Um alle nötigen Kennwerte für die Bilanzierung zu erhalten und den Projektkonsortien erste Ergebnisse der Quartiersbilanzierung an die Hand geben zu können, wurde vom Fraunhofer IBP ein Bilanzierungstool für MS Excel entwickelt, in das die Projektleiter die geforderten Kennwerte eintragen. Zentral sind darin die Datenblätter für die vier Phasen Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1 und Messjahr 2 (siehe Bild 2). In diese soll **gebäudeweise** Folgendes eingetragen werden:

1. Art der Baumaßnahme: Sanierung, Neubau oder unveränderter Bestand
2. Nutzung: Wohngebäude oder Nichtwohngebäude
3. Art des Eingabewerts: Berechnet oder gemessen
4. Bezugsfläche Heizen: für Wohngebäude Wohnfläche und für Nichtwohngebäude Nettogrundfläche
5. Endenergie Wärme: Auswahl von bis zu 5 verschiedenen Energieträgern, die die Gebäude versorgen (Erdgas, Heizöl, Strom, Fernwärme, Biogas, Biomasse, Solarthermie, sonstige erneuerbare Energieträger und – vordefiniert in Spalte 5 – Nahwärme). Kennwert entspricht den Messwerten der Wärmemengenzählern an der Gebäudekante aus dem Schema in Bild 1 (WMZ H1... WMZ H4).
6. Endenergie Strom: Hier müssen gebäudeweise der Haushaltsstrom bzw. der Nutzerstrom, der Allgemeinstrom, der Gesamtstrom sowie der gebäudeweise erzeugte PV-Strom und der davon eingespeiste Anteil eingetragen werden.
7. Endenergie Kälte: Im Fall von Kälteenergieverbrauch muss hier zunächst die Bezugsfläche Kühlung (kann ggf. kleiner sein als die beheizte Fläche) eingetragen werden und dann je nach Art der Kälteerzeugung die dafür eingesetzte Endenergie. Möglich sind hierfür Kälte aus Fernwärme, gebäudezentrale Kälte aus Strom, solare Kühlung und Fernkälte.

Allgemeines					Endenergie Wärme					Strom				
Nr.	Objektnummer	Bezeichnung	Nutzung	Erzeugerwert	Erzeugerwert Einheit	Spezifischer Nahwärmeindex	Energieerzeugung				Kommentar beachten	Energieerzeugung		
							Wärme	Wärme	Wärme	Wärme		Wärme	Wärme	Wärme

Bild 2: Screenshot aus dem MS-Excel-Bilanzierungstool zur Querauswertung der EnEff:Stadt-Demonstrationsvorhaben. Hier: Eingabe der Endenergie im Ausgangszustand.

Wenn mindestens eines der Gebäude einen Nahwärmeanschluss hat, müssen zusätzlich zu den vier Blättern für die vier Phasen auch noch die Nahwärmeerzeugung und die dabei entstehenden Verluste definiert werden. Dies wird im Blatt „**Zentrale Energieerzeugung**“ eingetragen, das in Bild 3 dargestellt ist. Es beinhaltet für alle vier Phasen Felder für folgende Kennwerte der Nahwärmeerzeugung:

1. Art des Energiesystems: Heizwerk, BHKW, Wärmepumpe, Solarthermie, Fernwärme, Abwärmenutzung
2. Energieträger: Erdgas, Heizöl, Braunkohle, Steinkohle, Strom, Fernwärme, Biogas, Biomasse, Bioöl, Sonne
3. Brennstoffeinsatz als Endenergie
4. Elektrischer Einsatz für die Pumpen und die Regelung der Nahwärme als Endenergie
5. Erzeugte thermische Energie als Endenergie und davon der Export in ein mögliches Fremdnetz
6. Leitungslänge des Nahwärmenetzes im Quartier (ohne mögliches Fremdnetz)
7. Erzeugte elektrische Energie aus einem BHKW als Endenergie und davon der Export in das allgemeine Stromnetz
8. Erzeugter Strom aus Photovoltaik oder Windkraftanlagen und davon der Export in das allgemeine Stromnetz

Im Bilanzierungstool werden dann der thermische und der elektrische Wirkungsgrad des Nahwärmeerzeugers berechnet, die Summe der abgenommenen Nahwärme der Gebäude im Quartier ausgewiesen und ein Primärenergiefaktor für die Nahwärmeversorgung auf Basis der DIN V 18599 ermittelt. Dabei wird unter Berücksichtigung der Kennwerte aus Bild 1 nach Gleichung (3) vorgegangen:

$$(3) \quad \text{PEF NW} = \left(\sum (\text{WMZ NW BS} * \text{PEF BS}) + \sum (\text{EZ NW A} * \text{PEF ST}) - \sum (\text{EZ NW BHKW ES} * \text{PEF ST ES}) - \sum (\text{EZ NW BHKW} - \text{EZ NW BHKW ES}) * \text{PEF ST} \right) / \left(\sum (\text{WMZ H1} \dots \text{WMZ H3}) + \text{WMZ FN} \right) \quad \left[\frac{\text{MWh}_p}{\text{MWh}_{th}} \right] \text{ oder } [-]$$

wobei:

PEF NW:	Primärenergiefaktor der Nahwärme im Quartier
WMZ NW BS:	(Summe der) Wärme- bzw. Energiemengenzähler der Brennstoffe, die für die Nahwärmeerzeugung eingesetzt werden.
PEF BS:	Primärenergiefaktor des jeweiligen Brennstoffs
EZ NW A:	Elektrozähler der Nahwärmeversorgung für die Antriebe (Pumpen) und die Regelung. Dieser Strombedarf oder -verbrauch wird hier komplett dem Wärmeanteil zugerechnet, da er mehrheitlich Pumpenstrom beinhaltet.
PEF ST:	Primärenergiefaktor des allgemeinen Stromnetzes.
EZ NW BHKW ES:	Eingespeiste Strommenge aus dem Nahwärme-BHKW in das allgemeine Stromnetz.
PEF ST ES:	Primärenergiefaktor für die Einspeisung ins allgemeine Stromnetz.
EZ NW BHKW:	Stromerzeugung durch ein BHKW als Bestandteil der Nahwärmeeinheit.
$\sum (\text{WMZ H1} \dots \text{WMZ H3})$:	Wärmemengenzähler an der Gebäudekante der Gebäude, die an die Nahwärme angeschlossen sind.
WMZ FN:	Nahwärme, die in ein Fremdnetz (außerhalb des betrachteten Quartiers) eingespeist wird.

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 ist der Energieeinsparverordnung entsprechend abhängig vom Betrachtungsjahr. Deshalb muss das Betrachtungsjahr, ebenso wie ggf. zertifizierte Primärenergiefaktoren für die örtliche Fernwärme oder Fernkälte, in das Blatt „Jahr-PEF“ eingetragen werden (siehe Bild 4).

Weitere Blätter im Bilanzierungstool ermöglichen es, die Dauer der Messperioden auch für einzelne Gebäude genauer zu definieren und generell Erläuterungen zu Kennwerten einzutragen. Die letzten Blätter stellen dann die Endenergie- und Primärenergiekennwerte für die unterschiedlichen Gebäudetypen und insgesamt für das Quartier zusammen.

The screenshot shows a detailed energy balance spreadsheet. The columns represent different states: 'Ausgangszustand' (initial state), 'Zielzustand' (target state), 'Messung 1' (measurement 1), and 'Messung 2' (measurement 2). The rows list energy carriers such as 'Heizung' (heating), 'Warmwasser' (hot water), 'Kühlung' (cooling), 'Ventilation', 'Lüftung', 'Licht', 'Strom', 'Fernwärme', 'Nahwärme', 'Abwärme', and 'Sonstige'. The spreadsheet uses color coding: orange for primary energy flows, green for secondary energy flows, and black for losses. The status 'WIKET' is visible in several cells.

Bild 3: Screenshot aus dem MS-Excel-Bilanzierungstool zur Querauswertung der EnEff:Stadt-Demonstrationsvorhaben. Hier: Kennwerte der zentralen Energieerzeugung.

The screenshot displays a table for Primary Energy Factors (PEF) and a corresponding note section. The table has columns for 'Zustand' (Ausgangszustand, Zielzustand, Messung 1, Messung 2), 'Jahr', 'NE Anteil Stromerz', 'Verdrängungsstromerz', 'Nahwärme', 'Fernwärme', 'Formkato', 'Sonstige', and 'Sonstige Erzeugerarten'. The 'PEF' column contains values of 0.000 for all entries. Below the table, a 'Hinweis' (Note) section provides instructions:

- Jahreszahlen der einzelnen Messungen/Berechnungen müssen in Spalte C einzutragen. Dadurch wird der Primärenergiefaktor von Strom gemäß DIN V 18599 festgelegt.
- Für die in den Tabellenblättern "Ausgangszustand", "Zielzustand", "Messung 1" und "Messung 2" ausgewählten Energieträger werden soweit sie in der nachfolgenden Tabellen enthalten sind, automatisch entsprechende Standardwerte angesetzt.
- Für Strom wird in Abhängigkeit des Bezugsjahres jeweils ein PEF für den Netzstrom und den Verdrängungsstrom angesetzt.
- Falls im Projektgebiet ein Nahwärmesystem existiert, wird der PEF für Nahwärme aus der Berechnung in dem Tabellenblatt "Zentrale Energieerzeugung" übernommen.
- Wenn ggf. Fernwärme mit zertifiziertem PEF, Formkato, sonstige nichterneuerbare oder sonstige erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, muss für das jeweilige Szenario ein entsprechender PEF definiert werden.

At the bottom, there is a small table listing PEF values for various energy carriers:

Energieträger	PEF
Gas	1,1
Heizöl	1,1
Stromkette	1,1
Öl	1,2
Biomasse	0,2
Bioogas	0,5
Bioöl	0,5
Umweltstromerz	0
Abwärme	0

Bild 4: Screenshot aus dem MS-Excel-Bilanzierungstool zur Querauswertung der EnEff:Stadt-Demonstrationsvorhaben. Hier: Primärenergiefaktoren.

3. Bisher ausgewertete Demonstrationsprojekte

Die Querauswertung beruht derzeit auf zwölf Demonstrationsprojekten, für die vollständige Angaben zu Ausgangs- und Zielzustand vorliegen. Für vier der Projekte liegen zusätzlich auch Messwerte vor. Alle betrachteten Projekte sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden.

3.1 Demonstrationsvorhaben Bad Aibling: Eine Militärbrache auf dem Weg zur Nullenergiestadt



Bild links: Lageplan mit dem bilanzierten Nordbereich oben (Quelle: Schankula Architekten)

Bild rechts: die ehemaligen US-Militärunterkünfte (Foto: RK-Stuttgart)

Projektleitung	B&O Wohnungswirtschaft GmbH & Co. KG, München
Evaluierung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Hochschule Rosenheim
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 55.467 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 29 Gebäude Zielzustand: 28.753 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 38 Gebäude
Projekttyp	Rückbau/Sanierung und Verdichtung durch Neubauten
Siedlungstyp	Ausgangszustand: Militärgebäude Zielzustand: Mischung aus Einfamilienhaus-/Doppelhaus-siedlung, Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser, Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Gewerbegebiet
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmeversorgung (Heizöl-Heizwerk) Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas- und Biomasse-Heizwerke, Solarthermie, teilweise Export in ein Fremdnetz), zentrales Photovoltaik-Feld mit Einspeisung in das allgemeine Stromnetz
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/eine-militaerbrache-auf-dem-weg-zur-nullenergiestadt

3.2 Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof: Wärmeverbundnetz „Wohnen am Campus“

Bild links: Gebäudetypologie der Entwicklungsmaßnahme (Quelle: Adlershof Projekt GmbH)

Bild rechts: Schrägaufnahme des Projektteils Wohnen am Campus im Jahr 2015 (Foto: Adlershof Projekt GmbH/ Dirk Laubner)



Projektleitung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH, Berlin
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	90.015 m ² beheizte Wohnfläche, 13 Quartiere (Anzahl Gebäude noch nicht bekannt)
Projekttyp	Neubau
Siedlungstyp	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern
Energieversorgung	Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Fernwärmeübergabestation), teilweise Fernwärme und Solarthermie
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/waerme-und-kaeltenetze/projekt/details/waermeverbundnetz-wohnen-am-campus-berlin-adlershof

3.3 Demonstrationsvorhaben Biberach: Niedrigenergie-Quartiersentwicklung Bürgerheim Biberach

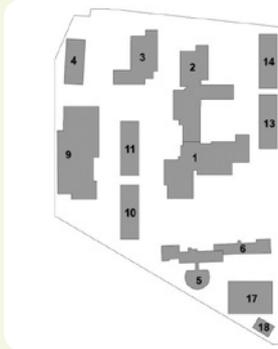


Bild links: Schematischer Lageplan des Quartiers (Quelle: RK-Stuttgart)

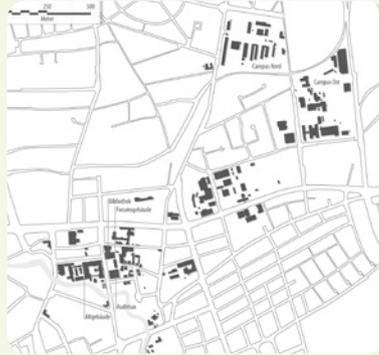
Bild rechts: Luftbild des Gesamtareals (Foto: Der Hospital zum Heiligen Geist in Biberach)

Projektleitung	Der Hospital zum Heiligen Geist in Biberach
Gesamtkonzept (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Assmann Beraten + Planen GmbH
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 17.525 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 10 Gebäude Zielzustand: 26.243 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 13 Gebäude
Projekttyp	Sanierung, Rückbau und Nachverdichtung durch Neubauten
Siedlungstyp	Soziale Dienstleistung (Altenpflege, Altenwohnungen), Schule
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärme (Erdgas-Heizwerk), teilweise dezentrale Erdgaskessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biomasse- und Erdgasheizwerk, Biomasse-BHKW, Solarthermie)
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/projekt/details/niedrigenergie-quartiersentwicklung-buergerheim-biberach

3.4 Demonstrationsvorhaben Braunschweig (Campus): blueMAP TU Braunschweig

Bild links: Lageplan Campus
TU Braunschweig

Bild rechts: Zentralcampus
TU Braunschweig
(Foto: TU Braunschweig, IGS)



Projektleitung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	TU Braunschweig
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	344.174 m ² beheizte Nettogrundfläche, 103 Gebäude
Projekttyp	Sanierung
Siedlungstyp	Universitätscampus
Energieversorgung	Ausgangszustand: Fernwärmeversorgung Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW, Fernwärme), zentrales Photovoltaikfeld
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informa- tionen	www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/eneffcampus-bluemap-tu-braunschweig

3.5 Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten: Modellhafte Stadtquartierssanierung Freiburg Weingarten-West



Bild links: Luftbild des Sanierungsgebiets (Foto: Stadt Freiburg, Vermessungsamt)

Bild rechts: Passivhochhaus als Leuchtturmprojekt (Foto: Markus Löffelhardt)

Projektleitung	Freiburger Stadtbau GmbH
Forschung, Evaluierung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 172.599 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude Zielzustand: 178.175 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 63 Gebäude
Projekttyp	Sanierung
Siedlungstyp	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk) Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk)
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/projekt/details/modellhafte-stadtquartierssanierung-freiburg-weingarten-west

3.6 Demonstrationsvorhaben Karlsruhe Rintheim: Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe Rintheim

Bild links: Das Quartier „Rintheimer Feld“ (Foto: VOLKSWOHNUNG)

Bild rechts: Eines der sanierten Mehrfamilienhäuser (Foto: Fraunhofer IBP)



Projektleitung	VOLKSWOHNUNG GmbH
Ausfüllen des Bilanzierungstools	Dr. Reinhard Jank
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	66.310 m ² beheizte Wohnfläche, 32 Gebäude
Projekttyp	Sanierung
Siedlungstyp	Zeilenbebauung mit kleinen und großen Mehrfamilienhäusern, Zeilenbebauung mit großen Mehrfamilienhäusern und Hochhäusern
Energieversorgung	Ausgangszustand: dezentrale Erdgaskessel, teilweise Stromheizungen, teilweise Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Fernwärmeübergabestation), teilweise Strom-Wärmepumpen, teilweise Solarthermie
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/integrales-quartiers-energiekonzept-karlsruhe-rintheim

3.7 Demonstrationsvorhaben Landshut: Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut



Bild links: Lageplan des Wohnparks (Quelle: Architekturbüro Heinke Gschlößl)

Bild rechts: Gesamtansicht des Ludmilla-Wohnparks (Foto: Ludmilla-Wohnbau GmbH)

Träger der Maßnahme	Ludmilla-Wohnbau GmbH
Evaluierung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Hochschule München
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	5.637 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude
Projekttyp	Neubau
Siedlungstyp	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung mit kleinen Mehrfamilienhäusern
Energieversorgung	<p>Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie</p> <p>Zielzustand: Einfamilienhäuser: dezentrale erdreichgekoppelte Strom-Wärmepumpen, Mehrfamilienhäuser: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und -Heizwerk), dezentrale Photovoltaik, eingespeist ins allgemeine Stromnetz</p> <p>Anmerkung: In den Messjahren wurde statt Biogas Erdgas eingesetzt, die Photovoltaik wurde nicht auf allen Gebäuden umgesetzt.</p>
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1, Messjahr 2
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/projekt/details/plusenergiesiedlung-ludmilla-wohnpark-landshut

3.8 Demonstrationsvorhaben Ludwigsburg: Integriertes Energie-Quartierskonzept Ludwigsburg Grünbühl/Sonnenberg

Bild links: Überflugbild über das Quartier Ludwigsburg Sonnenberg

Bild rechts: Mehrfamilienhäuser in Sonnenberg
(Fotos: Stadt Ludwigsburg)



Projektleitung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Hochschule für Technik, Stuttgart (HfT)
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	17.524 m ² beheizte Wohnfläche, 21 Gebäude
Projekttyp	Neubau
Siedlungstyp	Einfamilienhaus-/Doppelhaussiedlung, Reihenhäuser, Siedlung kleiner Mehrfamilienhäuser
Energieversorgung	<p>Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie</p> <p>Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Sole-/Wasserwärmepumpe, Erdgas-BHKW und Erdgas-Kessel), abgebildet über einen zertifizierten Primärenergiefaktor für die Nahwärme</p> <p>Anmerkung: Bilanziert wurde ausschließlich das Neubaugebiet Sonnenberg. Das Projekt hatte keinen Einfluss auf die energetische Qualität der Gebäude.</p>
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/integriertes-energie-quartierskonzept-ludwigsburg-gruenbuehl-sonnenberg

3.9 Demonstrationsvorhaben Lüneburg (Campus): Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg



Bild links: Das Campusgelände der Leuphana Universität Lüneburg

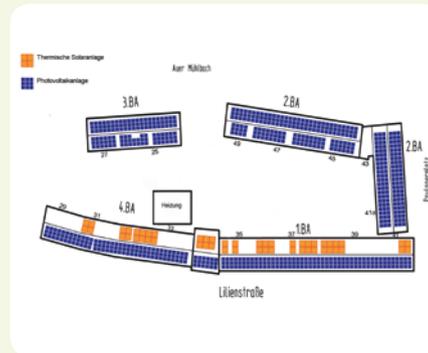
Bild rechts: Grafik des neuen Zentralgebäudes
(Fotos: Stiftung Leuphana Universität Lüneburg)

Projektleitung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Leuphana Universität Lüneburg
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	75.430 m ² beheizte Nettogrundfläche, 21 Gebäude
Projekttyp	Sanierung und Neubau eines Zentralgebäudes
Siedlungstyp	Universitätscampus
Energieversorgung	Ausgangszustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk), Neubau entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Biogas-BHKW und Biogas-Heizwerk), zentrale Photovoltaikanlage mit Selbstnutzung
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/pilotprojekte/projekt/details/eneffcampus-klimaneutraler-campus-leuphana-universitaet-lueneburg

3.10 Demonstrationsvorhaben München Lilienstraße: Sanierung und CO₂-neutrale Wärmeversorgung einer 50er-Jahre-Wohnanlage

Bild links: Lageplan des Wohnquartiers mit Photovoltaik- und Solarthermieflächen

Bild rechts: Westansicht eines der Gebäude
(Foto: Fraunhofer IBP)



Träger	GWG Städtische Wohnungsgesellschaft München mbH
Evaluierung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	Ausgangszustand: 7.550 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude Zielzustand: 9.338 m ² beheizte Wohnfläche, 4 Gebäude
Projekttyp	Sanierung und Nachverdichtung durch Neubau und zusätzliches Dachgeschoss
Siedlungstyp	Blockbebauung hoher Dichte
Energieversorgung	Ausgangszustand: dezentrale Erdgas-Einzelöfen, für Neubau Erdgas-Brennwertkessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (grundwasserkoppelte Erdgas-Motor-Wärmepumpe mit Saug- und Schluckbrunnen, Erdgaskessel, Solarthermie), zentrale Photovoltaikanlage mit Einspeisung ins allgemeine Stromnetz
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand, Messjahr 1
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/sanierung-und-co2-neutrale-waermeversorgung-einer-50er-jahre-wohnanlage

3.11 Demonstrationsvorhaben Stuttgart Neckarpark: Neues Stadtquartier „Neckarpark Stuttgart“, Nahwärme und -kälte aus Abwasser

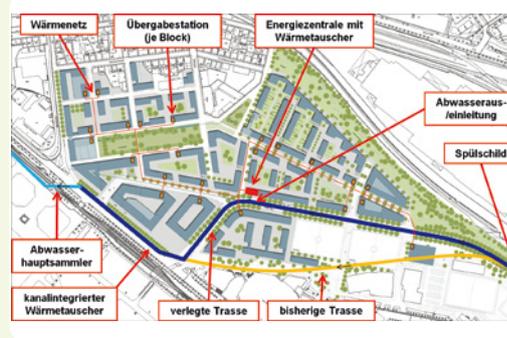


Bild links: Städtebaulicher Rahmenplan Neckarpark Stuttgart

Bild rechts: Künftiges Wärmeversorgungsnetz (Quelle: Landeshauptstadt Stuttgart)

Projektleitung	Landeshauptstadt Stuttgart, Amt für Umweltschutz
Forschung (und Ausfüllen des Bilanzierungstools)	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	108.520 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 16 Quartiere (Anzahl Gebäude noch nicht bekannt)
Projekttyp	Neubau
Siedlungstyp	Blockbebauung hoher Dichte (Gewerbe, Schule, Kindergarten, Sportbad)
Energieversorgung	<p>Ausgangszustand: entsprechend Referenztechnologien aus der Energieeinsparverordnung: dezentrale Heizöl-Brennwertkessel mit Solarthermie</p> <p>Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Abwasser-Strom-Wärmepumpe, Erdgas-BHKW), abgebildet über einen berechneten Primärenergiefaktor für die Nahwärme</p>
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informationen	www.eneff-stadt.info/de/waerme-und-kaeltenetze/projekt/details/neues-stadtquartier-neckarpark-stuttgart-nahwaerme-und-kaelte-aus-abwasser

3.12 Demonstrationsvorhaben Weimar Zöllnerviertel: Modellprojekt „Altes Zöllnerviertel“ in der Weimarer Innenstadt

Bild links: Übersichtsplan des Quartiers

Bild rechts: Zentraler Platz des Zöllnerviertels
(Foto: gildehaus.reich architekten)



Projektleitung	Max-Zöllner-Stiftung
Forschung (und Ausfüllen des Bilanzierungs- tools)	TU Dresden
Projektgröße (Bilanzierungsraum)	25.468 m ² beheizte Wohnfläche bzw. Nettogrundfläche, 18 Gebäude
Projekttyp	Sanierung
Siedlungstyp	Blockbebauung niedriger Dichte, Schule, Kindertagesstätte
Energieversorgung	Ausgangszustand: dezentrale Erdgaskessel Zielzustand: Nahwärmeversorgung (Erdgas-BHKW, erdgekoppelte Erdgas-Wärmepumpe, Erdgas-Heizwerk), ein Gebäude wird durch eine Kombination aus Erdgas- und Biomassekesseln versorgt
Bilanzierte Projektphasen	Ausgangszustand, Zielzustand
Weitere Informa- tionen	www.eneff-stadt.info/de/waerme-und-kaeltenetze/projekt/details/neues-stadtquartier-neckarpark-stuttgart-nahwaerme-und-kaelte-aus-abwasser

3.13 Vergleichbarkeit der Demonstrationsquartiere

Neben Kennwerten zur insgesamt und im Mittel erreichten Energieeinsparung in den oben genannten Quartieren sollen in dieser Publikation auch erste Benchmarks aus miteinander vergleichbaren Quartieren bzw. Versorgungsarten ermittelt werden. Dafür werden alle zwölf Quartiere einander in Tabelle 1 vergleichend gegenübergestellt.

Die Projekte sind in der Tabelle recht grob unterteilt nach Quartiersgröße, Projekttyp, Gebäudeart, Energieversorgung im Ausgangs- und Zielzustand sowie Einsatz von erneuerbaren Energien im Zielzustand. Doch schon diese Darstellung unterstreicht die große Bandbreite der Unterschiede zwischen den Projekten – und zeigt einmal mehr, dass diese nur schwer miteinander vergleichbar sind. Greift man jedoch einzelne Gesichtspunkte zur genaueren Betrachtung heraus, lassen sich acht interessante Vergleichsgruppen bilden:

1. **Sanierung und zum Teil Nachverdichtung von Quartieren** mit mehrheitlich oder ausschließlich **Wohngebäuden** (Mehrfamilienhäuser) und **Nahwärmeversorgung im Zielzustand**
 - Freiburg Weingarten
 - Karlsruhe Rintheim
 - München Lilienstraße
2. **Universitätscampus-Projekte** mit mehrheitlich zu sanierenden Bestandsgebäuden (ausschließlich Nichtwohngebäude) mit **zentraler Versorgung im Ausgangs- und Zielzustand** und geplantem Einsatz von erneuerbaren Energien (Photovoltaik und Biogas)
 - Braunschweig (Campus)
 - Lüneburg (Campus)
3. **Neubauprojekte mit Wohngebäuden** und mehrheitlich zentraler Energieversorgung im Zielzustand
 - Berlin Adlershof
 - Landshut
 - Ludwigsburg
4. **Quartiere mit Wohn- und Nichtwohngebäuden**, Nahwärmeversorgung im Zielzustand sowie **großen Anteilen an der Energieerzeugung durch erneuerbare Energien**
 - Bad Aibling
 - Biberach
 - Stuttgart Neckarpark
 - Weimar Zöllnerviertel (als erneuerbare Energie nur Photovoltaik)

		Bad Aibling	Berlin Adlershof	Biberach	Braunschweig (Campus)	Freiburg Weingarten	Karlsruhe Rintheim	Landshut	Ludwigsburg	Lüneburg (Campus)	München Lilienstraße	Stuttgart Neckarpark	Weimar Zöllnerviertel
Wohn- und Nettogrundfläche im Zielzustand	≤ 20.000 m ²							■	■		■		
	> 20.000 m ² ≤ 100.000 m ²	■	■	■			■			■			■
	> 100.000 m ²				■	■						■	
	Projekttyp												
Gebäudeart	Sanierung				■	■	■						■
	Sanierung + Nachverdichtung	■		■						■	■		
	Neubau		■					■	■			■	
Energieversorgung im Ausgangszustand	Wohngebäude		■				■	■	■		■		
	Nichtwohngebäude				■					■			
	Mix	■		■		■						■	■
Energieversorgung im Zielzustand	Dezentral (z. B. Kessel)		■				■	■	■		■	■	■
	Zentral (Fernwärme oder Nahwärme)	■			■	■							
	Mix			■						■			
Einsatz von erneuerbaren Energien im Zielzustand	Dezentral (z. B. Kessel oder Wärmepumpen)												
	Zentral (Nahwärme)	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	
	Mix						■	■					■
Einsatz von erneuerbaren Energien im Zielzustand	Photovoltaik	■			■			■		■	■		
	Solarthermie	■	■	■			■				■		
	Biomasse	■		■									■
	Biogas				■			■		■			
	Geothermie						■	■	■		■		■
	Abwasser											■	

Tabelle 1: Vergleich der zwölf Quartiere

Zusätzlich könnten auch Quartiere mit bestimmten Energietechnologien gruppiert werden, die sich sind dann aber meistens stark in Größe und genauer Art der Umsetzung unterscheiden. Beispiele hierfür sind:

5. Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter **Nutzung geothermischer Wärmepumpen**
 - Landshut (nur die Mehrfamilienhäuser)
 - Ludwigsburg
 - München Lilienstraße
 - Weimar Zöllnerviertel

6. Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter **Nutzung von Solarthermie**
 - Bad Aibling
 - Biberach
 - München Lilienstraße
 - Quartiere mit zentralen Photovoltaikfeldern
 - Bad Aibling
 - Braunschweig (Campus)
 - Lüneburg (Campus)
 - München Lilienstraße

7. Quartiere mit **zentralen Photovoltaikfeldern**
 - Bad Aibling
 - Braunschweig (Campus)
 - Lüneburg (Campus)
 - München Lilienstraße

8. Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter **Nutzung von Biogas**
 - Braunschweig (Campus)
 - Landshut
 - Lüneburg (Campus)

Diese insgesamt acht Gruppen von Demonstrationsprojekten werden nach einer allgemeinen Auswertung über alle Quartiere im nächsten Kapitel zusätzlich gesondert analysiert.

4. Ergebnisse der energetischen Querauswertung

In diesem Kapitel werden die zwölf Demonstrationsprojekte mit folgenden Schwerpunkten verglichen und entsprechende Mittelwerte berechnet:

- Flächen und Gebäudearten
- Endenergie an der Gebäudekante
- Endenergie des Quartiers
- Energieträger und -erzeuger
- Nahwärmeversorgung
- Anteil der erneuerbaren Energien
- Primärenergie des Quartiers
- Primärenergiefaktoren
- Mittelwerte der Endenergie und Primärenergie im Quartier
- Einordnung in den Zielkorridor aus Energieeinsparung und Erhöhung des erneuerbaren Energieanteils
- Gesonderte Untersuchung vergleichbarer Projekte

4.1 Querauswertung der Flächen und Gebäudearten

Die im vorigen Kapitel dargestellte Unterschiedlichkeit der Demonstrationsprojekte lässt sich bereits gut an der Analyse der Gebäudeflächen erkennen. Für die Nichtwohngebäude wurden hier die **beheizten Nettogrundflächen** abgefragt, eine Größe, die auch als Bezugsgröße für Nichtwohngebäude in der EnEV angesetzt wird. Für die Wohngebäude wurde abweichend von EnEV nicht die sogenannte Nutzfläche AN (eine „virtuelle“ Kenngröße, gebildet aus dem Bruttovolumen multipliziert mit 0,32/m), sondern die **beheizte Wohnfläche** nach Wohnflächenverordnung gewählt. Diese ist den Gebäudeeigentümern meistens bekannt und kommt als Bezugsfläche den tatsächlichen Gegebenheiten näher. Bild 5 zeigt die vorhandenen Flächen in den einzelnen Demonstrationsquartieren, unterteilt in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Dabei werden wie in den meisten der folgenden Diagramme jeweils der Ausgangszustand eines Quartiers in Orange, der Zielzustand in Grün und die beiden Messjahre in unterschiedlichen Graustufen dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Spanne zwischen dem kleinsten Quartier – Landshut mit 5.637 m² beheizter Wohnfläche – und dem größten Quartier – Braunschweig (Campus) mit 344.174 m² beheizter Nettogrundfläche – beträchtlich ist. Das Quartier in Braunschweig ist mehr als sechzigmal so groß wie das Quartier in Landshut. Die **durchschnittliche Bezugsfläche** aller Quartiere beträgt je nach betrachteter Phase zwischen 26.358 m² im Messjahr 1 oder 82.185 m² im Ausgangszustand. Im Zielzustand beträgt der Mittelwert der Bezugsfläche 81.296 m². (Die Mittelwertbildung erfolgt grundsätzlich über die Summe aller Kenngrößen geteilt durch die Anzahl der enthaltenen Werte). Da derzeit Kennwerte für die Messjahre nur von wenigen

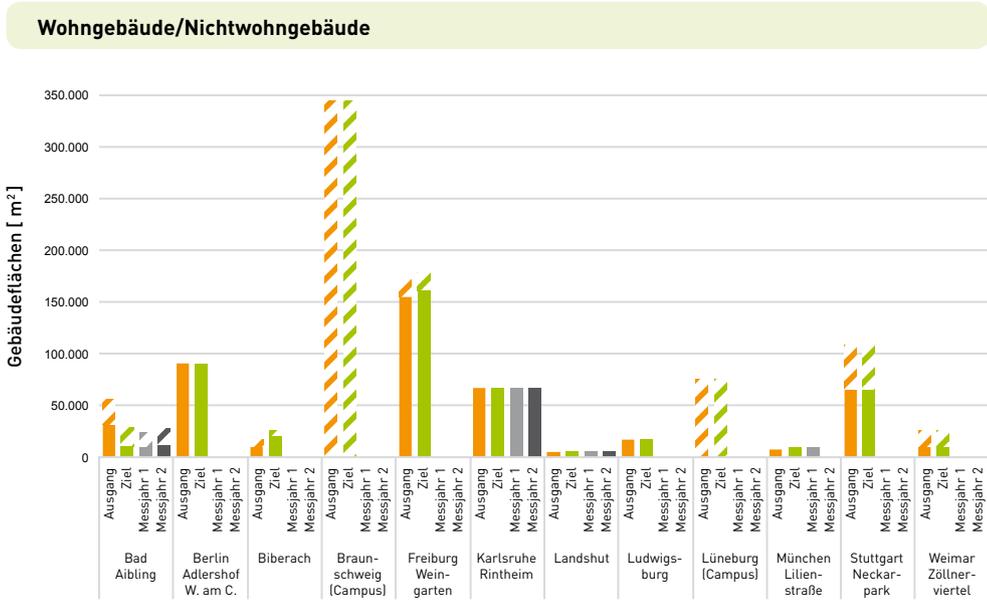


Bild 5: Quartiersgröße der ausgewerteten Demonstrationsquartiere, bestehend aus der beheizten Wohnfläche der Wohngebäude und der beheizten Nettogrundfläche der Nichtwohngebäude

■ Wohngebäude*
 ▨ Nichtwohngebäude*

* Die schwarz dargestellten Muster in der Legende gelten hier und in den folgenden Grafiken dieses Typs für mehrere Farben: In jeder Säule ist der Anteil an Wohngebäuden als Farbfläche, der Anteil an Nichtwohngebäuden gemustert dargestellt.

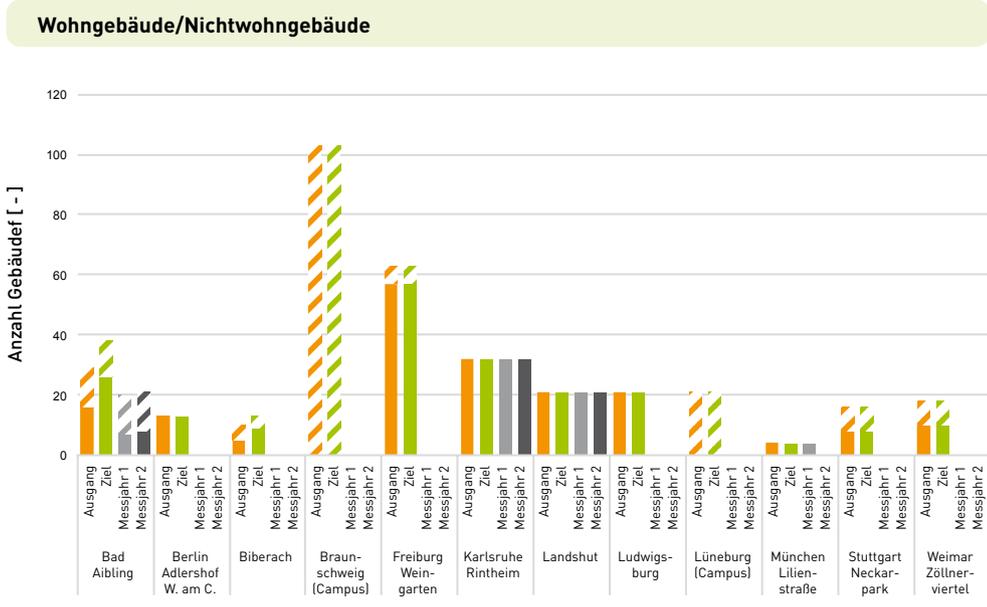


Bild 6: Quartiersgröße der ausgewerteten Demonstrationsquartiere, gemessen an der Anzahl der Wohngebäude und Nichtwohngebäude

■ Wohngebäude
 ▨ Nichtwohngebäude

Demonstrationsprojekten vorliegen, wird der Mittelwert für die Messjahre von diesen Projekten bestimmt und kann unter Umständen stark vom Mittelwert des Zielzustands abweichen. Der jeweilige Mittelwert aus den Daten der Messjahre ist deshalb auch weniger aussagekräftig. Der Vergleich der energetischen Kennwerte aus den Messjahren mit dem Zielzustand je Projekt ist dagegen natürlich sehr interessant. Bild 5 zeigt, dass in vielen Projekten die Bezugsfläche durch die Maßnahme unverändert bleibt, bei manchen durch Nachverdichtung vergrößert wird und in einem Fall (Bad Aibling) der Betrachtungsraum u. a. durch Rückbau verkleinert wird. Flächenmäßig sind durchschnittlich 67 % der Gebäude Wohngebäude und 33 % Nichtwohngebäude. Die gesamte Bezugsfläche in allen zwölf betrachteten Demonstrationsvorhaben beträgt im Ausgangszustand 986.219 m² und im Zielzustand 975.548 m². Der flächenmäßige Rückgang wird vor allem durch das Projekt Bad Aibling bestimmt, bei dem im Ausgangszustand das gesamte bestehende Projektgebiet (Nahwärme-Nord- und -Südnetz) bewertet wird und im Zielzustand und den Messjahren nur noch das Gebiet, das an das Nordnetz angeschlossen ist. Bei Neubaugebieten wird der Ausgangszustand als Referenzanforderung aus der EnEV abgebildet und hat somit die gleiche Bezugsfläche wie der Zielzustand.

Bild 6 stellt die in den Quartieren vorhandenen **Gebäudearten, Wohngebäude und Nichtwohngebäude**, und ihre jeweilige Anzahl dar. Hier ist zu beachten, dass sowohl Berlin Adlershof Wohnen am Campus als auch Stuttgart Neckarpark derzeit noch über „Planungsquartiere“ abgebildet werden. Die jeweilige Anzahl der Gebäude in den einzelnen „Planungsquartieren“ dieser Projekte steht noch nicht fest. Es kann jedoch von deutlich mehr als einem Gebäude je „Planungsquartier“ ausgegangen werden.

Auch bei der Betrachtung der Gebäudeanzahl ist der Campus Braunschweig mit 103 Gebäuden das größte Demonstrationsprojekt, das Projekt München Lilienstraße mit 4 Gebäuden das kleinste. Der Mittelwert der Gebäudeanzahl, berechnet über alle Projekte, beträgt im Ausgangszustand 29 Gebäude und im Zielzustand 30 Gebäude.

Analysiert man die Anteile von **unveränderten Bestandsgebäuden, sanierten Gebäuden und Neubauten**, so erhält man die Grafiken in Bild 7 (flächenbasiert) und Bild 8 (anzahlbasiert).

Die Darstellungen machen deutlich, dass es neben reinen Bestands- und Sanierungsprojekten (z. B. Braunschweig oder Freiburg Weingarten) auch reine Neubauprojekte gibt, z. B. Berlin Adlershof Wohnen am Campus oder Stuttgart Neckarpark. Projekte, die sowohl Sanierungen als auch Neubauten enthalten, sind Bad Aibling, Biberach, Lüneburg (Campus), München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel. Bei allen überwiegt aber der Anteil der Bestands- bzw. sanierten Gebäude deutlich.

Als Mittelwert für den Ausgangszustand, basierend auf den beheizten Wohn- und Nettogrundflächen der Gebäude, ergeben sich 40 % Bestandsgebäude, 22 % sanierte Gebäude und 38 % Neubauten. Im Zielzustand betragen die entsprechenden Anteile 14 % unveränderter Bestand, 43 % sanierte Gebäude und 43 % Neubauten. Berechnet man die Mittelwerte basierend auf der Anzahl der jeweiligen Gebäudetypen, ergeben sich im Ausgangszustand

Bestand/Sanierung/Neubau

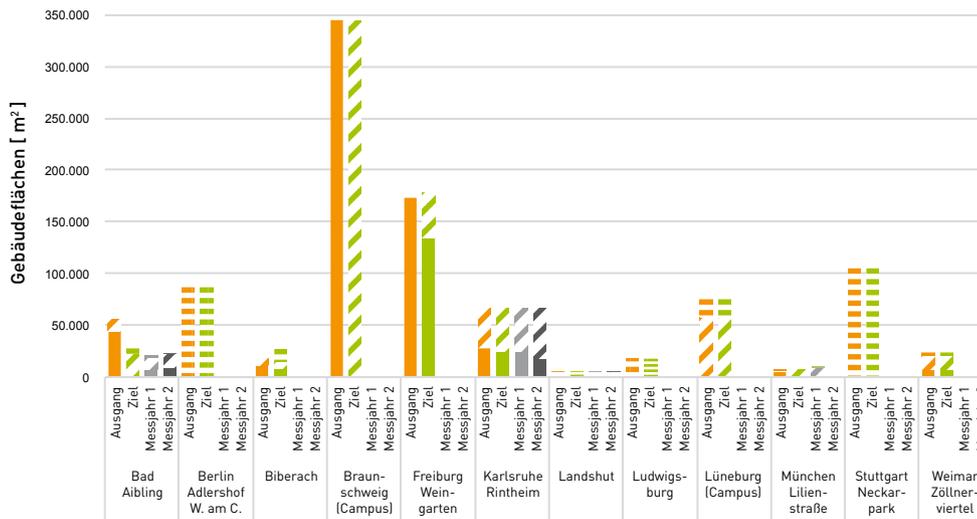


Bild 7: Anteile von Neubauten, sanierten Gebäuden und unveränderten Bestandsgebäuden in den zwölf Demonstrationsquartieren, dargestellt anhand der beheizten Wohn- bzw. Netto-grundflächen

- Neubau
- ▨ Sanierung
- Bestand

Bestand/Sanierung/Neubau

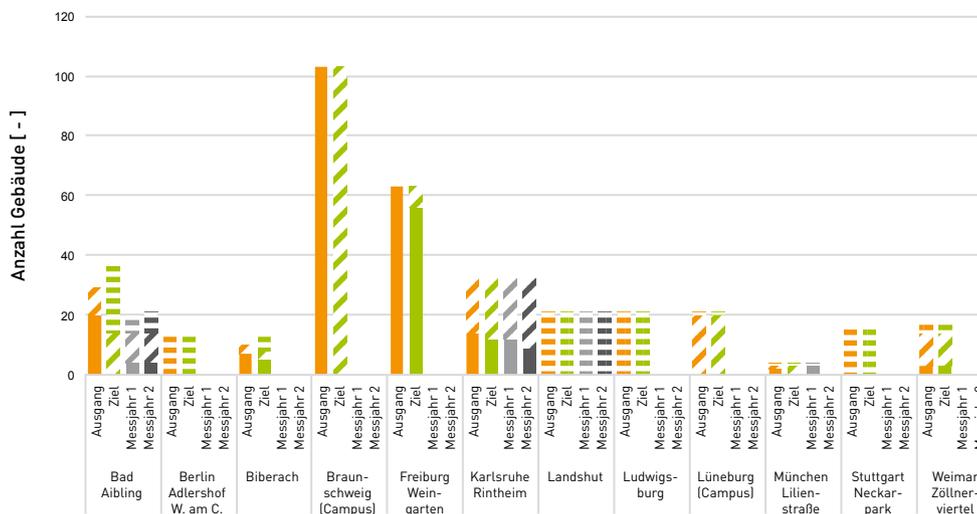


Bild 8: Anteile von Neubauten, sanierten Gebäuden und unveränderten Bestandsgebäuden in den zwölf Demonstrationsquartieren, dargestellt anhand der jeweiligen Anzahl der Gebäude

- Neubau
- ▨ Sanierung
- Bestand

37 % unveränderter Bestand, 25 % sanierte Gebäude und 38 % Neubauten. Im Zielzustand sind es 15 % unveränderter Bestand, 39 % Sanierungen und 46 % Neubauten. Man sieht: Je nach Bezugsgröße – Fläche oder Gebäudeanzahl – sind die berechneten Mittelwerte sehr verschieden, da die Gebäude sich stark in Größe bzw. Fläche unterscheiden.

4.2 Querauswertung der Endenergie an der Gebäudekante

Obwohl das Ziel aller Demonstrationsprojekte ein niedriger End- und Primärenergieverbrauch im jeweiligen Gesamtquartier ist, soll in diesem Kapitel die Endenergie an der Gebäudekante untersucht werden. Hierdurch kann dargestellt werden, wie effizient die Gebäude mit ihrer baulichen Ausführung und der enthaltenen technischen Gebäudeausrüstung sind. Bei relativ ineffizienten Gebäuden, also solchen mit hohem Endenergiebedarf bzw. -verbrauch an der Gebäudekante, können gute Primärenergiekennwerte nur über eine Energieversorgung mit niedrigem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor entstehen. Das bedeutet eine Energieversorgung mit hohen Anteilen von erneuerbaren Energien: entweder dezentral über Biomassekessel, Solarthermie oder die Nutzung von Geothermie oder Umweltenergie durch Wärmepumpen oder zentral durch Nahwärmeversorgung mit Anteilen von erneuerbaren Energien oder Kraft-Wärme-Kopplung.

Bei der Endenergie an der Gebäudekante werden in der vorliegenden Auswertung folgende Energieanteile (noch) nicht berücksichtigt:

- Aufwand für die Nahwärme (Erzeugung, Speicherung, Verteilung)
- Einspeisung von selbst erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energieträgern (auf den Gebäuden und zentral im Quartier) in das allgemeine Stromnetz
- Selbstnutzung von zentral selbst erzeugtem Strom aus erneuerbaren Energieträgern

Die Bilder 9 und 10 zeigen die ermittelte **gesamte Endenergie an der Gebäudekante** für die zwölf Demonstrationsprojekte in ihren bis zu vier Phasen als Gesamtkennwert und als flächenbezogene Endenergie.

Das größte Demonstrationsprojekt, Campus Braunschweig, benötigt – wenig überraschend – auch die meiste Endenergie an der Gebäudekante, mit 64.221 MWh/a im Ausgangszustand und 46.288 MWh/a im Zielzustand. Umgekehrt benötigt das kleinste Projekt in Landshut die wenigste Endenergie an der Gebäudekante: 578 MWh/a im Ausgangszustand (basierend auf den Referenzanforderungen der EnEV für Neubauten) und 502 MWh/a für den Zielzustand. Die Summe der Endenergiedifferenzen zwischen Ausgangszustand und Zielzustand aller zwölf Projekte beträgt 52.990 MWh/a und damit 33 % des Ausgangskennwerts. Messtechnisch nachgewiesen werden konnten im Messjahr 1 für derzeit vier Demonstrationsprojekte 15.025 MWh/a und im Messjahr 2 für derzeit drei Projekte 14.875 MWh/a Endenergieeinsparung an der Gebäudekante.

Endenergie Gebäudekante gesamt

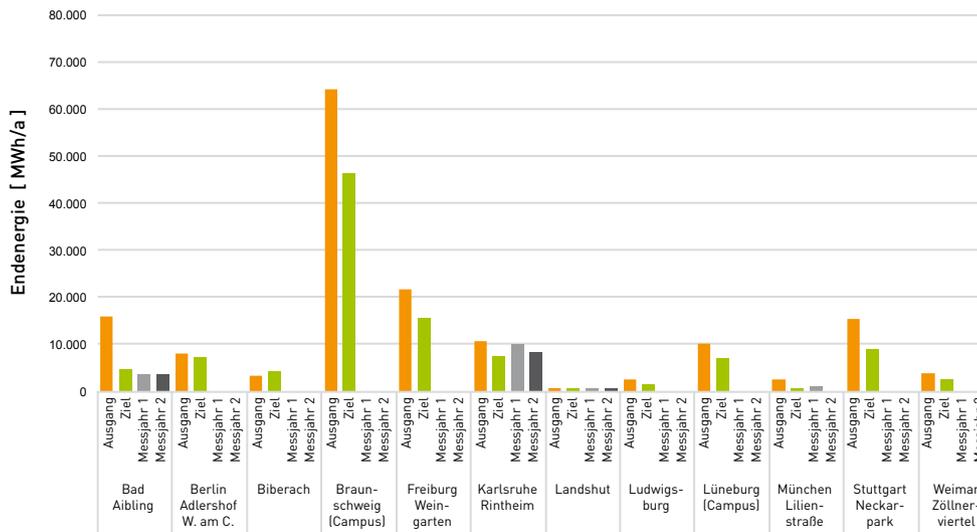


Bild 9: Vergleich der Summe der Endenergie an der Gebäudekante zwischen den ausgewerteten Demonstrationsprojekten

Endenergie Gebäudekante gesamt

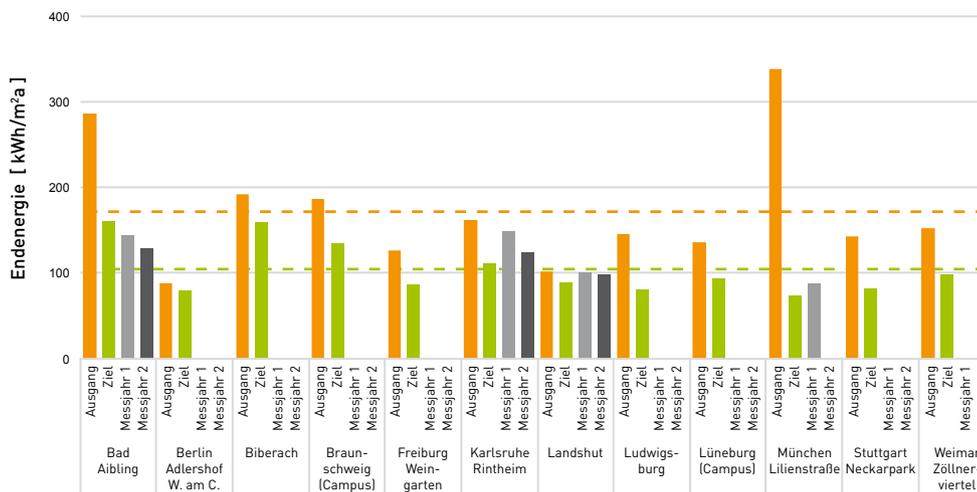


Bild 10: Vergleich der flächenbezogenen Endenergie an der Gebäudekante zwischen den ausgewerteten Demonstrationsprojekten

- Ausgang
- Ziel

Bezogen auf die in den Projekten vorhandenen beheizten Wohn- und Nettogrundflächen ergeben sich folgende Kennwerte: Der höchste Endenergiekennwert an der Gebäudekante entstammt dem Ausgangszustand im Projekt München Lilienstraße mit 338 kWh/m²a. Hier führt die Verbindung aus unsanierten Gebäuden und Gas-Einzelöfen zu hohen Energieverbräuchen. Den geringsten bezogenen Endenergieverbrauch an der Gebäudekante weist ebenfalls München Lilienstraße auf, mit 73 kWh/m²a im Zielzustand. Die Mittelwerte betragen für den Ausgangs- und den Zielzustand 171 kWh/m²a bzw. 104 kWh/m²a. Als mittlere Endenergieeinsparung ergeben sich somit 67 kWh/m²a bzw. in Relation zum Ausgangszustand 39 %. Diese Einsparung bezieht sich auf die wärmebezogene und die strombezogene Endenergie und umfasst auch die (geringe) kältebezogene Endenergie jeweils für ein ganzes Quartier und ist damit schon beträchtlich zu nennen. Zu beachten ist hierbei: Der Zielwert von 30 % aus dem EnEff:Stadt-Förderkonzept bezieht sich auf die Primärenergie und kann daher hier nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Der Vergleich des in den Messjahren 1 und 2 ermittelten Endenergieverbrauchs an der Gebäudekante mit dem berechneten Endenergiebedarf im Zielzustand zeigt eine Unterschreitung im Projekt Bad Aibling in beiden Messjahren (Zielzustand: 161 kWh/m²a, Messjahr 1: 144 kWh/m²a, Messjahr 2: 129 kWh/m²a). Für Karlsruhe Rintheim und Landshut ergeben sich Überschreitungen in beiden Jahren (Karlsruhe Rintheim: Zielzustand: 111 kWh/m²a, Messjahr 1: 149 kWh/m²a; Messjahr 2: 124 kWh/m²a; Landshut Zielzustand: 89 kWh/m²a, Messjahr 1: 100 kWh/m²a; Messjahr 2: 98 kWh/m²a). Für München Lilienstraße ergibt sich ein gemessener Endenergieverbrauch von 88 kWh/m²a im Messjahr 1 gegenüber dem berechneten Endenergiebedarf für den Zielzustand von 73 kWh/m²a.

Der oben erwähnte Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere benutzt als Vergleichskennwert (Benchmark) den Endenergieverbrauch Deutschlands aus der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen des Jahres 2007 mit 184 kWh/m²a Endenergie für Wohngebäude und 286,5 kWh/m²a für Nichtwohngebäude. Die Basisdaten für den Endenergieverbrauch Deutschlands sind derzeit für das Jahr 2013 erhältlich, die passenden Gesamtflächen für Nichtwohngebäude sind allerdings nicht in den Tabellen des statistischen Bundesamts enthalten und nur schwer schätzbar. Für 2007 hatte das damalige Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung einen Flächenkennwert für Bestandsgebäude im Nichtwohnbereich vorgelegt. Deshalb werden in Ermangelung aktuellerer Werte die Kennwerte von 2007 auch in der vorliegenden Analyse als Benchmarks verwendet. Multipliziert man die Benchmarks für die Wohngebäude und die für die Nichtwohngebäude mit der jeweiligen Gesamtfläche aller in den zwölf Demonstrationsquartieren befindlichen Gebäude, erhält man die angepassten Benchmarks aus Tabelle 2.

		Wohngebäude	Nichtwohngebäude	Gesamt
Summe der beheizten Bezugsflächen aus allen zwölf Demonstrationsprojekten	Ausgangszustand	459.662 m ²	526.557 m ²	986.219 m ²
	Zielzustand	456.819 m ²	518.729 m ²	975.548 m ²
Ermittelte Kennwerte für den Endenergieverbrauch aus BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen 2007, also Mittelwerte des Endenergieverbrauchs in Gebäuden in Deutschland im Jahr 2007		184,7 kWh/m ² a	286,5 kWh/m ² a	233,8 kWh/m ² a
Endenergie-Benchmark für das Gebäudegemenge aus allen zwölf Demonstrationsprojekten	Ausgangszustand	-	-	239,1 kWh/m ² a
	Zielzustand	-	-	238,8 kWh/m ² a

Tabelle 2: Ermittlung eines Endenergie-Benchmarks, basierend auf den Kennwerten der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen aus dem Jahr 2007

Da sich das Flächenverhältnis von Wohn- und Nichtwohngebäuden zwischen dem Ausgangszustand und dem Zielzustand der zwölf Demonstrationsquartiere nur geringfügig verändert, wird vereinfachend ein **Benchmark für die Endenergie von 239 kWh/m²a** angesetzt. Bild 11 zeigt den Vergleich zwischen der mittleren flächenbezogenen Endenergie aus allen Quartieren mit diesem neu ermittelten Benchmark.

Es zeigt sich, dass der Mittelwert aus den Demonstrationsprojekten schon im Ausgangszustand deutlich unter dem beschriebenen Benchmark liegt. Ob dies eher an den Wohngebäuden oder an den Nichtwohngebäuden liegt, wird im Folgenden näher analysiert.

Bild 12 teilt die Endenergie an der Gebäudekante auf in Endenergie für Wohngebäude und Endenergie für Nichtwohngebäude. Auf den folgenden Seiten sind die jeweiligen flächenbezogenen Endenergiekennwerte an der Gebäudekante für Wohngebäude (Bild 13) und Nichtwohngebäude (Bild 15) aufgetragen.

Die **Endenergie von Wohngebäuden an der Gebäudekante**, gemittelt über alle Wohngebäude eines Demonstrationsvorhabens, beträgt zwischen 73 kWh/m²a (München Lilienstraße, Zielzustand) und 338 kWh/m²a (München Lilienstraße, Ausgangszustand). Die Mittelwerte über alle Wohngebäude der zwölf Demonstrationsvorhaben betragen 174 kWh/m²a im Ausgangszustand und 93 kWh/m²a im Zielzustand. Zum Vergleich: Der Benchmark der BMWi-Projekt-

Bild 11: Vergleich der gemittelten flächenbezogenen Endenergie an der Gebäudekante mit dem Benchmark aus der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen

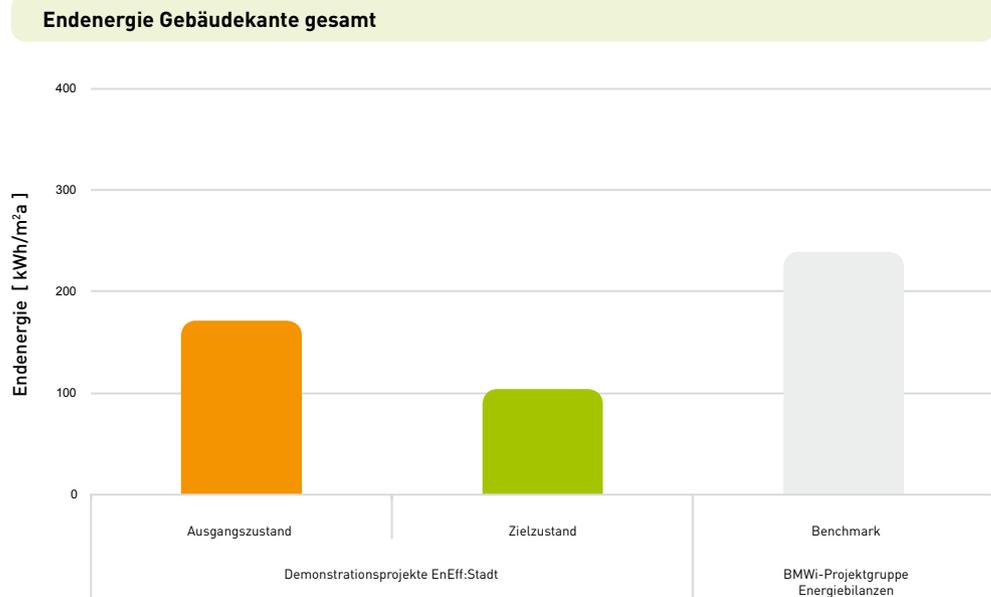
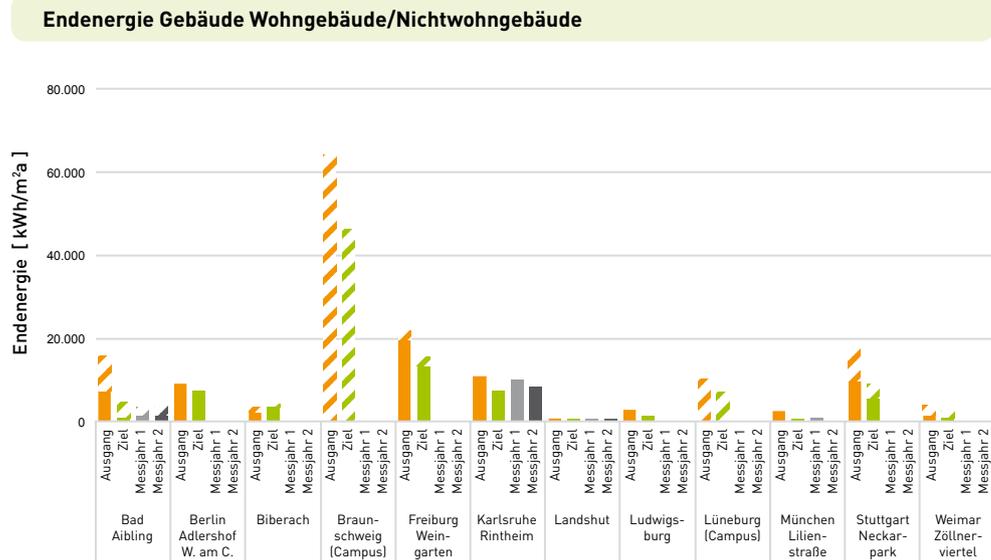


Bild 12: Endenergie an der Gebäudekante der zwölf Demonstrationsquartiere, aufgeteilt in Energiebedarf bzw. -verbrauch von Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden

- Wohngebäude
- ▨ Nichtwohngebäude



Endenergie Wohngebäude

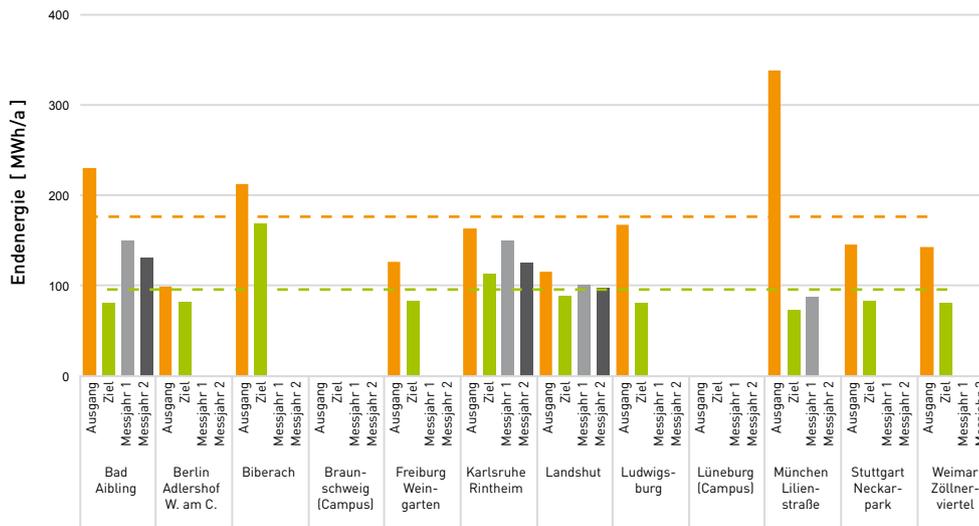


Bild 13: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante der Wohngebäude in den zwölf Demonstrationsquartieren

— Mittelwert Ausgang
— Mittelwert Ziel

Endenergie Wohngebäude Mittelwert

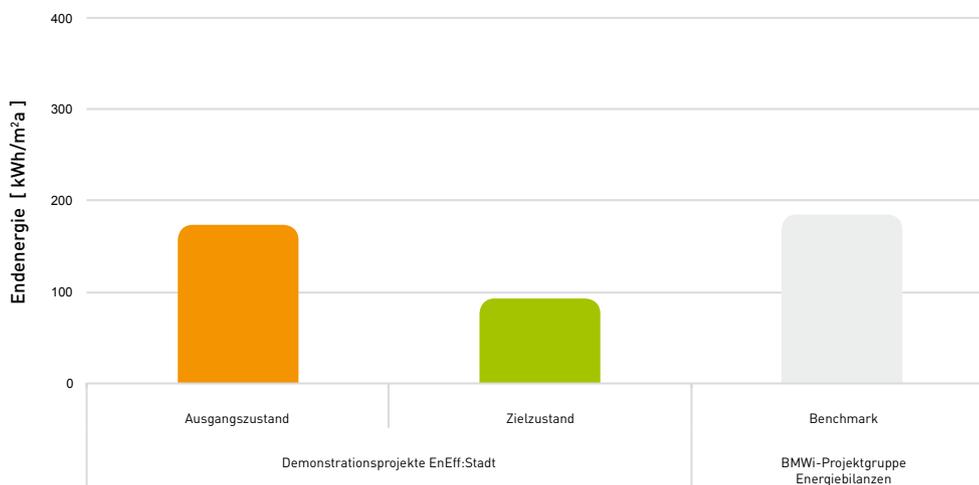


Bild 14: Vergleich der gemittelten flächenbezogenen Endenergie an der Gebäudekante für Wohngebäude mit dem Benchmark aus der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen

gruppe Energiebilanzen für die Wohngebäude liegt bei 185 kWh/m²a. Der Ausgangszustand der EnEff:Stadt-Wohngebäude passt trotz einiger Neubauten gut zum Benchmark, wie Bild 14 zeigt. Dies bedeutet, dass die großen Unterschiede bei der über beide Gebäudetypen gemittelten Endenergie durch die Nichtwohngebäude entstehen. Die geplante Endenergieeinsparung an der Gebäudekante im Wohngebäudebereich beträgt 81 kWh/m²a und damit 46 %. Vergleicht man den geplanten Endenergiebedarf an der Gebäudekante gemittelt über alle Wohngebäude mit dem passenden Benchmark von 185 kWh/m²a, so sollen die Wohngebäude einen um 92 kWh/m²a geringeren Wert erreichen – und damit eine 49%ige Einsparung.

BENCHMARK: Der Ausgangswert des Endenergieverbrauchs (Wärme plus Strom) der Wohngebäude aus den EnEff:Stadt Demonstrationsquartieren an der Gebäudekante beträgt 174 kWh/m²a und passt sehr gut zum entsprechenden Kennwert von 185 kWh/m²a, der von der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen ermittelt wurde.

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

Bei den **Nichtwohngebäuden** liegen die **Endenergiekennwerte an der Gebäudekante** zwischen 358 kWh/m²a (Bad Aibling, Ausgangszustand) und 85 kWh/m²a (Stuttgart Neckarpark, Zielzustand). Der Mittelwert für die Endenergie über alle Nichtwohngebäude in den zwölf Demonstrationsprojekten beträgt im Ausgangszustand 188 kWh/m²a und im Zielzustand 126 kWh/m²a. Der zugehörige Benchmark aus der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen für Nichtwohngebäude beträgt 287 kWh/m²a und ist damit mehr als 100 kWh/m²a höher als der Mittelwert im Ausgangszustand. Bild 16 zeigt den Vergleich zwischen den Mittelwerten der Demonstrationsprojekte und dem Benchmark.

Es ist zu vermuten, dass die verschiedenen Arten von Nichtwohngebäuden sich in den EnEff:Stadt-Demonstrationsprojekten anders verteilen, als es in Deutschland insgesamt der Fall ist. Bei den Nichtwohngebäuden in den Demonstrationsvorhaben handelt es sich vor allem um Universitäts-, Büro- und Schulgebäude. Im deutschen Mittel (Benchmark) sind auch Nutzgebäude mit höheren Anteilen von Prozessenergie enthalten. In den Demonstrationsprojekten konnte bei den Nichtwohngebäuden eine mittlere Endenergieeinsparung zwischen Ausgangszustand und Zielzustand von 62 kWh/m²a bzw. 33 % erreicht werden. Damit ist die geplante Endenergieeinsparung an der Gebäudekante bei den Nichtwohngebäuden deutlich geringer als bei den Wohngebäuden.

Endenergie Nichtwohngebäude

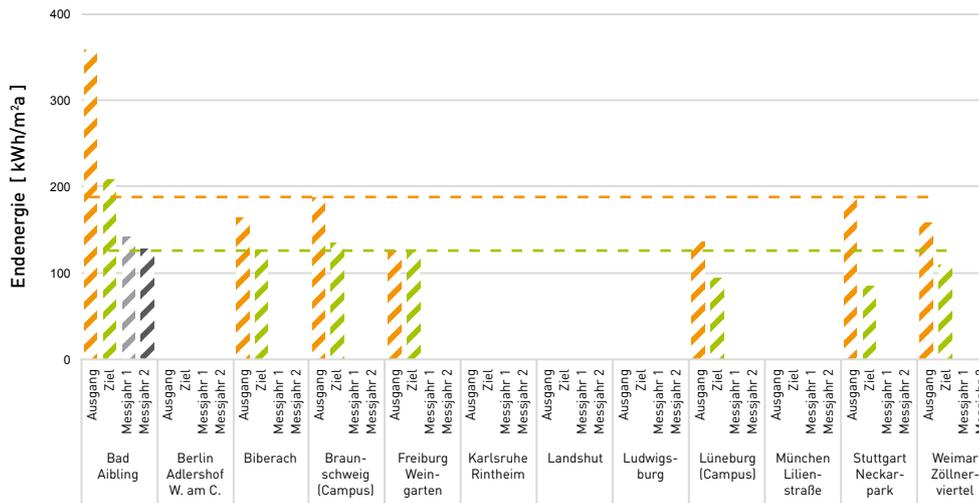


Bild 15: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante der Nichtwohngebäude in den zwölf Demonstrationsquartieren

--- Mittelwert Ausgang
--- Mittelwert Ziel

Endenergie Nichtwohngebäude Mittelwert

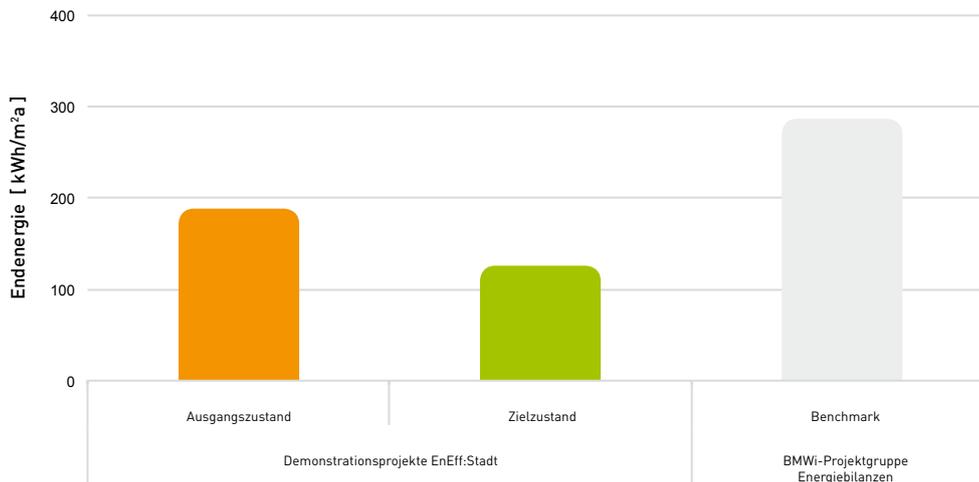


Bild 16: Vergleich der gemittelten flächenbezogenen Endenergie an der Gebäudekante für Nichtwohngebäude mit dem Benchmark aus der BMW-Projektgruppe Energiebilanzen

Bei näherer Betrachtung der vier Vorhaben, für die bereits Messergebnisse vorliegen, fällt auf, dass das Projekt Bad Aibling die geplanten Endenergieeinsparungen an der Gebäudekante für die Wohngebäude nicht erreicht, für die Nichtwohngebäude aber sogar übertrifft. Allerdings ist für dieses Projekt auch eine deutliche Veränderung der zu betrachtenden Flächen zwischen Zielzustand und den Messjahren festzuhalten. Die drei anderen bereits gemessenen Projekte umfassen ausschließlich Wohngebäude und wurden daher bereits weiter oben mit dem Zielzustand verglichen.

Unterteilt man die Endenergiekennwerte an der Gebäudekante in Energie für Wärme, Strom und Kälte, ergeben sich die projektbezogenen Ergebnisse aus den Bildern 17 und 18.

Die **Mittelwerte der Endenergie für Wärme an der Gebäudekante** betragen über alle Gebäude 135 kWh/m²a im Ausgangszustand und 71 kWh/m²a im Zielzustand. Beim Strom betragen die entsprechenden Mittelwerte 36 kWh/m²a (Ausgangszustand) und 33 kWh/m²a (Zielzustand). Hier ist zu erkennen: Der Endenergiebedarf lässt sich stromseitig kaum verringern, wenn man den selbst genutzten zentral erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien und den selbst erzeugten Strom aus erneuerbaren Energien, der ins allgemeine Stromnetz eingespeist wird, aus der Betrachtung nimmt. Der **Mittelwert der Endenergie für Kältezwecke**, basierend auf zwei Demonstrationsprojekten (Campus Lüneburg und Stuttgart Neckarpark), beträgt 1 kWh/m²a im Ausgangszustand und 2 kWh/m²a im Zielzustand. Dabei wurde über alle im jeweiligen Projekt vorhandenen Bezugsflächen gemittelt und nicht nur über die gekühlten Gebäude bzw. Flächen. Während dieser Mittelwert sich im Projekt Stuttgart Neckarpark zwischen Ausgangs- und Zielzustand reduziert, erhöht er sich signifikant im Projekt Campus Lüneburg. Hier wird im Ausgangszustand eine stromgeführte Kälteanlage eingesetzt, im Zielzustand Fernkälte. Bezogen auf die Endenergie führt dies zu einer Erhöhung, die benötigte Primärenergie jedoch wird reduziert.

Die **flächenbezogene Aufteilung der Endenergie an der Gebäudekante in Wärme, Strom und Kälte** ist für jeweils alle **Wohngebäude** und alle **Nichtwohngebäude** in Bild 19 (Wohngebäude) und Bild 20 (Nichtwohngebäude) dargestellt.

Während die Endenergieverbräuche und -bedarfswerte der Wohngebäude stark von der Wärme dominiert werden, ist der Stromanteil an der Endenergie in den Nichtwohngebäuden etwas höher. In Zahlen bedeutet dies: Der Mittelwert der Endenergie für Wärme an der Gebäudekante der Wohngebäude beträgt im Ausgangszustand 142 kWh/m²a (82 % der Gesamtendenergie) und der des Stroms 32 kWh/m²a (18 %). Im Zielzustand beträgt dieser Wert für Wärme 63 kWh/m²a (68 % der Gesamtendenergie) und für Strom 30 kWh/m²a (32 %). Damit beträgt die Einsparung im Wärmebereich 79 kWh/m²a (55 %) und im Strombereich 2 kWh/m²a (6 %).

Im Ausgangszustand variiert der Endenergieverbrauch für Wärme an der Gebäudekante von Wohngebäuden in den Projekten mit Bestandsgebäuden zwischen 84 kWh/m²a (Freiburg Weingarten) und 313 kWh/m²a (München Lilienstraße). Im Zielzustand sind die Unterschiede immer noch beträchtlich, zwischen 43 kWh/m²a (Freiburg Weingarten) und bis zu 100 kWh/m²a

Endenergie Gebäude Wärme/Strom/Kälte

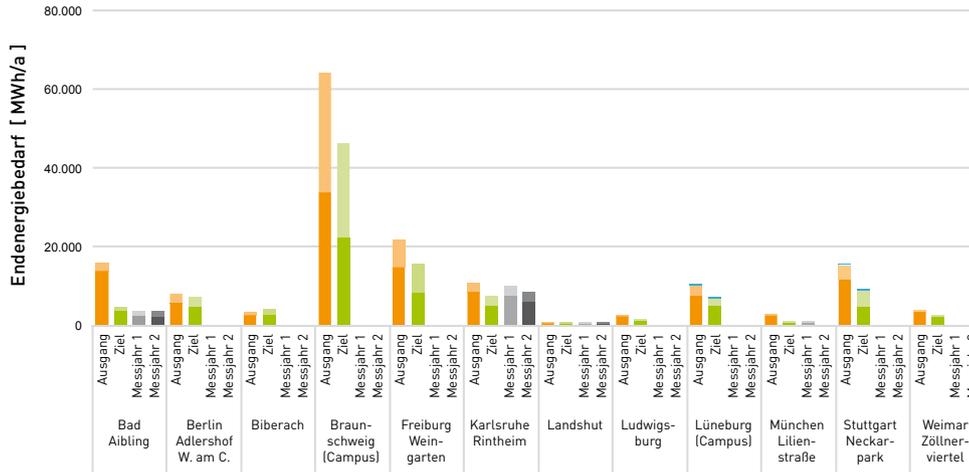


Bild 17: Endenergie an der Gebäudekante der zwölf Demonstrationsquartiere, aufgeteilt in Energieanteile für Wärme, Strom und Kälte

■ Wärme*
 ■ Strom*
 ■ Kälte

* Die grau dargestellten Abstufungen in der Legende gelten hier und in den folgenden Grafiken dieses Typs für mehrere Farben: In jeder Säule ist der Wärmeanteil stärker eingefärbt als der Stromanteil. Abweichend ist ein Kälteanteil immer blau dargestellt.

Endenergie Gebäude Wärme/Strom/Kälte

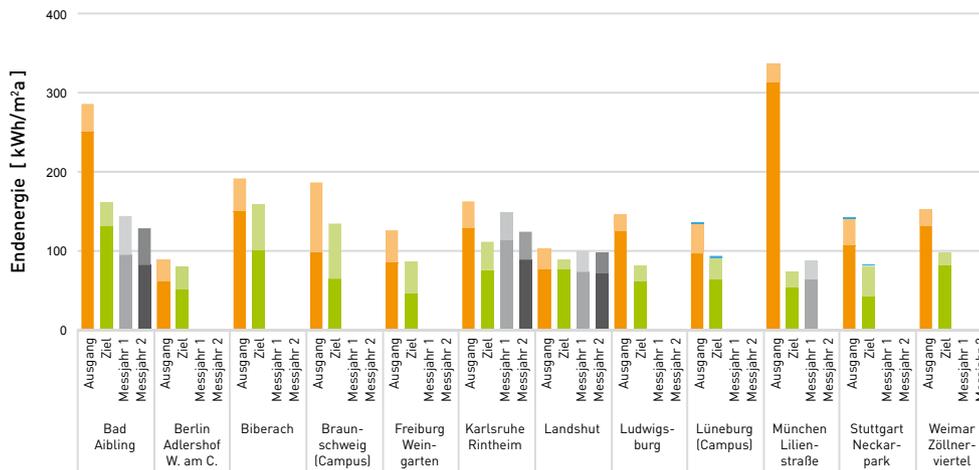


Bild 18: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante der zwölf Demonstrationsquartiere aufgeteilt in Energieanteile für Wärme, Strom und Kälte

■ Wärme
 ■ Strom
 ■ Kälte

(Biberach). Bei den neuen Wohngebäuden beträgt der Endenergieverbrauch für Wärmezwecke im Ausgangszustand zwischen 71 kWh/m²a (Berlin Adlershof, Wohnen am Campus) und 147 kWh/m²a (Ludwigsburg). Im Zielzustand ergeben sich Werte im Neubaubereich zwischen 47 kWh/m²a (Wohngebäude des Stuttgarter Neckarparks) und 77 kWh/m²a (Landshut). Das zeigt, dass Bestandswohngebäude durch kluge Energieeffizienz-Maßnahmen so verbessert werden können, dass sie die energetischen Anforderungen für Neubauten einhalten oder ein noch besseres energetisches Niveau erreichen. Dies wurde schon in vielen Sanierungsprojekten nachgewiesen, so z. B. im Rahmen der Forschungsinitiative EnOB.

Im Strombereich der Wohngebäude liegen die Kennwerte mit 20 kWh/m²a (Ludwigsburg) bis 42 kWh/m²a (Freiburg Weingarten) im Ausgangszustand weitaus dichter beieinander. Ein deutlicher Ausreißer ist mit 60 kWh/m²a im Projekt Biberach zu finden. Die Extremwerte im Zielzustand (bis auf Biberach) liegen mit 20 kWh/m²a (Ludwigsburg und München Lilienstraße) und 40 kWh/m²a (Freiburg) in einem ähnlichen Bereich. Auffällig ist, dass es kaum Unterschiede zwischen Ausgangszustand und Zielzustand im Strombereich gibt und eine Aufteilung in Bestandsgebäude und Neubauten beim Strom (abgerechnet an der Hauskante) keinen Unterschied zeigt. Für den reinen Stromverbrauch eines Wohngebäudes kann ein Benchmark von ca. 28 kWh/m²a ermittelt werden. Dabei ist zu beachten: In den Projekten sind nur wenige Gebäude mit installierter Photovoltaik auf dem Haus und Eigennutzung des damit erzeugten Stroms enthalten. Für solche Gebäude darf dieser Benchmark nicht eingesetzt werden. Im aktuellen Datensatz für das Projekt Berlin Adlershof Wohnen am Campus fehlt der Eintrag für den Stromverbrauch der Wohngebäude. Für diesen wurde in der Querauswertung jeweils der Mittelwert aus den Projekten (28 kWh/m²a) für Ausgangs- und Zielzustand angenommen.

BENCHMARK: Der mittlere Stromverbrauch der Wohngebäude ohne Berücksichtigung von Einspeisungen ins allgemeine Stromnetz ist nahezu unabhängig von der Projektphase und beträgt 28 kWh/m²a.

Die genauere Analyse der vier gemessenen Projekte zeigt, dass die Verbräuche von Wärme und Strom sich gegenüber der Planung in den Wohngebäuden in Bad Aibling und Karlsruhe Rintheim erhöht haben. In Landshut dagegen ist der Wärmeendenergieverbrauch etwas niedriger als geplant, der Stromverbrauch dagegen deutlich höher. In München sind der Wärmeendenergieverbrauch und der Stromverbrauch etwas höher.

Bei den Nichtwohngebäuden ergeben sich folgende Kennwerte: Der Mittelwert der Endenergie für Wärme an der Gebäudekante der Nichtwohngebäude beträgt im Ausgangszustand 145 kWh/m²a (76 % der Gesamtenergie), der für Strom 42 kWh/m²a (22 %) und der für Kälte 3 kWh/m²a (2 %). Im Zielzustand beträgt dieser Wert für Wärme 89 kWh/m²a (68 % der Gesamtenergie), für Strom 36 kWh/m²a (28 %) und für Kälte 5 kWh/m²a (4 %). Bei den Nichtwohngebäuden wurden also 56 kWh/m²a (39 %) Wärme und 6 kWh/m²a (14 %) Strom eingespart, im Kältebereich ist die Einsparung negativ mit -2 kWh/m²a (-67 %).

Endenergie Wohngebäude Wärme/Strom/Kälte

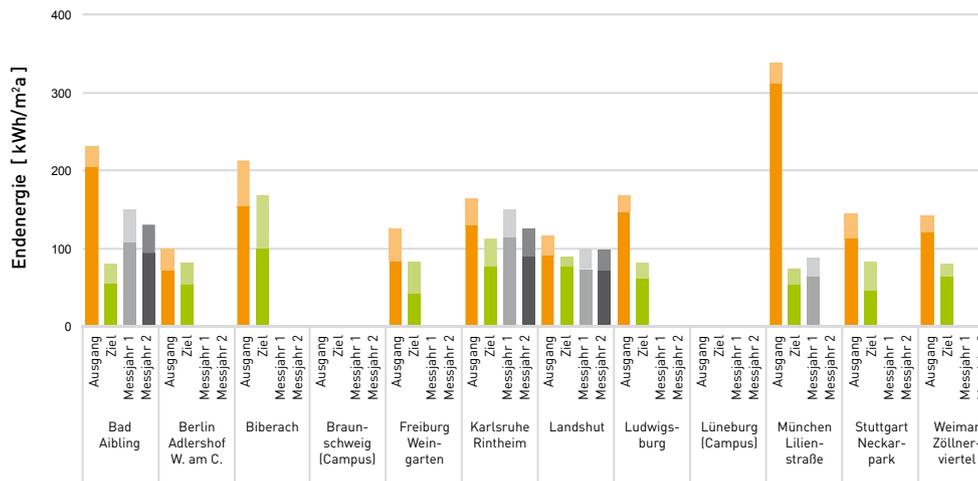


Bild 19: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante der Wohngebäude in den zwölf Demonstrationsquartieren, aufgeteilt in Energieanteile für Wärme, Strom und Kälte

- Wärme
- Strom
- Kälte

Endenergie Nichtwohngebäude Wärme/Strom/Kälte

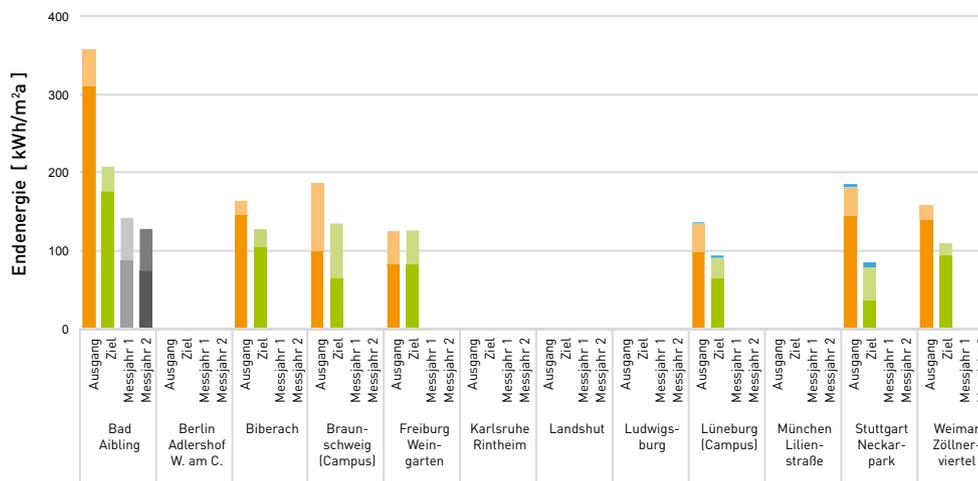


Bild 20: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante der Nichtwohngebäude in den zwölf Demonstrationsquartieren, aufgeteilt in Energieanteile für Wärme, Strom und Kälte

- Wärme
- Strom
- Kälte

Sowohl die Endenergie für Wärme als auch die Endenergie für Strom an der Gebäudekante unterscheiden sich bei Nichtwohngebäuden zu stark, um sinnvolle Benchmarks zu ermitteln. Die Kennwerte sind erheblich von der Nutzungsart der Gebäude abhängig.

Die gemessenen Werte von Bad Aibling zeigen bei den Nichtwohngebäuden einen deutlich niedrigeren Endenergieverbrauch für Wärme als geplant, dagegen hat sich der Endenergieverbrauch für Strom an der Gebäudekante gegenüber der Planung fast verdoppelt.

4.3 Querauswertung der Endenergie des Quartiers

Bei der endenergetischen Bewertung des Gesamtquartiers werden folgende Anteile bilanziert:

Wärme

- Summe der Brennstoffe der dezentralen Erzeuger
- Brennstoff-Input für Wärme in die Erzeuger der Nahwärme (bei BHKW ermittelt über die Effizienz der Wärme- und der Stromerzeugung)
- Strom-Input für die Erzeuger und den Transport der Nahwärme (komplett der Wärme zugerechnet, da dieser Strom für Antriebe [Pumpen] und Regelungen meist nur mit einem Zähler gemessen und vom Anteil des Pumpenstroms dominiert wird)

Strom

- Summe des bezogenen Gebäudestroms
- stromseitige Verluste von zentralen BHKW für selbst genutzten Strom
 - Brennstoff-Input für Strom in die Erzeuger der Nahwärme bei selbst genutztem Strom im Quartier (ermittelt über die Effizienzen der Wärme- und der Stromerzeugung), abzüglich
 - in einem BHKW erzeugten, selbst im Quartier genutzten Stroms
- zentral erzeugter Photovoltaikstrom (oder Windstrom), selbst genutzt im Quartier
- zentral erzeugter Photovoltaikstrom (oder Windstrom), eingespeist in das allgemeine Netz
- auf den Gebäuden erzeugter Photovoltaikstrom (oder Windstrom), eingespeist in das allgemeine Netz

Kälte

- Kälteenergie in den Gebäuden

Nahwärmeversorgung ist in allen zwölf ausgewerteten Demonstrationsprojekten vorhanden, dezentrale Erzeuger zumindest im Ausgangszustand, teilweise auch für einzelne Gebäude im Zielzustand und in den Messjahren für alle Projekte außer Freiburg Weingarten. Der Strom-Input in die zentralen Erzeuger und für den Transport der Nahwärme liegt nicht in allen Projekten vor und wurde in diesen Fällen durch einen **Kennwert für den Strom-**

Input in die Nahwärme ersetzt, der in Abhängigkeit von der erzeugten thermischen Energie ($0,0132 \text{ MWh}_{\text{el}} \text{ je MWh}_{\text{th}}$) basierend auf den Mittelwerten der anderen Projekte berechnet wurde. Dieser Faktor ergibt sich wie in Tabelle 3 gezeigt.

Die Unterschiede in den Kennwerten lassen sich in Bild 21 erkennen. Die vier höchsten Werte ergeben sich für Freiburg Weingarten, ein Projekt mit großem Nahwärmenetz inklusive Einspeisung in ein Fremdnetz (nicht Bestandteil des Quartiers), und München Lilienstraße, wo die Raumwärme getrennt vom Warmwasser an die Wohngebäude geliefert wird (4-Rohr-System). Die geringsten Kennwerte ergeben sich für Karlsruhe Rintheim mit einem neuen Netz und einer zentralen Fernwärmeübergabestation und Landshut mit einem sehr kleinen neuen Netz.

Projekt		Erzeugte thermische Energie $\text{MWh}_{\text{th}}/\text{a}$	Stromaufwand in der Nahwärmezentrale $\text{MWh}_{\text{el}}/\text{a}$	Faktor elektrische zu thermischer Energie $\text{MWh}_{\text{el}}/\text{MWh}_{\text{th}}$
Bad Aibling	Ausgangszustand	16.000	230	0,0144
	Zielzustand	4.689	38	0,0081
	Messjahr 1	2.781	37	0,0133
	Messjahr 2	2.748	47	0,0171
Berlin Adlershof	Zielzustand	4.137	41	0,0099
Biberach	Ausgangszustand	2.155	17	0,0079
Freiburg Weingarten	Ausgangszustand	68.450	2.017	0,0295
	Zielzustand	57.515	1.800	0,0313
Karlsruhe Rintheim	Zielzustand	5.321	30	0,0056
	Messjahr 1	3.981	20	0,0050
	Messjahr 2	4.598	24	0,0052
Landshut	Zielzustand	450	4	0,0089
	Messjahr 1	543	3	0,0055
	Messjahr 2	540	3	0,0056
Lüneburg (Campus)	Ausgangszustand	12.100	110	0,0091
	Zielzustand	11.000	110	0,0100
München Lilienstraße	Zielzustand	540	18	0,0333
	Messjahr 1	642	14	0,0218
Weimar Zöllnerviertel	Zielzustand	1.692	17	0,0100
Mittelwert				0,0132

Tabelle 3: Ermittlung des mittleren Stromaufwands in Abhängigkeit von der erzeugten thermischen Energie in den Nahwärmeeinheiten der Projekte

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

Bei der Quartiersbilanz des Stroms gibt es in allen Projekten zunächst eine Stromabnahme durch die Gebäude. Für das Projekt Berlin Adlershof Wohnen am Campus wurde, wie bereits beschrieben, der Mittelwert für Wohngebäude eingesetzt. Ein BHKW zur Stromerzeugung, dessen erzeugter Strom im Quartier selbst genutzt wird, ist nur in Biberach und Braunschweig vorhanden. Zentrale Photovoltaikanlagen, deren Strom im Quartier genutzt wird, gibt es in Braunschweig und Lüneburg. Zentrale Photovoltaikanlagen, die in das allgemeine Stromnetz einspeisen, werden in Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße betrieben. Kleinere Photovoltaikanlagen auf Einzelgebäuden, deren Strom in das allgemeine Stromnetz eingespeist wird, sind in Bad Aibling, Braunschweig, Freiburg Weingarten, Landshut, Lüneburg und Weimar vorhanden.

Bild 22 zeigt die **gesamte Endenergie im Quartier** für alle zwölf Projekte, Bild 23 denselben Kennwert auf die jeweilige Quartiersfläche bezogen. Auf Quartiersebene sollen zwischen 41 MWh/a (Landshut) und 19.627 MWh/a (Bad Aibling, allerdings mit deutlicher Verkleinerung des bewerteten Gebiets) Endenergie zwischen Ausgangszustand und Zielzustand eingespart werden. Der Maximalwert der geplanten Einsparung für ein Gebiet mit ungefähr gleich großen Flächen im Ausgangszustand und Zielzustand beträgt 18.250 MWh/a im Vorhaben Campus Braunschweig. Mit Biberach gibt es ein Projekt, das einen höheren Endenergiebedarf (990 MWh/a) auf Quartiersebene im Zielzustand als im Ausgangszustand aufweist, allerdings auch mit deutlich größerer Bezugsfläche. Die geplante Gesamteinsparung von Endenergie auf der Quartiersebene in allen zwölf Demonstrationvorhaben beträgt 65.329 MWh/a oder im Durchschnitt 5.444 MWh/a . Bisher konnten in den vier gemessenen Projekten im Messjahr 1 20.866 MWh/a und im Messjahr 2 (nur drei Projekte) 20.874 MWh/a eingespart werden.

Aufgrund der teilweise unterschiedlichen Bezugsflächen vor und nach Umsetzung der Maßnahme ist ein Vergleich der flächenbezogenen Endenergieeinsparung auf Quartiersebene zwischen Ausgangszustand und Zielzustand sinnvoll. Hier beträgt die geplante mittlere Endenergieeinsparung im Quartier $88 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ oder 47% . Die maximale Endenergieeinsparung auf Quartiersebene soll im Projekt Bad Aibling mit $310 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ stattfinden, gefolgt vom Projekt München Lilienstraße mit $299 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. In Bad Aibling konnte im Messjahr 2 eine Endenergieeinsparung von $284 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ nachgewiesen werden, München Lilienstraße erreichte eine gemessene Endenergieeinsparung von $264 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Vergleicht man die Endenergiekennwerte an der Gebäudekante mit denen auf Quartiersebene, ergeben sich für alle Projekte Unterschiede, wie Tabelle 4 und Bild 24 zeigen. Projekte mit höherer Endenergie im Quartier als an der Gebäudekante weisen eine Nahwärmeerzeugung auf. Wenn die Nahwärme aus fossilen Energien bzw. aus oder mit Biomasse, Biogas oder Bioöl erzeugt wird, müssen der Erzeugerverlust sowie ggf. die Speicherverluste und die Verteilverluste

Verhältnis elektrischer Aufwand zu erzeugter thermischer Energie in der Nahwärme

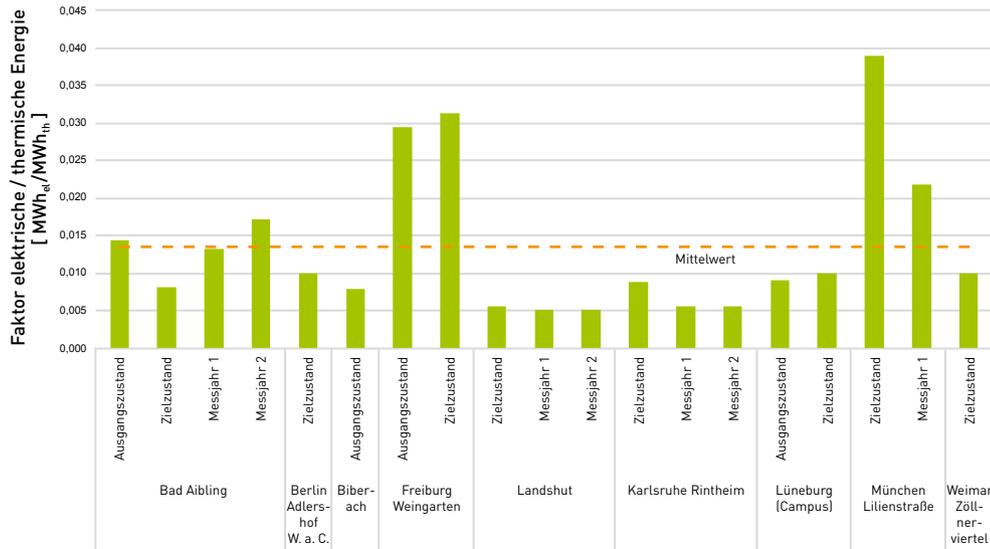


Bild 21: Verhältnis elektrischer Aufwand zu erzeugter thermischer Energie in der Nahwärme in den Demonstrationsprojekten.

Endenergie im Quartier gesamt

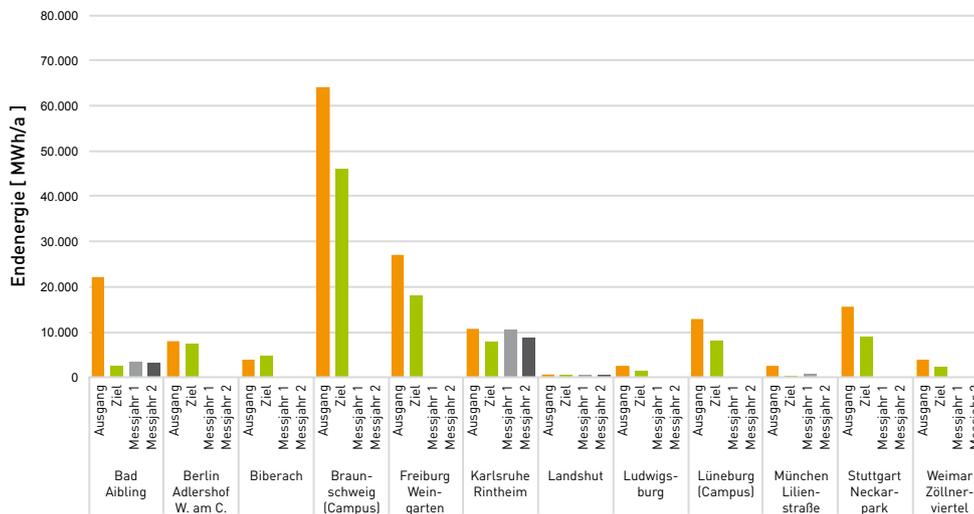


Bild 22: Endenergiebedarfs- werte und -verbräuche auf Quartiersebene in den zwölf ausgewerteten Demonstra- tionsprojekten

Bild 23: Flächenbezogene Endenergiebedarfs- und -verbrauchswerte auf Quartiersebene in den zwölf ausgewerteten Demonstrationsprojekten

- - - Mittelwert Ausgang
- - - Mittelwert Ziel

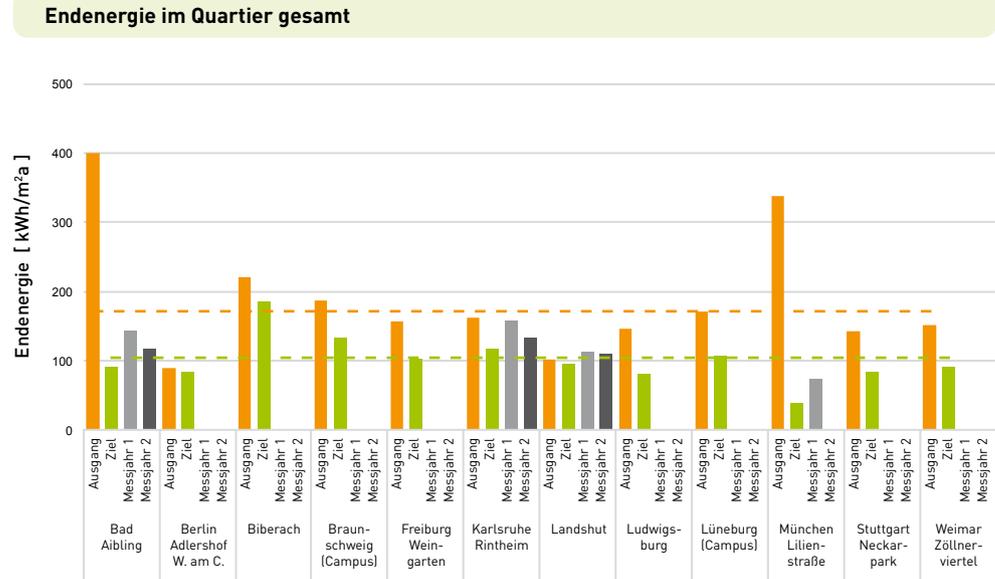
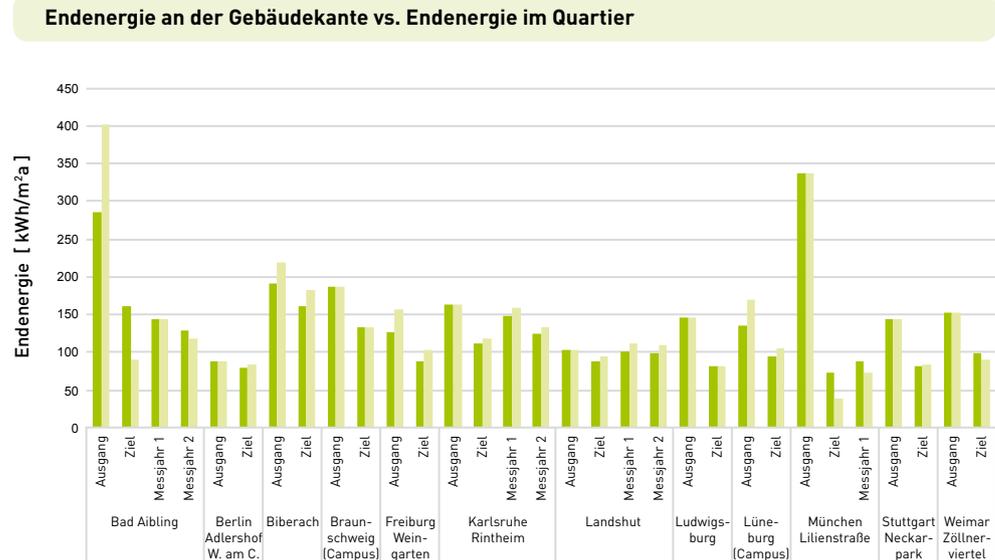


Bild 24: Flächenbezogene Endenergie an der Gebäudekante und flächenbezogene Endenergie im Quartier für alle zwölf Demonstrationsprojekte

- Summe Endenergie an der Gebäudekante
- Summe Endenergie im Quartier



te zum Endenergieverbrauch an der Hauskante hinzugerechnet werden. Beispiele hierfür sind der Ausgangszustand in Bad Aibling, der Zielzustand in Berlin Adlershof, die letzten drei Phasen in Karlsruhe Rintheim und beide Phasen in Freiburg Weingarten. Wird jedoch die Nahwärme unter Einbeziehung großer Anteile von Solarthermie, Geothermie oder Abwasser- bzw. Umweltwärme erzeugt, kann sie auch einen geringeren Endenergieverbrauch (d.h. geringeren Brennstoffverbrauch) als an der Gebäudekante haben. Beispiele hierfür sind die Zielzustände in Bad Aibling und München Lilienstraße mit solarthermischen Beiträgen in der Nahwärme und im Falle von München auch Beiträgen von geothermischen Energien über die Gasmotorwärmepumpe.

Überlagert werden diese Einflüsse auf die Endenergie auf Quartiersebene durch die Anrechnung von zentral und dezentral erzeugtem erneuerbarem Strom oder BHKW-Strom, der selbst genutzt wird, und photovoltaischem Strom (zentral und dezentral), der ins allgemeine Netz eingespeist wird. Dies kann die Verluste der Nahwärme zwischen Erzeugung und Gebäudekante ausgleichen bzw. sogar eine Reduzierung der Endenergie gegenüber der Bewertung an der Gebäudekante ermöglichen oder verstärken. Beispiele hierfür sind die Zielzustände von München Lilienstraße, Bad Aibling und Weimar Zöllnerviertel.

Projektphasen, bei denen sich kein Unterschied zwischen der Endenergiebilanzierung an der Gebäudekante und der im Quartier ergibt, treten bei wärmeseitig rein dezentral versorgten Projekten auf wie beispielsweise in den Neubauprojekten, die im Ausgangszustand über die dezentrale Referenztechnologie aus der EnEV (Öl-Brennwertkessel + solar) abgebildet wurden (Berlin-Adlershof, Ludwigsburg und Stuttgart Neckarpark). Außerdem zeigt sich dieser Effekt bei Quartieren, die an Fernwärme angeschlossen sind bzw. deren Nahwärmeversorgung über einen Fernwärmeanschluss mit einem zertifizierten Primärenergiefaktor abgebildet wurde (Zielzustände Berlin-Adlershof, Ludwigsburg und Stuttgart Neckarpark).

Streng genommen findet bei den Projekten mit zentraler Versorgung eine Verschiebung der Erzeugeraufwände von innerhalb des Gebäudes hin zum Quartier statt. Allerdings gibt es auch dezentrale Versorgungsarten, mit denen Erzeugeraufwandszahlen von 1 und besser erreicht werden können, z. B. Brennwertkessel, Solarthermie und vor allem Wärmepumpen. Die Netzverluste im Nahwärmenetz entstehen auf jeden Fall zusätzlich, können jedoch durch Synergieeffekte aufgrund der Energieabnahme vieler oder aller Gebäude im Quartier ausgeglichen werden. Auf der Kostenseite kann eine Quartierslösung weitere Vorteile mit sich bringen, etwa geringere Investitionskosten für eine zentrale Anlagentechnik gegenüber vielen Einzellösungen.

Tabelle 4: Summe der flächenbezogenen Endenergie an der Gebäudekante und der flächenbezogenen Endenergie im Quartier für alle ausgewerteten Demonstrationsobjekte in den dokumentierten Projektphasen

Projekt		Summe Endenergie an der Gebäudekante kWh/m ² a	Summe Endenergie im Quartier kWh/m ² a	Differenz kWh/m ² a
Bad Aibling	Ausgangszustand	286	401	115
	Zielzustand	161	90	-71
	Messjahr 1	144	143	-1
	Messjahr 2	129	117	-12
Berlin Adlershof: Wohnen am Campus	Ausgangszustand	88	88	0
	Zielzustand	79	84	5
Biberach	Ausgangszustand	192	220	28
	Zielzustand	160	185	23
Braunschweig (Campus)	Ausgangszustand	187	187	0
	Zielzustand	134	134	0
Freiburg Weingarten	Ausgangszustand	126	157	31
	Zielzustand	87	102	15
Karlsruhe Rintheim	Ausgangszustand	163	163	0
	Zielzustand	111	117	6
	Messjahr 1	149	158	9
	Messjahr 2	124	134	10
Landshut	Ausgangszustand	103	103	0
	Zielzustand	89	95	6
	Messjahr 1	100	112	12
	Messjahr 2	98	109	11
Ludwigsburg	Ausgangszustand	145	145	0
	Zielzustand	81	81	0
Lüneburg (Campus)	Ausgangszustand	136	170	34
	Zielzustand	94	106	12
München Lilienstraße	Ausgangszustand	338	338	0
	Zielzustand	73	38	-35
	Messjahr 1	88	73	-15
Stuttgart Neckarpark	Ausgangszustand	143	143	0
	Zielzustand	82	84	2
Weimar Zöllnerviertel	Ausgangszustand	152	152	0
	Zielzustand	98	91	-7
Mittelwert		134	139	+/-15
Mittelwert für den Ausgangszustand		172	189	+/-17
Mittelwert für den Zielzustand		104	100	+/-15

Endenergie Quartier Wärme/Strom/Kälte

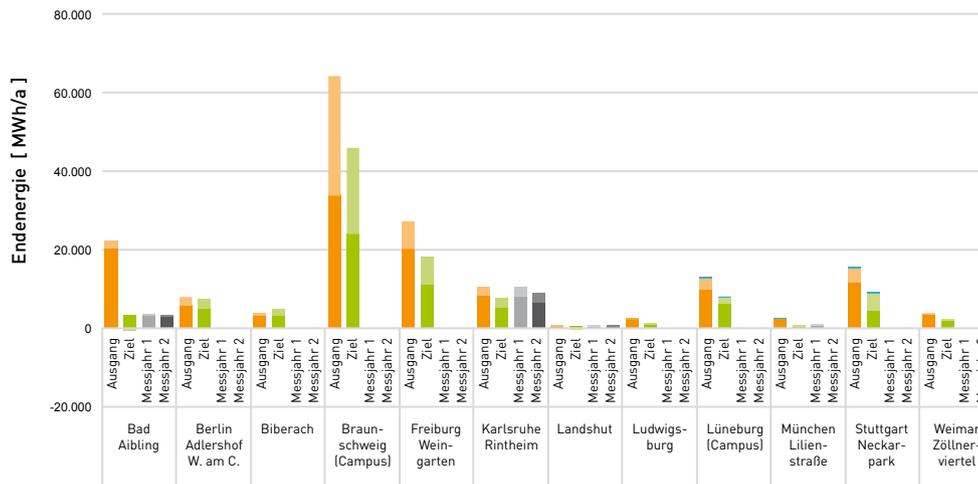


Bild 25: Endenergie im Quartier, aufgeteilt in Wärme, Strom und Kälte für alle zwölf Demonstrationsprojekte

■ Wärme
■ Strom
■ Kälte

Endenergie Quartier Wärme/Strom/Kälte

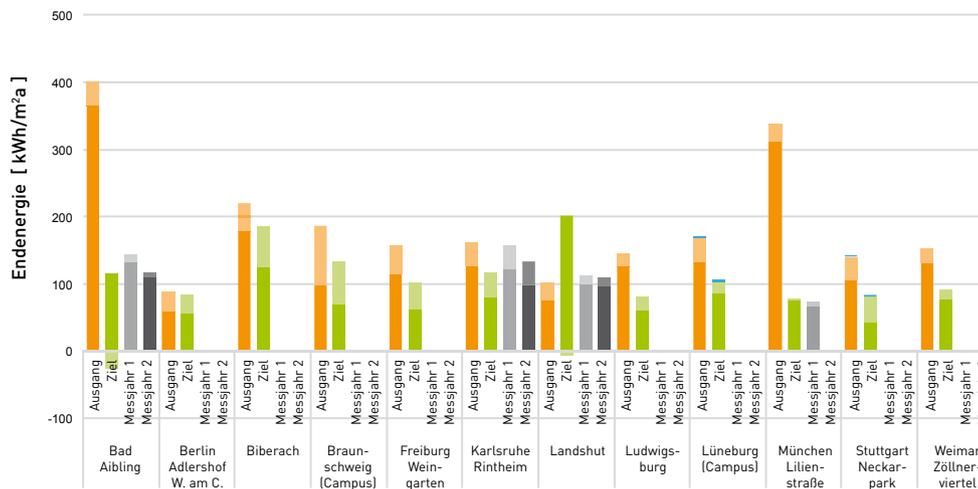


Bild 26: Flächenbezogene Endenergie im Quartier, aufgeteilt in Wärme, Strom und Kälte für alle zwölf Demonstrationsprojekte

■ Wärme
■ Strom
■ Kälte

Teilt man die **Endenergie im Quartier auf die Bereiche Wärme, Strom und Kälte** auf, ergeben sich die Bilder 25 und 26. Interessant ist, dass die Demonstrationsprojekte Bad Aibling und Landshut in den Zielzuständen eine negative Endenergie im Bereich Strom in der Quartiersbilanzierung aufweisen. In vielen weiteren Projekten und Projektphasen kann der Strombedarf bzw. -verbrauch durch die Anrechnung von Photovoltaik oder BHKW-Strom (wie weiter oben beschrieben) stark reduziert werden.

4.4 Querauswertung der eingesetzten Energieträger für die Wärme und deren Erzeugereinheiten

Eine Analyse der eingesetzten **Energieträger** zeigt bei der Bilanzierung **an der Gebäudekante** (Bilder 27 und 28), dass bei fast allen Demonstrationsprojekten zumindest ab dem Zielzustand die Nahwärme (eingetragen in Orange) dominiert.

Gut zu erkennen sind auch die Neubaugebiete, für die im Ausgangszustand ein Öl-Brennwertkessel mit Solarthermie gemäß den Referenztechnologien aus der EnEV zugrunde gelegt wurde (braune und gelbe Balken). Drei Demonstrationsprojekte besaßen im Ausgangszustand eine einzelgebäudebasierte Energieversorgung mit Gas als Energieträger (Karlsruhe-Rintheim, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel), eingetragen in hellgrauer Farbe. Beim Projekt Landshut wurde die eingesetzte Geothermie durch die dezentralen Wärmepumpen der Einfamilienhäuser über eine Jahresarbeitszahl von 3 in Abhängigkeit vom Strom der Wärmepumpen geschätzt, da das Bilanzierungstool hier nur den Stromverbrauch und nicht die erzeugte thermische Energie dokumentiert und daher dieser Wert für die Querauswertung nicht zur Verfügung stand. Gleiches gilt für das Gebäude im Projekt Karlsruhe-Rintheim, das ebenfalls dezentral über Wärmepumpen versorgt wird.

Bild 29 zeigt die **Anteile der Energieträger an der Wärmeversorgung der Gebäude über alle zwölf Demonstrationsprojekte hinweg**. Auch hier ist sofort zu erkennen, dass der Nahwärmeanteil an der Energieversorgung im Zielzustand sehr stark zunimmt. Die restlichen Anteile betragen dann in Summe 3 %. Die Verteilung im Ausgangszustand ist 33 % Nahwärme, 31 % Fernwärme, 19 % Heizöl (Referenztechnologie für Neubau), 14 % Erdgas, 3 % Solarthermie und weniger als 1 % Strom. Im Zielzustand lautet die Verteilung 97 % Nahwärme, 2 % Fernwärme, 1 % Solarthermie und jeweils weniger als 1 % Erdgas, Strom, Biomasse und Geothermie. Die Werte für die Messjahre 1 und 2 beziehen sich nur auf maximal vier Demonstrationsprojekte und werden deshalb stark von den dort eingesetzten Energieträgern dominiert. So geht z.B. der Erdgasanteil in den Messjahren schrittweise zurück. Dies rührt daher, dass im Vorhaben in Karlsruhe Rintheim die Gasversorgung einiger Gebäude aus dem Ausgangszustand erst während der Messjahre auf die Nahwärmeversorgung umgestellt werden konnte.

Energieträger Wärme

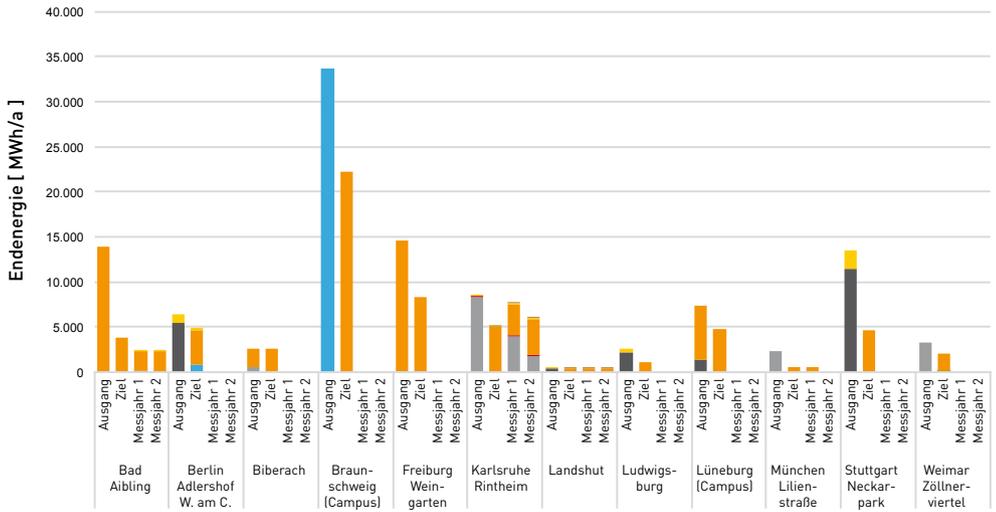


Bild 27: Eingesetzte Energieträger an der Gebäudekante für alle zwölf Demonstrationsprojekte

- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Heizöl
- Fernwärme
- Nahwärme
- Strom
- Biogas
- Bioöl
- Biomasse

Energieträger Wärme

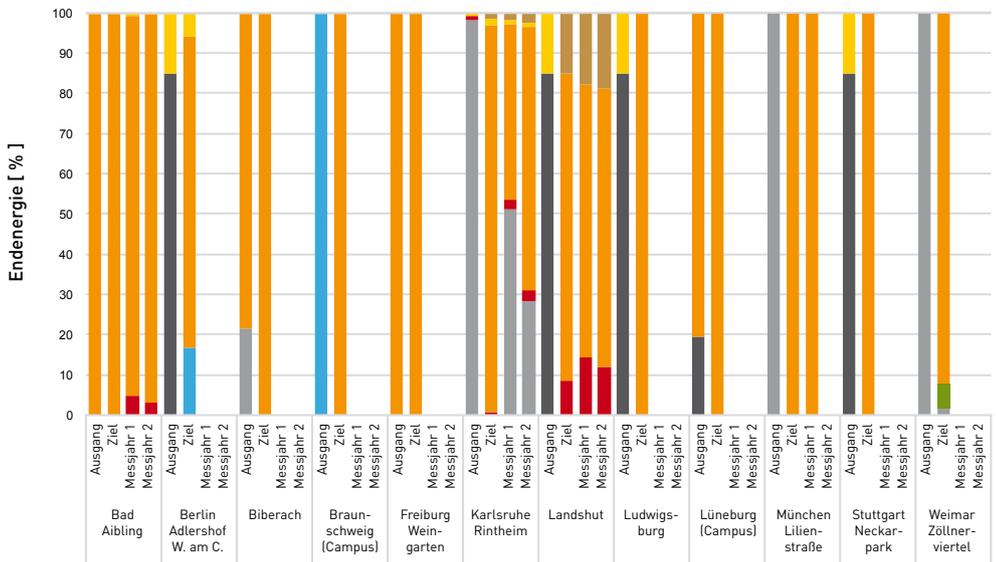
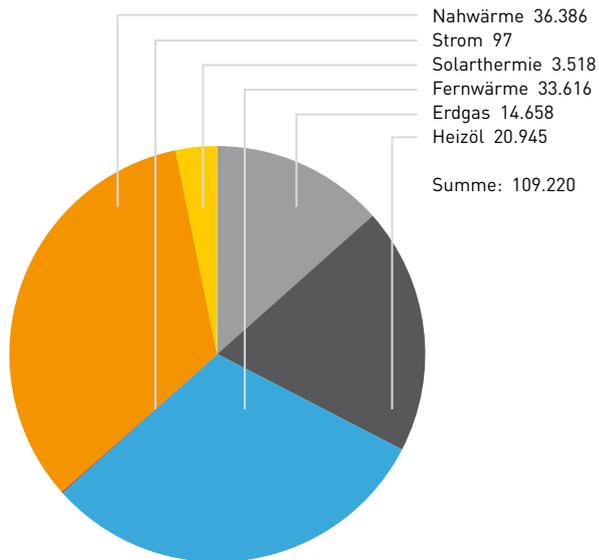


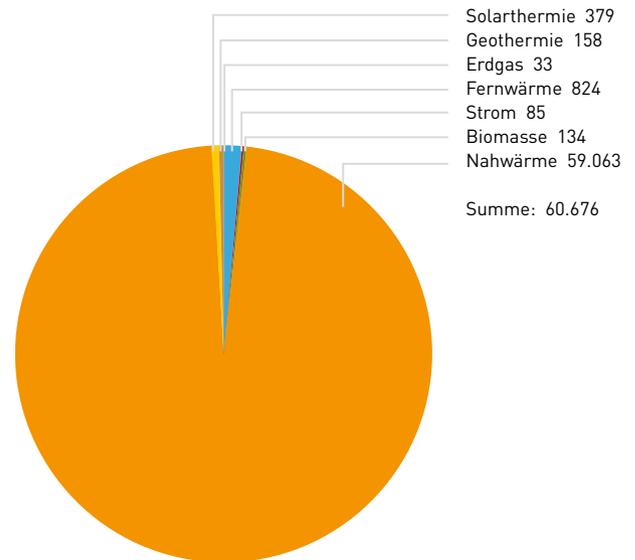
Bild 28: Eingesetzte Energieträger als relative Anteile für alle zwölf Demonstrationsprojekte

- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Heizöl
- Fernwärme
- Nahwärme
- Strom
- Biogas
- Bioöl
- Biomasse

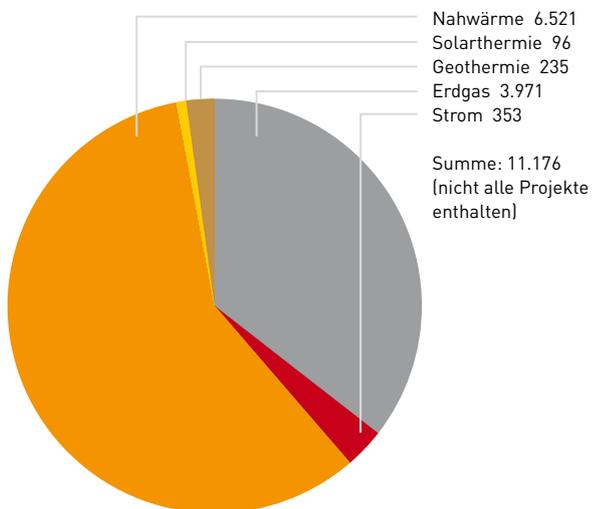
Energieträger Wärme im Ausgangszustand in MWh/a



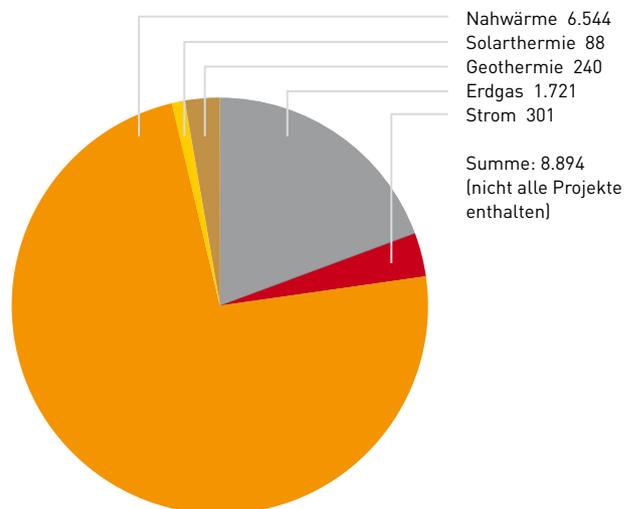
Energieträger Wärme im Zielzustand in MWh/a



Energieträger Wärme im Messjahr 1 in MWh/a



Energieträger Wärme im Messjahr 2 in MWh/a



Die **Energieträger zur Nahwärmeerzeugung in den Quartieren** werden in den Bildern 30 und 31 aufgeschlüsselt. Für die Demonstrationsvorhaben Ludwigsburg und Stuttgart Neckarpark kann die Nahwärmeerzeugung nicht anhand der Bilanzierungstools bezüglich der Energieträger analysiert werden, da sie über einen zertifizierten bzw. berechneten Primärenergiefaktor abgebildet wird. Die Energiemengen in den Projekten Bad Aibling, Freiburg Weingarten und Lüneburg beinhalten auch die Abgaben an die Fremdnetze.

Viele der Projekte nutzen im Zielzustand erneuerbare Energien zur Nahwärmeerzeugung, so z. B. Bad Aibling und Biberach (Biomasse und Solarthermie), Braunschweig, Landshut und Lüneburg (Biogas) und München Lilienstraße (Geothermie und Solarthermie). In anderen Projekten wird entweder Fernwärme in das Nahwärmenetz übergeben (Berlin Adlershof, Braunschweig, Karlsruhe) oder Nahwärme mit Erdgas-Heizwerken und teilweise Erdgas-BHKW erzeugt (Bad Aibling, Biberach, Freiburg Weingarten, Lüneburg, München Lilienstraße (Erdgasmotorwärmepumpe + Erdgaskessel) und Weimar Zöllnerviertel. Die Energieträger werden oft als Mix eingesetzt, nur in Berlin Adlershof, Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim, Landshut und Weimar ist es jeweils nur ein einziger Energieträger (neben dem Strom für Antriebe).

Bild 32 zeigt den **Anteil der Energieträger zur Nahwärmeerzeugung über die zehn aufschlüsselbaren Demonstrationsquartiere** hinweg. Während im Ausgangszustand noch mehr als 81 % der Nahwärme aus Erdgas erzeugt werden, sind es im Zielzustand noch 56 %. Dafür kommen 24 % Fernwärme und 13 % Biogas hinzu. Die weiteren eingesetzten Energieträger im Ausgangszustand sind Heizöl mit 17 % und Strom für die Antriebe mit 2 % und im Zielzustand Biomasse mit 4 %, Solarthermie mit 1 %, Geothermie mit weniger als 1 % und Strom für die Antriebe mit 2 %.

Bei der Auswertung der **Anzahl der eingesetzten Erzeuger für die Wärmebereitstellung** erkennt man, dass neben den dezentralen Erzeugern wie Kesseln und Wärmepumpen, die teilweise mit thermischen Solarkollektoren gekoppelt sind, bereits im Bereich der Nahwärme zumeist mehr als ein Erzeuger eingesetzt wird. Die Anzahl der Nahwärmeerzeuger bewegt sich zwischen 1 und 4, mit im Mittel für den Ausgangszustand 1,5 und den Zielzustand 2,3 Erzeugern je Nahwärmeeinheit. Beliebte Kombinationen sind folgende:

- Heizwerk (Kessel) und Solarthermie
- BHKW und Heizwerk
- Wärmepumpe und Heizwerk
- Wärmepumpe, Heizwerk und Solarthermie

Linke Seite

Bild 29: Eingesetzte Energieträger an der Gebäudekante in Summe für alle zwölf Demonstrationsprojekte. In den Messjahren 1 und 2 konnten bisher nur vier bzw. drei Projekte gemessen werden.

Bild 30: Eingesetzte Energieträger zur Nahwärmeerzeugung in den zwölf Demonstrationsprojekten

Legende für die Grafiken dieser Doppelseite

- Strom (Pumpen etc.)
- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Heizöl
- Fernwärme
- Biogas
- Biomasse

Energieträger zur Nahwärmeerzeugung

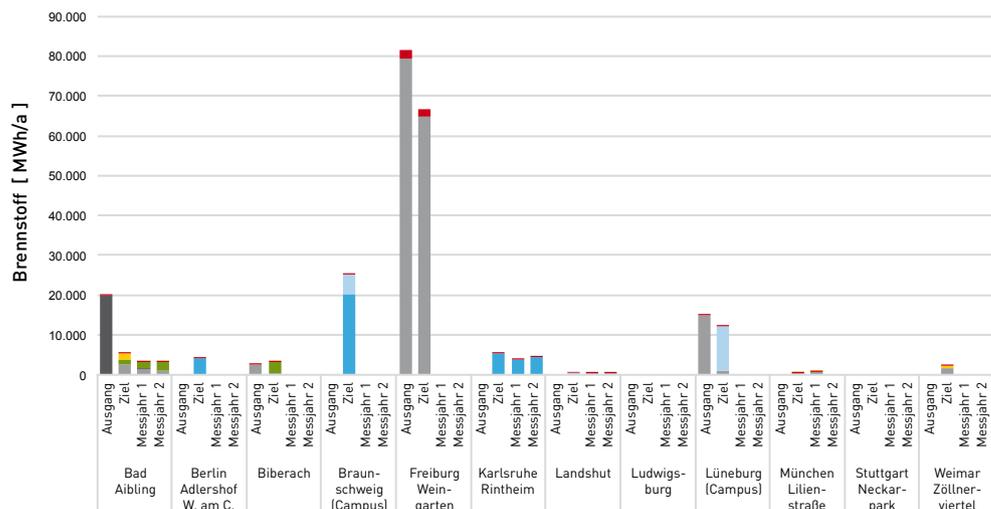
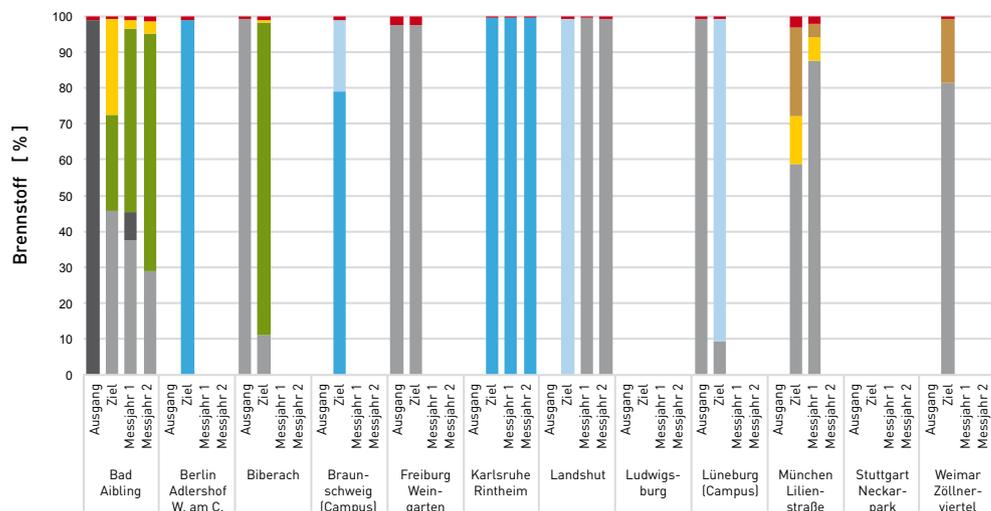


Bild 31: Eingesetzte Energieträger zur Nahwärmeerzeugung als relative Anteile für alle zwölf Demonstrationsprojekte

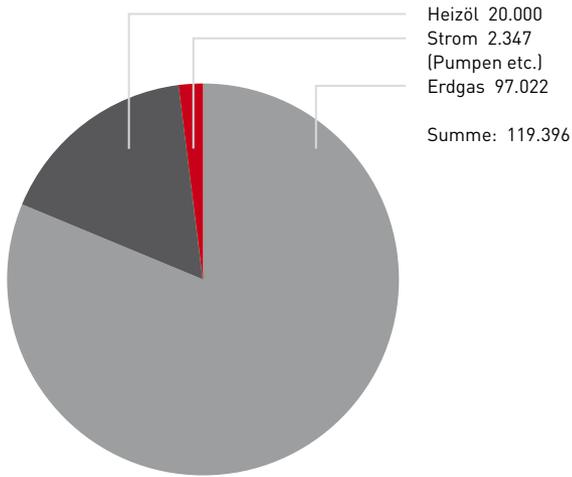
Rechte Seite

Bild 32: Eingesetzte Energieträger zur Nahwärmeerzeugung in Summe aus zehn Demonstrationsvorhaben. In den Messjahren 1 und 2 konnten bisher nur vier bzw. drei Projekte gemessen werden.

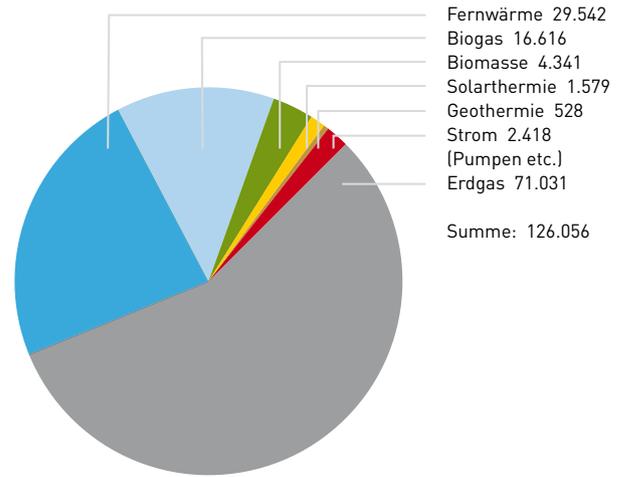
Energieträger zur Nahwärmeerzeugung



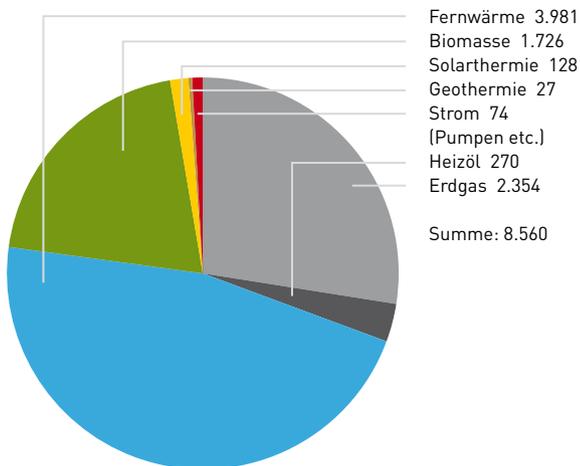
Energieträger zur Nahwärmeerzeugung im Ausgangszustand



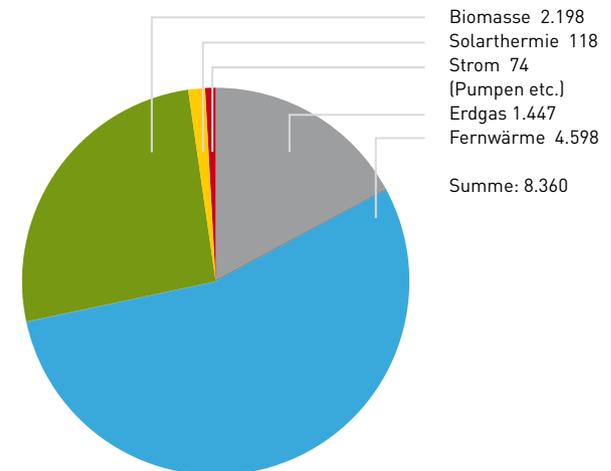
Energieträger zur Nahwärmeerzeugung im Zielzustand in MWh/a



Energieträger zur Nahwärmeerzeugung im Messjahr 1 in MWh/a



Energieträger zur Nahwärmeerzeugung im Messjahr 2 in MWh/a



4.5 Auswertung der Nahwärmeversorgungskonzepte

Nach der Analyse der eingesetzten Energieträger im vorigen Kapitel wird im Folgenden untersucht, welche **Anteile der eingesetzten Endenergie zur Nahwärmeerzeugung** bei den Gebäuden ankommen, welche in **Fremdnetze** abgegeben werden und wie hoch die **Erzeugerverluste** und **Netzverluste** sind. Ein besonderer Fokus wird dabei auf mögliche Kennwerte für die Netzverluste gelegt.

Die Bilder 33 bis 42 stellen für die zehn detailliert auswertbaren Projekte den **Input in die Nahwärme**, also die eingesetzten Brennstoffe, solarthermische bzw. geothermische Anteile und die elektrische Energie für Pumpen etc., dem **Output der Nahwärme** gegenüber. Der Output wird aufgeteilt in die Abnahme durch die angeschlossenen Gebäude, die eventuelle Abgabe an ein Fremdnetz sowie die Netz- und die Erzeugerverluste.

Achtung: Die prozentualen Verluste, auch die Netzverluste, werden hier mit Bezug auf den gesamten Energie-Output des Nahwärmesystems berechnet. Etwas später werden die Netzverluste in Abhängigkeit von der Energieabnahme durch die Gebäude berechnet, was zu anderen Kennwerten führt.

Für **Bad Aibling** fällt auf, dass die Kennwerte stark zwischen dem Ausgangs- und dem Zielzustand, aber in geringerem Maße auch zwischen dem Zielzustand und den Messungen voneinander abweichen. Die Differenz zwischen dem Endenergieverbrauch im Ausgangszustand und dem Endenergiebedarf im Zielzustand hat mehrere Gründe: Zum einen wurden die Nahwärme umgestellt und die Gebäude saniert. Zum anderen wurde im Ausgangszustand das Gesamtnetz bilanziert, mit 55.467 m² Gebäudebezugsfläche, und im Zielzustand sowie in den beiden Messjahren eines der beiden Teilnetze (nur dieses wird detailliert ausgewertet), mit einer Bezugsfläche der Gebäude von 24.185 m² (Messjahr 1) bis 28.753 m² (Zielzustand). Die Nahwärmeerzeugung wurde umgebaut von einer rein mit Brennstoff betriebenen Nahwärme auf eine Integration von Solarthermie in die Erzeugung. In den Messjahren sind jedoch deutlich niedrigere solare Anteile enthalten (3 % bzw. 4 %) als für den Zielzustand geplant (27 %). Deutlich erkennbar sind auch die veränderten Anteile der Abgabe an das andere Teilnetz (Fremdnetz), die in den Messjahren mit jeweils 6 % geringer sind als für den Zielzustand mit 15 % und die höheren Netzverluste in den Messjahren (12 % bzw. 11 %) gegenüber dem Zielzustand (2 %). Die Erzeugerverluste weichen zwischen den Messjahren (17 % bzw. 16 %) und dem Zielzustand (14 %) weniger ab. Insgesamt wurden Verluste von 16 % für den Zielzustand berechnet und dann in den beiden Messjahren 29 % bzw. 27 % ermittelt. Die Gesamteffizienz der Nahwärme beträgt 69 % im Ausgangszustand. Sie wurde berechnet als die Summe der Wärmeabnahme der Gebäude im Quartier zuzüglich der Abgabe an ein externes Netz, geteilt durch die Summe der eingesetzten Brennstoffenergien. Weil mit großen Anteilen erneuerbarer Energien geplant wurde, ergibt sich rechnerisch eine Gesamteffizienz von 115 % im Zielzustand. In den beiden Messjahren betrug die Gesamteffizienz 73 % bzw. 76 %.

Nahwärme Bad Aibling

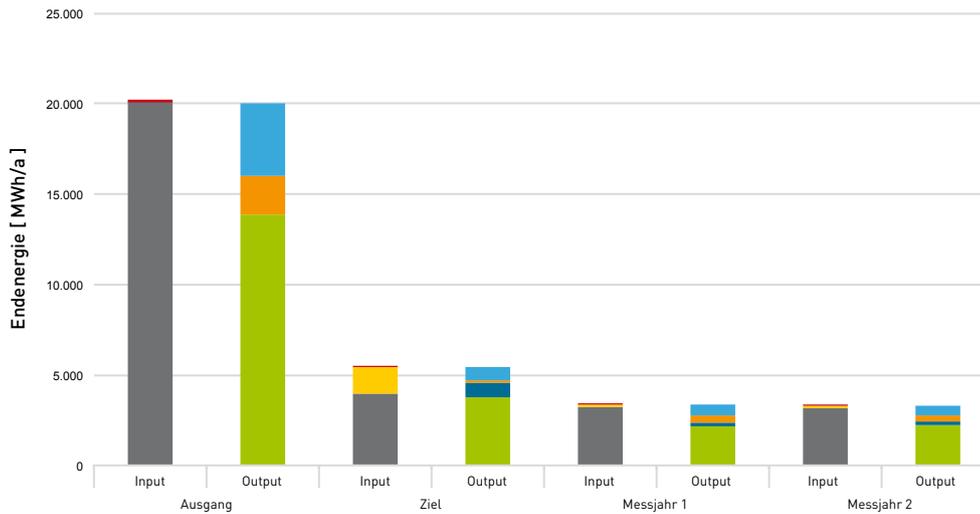


Bild 33: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Bad Aibling

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Berlin Adlershof (Wohnen am Campus)

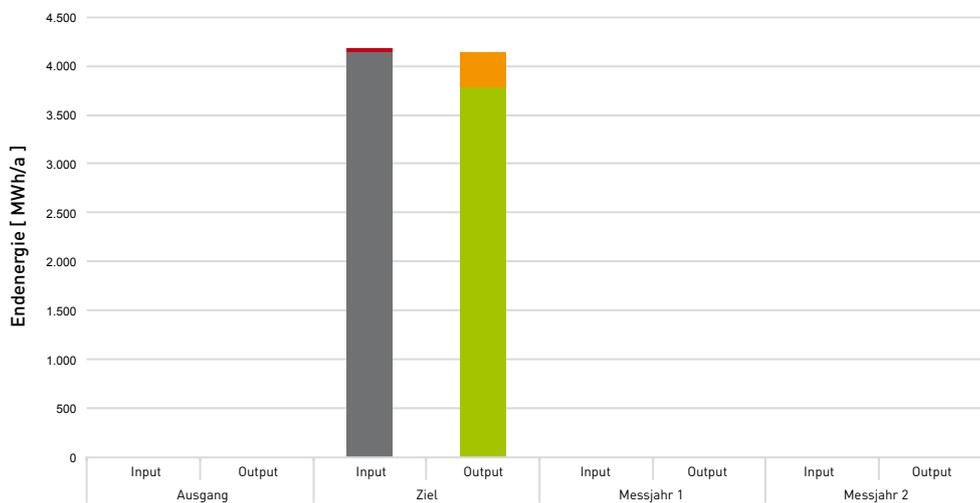


Bild 34: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Berlin-Adlershof Wohnen am Campus plant ein Nahwärmenetz, das durch eine Fernwärmeübergabestation beheizt wird. Dadurch entstehen keine Erzeugerverluste im Nahwärmenetz. Die Netzverluste werden derzeit mit unter 10 % von der Energieabnahme der Gebäude geplant. Die Gesamteffizienz der Nahwärme beträgt somit rechnerisch 91 %.

Im Projekt **Biberach** besteht die Nahwärmeversorgung schon im Ausgangszustand. Die Nahwärme wird dort mit Erdgasheizwerken erzeugt. Im Zielzustand werden deutlich mehr Gebäude mit Nahwärme versorgt und die Erzeugung soll umgestellt werden auf ein Biomasse-BHKW und ein Biomasse-Heizwerk mit Einbindung von Solarthermie und verbleibenden Anteilen eines Erdgas-Heizwerks. Die brennstoffabhängige Erzeugung dominiert allerdings weiterhin mit 99 %. Die Erzeugerverluste sind mit 15 % im Ausgangszustand und Zielzustand relativ hoch. Die Gesamteffizienz beträgt 81 % bzw. 82 %.

Bei der geplanten Nahwärmeversorgung des **Campus Braunschweig** kann bisher nur der Zielzustand analysiert werden. Hier wurde berechnet, dass der Brennstoffbedarf (abgedeckt durch Fernwärme und Biogas) zu 89 % bei den Gebäuden ankommen soll. Die Netzverluste sollen 9 % und die Erzeugerverluste 3 % betragen. Als Gesamteffizienz der Nahwärme ergibt sich somit 89 %.

Die Daten der Nahwärme von **Freiburg Weingarten** ergeben im Ausgangs- und im Zielzustand ein ähnliches Bild. Die Menge der benötigten Nahwärme hat sich durch die Gebäudesanierungen von 14.538 MWh/a auf 8.297 MWh/a reduziert, gleichzeitig wird weniger in das Fremdnetz abgegeben (51.757 MWh/a gegenüber 47.973 MWh/a). Zusammen mit einer effizienteren Erzeugung und Verteilung wird damit der Brennstoffbedarf um 18 % verringert. Die Netzverluste betragen 3 % im Ausgangszustand und 2 % im Zielzustand, die Erzeugerverluste 14 % (Ausgangszustand) und 11 % (Zielzustand). Die Gesamteffizienz der Nahwärme ist hier 84 % und soll im Zielzustand auf 87 % gesteigert werden.

In **Karlsruhe Rintheim** konnte in beiden Messjahren der für den Zielzustand geplante Brennstoffbedarf für die Nahwärme unterschritten werden. Das liegt auch daran, dass einige Gebäude in den Messjahren noch nicht an die Nahwärme angeschlossen waren, sondern weiterhin dezentral über Gaskessel beheizt wurden. An der Fernwärmeübergabestation in die Nahwärme ergeben sich keine Erzeugerverluste. Die Netzverluste betragen im Zielzustand 7 % und in den beiden Messjahren 15 % bzw. 13 %. Damit ergibt sich eine Gesamteffizienz des Nahwärmenetzes von 93 % (berechneter Zielzustand), 85 % (Messjahr 1) und 87 % (Messjahr 2).

Beim Nahwärmenetz im Vorhaben in **Landshut** kann der Zielzustand direkt mit den beiden Messjahren verglichen werden, da die Bezugsflächen gleich sind und alle Gebäude wie geplant an die Nahwärme angeschlossen wurden. Beide Messjahre zeigen einen leicht geringeren Brennstoffbedarf, als für den Zielzustand geplant war. Die Unterschreitung beträgt 35 MWh/a (7 %) bzw. 41 MWh/a (8 %). Für den Zielzustand wurden Netzverluste von 11 % berechnet, gemessen wurden danach 9 bzw. 11 %. Als Erzeugerverluste wurden 13 % geplant, gemessen wurden aber in den Messjahren 20 und 17 %. Die Gesamteffizienz der Landshuter Nahwärme beträgt 75 % im Zielzustand, 70 % im Messjahr 1 und 72 % im Messjahr 2.

Nahwärme Biberach

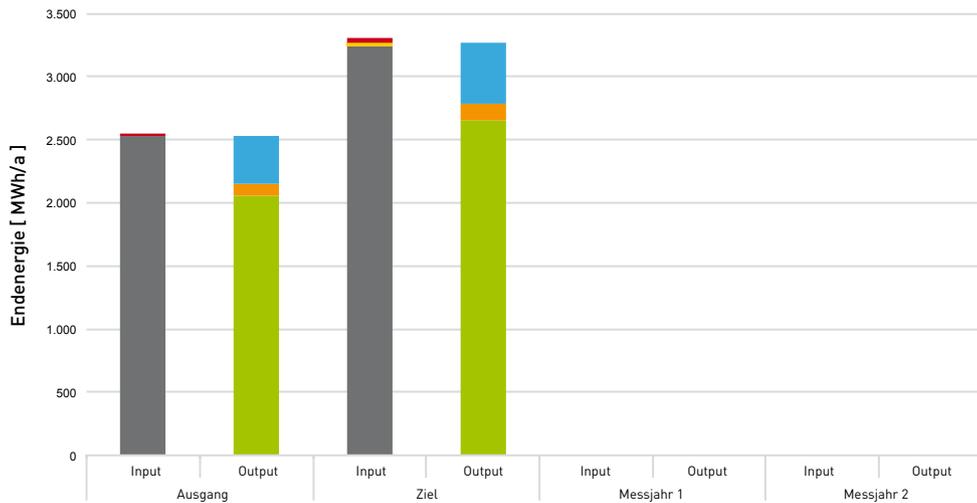


Bild 35: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Biberach

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Braunschweig (Campus)

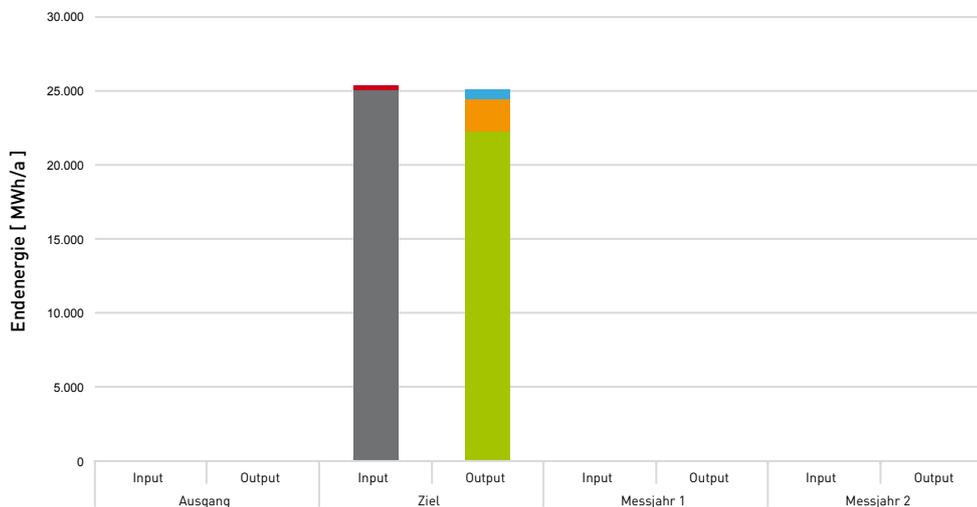


Bild 36: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Campus Braunschweig

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Bild 37: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Freiburg Weingarten

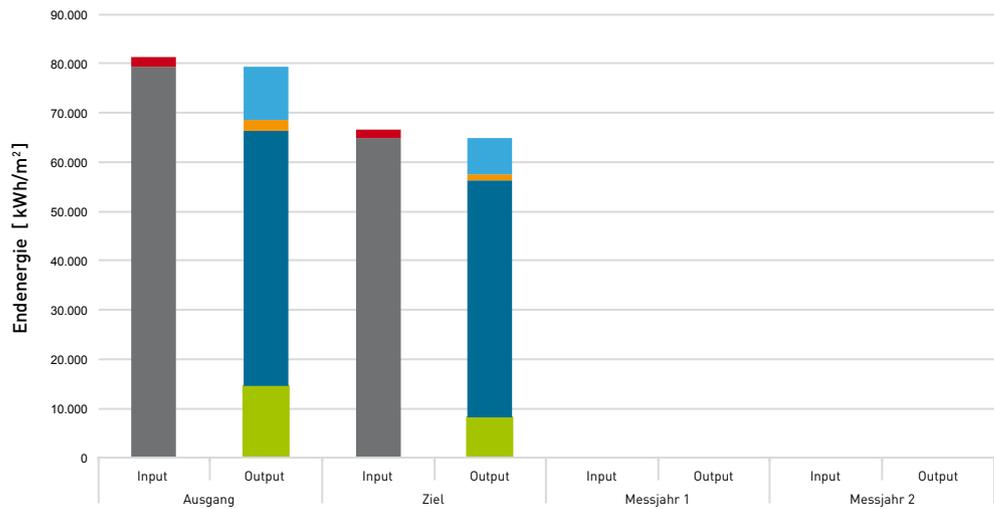
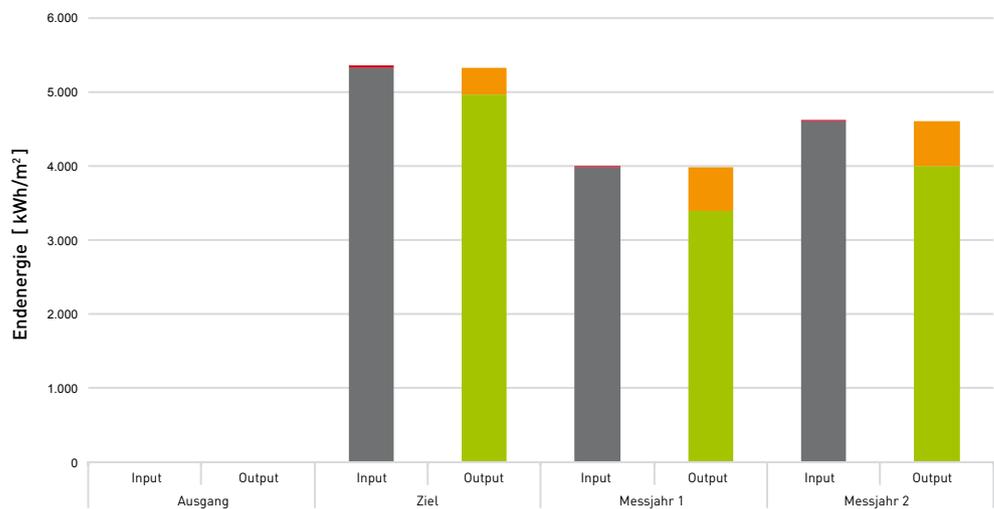


Bild 38: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Karlsruhe Rintheim

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Karlsruhe Rintheim



Nahwärme Landshut

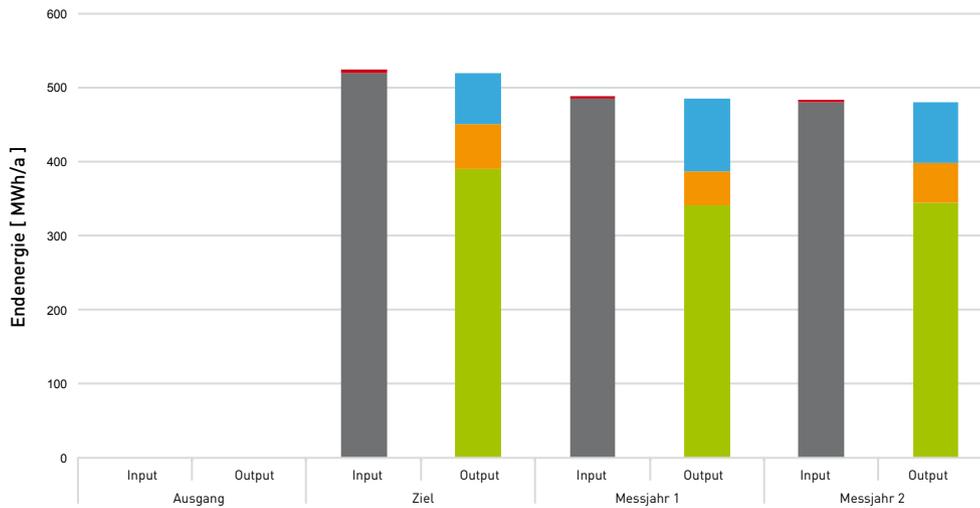


Bild 39: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Landshut

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Lüneburg (Campus)

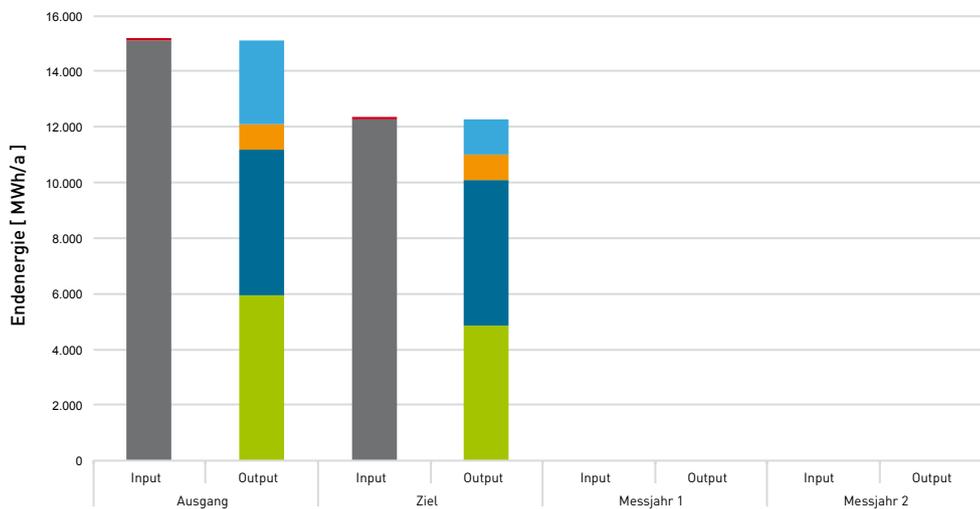


Bild 40: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Campus Lüneburg

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Bild 41: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme München Lilienstraße

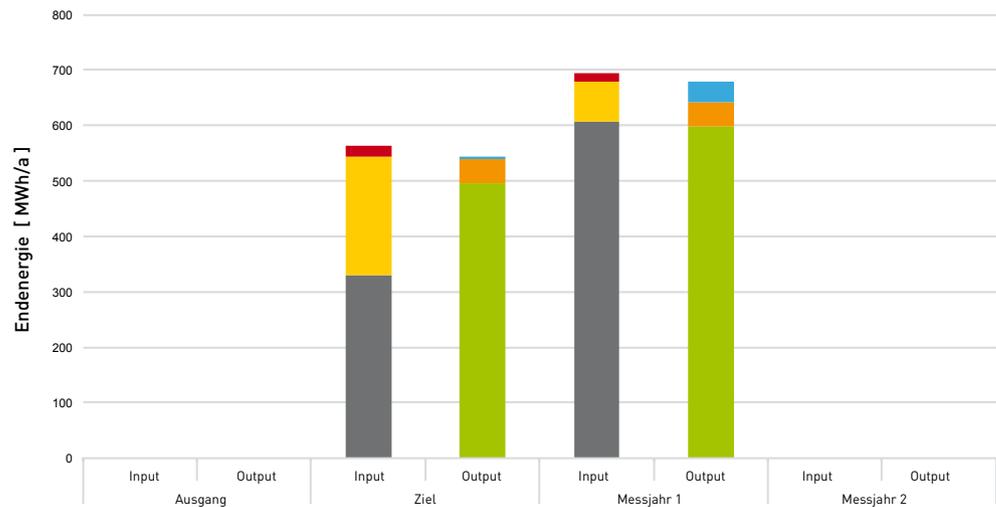
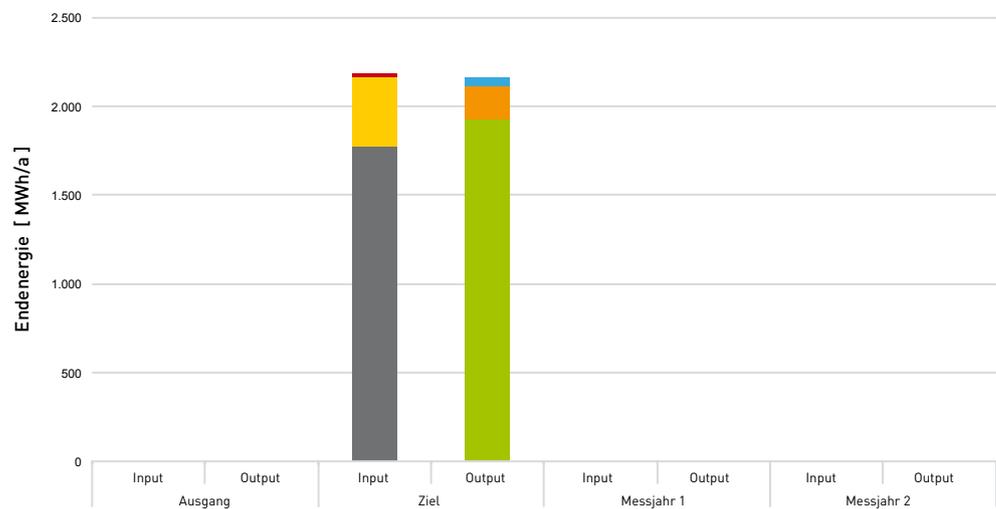


Bild 42: Analyse von Nahwärme-Input und -Output für das Demonstrationsvorhaben Weimar Zöllnerviertel

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärme Weimar



In **Lüneburg** erhöht sich zwischen Ausgangszustand und Zielzustand die Zahl der an die Nahwärme angeschlossenen Gebäude um das neugebaute Zentralgebäude, für das im Ausgangszustand eine dezentrale Versorgung (Referenztechnologien aus der EnEV) angesetzt wurde. Durch die Sanierung von Bestandsgebäuden reduziert sich jedoch der Brennstoffbedarf von 15.092 MWh/a auf geplante 12.261 MWh/a (19 %). Die Abgabe in ein Fremdnetz beträgt in beiden Phasen 5.250 MWh/a. Die Netzverluste wachsen nur leicht an, von 6 % auf 8 %. Es ergeben sich Erzeugerverluste von 20 % im Ausgangszustand und 10 % im Zielzustand. Die Gesamteffizienz der Nahwärme steigt dadurch von 74 % auf 82 %.

In der Aufschlüsselung der Nahwärme für das Projekt **München Lilienstraße** fällt auf, dass sich im Messjahr 1 der Gasverbrauch gegenüber der Planung deutlich erhöht hat und im Gegensatz dazu die Anteile aus der Geothermie geringer sind. Der Grund hierfür ist, dass die Wärmepumpe aufgrund mehrerer Defekte an der Kupplung eine viel geringere Laufzeit hatte als geplant und so die Wärmeversorgung überwiegend durch den Erdgaskessel abgedeckt werden musste. Der Brennstoffbedarf erhöhte sich von 330 MWh/a (59 %) auf 607 MWh/a (88 %). Als Netzverluste wurden 8 % bzw. 6 % berechnet. Hier ist anzumerken, dass die Netzverluste auch im Messjahr 1 auf einer Berechnung beruhen. Da gemäß Planung die Wärmepumpe einen Großteil der Wärmeerzeugung übernimmt, ergeben sich hier sehr geringe Erzeugerverluste von 1 %. Selbst im Messjahr 1 mit der deutlich verminderten Laufzeit der Wärmepumpe beträgt der Erzeugerverlust nur knapp 6 %. Die Gesamteffizienz der Nahwärmeversorgung in München beträgt 151 % im Zielzustand und 99 % im Messjahr 1.

Die geplante Nahwärme im Vorhaben **Weimar Zöllnerviertel** wird neben dem Erdgas-BHKW und dem Erdgasheizwerk durch eine Wärmepumpe erzeugt, die erneuerbare Energien nutzt. Dadurch kann der Erzeugerverlust auf 2 % gesenkt werden. Die Netzverluste sind zu 9 % geplant. Die Gesamteffizienz der Nahwärme beträgt 108 %.

Bild 43 zeigt den Vergleich der **Gesamteffizienz der zehn analysierten Nahwärmeversorgungen**. Die Vorhaben München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel, die beide für den Zielzustand eine Nahwärmeerzeugung mit integrierten Wärmepumpen planen, weisen jeweils eine Gesamteffizienz von über 100 % auf. Das gilt auch für das Projekt in Bad Aibling, das mit einem hohen Anteil von Solarthermie geplant hat. Diese hohe Gesamteffizienz ist allerdings berechnet und konnte in den Fällen von Bad Aibling und München Lilienstraße noch nicht durch Messungen bestätigt werden. Das Zöllnerviertel in Weimar wurde noch nicht messtechnisch analysiert.

Der Mittelwert der Nahwärmegesamteffizienz beträgt für den Ausgangszustand 77 %, für den Zielzustand 97 % und für die beiden Messjahre 82 % bzw. 78 %. Hier ist zu berücksichtigen, dass noch nicht alle zehn Nahwärmeversorgungen gemessen werden. Auch der Ausgangszustand beruht auf nur vier Projekten.

Die Netzverluste der Nahwärmeversorgungen sollen im Folgenden noch genauer analysiert werden, um erste Benchmarks für weitere Projekte zu erhalten. Dazu werden zunächst in Bild 44 die **Netzverluste als Anteil der Energieabnahme durch die Gebäude** im Quartier dar-

Bild 43: Gesamteffizienz der Nahwärme für die hierfür analysierten zehn Demonstrationsprojekte

Gesamteffizienz der Nahwärmeversorgung

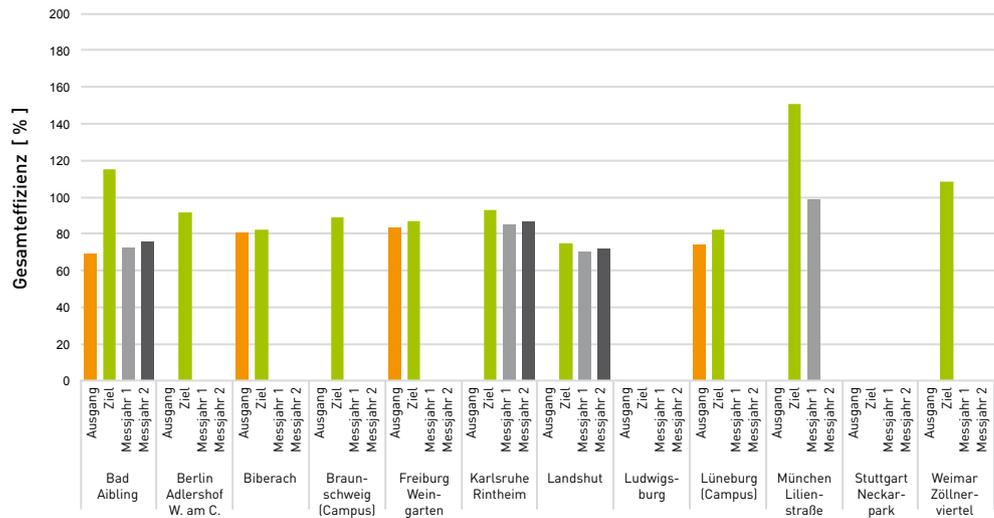
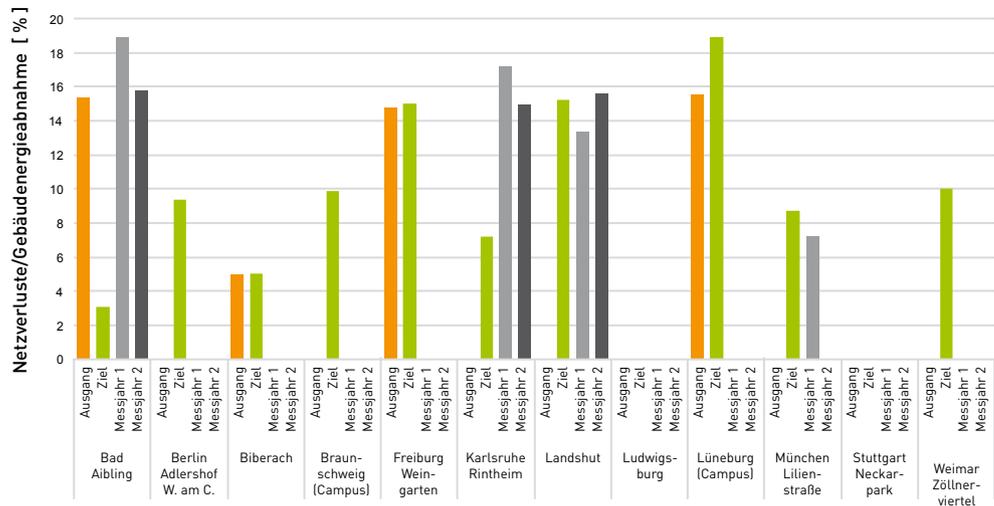


Bild 44: Netzverluste in Relation zur Energieabnahme durch die Gebäude im Quartier

Nahwärmeversorgung: Netzverluste als Anteil der Gebäudeenergieabnahme



gestellt. Die Werte liegen zwischen 3 % und 19 %, mit einem Mittelwert von 13 % im Ausgangszustand, 9 % im Zielzustand, 14 % im Messjahr 1 und 16 % im Messjahr 2. Obwohl auch hier nicht immer alle Projekte in allen Phasen enthalten sind, ist doch auffällig, dass die geplanten geringen Netzverluste (noch) nicht messtechnisch erreicht werden konnten. Als erste Benchmarks können folgende Netzverluste in Abhängigkeit von der Gebäudeenergieabnahme (Summe des Endenergiebedarfs der Gebäude) ermittelt werden:

- für neue Nahwärmenetze oder optimierte Bestandsnahwärmenetze: 12 %
- für Bestandsnetze, die nicht an durchgeführte Sanierungen angepasst werden: 15 %

Die Ermittlung dieser Kennwerte erfolgte auf Basis der in Tabelle 5 zusammengestellten Einordnung der zwölf Demonstrationsvorhaben und entsprechenden Projektphasen.

Tabelle 5: Einordnung der Nahwärmenetze zur Bestimmung von sinnvollen Benchmarks für die Netzverluste

Demonstrationsvorhaben		Netzverlust als Anteil der Gebäudeenergieabnahme [%]		Anmerkung
		Neue oder an die Sanierungen angepasste Nahwärmenetze	Älteres Bestandsnetz, nicht angepasst an die Sanierung	
Bad Aibling	Ausgangszustand	15		Das Netz wurde in den 1990er-Jahren saniert und deshalb als angepasst im Ausgangszustand angesetzt.
	Zielzustand		(3)	
	Messjahr 1		19	
	Messjahr 2		16	
Berlin Adlershof	Zielzustand	9		Neues Netz
Biberach	Ausgangszustand	5		Durch die Nachverdichtung passt das Netz auch im Zielzustand.
	Zielzustand	5		
Braunschweig (Campus)	Zielzustand		10	Das Bestandsnetz ist für mind. 34.000 MWh/a ausgelegt, die sich jetzt auf die geplanten 22.000 MWh/a verringern.
Freiburg Weingarten	Ausgangszustand	15		Das Bestandsnetz ist für mind. 15.000 MWh/a ausgelegt, die sich jetzt auf die geplanten 8.000 MWh/a verringern.
	Zielzustand		15	
Karlsruhe Rintheim	Zielzustand	7		Neues Netz
	Messjahr 1	17		
	Messjahr 2	15		

Demonstrationsvorhaben		Netzverlust als Anteil der Gebäudeenergieabnahme [%]		Anmerkung
		Neue oder an die Sanierungen angepasste Nahwärmenetze	Älteres Bestandsnetz, nicht angepasst an die Sanierung	
Landshut	Zielzustand	15		Neues Netz
	Messjahr 1	13		
	Messjahr 2	16		
Lüneburg Campus	Ausgangszustand	16		Netz aus den 1990er-Jahren. Die Abnahme verringert sich nur von 6.000 MWh/a auf 5.000 MWh/a.
	Zielzustand	19		
München Lilienstraße	Zielzustand	9		Neues Netz
	Messjahr 1	7		
Weimar Zöllnerviertel	Zielzustand	(10)		Neues Netz. Die aus den Eintragungen ins Bilanzierungstool resultierenden Netzverluste waren negativ. Es wurden 10 % Netzverluste angenommen und die erzeugte thermische Energie und die Brennstoffe entsprechend angepasst.
Mittelwert		12	15	

(X): Eingeklammerte Kennwerte werden nicht in die Mittelwertbildung übernommen.

Wenn man die Netzverluste über die Energieabnahme der Gebäude (Bild 45) aufträgt, fällt auf, dass alle gemessenen Kennwerte – d. h. die Messjahre und die gemessenen Ausgangszustände in bereits vorhandenen Nahwärmenetzen – innerhalb eines sehr engen linearen Korridors liegen, eingetragen in Grau. Die gemessenen Kennwerte betragen zwischen 13,4 % (Landshut im Messjahr 2) und 18,9 % (Bad Aibling im Messjahr 1). Die in den Projekten berechneten Zielwerte liegen in den meisten Fällen deutlich darunter mit 3 % (Bad Aibling im Zielzustand), 7,2 % (Karlsruhe im Zielzustand), 7,2 % (München im Messjahr 1, in dem diese Kenngröße nicht gemessen, sondern berechnet wurde), 8,7 % (München im Zielzustand), 9,4 % (Berlin Adlershof im Zielzustand) und 9,9 % (Campus Braunschweig im Zielzustand). Hier sollten ggf. auch in der Planung bereits höhere Werte für die Netzverluste angenommen werden. Allerdings kann nur für Karlsruhe Rintheim belegt werden, dass der Zielwert für die Netzverluste in der Messung deutlich überschritten wurde. Es ist zu beachten, dass in beiden Messjahren noch nicht alle vorgesehenen Gebäude ans Nahwärmenetz angeschlossen waren. Damit war der Auslastungsgrad geringer als geplant. Berlin Adlershof und Campus Braunschweig wurden noch nicht gemessen.

BENCHMARK: Die Netzverluste der gemessenen Nahwärmeversorgungen betragen zwischen 13,4 % und 18,9 % der gesamten Endenergieabnahmen durch die Gebäude. Als Benchmark können also ca. 15 % Netzverluste in Abhängigkeit von der Endenergieabnahme der Gebäude angenommen werden.

In einem Projektleitermeeting innerhalb von EnEff:Stadt wurde diskutiert, ob der Netzverlust in Abhängigkeit von der Nahwärmeabnahme der Gebäude der richtige Kennwert zur Abschätzung von Netzverlusten ist. Deshalb wird im Folgenden zusätzlich der **Netzverlust je laufendem Meter Netzlänge bzw. Trassenlänge** analysiert. Als Netzlänge wird hier die Länge aller Rohre (Vor- und Rücklauf) im Nahwärmenetz des Quartiers angesetzt. Diese Angabe liegt für sechs der Demonstrationsvorhaben vor. Bild 46 enthält die vergleichende Darstellung der Netzverluste je Netzlängenmeter. Alle bekannten Netzlängen werden in Zwei-Rohr-Trassen eingesetzt, mit Ausnahme des Vorhabens München Lilienstraße. Hier liegen wegen der getrennten Führung von Heizwasser und Warmwasser vier Rohre in der Trasse.

Der Mittelwert der Netzverluste liegt im Ausgangszustand bei $279 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$, im Zielzustand bei $114 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$ und in den Messjahren bei $116 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$ bzw. $115 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$. Teilt man die Nahwärmenetze auch hier den zwei Bereichen „neu/optimiert“ bzw. „älter/nicht

Nahwärmeversorgung: Netzverluste über Energieabnahme Gebäude

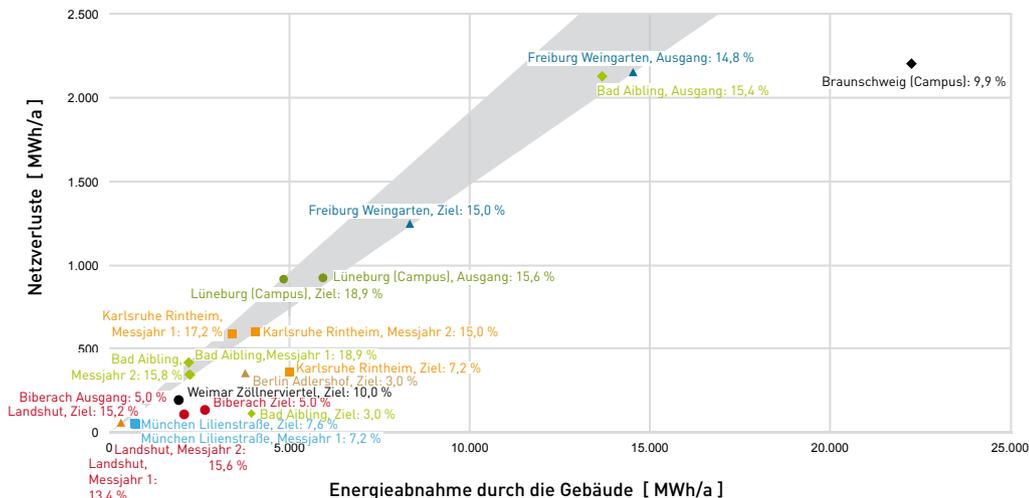


Bild 45: Netzverluste, aufgetragen über der Endenergieabnahme der Gebäude mit Angabe der Abhängigkeit in Prozent

Bild 46: Netzverluste in Relation zur Netzlänge für fünf Demonstrationsvorhaben

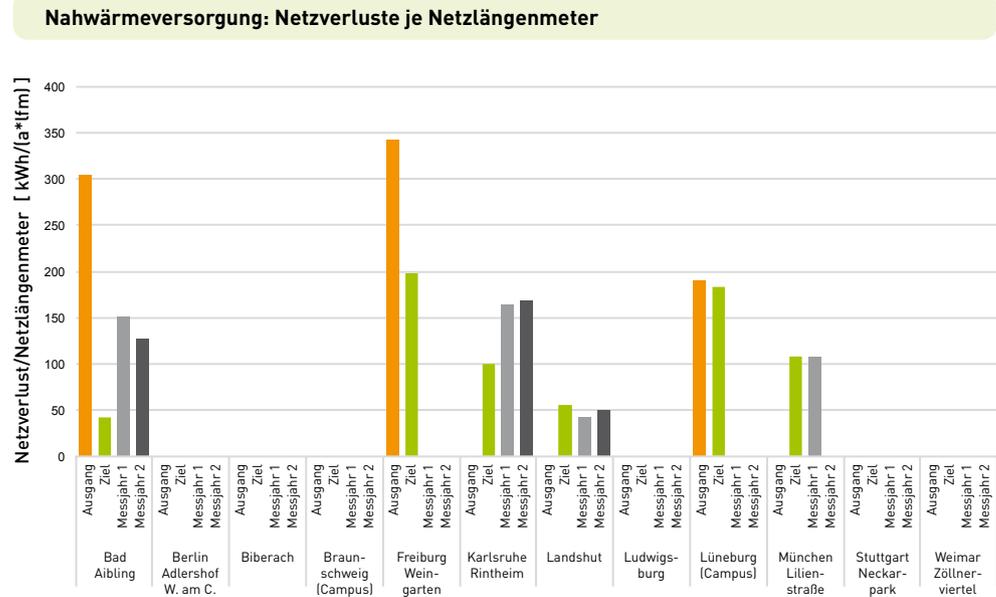
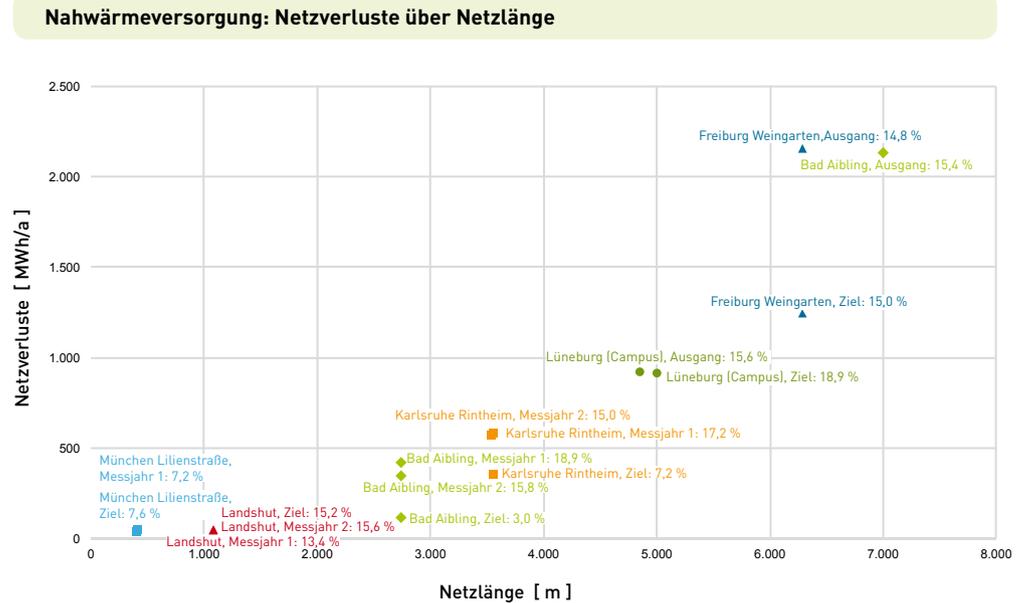


Bild 47: Netzverluste, aufgetragen über der Netzlänge. Die Prozentzahlen geben zum Vergleich die Netzverluste als Anteil der Gebäudeenergieabnahme an.



angepasst“ zu, so ergeben sich für die beiden Bereiche nahezu gleiche Mittelwerte mit $151 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$ bzw. $159 \text{ kWh/a} \cdot \text{m}_{\text{Netz}}$. Eine Unterteilung ist also anscheinend bei diesen Kennwerten nicht zielführend. Allerdings ist die Anzahl der zugeordneten Kennwerte für die älteren/nicht optimierten Nahwärmenetze mit drei sehr gering und basiert ausschließlich auf den Projekten Bad Aibling und Freiburg Weingarten. Deshalb sollten die Werte nicht als Benchmarks verwendet, sondern noch anhand weiterer Projekte und Auswertungen überprüft werden.

Bild 47 zeigt, dass sich die über der Netzlänge aufgetragenen Netzverluste zwischen zwei relativ dicht beieinanderliegenden Kurven befinden. Allerdings wäre es eher zu erwarten gewesen, dass sie sich nahezu auf einer Linie befinden, aus der man dann eine lineare Abhängigkeit von Netzverlust und Netzlänge erkennen kann. Zusammen mit der Netzlänge haben noch andere Größen Einfluss, z. B. die Dämmqualität der Fernwärmetrasse, der Rohrdurchmesser und die Temperatur im Fernwärmenetz. Die bisher analysierten Kennwerte lassen noch keinen Benchmark für den Netzverlust je Netzlänge zu.

4.6 Querauswertung des Anteils der erneuerbaren Energien

Dieses Kapitel analysiert die in den Demonstrationsvorhaben eingesetzten erneuerbaren Energien auf Gebäudeebene und im Gesamtquartier. Korrekterweise sollte das über den Vergleich des erneuerbaren Anteils der Primärenergie mit der gesamten Primärenergie (nicht erneuerbar plus erneuerbar) geschehen. Das MS-Excel-Bilanzierungstool wirft derzeit jedoch nur die nicht erneuerbare Primärenergie als Ergebnis aus, die auch allgemein bei der primärenergetischen Bewertung von Gebäuden in Deutschland als Kenngröße verwendet wird, so z. B. in der EnEV.

Deshalb wurde für jeden eingesetzten Energieträger ein erneuerbarer Energieanteil entsprechend dem Verhältnis

$$\frac{\text{[gesamter Primärenergiefaktor – nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor]}}{\text{gesamter Primärenergiefaktor}}$$

ermittelt. Die Primärenergiefaktoren je Energieträger wurden aus der DIN V 18599-1 Tabelle A.1 entnommen. Vereinfachend wurden hier für den Strom die aktuellen Primärenergiefaktoren aus dem Jahr 2011 für alle bewerteten Jahre angenommen. Bei der primärenergetischen Bilanz in Kapitel 4.7 wurde hingegen der dem Betrachtungsjahr entsprechende nicht erneuerbare Primärenergiefaktor einbezogen.

Der erneuerbare Anteil der Nahwärme wurde entsprechend den zur Erzeugung eingesetzten Energieträgern plus dem erforderlichen Stromeinsatz ermittelt. Für die eingesetzten Fernwärmemengen lagen leider keine Angaben zum erneuerbaren Energieanteil vor, lediglich zum nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor. Deshalb wurde der erneuerbare Energieanteil

unter Zuhilfenahme der minimalen (0) und maximalen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktoren (1,3) linear geschätzt:

erneuerbarer Energieanteil der Fernwärme X =

$$= 100 \% - \frac{\text{nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor der Fernwärme X}}{1,3} * 100 \%$$

Ähnliches gilt für die beiden Nahwärmeversorgungen in Ludwigsburg und Stuttgart Neckarpark, die in den Bilanzierungstools derzeit über einen berechneten nicht erneuerbaren (Fernwärme-)Primärenergiefaktor abgebildet werden. Damit ergeben sich die in Tabelle 6 eingetragenen erneuerbaren Energieanteile.

Tabelle 6: Ermittlung der erneuerbaren Energieanteile je eingesetztem Energieträger für die Querauswertung der Demonstrationsvorhaben

Energieträger	Gesamter Primärenergiefaktor	Nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor	Erneuerbarer Energieanteil
Erdgas	1,1	1,1	0 %
Heizöl	1,1	1,1	0 %
Strom	2,8	2,4	14 %
Biomasse	1,2	0,2	83 %
Biogas	1,5	0,5	67 %
Solarthermie	1,0	0,0	100 %
Geothermie	1,0	0,0	100 %
Umweltenergie	1,0	0,0	100 %
Fernwärme Berlin Adlershof	- *	0,24	82 %
Fernwärme Braunschweig (Campus)	- *	0,54	58 %
Fernwärme Karlsruhe Rintheim	- *	0,456	65 %
Nahwärme Ludwigsburg	- *	0,68	48 %
Nahwärme Stuttgart Neckarpark	- *	0,64	51 %

*: Zum Zeitpunkt der Querauswertung unbekannt

Achtung: Die Abschätzung der erneuerbaren Energieanteile der jeweils eingesetzten Fernwärme und der Nahwärme, die nur über nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren abgebildet wurden, sollte in der nächsten Phase der energetischen Querauswertung ersetzt werden durch einen beim jeweiligen Wärmeversorger (Nahwärmeversorger) abgefragten Kennwert

für die erneuerbaren Energieanteile. Niedrige nicht erneuerbare Primärenergiefaktoren in der Fernwärme können generell auf zwei Wegen erreicht werden:

1. Über den Einsatz von erneuerbaren Energieträgern, die im Heizwerk oder Heizkraftwerk verbrannt werden, z. B. Müll, Biomasse etc. Ggf. kann zusätzlich auch solare oder geothermische Energie sowie Abwärme genutzt werden.
2. Über einen (hohen) Anteil von Kraft-Wärme-Kopplung, auch bei Verbrennung von fossilen Energieträgern wie Erdgas.

Ein Beispiel: Die Nahwärme in Karlsruhe hat einen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor zwischen 0,50 im Zielzustand und 0,55 im Messjahr 1. Sie wird aus Fernwärme mit einem zertifizierten nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,456 gespeist. Gemäß Abschätzung enthält sie einen Anteil von 65 % erneuerbarer Energien. Die Nahwärme in Freiburg Weingarten besteht aus Erdgas-BHKW und einem Erdgas-Heizwerk und hat deshalb einen erneuerbaren Energieanteil von 0 %; ihr nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor liegt zwischen 0,20 (Zielzustand) und 0,59 (Ausgangszustand). Wäre ihre Zusammensetzung nicht definiert und nur der Primärenergiefaktor angegeben worden, hätte die Abschätzung einen erneuerbaren Anteil von 85 % für den Zielzustand und 55 % für den Ausgangszustand ergeben. Leider lagen die erneuerbaren Anteile der in Tabelle 6 aufgelisteten Fern- und Nahwärmeversorgungen zum Zeitpunkt der Querauswertung nicht vor.

Strom aus Photovoltaik ist zu 100 % erneuerbar. Der erneuerbare Anteil des Stroms aus BHKW wird aus den erneuerbaren Anteilen der dafür eingesetzten Energieträger ermittelt. Die Energiemengen der Geothermie bzw. Umweltenergie in den dezentralen Wärmepumpen von Karlsruhe Rintheim und Landshut wurden aus dem Strombedarf der Wärmepumpe berechnet, wobei eine Jahresarbeitszahl von 3 zugrunde gelegt wurde.

Analysiert man auf dieser Basis die Energieversorgung an der Gebäudekante, erhält man für die Wärmeversorgung die erneuerbaren Energieanteile gemäß Bild 48 und für die Stromversorgung die erneuerbaren Anteile gemäß Bild 49. Dabei wird wärmeseitig der Export von Nahwärme in ein Fremdnetz noch nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt ist stromseitig der Export von erneuerbar oder über ein zentrales BHKW erzeugtem Strom.

Die **erneuerbaren Anteile an der Wärmeversorgung der Gebäude** betragen zwischen 0 % (z. B. Bad Aibling Ausgangszustand, Freiburg Weingarten Ausgangs- und Zielzustand, Lüneburg Ausgangszustand, München Ausgangszustand und Weimar Ausgangszustand) und 83 % (Berlin Adlershof mit einer Nahwärmeversorgung mit hohen erneuerbaren Energieanteilen und einem Gebäude mit dezentraler Wärmeversorgung mit hohen solarthermischen Anteilen). Der Mittelwert für alle Demonstrationsvorhaben im Ausgangszustand beträgt 10 %, im Zielzustand 51 % und in den Messjahren 1 und 2 27 % bzw. 41 %.

Bild 48: Erneuerbarer Anteil der Endenergie Wärme an der Gebäudekante

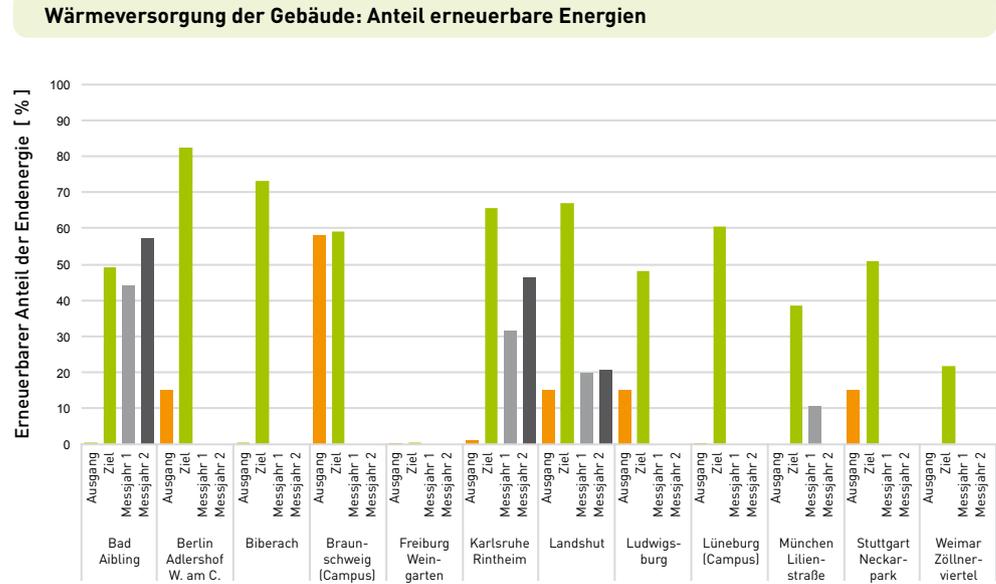
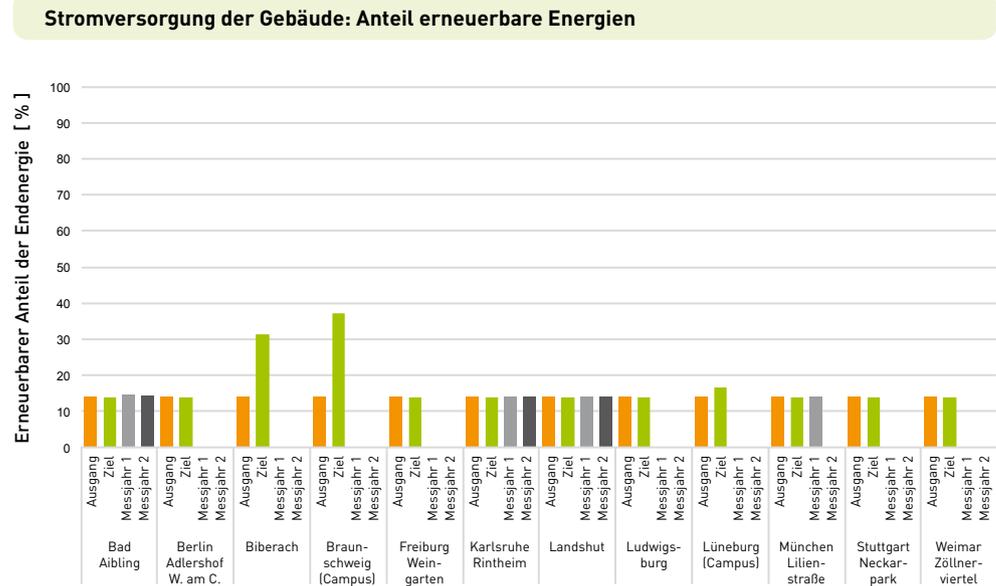


Bild 49: Erneuerbarer Anteil des Stroms an der Gebäudekante



Über 50 % erneuerbarer Energieanteil an der Wärmeversorgung der Gebäude sind für verschiedene Demonstrationsprojekte als Zielzustand geplant: Dies sind neben Berlin Adlershof Biberach (Nahwärmeerzeugung mehrheitlich aus Biomasse mit solaren Beiträgen), Braunschweig (Nahwärmeversorgung aus Fernwärme mit hohen erneuerbaren Energieanteilen und zwei Biomasse-BHKW), Karlsruhe-Rintheim (Nahwärmeversorgung aus Fernwärme mit geschätzten hohen erneuerbaren Energieanteilen), Landshut (dezentrale Erdreichwärmepumpen und Nahwärme aus Biogas inklusive BHKW), Campus Lüneburg (Nahwärme teilweise aus einem Biogas-BHKW) und Stuttgarter Neckarpark (Nahwärme mehrheitlich aus einer Abwasserwärmepumpe). In Bad Aibling (Nahwärmeversorgung mit hohen solarthermischen Beiträgen) wurde ein erneuerbarer Anteil an der Wärmeversorgung von mehr als 50 % im Messjahr 1 bereits nachgewiesen. Die Fernwärme des Campus Braunschweig erreicht auf Grundlage der Abschätzung bereits im Ausgangszustand einen erneuerbaren Anteil von über 50 %.

Bild 49 zeigt, dass nur wenige Demonstrationsvorhaben deutlich höhere **Anteile erneuerbarer Energie an der Stromversorgung an der Gebäudekante** aufweisen als die 14 % aus dem allgemeinen Stromnetz. Dies kann nur durch selbst genutzten BHKW-Strom unter Einsatz erneuerbarer Energien (Biberach und Braunschweig, jeweils Zielzustand) oder zentral erzeugten und selbst genutzten photovoltaischen Strom (Lüneburg Zielzustand) erreicht werden. Zwei Vorhaben beinhalten dezentrale Photovoltaikanlagen, deren Strom von den jeweiligen Häusern selbst genutzt wird (Bad Aibling in beiden Messjahren und Braunschweig im Zielzustand). In Bad Aibling ist dieser Beitrag allerdings gering. Der höchste erneuerbare Anteil der Stromversorgung an der Gebäudekante zeigt sich mit 37 % im Projekt Braunschweig im Zielzustand. Es ergeben sich Mittelwerte über alle Demonstrationsvorhaben von 14 % für den Ausgangszustand, 18 % für den Zielzustand und wieder 14 % für die beiden Messjahre.

Multipliziert man die Endenergie Wärme an der Gebäudekante mit dem erneuerbaren Anteil und addiert den Strombedarf bzw. -verbrauch an der Gebäudekante multipliziert mit dem entsprechenden erneuerbaren Anteil hinzu, so erhält man nach Division mit dem gesamten Endenergiebedarf bzw. -verbrauch den **Gesamtanteil erneuerbarer Energien an der Gebäudekante**, der in Bild 50 dargestellt ist. Dieser Kennwert liegt zwischen 1 % und 60 % (Landshut, Zielzustand). Der Mittelwert für den Ausgangszustand über alle Projekte beträgt 9 %, für den Zielzustand 38 % und für die Messjahre 1 und 2 7 % bzw. 8 %.

Auf Quartiersebene wird, wie bereits angeführt, auch der Export von Nahwärme in ein Fremdnetz berücksichtigt sowie stromseitig der Export von erneuerbar oder über ein zentrales BHKW erzeugtem Strom in das allgemeine Stromnetz. Dadurch ergeben sich teilweise höhere Anteile von erneuerbaren Energien, wie die Bilder 51 bis 53 zeigen.

Der höchste **erneuerbare Anteil der Wärmeversorgung auf Quartiersebene** soll mit 82 % im Zielzustand des Projekts Berlin Adlershof erreicht werden. Die Verhältnisse der erneuerbaren Energieanteile an der Wärmeerzeugung können sich zwischen Gebäudekante und in der Quartierbetrachtung etwas verschieben, da auf Gebäudekante mit der Nahwärmeabnah-

Bild 50: Erneuerbarer Anteil an der Summe der Wärme- und Stromversorgung an der Gebäudekante

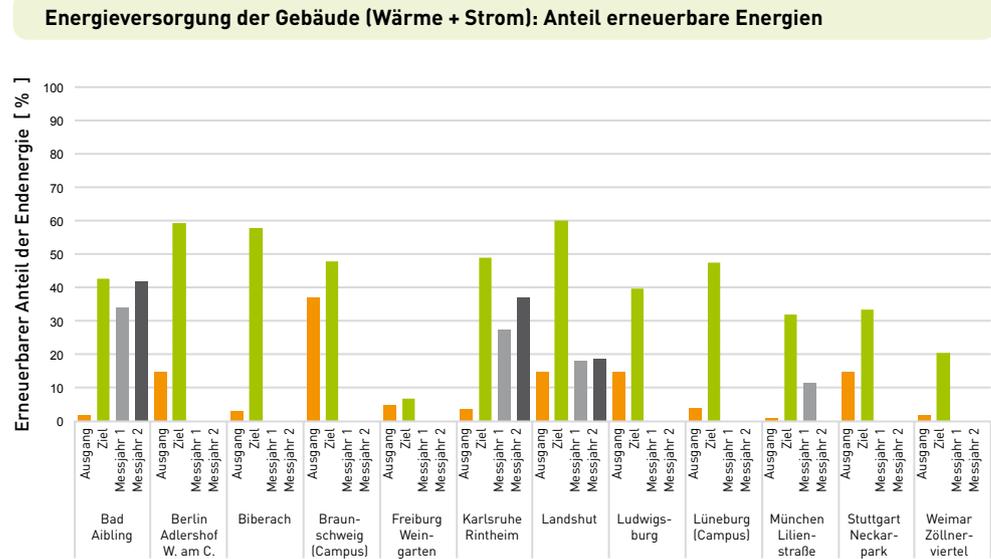
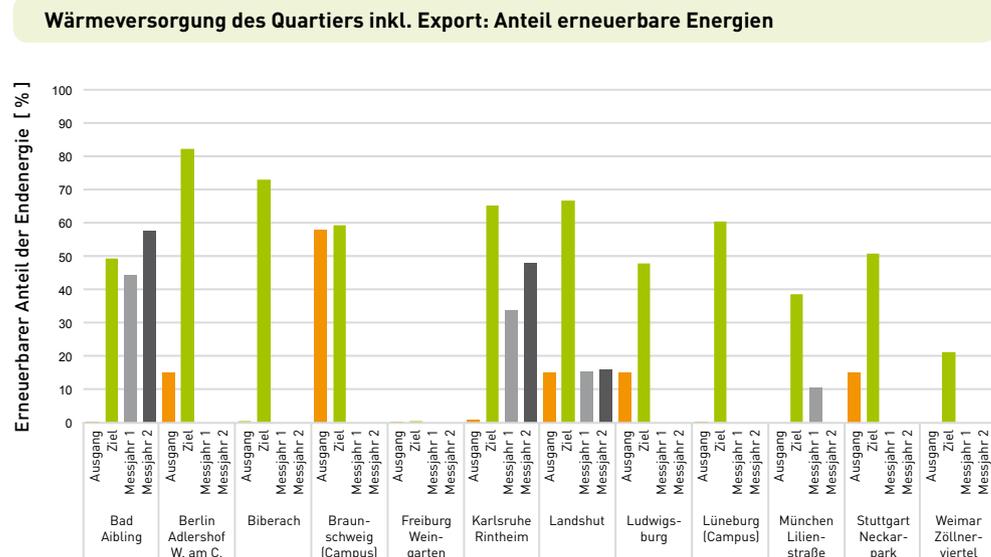


Bild 51: Erneuerbarer Anteil an der Wärmeversorgung auf Quartiersebene



me der Gebäude gerechnet wird und im Quartier mit dem gesamten Energie-Input in die Nahwärme, also inklusive Verlusten und des möglichen Exports. Die Verschiebung begründet sich dann in einem unterschiedlichen erneuerbaren Energieanteil zwischen zentralen und dezentralen Versorgungen innerhalb eines Gebiets. Wird für das Quartier eine höhere Menge der zentralen Versorgung angerechnet (also jetzt mit Export an ein Fremdnetz), erhöht oder verringert sich der erneuerbare Energieanteil. Da die einzigen Nahwärmenetze mit Export allerdings Quartiere versorgen, bei denen (fast) keine dezentrale Wärmeversorgung vorliegt, gibt es kaum Veränderungen gegenüber der Bilanzierung an der Gebäudekante. Die Ausnahme ist das Projekt Bad Aibling, bei dem der erneuerbare Anteil in den beiden Messjahren jeweils geringfügig (um weniger als 1 %) erhöht wird. Die Mittelwerte des erneuerbaren Anteils der Wärmeversorgung auf Quartiersebene für alle Demonstrationsvorhaben betragen wie an der Gebäudekante im Ausgangszustand 10 %, im Zielzustand 51 %, im Messjahr 1 nun 26 % und im Messjahr 2 nun 40 %.

Stromseitig ergeben sich für viele Vorhaben deutlich höhere erneuerbare Anteile auf Quartiersebene als an der Gebäudekante. Das liegt daran, dass auf Quartiersebene Stromeinspeisungen aus erneuerbaren Energien in das allgemeine Stromnetz sowie auch selbst erzeugter und selbst genutzter Strom aus erneuerbaren Energien angerechnet werden. So erkennt man in Bild 52 sechs Vorhaben mit einem mehr als 14 %igen erneuerbaren Energieanteil (höher als der Vergleichswert aus dem allgemeinen Stromnetz). An der Gebäudekante (Bild 49) sind es nur vier Vorhaben. Den höchsten Wert des **erneuerbaren Stromanteils im Quartier** strebt das Projekt Bad Aibling für den Zielzustand mit 70 % an. Gemessen wurden in Bad Aibling 52 % bzw. 54 % und in Landshut 37 % bzw. 35 %. Der entsprechende Zielwert war in beiden Vorhaben höher. Der Mittelwert für den Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung auf Quartiersebene beträgt im Zielzustand 33 %. Interessant ist auch, dass es mit Freiburg Weingarten und Campus Lüneburg zwei Vorhaben gibt, die im Ausgangszustand (Freiburg auch im Zielzustand) deutlich geringere Anteile erneuerbarer Energien an der Stromversorgung des Quartiers aufweisen als die 14 % des allgemeinen Stromnetzes. Hier werden große Stromanteile in zentralen BHKW erzeugt, die mit fossilen Energieträgern (Erdgas) betrieben werden und ins allgemeine Stromnetz einspeisen. Diese Anteile senken den erneuerbaren Energieanteil gegenüber einer reinen Stromversorgung aus dem Stromnetz ab.

Der **Anteil erneuerbarer Energien an der Summe der Wärme- und Stromversorgung auf Quartiersebene**, wie in Bild 53 dargestellt, wird berechnet, indem die erneuerbaren Anteile an der Strom- und Wärmeversorgung mit den gesamten Strom- und Wärmemengen im Quartier multipliziert und dann durch die Gesamtenergie Wärme und Strom geteilt werden. Auch hier sind die Anteile meist etwas höher als an der Gebäudekante. Den mit 67 % höchsten angestrebten erneuerbaren Anteil auf der Quartiersebene weist das Projekt Landshut auf, gefolgt von Biberach und Lüneburg mit 60 % (alle im Zielzustand). Der Mittelwert des angestrebten Anteils erneuerbarer Energien in den Quartieren beträgt 45 %. Bad Aibling erreicht im Messjahr 2 mit 56,2 % sogar einen leicht höheren gemessenen erneuerbaren Anteil als für den Zielzustand geplant (55,6 %).

Bild 52: Erneuerbarer Anteil an der Stromversorgung auf Quartiersebene

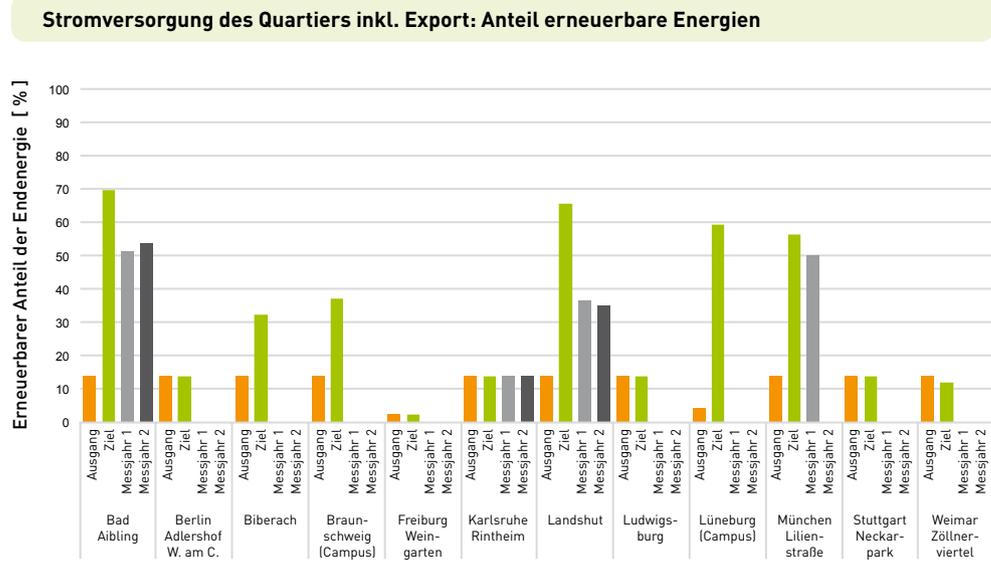
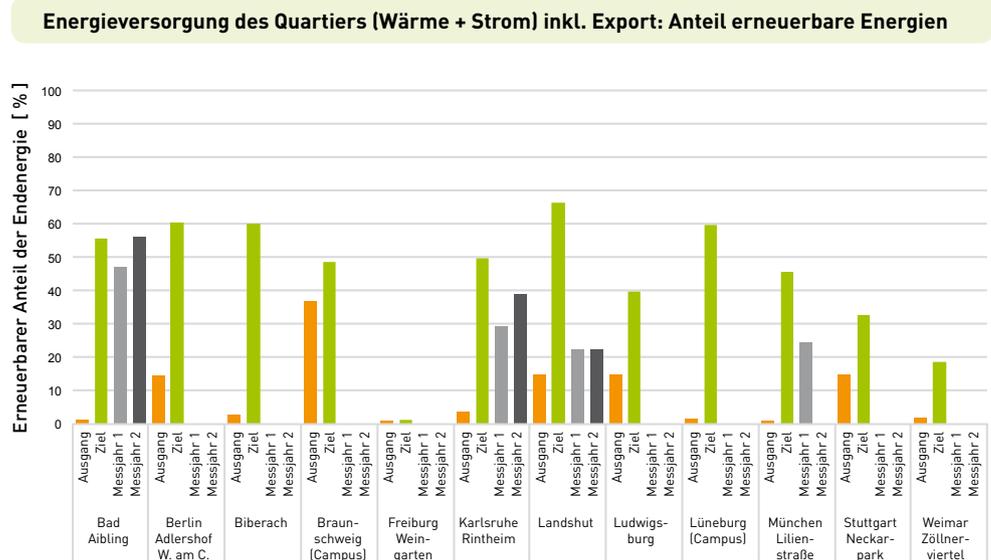


Bild 53: Erneuerbarer Anteil an der Summe der Wärme- und Stromversorgung auf Quartiersebene



Da für beide Vorhaben, in denen Kälteversorgungen geplant sind (Campus Lüneburg und Stuttgart Neckarpark), die technische Erzeugung noch nicht festgelegt wurde (bei beiden wurde die Kälte im Zielzustand über Fernkälte mit einem Primärenergiefaktor abgebildet), ist die Auswertung des erneuerbaren Anteils an der Kälteversorgung derzeit nicht möglich. Die Kälte wurde deshalb aus der Ermittlung des erneuerbaren Anteils an der Gesamtenergieversorgung herausgenommen. Wie bereits angemerkt, ist der Kältebedarf im Vergleich zum Wärme- und Strombedarf der beiden Projekte aber sehr gering.

4.7 Querauswertung der Primärenergie der Quartiere

Die Reduzierung des Primärenergieverbrauchs der Quartiere ist ein exakt quantifiziertes Ziel im Förderkonzept EnEff:Stadt. Hier heißt es unter den **Auswahlkriterien für innovative Pilot- und Demonstrationsvorhaben** u. a.: „Erfüllung der Anforderungen an die Primärenergieeffizienz (Reduzierung um mehr als 30 %)“. In diesem Kapitel wird neben der Analyse, welche primärenergetischen Zielwerte mit welchen Startbedingungen und Lösungsansätzen möglich sind, auch geprüft, ob die Vorhaben das vorgegebene primärenergetische Ziel des Förderkonzepts einhalten oder zumindest gemäß Zielzustand erreichen können.

Bild 54 stellt die Primärenergiebedarfs- bzw. -verbrauchswerte der zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben dar. Dabei sind „Gutschriften“ für ins allgemeine Stromnetz ein-

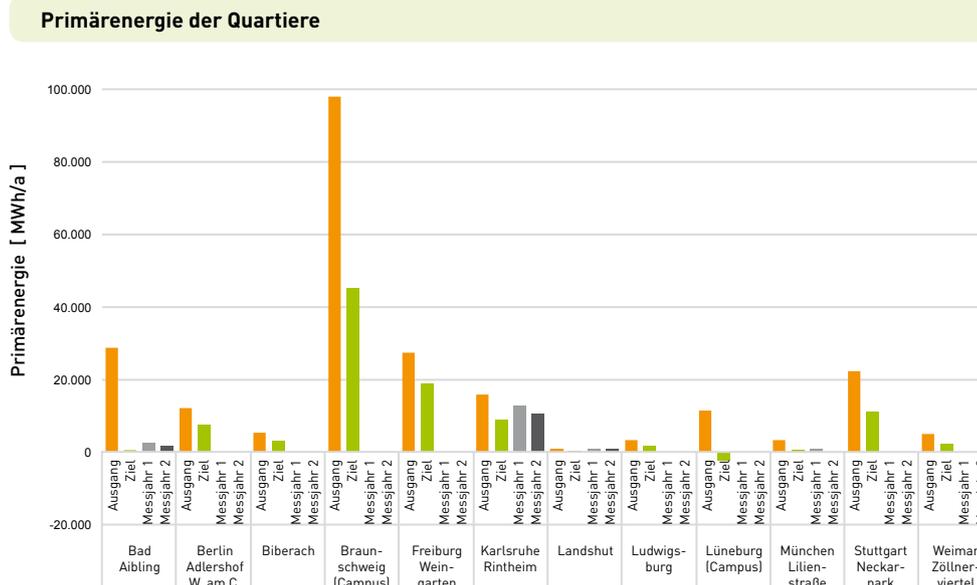


Bild 54: Primärenergieverbrauchs- und -bedarfswerte der zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben

gespeiste Strommengen berücksichtigt, die mithilfe erneuerbarer Energiesysteme (PV, ggf. auch Windenergie) erzeugt werden. Der Primärenergiefaktor der jeweiligen Nahwärme, der in wenigen Fällen sogar negative Werte erreicht (z. B. mit erneuerbaren Energieanteilen und Kraft-Wärme-Kopplung), wird gemäß DIN V 18599 berechnet und eingesetzt, wie in Kapitel 2.5 detailliert beschrieben ist. Auch die Kälteanteile in den Projekten Campus Lüneburg und Stuttgart Neckarpark sind in der Auswertung enthalten.

Die Absolutzahlen der Primärenergiekennwerte zeigen einmal mehr, wie unterschiedlich groß die zwölf Quartiere sind. Während der Ausgangszustand des Campus Braunschweig einen Primärenergieverbrauch von 97.724 MWh/a aufweist, sind es bei einem kleineren Quartier wie der Münchener Lilienstraße nur 3.106 MWh/a. Bei Neubauquartieren wird der Ausgangszustand als Referenzanforderung aus der EnEV abgebildet und erreicht z. B. für Landshut 866 MWh/a. Die Summe des Primärenergieverbrauchs im Ausgangszustand über alle zwölf Vorhaben beträgt 232.915 MWh/a. Die primärenergetischen Aufwände im Zielzustand sind jeweils deutlich geringer und liegen zwischen -2.221 MWh/a (Campus Lüneburg) und 45.010 MWh/a (Campus Braunschweig). Die Summe des berechneten Primärenergiebedarfs im Zielzustand für alle zwölf Vorhaben beläuft sich auf 96.271 MWh/a. Damit sollen in den bisher ausgewerteten Projekten insgesamt 136.644 MWh/a eingespart werden, das ist ein Anteil von 59 %. Über alle Projekte hinweg wird das angestrebte Ziel von 30 % Primärenergieeinsparung zumindest in der Planung weit übertroffen. Die vier bisher gemessenen Projekte zeigen aber auch, dass die angestrebten Ziele meist nicht ganz erreicht werden konnten. Eine genauere Analyse soll im Weiteren auf Basis der (wohn-/nettogrund-)flächenbezogenen Primärenergiekennwerte aus Bild 55 erfolgen.

Flächenbezogen weist unter den zwölf Demonstrationsvorhaben Bad Aibling den mit 517 kWh/m²a höchsten **Primärenergieverbrauch** im Ausgangszustand auf. 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 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 %. Da in die Mittelwertberechnung alle Vorhaben zu gleichen Teilen eingehen, ergibt sich hier eine andere prozentuale Einsparung als bei der Reduzierung der nicht auf die Fläche bezogenen Primärenergie. 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, wie Bild 56 zeigt.

Basierend auf Messungen wurden bisher flächenbezogene primärenergetische Einsparungen von 80 % bzw. 89 % in Bad Aibling, 19 % bzw. 33 % in Karlsruhe, 6 % bzw. 11 % in Landshut und 80 % im Projekt München Lilienstraße ermittelt. Im Projekt Landshut ist der Grund für die weitaus geringeren primärenergetischen Einsparungen im Vergleich zur Planung (Zielzustand)

Primärenergie der Quartiere

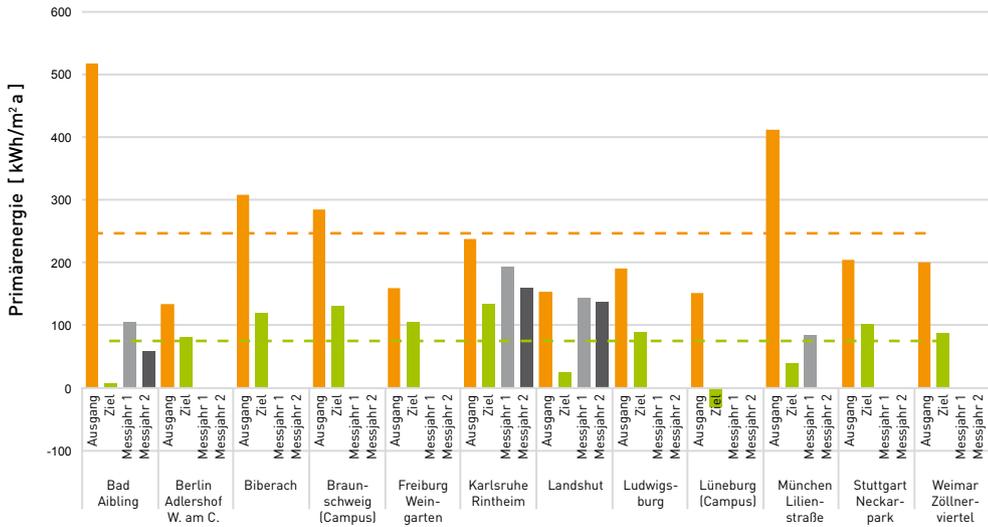


Bild 55: Flächenbezogene Primärenergieverbrauchs- und -bedarfswerte der zwölf ausgewerteten Demonstrationvorhaben
 - - Mittelwert Ausgang
 - - Mittelwert Ziel

Primärenergieeinsparung im Quartier

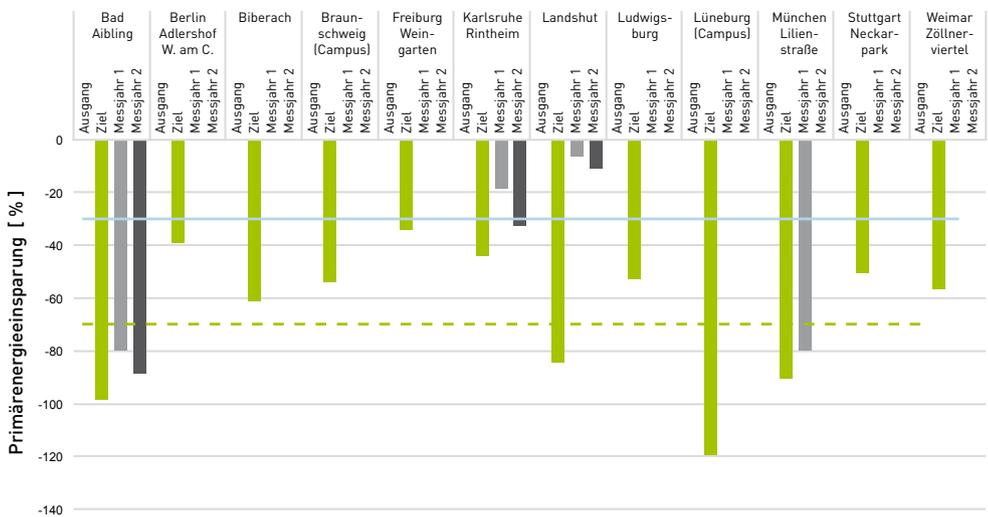


Bild 56: Relative Primärenergieeinsparungen, basierend auf den flächenbezogenen Primärenergieverbrauchs- bzw. -bedarfswerten im Vergleich zum Zielwert des Förderkonzepts EnEff:Stadt
 - - Zielwert Förderkonzept
 - - Mittelwert Ziel

vor allem, dass nicht das geplante Biogas in der Nahwärmeerzeugung eingesetzt wurde, sondern gewöhnliches Erdgas. Dies wird in Kapitel 4.11.8 nochmals gesondert analysiert. Die drei anderen bereits gemessenen Projekte erreichen spätestens im Messjahr 2 eine 30%ige Primärenergieeinsparung, können aber die geplanten höheren Einsparungen nicht ganz erreichen.

Aufgrund der stark unterschiedlichen primärenergetischen Ausgangs- und Zielwerte ist es schwierig, allgemeingültige Benchmarks für die möglichen Primärenergieeinsparungen und Zielwerte des Primärenergiebedarfs zu ermitteln. Eine 30%ige Primärenergieeinsparung wird jedoch von allen Projekten angestrebt, und mit einer mittleren geplanten Primärenergieeinsparung von 70 % könnte der Zielwert von 30 % aus dem Förderkonzept ggf. sogar weiter angehoben werden. Bei einer Verschärfung des Zielwerts auf 40 % Primärenergieeinsparung würde ein Projekt (Freiburg Weingarten) das Ziel nicht mehr einhalten, bei einem Zielwert von 50 % wären es zwei Projekte (Freiburg Weingarten und Karlsruhe Rintheim). Allerdings müssen die meisten Projekte in den Messjahren erst noch nachweisen, dass die geplanten Primärenergieeinsparungen eingehalten werden können. Wenn ein verschärftes Förderkriterium bereits vor Beantragung der Projekte bekannt gewesen wäre, hätten die beiden Projekte vermutlich ihre Energiekonzepte angepasst, um dieses Ziel zu erreichen, ggf. mit höheren Investitionskosten.

BENCHMARK: Die angestrebte Primärenergieeinsparung von 30 % im Quartier (Förderkriterium) wird von allen Vorhaben eingehalten. Ggf. könnte die Vorgabe auf 40 bis 50 % Primärenergieeinsparung im Quartier erhöht werden.

Unterteilt man die Primärenergie im Quartier in Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung, erhält man die in Bild 57 (gesamt) und Bild 58 (flächenbezogen) dargestellten Ergebnisse.

Auffällig ist, dass fast alle Demonstrationsvorhaben primärenergetisch betrachtet im Ausgangszustand von der Wärmeseite dominiert werden (Bad Aibling, Biberach, Karlsruhe Rintheim, Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel). Solange keine besonderen Energiekonzepte mit niedrigen Primärenergiefaktoren für die Wärmeerzeugung im Einsatz sind (z. B. Biomasseverbrennung, Wärmepumpen, BHKW), verbleiben trotz eines immer noch niedrigeren Primärenergiefaktors für die Wärme gegenüber dem Strom primärenergetisch wie auch endenergetisch (siehe Kapitel 4.3) wärmeseitig höhere Aufwände. Ausnahmen bilden die beiden Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg, bei denen bereits endenergetisch ausgeglichene Aufwände im Strombereich zu verzeichnen waren. Die bereits im Ausgangszustand relativ niedrigen Primärenergiefaktoren für die Fernwärme in Braunschweig (0,54) und die Nahwärme in Lüneburg (0,42) verstärken dies. Die Interpretation der Verhältnisse von Wärme und Strom in den Zielzuständen und Messjahren ist dagegen komplex. Hier überlagern sich Einflussfaktoren wie niedrige endenergetische Kennwerte mit sehr niedrigen, teilweise negativen Primärenergiefaktoren oder Einsparungsschriften.

Primärenergie Wärme/Strom/Kälte

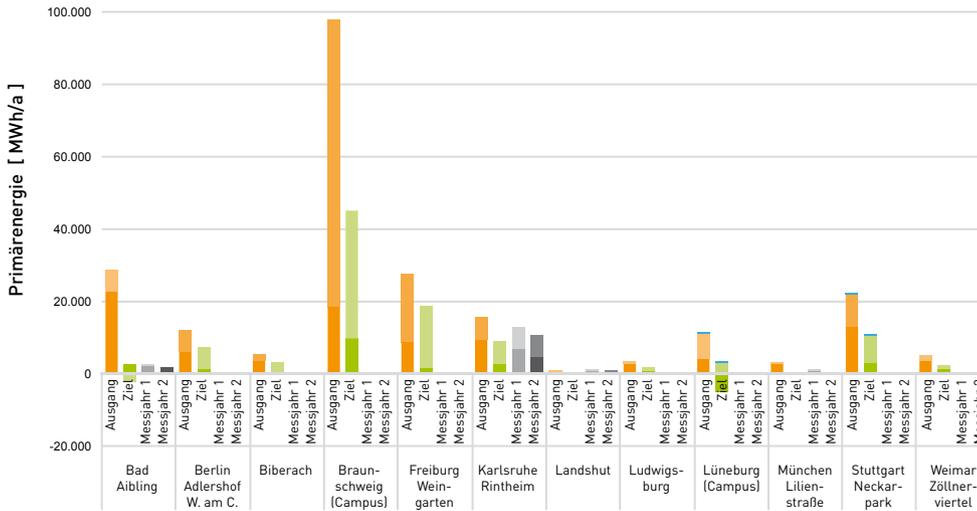


Bild 57: Primärenergieverbrauch und -bedarf der zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben, aufgeteilt in Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung

- Wärme
- Strom
- Kälte

Primärenergie Wärme/Strom/Kälte

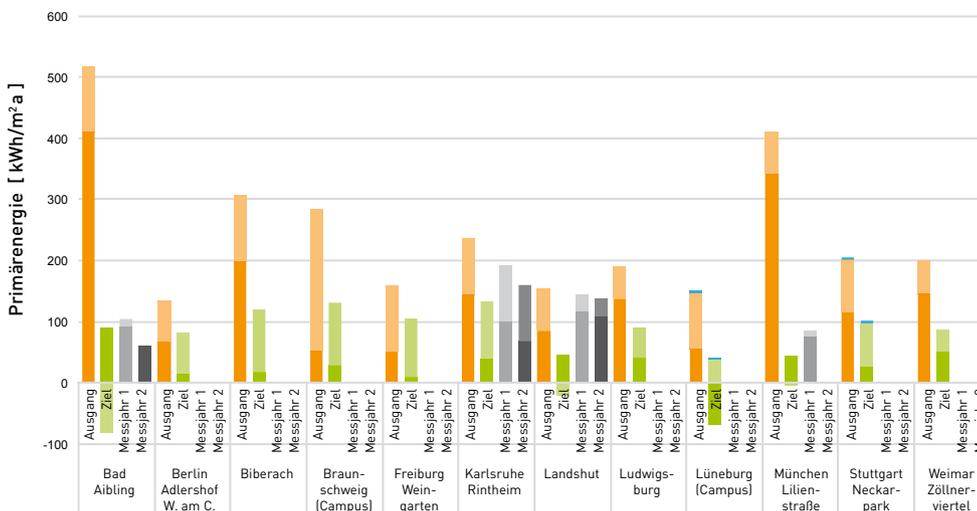


Bild 58: Flächenbezogener Primärenergieverbrauch und -bedarf der zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben, aufgeteilt in Wärme-, Strom- und Kälteerzeugung

- Wärme
- Strom
- Kälte

Es ist aber zu erkennen, dass Lüneburg bei der hier durchgeführten Bilanzierungsmethode im Zielzustand wärmeseitig einen negativen Aufwand aufweist, so wie auch Bad Aibling und Landshut stromseitig. Die negative Primärenergie (auch „Plusenergie“ genannt gegenüber konventionellen Konzepten, in denen mehr Energie verbraucht wird, als auf dem Gebäude oder – hier – im Quartier erzeugt wird) kann im Falle der Wärme durch negative Primärenergiefaktoren des Nahwärmenetzes (z. B. Biomasse- oder Biogas-BHKW) und stromseitig durch große Photovoltaikfelder erreicht werden, wenn diese zumindest teilweise ins allgemeine Stromnetz einspeisen.

4.8 Querauswertung der Primärenergiefaktoren im Quartier

Für alle Projekte wurde ein (nicht erneuerbarer) **Gesamtprimärenergiefaktor für das Quartier** ermittelt, indem die gesamte Primärenergie im Quartier durch die Summe der Endenergie an der Gebäudekante aller enthaltenen Gebäude geteilt wurde. Bild 59 stellt die Gesamtprimärenergiefaktoren der Demonstrationsquartiere für die bewerteten Projektphasen gegenüber.

Die ermittelten Gesamtprimärenergiefaktoren liegen zwischen -0,31 (Campus Lüneburg, Zielzustand) und 1,81 (Bad Aibling, Ausgangszustand). Im Ausgangszustand bewegen sich die Werte zwischen 1,11 (Campus Lüneburg) und 1,81 und im Zielzustand zwischen -0,31 und 1,26 (Freiburg Weingarten). Basierend auf Messdaten konnten bisher Gesamtprimärenergiefaktoren zwischen 0,45 (Bad Aibling, Messjahr 2) und 1,44 (Landshut, Messjahr 1) ermittelt werden. Der mittlere Gesamtprimärenergiefaktor aller zwölf Demonstrationsvorhaben beträgt im Ausgangszustand 1,42 und im Zielzustand 0,74. Günstig für einen niedrigen Gesamtprimärenergiefaktor sind Energieträger mit niedrigen (nicht erneuerbaren) Primärenergiefaktoren (Biomasse, Biogas, Geothermie, Solarthermie), der Einsatz von BHKW in der Nahwärme, auch als Mikro-BHKW dezentral in den Gebäuden, und die Erzeugung von Strom aus Photovoltaik und Wind.

Der **Primärenergiefaktor für die gesamte Wärmeversorgung** wird aus dem Primärenergieaufwand für die Wärmeversorgung des Quartiers geteilt durch die Endenergie Wärme an der Gebäudekante berechnet. Bild 60 stellt die so ermittelten Kennwerte für die Demonstrationsvorhaben zusammen.

Die Primärenergiefaktoren der Wärmeversorgung im Quartier liegen im Ausgangszustand meist dicht beisammen und betragen zwischen 1,1 und 1,32. Ausnahmen bilden die Projekte in Bad Aibling mit einem Faktor von 1,64 aufgrund einer ineffizienten Bestandsnahwärme sowie Braunschweig (0,54), Freiburg Weingarten (0,59) und Lüneburg (0,56), deren Bestandsnahwärme- bzw. Fernwärmenetze schon im Ausgangszustand relativ niedrige Primärenergiefaktoren aufweisen. Der Mittelwert der Primärenergiefaktoren für die Wärmeversorgung des Gesamtquartiers im Ausgangszustand beträgt 1,03. Die entsprechenden Faktoren im Zielzustand differieren deutlich stärker und betragen zwischen -1,08 (Campus Lüneburg) und 0,83 (München Lilienstraße). Als Mittelwert im Zielzustand ergibt sich 0,38. Die auf den

Primärenergiefaktor gesamt

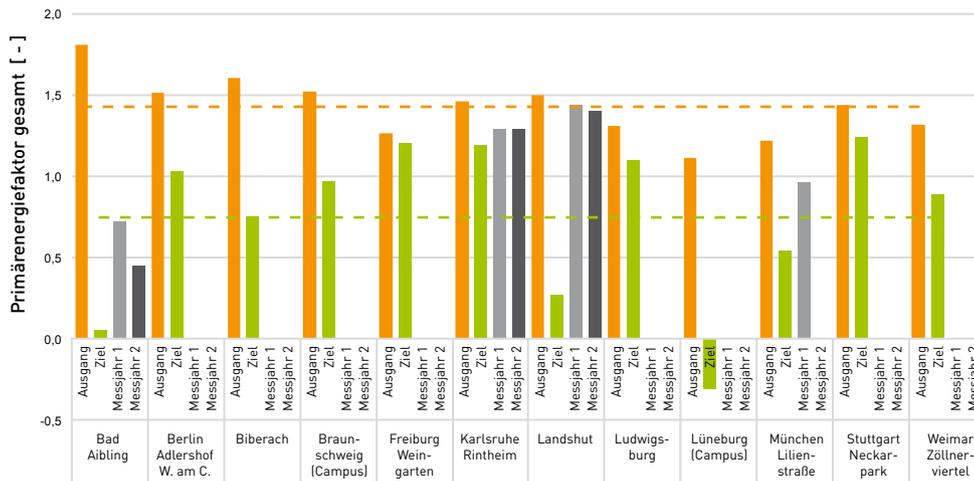


Bild 59: Gesamtprimärenergiefaktor für die Demonstrationsvorhaben, ermittelt aus der Summe der Primärenergie im Quartier dividiert durch die Summe der Endenergie an der Gebäudekante

- Mittelwert Ausgang
- Mittelwert Ziel

Primärenergiefaktor Wärme gesamt

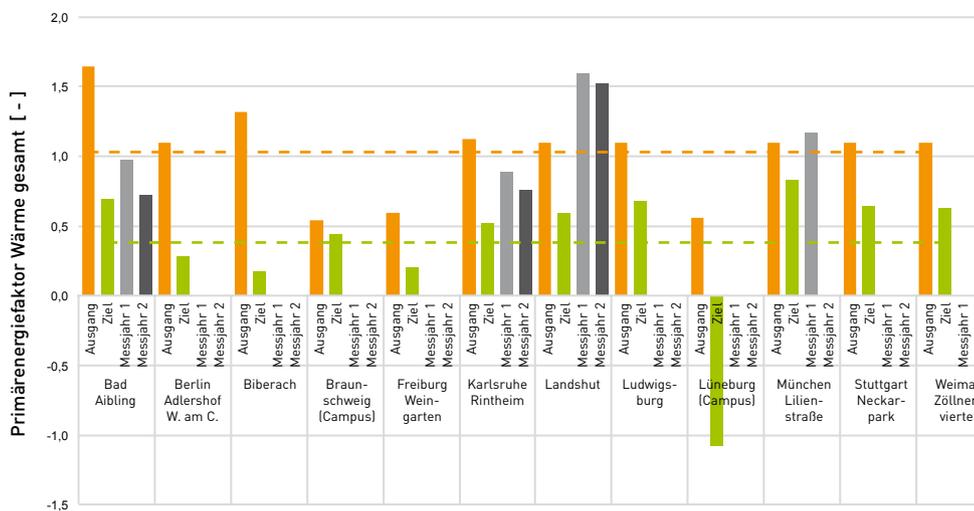


Bild 60: Primärenergiefaktor für die Wärmeversorgung der Demonstrationsvorhaben, ermittelt aus Summe der Primärenergie für Wärmezwecke im Quartier dividiert durch die Summe der Endenergie Wärme an der Gebäudekante

- Mittelwert Ausgang
- Mittelwert Ziel

Messungen basierenden Primärenergiefaktoren der Wärmeversorgung im Quartier betragen zwischen 0,72 (Bad Aibling, Messjahr 2) und 1,59 (Landshut, Messjahr 1).

Für Quartiere mit teilweise dezentraler Wärmeversorgung ergibt sich ein Unterschied zwischen dem ermittelten Primärenergiefaktor für die gesamte Wärmeversorgung im Quartier und dem **Primärenergiefaktor für die reine Nahwärmeversorgung**, der in Bild 61 dargestellt ist.

Dezentral wärmeversorgte Gebäude gibt es in den Vorhaben Bad Aibling (Messjahre), Biberach (Ausgangs- und Zielzustand), Karlsruhe Rintheim (Zielzustand und beide Messjahre), Landshut (Zielzustand und beide Messjahre), Campus Lüneburg (Ausgangszustand) und Weimar Zöllnerviertel (Zielzustand). In den meisten Fällen verschlechtern die dezentral wärmeversorgten Gebäude den Gesamtprimärenergiefaktor Wärme gegenüber dem reinen Nahwärmefaktor, es gibt jedoch auch Vorhaben bzw. Projektphasen, in denen ein geringerer Gesamtprimärenergiefaktor Wärme gegenüber dem Nahwärmeprimärenergiefaktor auftritt. Da in den meisten Projekten aber fast alle Gebäude an die Nahwärme angeschlossen sind, sind die Differenzen eher gering (unter 0,10). Für Demonstrationsvorhaben mit rein dezentraler Wärmeversorgung (Berlin Adlershof, Karlsruhe Rintheim, Ludwigsburg, München Lilienstraße, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel) können die Ausgangszustände in Bild 61 nicht eingetragen werden. Das Quartier im Projekt Braunschweig ist im Ausgangszustand an die Fernwärme angeschlossen. Der Primärenergiefaktor der Fernwärme beträgt dort 0,54. Die Mittelwerte der Nahwärmeprimärenergiefaktoren betragen im Ausgangszustand 1,01 und im Zielzustand 0,37. Die Verbesserung des Primärenergiefaktors der Nahwärme durch die geplanten Maßnahmen ist somit im Mittel 0,64 oder 64 %. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass der Mittelwert im Ausgangszustand aus nur vier Vorhaben gebildet wird. In den anderen acht Vorhaben wurde die Nahwärmeversorgung erst im Projektverlauf eingerichtet. Deshalb ist der direkte Vergleich zwischen den Nahwärmeprimärenergiefaktoren vorher und nachher nicht aussagekräftig.

Ähnlich wie der Primärenergiefaktor für die gesamte Wärmeversorgung kann aus dem Primärenergieaufwand für die Stromversorgung des Quartiers, geteilt durch die Endenergie Strom an der Gebäudekante, ein **Primärenergiefaktor für die gesamte Stromversorgung** berechnet werden. Bild 62 stellt die so ermittelten Kennwerte für die zwölf Demonstrationsvorhaben zusammen.

Im Ausgangszustand aller Demonstrationsvorhaben weichen die Primärenergiefaktoren für den Strom im Gesamtquartier nur leicht vom Mittelwert 2,63 ab. Bei den meisten Vorhaben ist im Ausgangszustand weder eine Photovoltaikanlage noch ein BHKW vorhanden, deren Strom dann ins allgemeine Stromnetz eingespeist oder selbst genutzt wird. Daher gilt für sie der allgemeine Primärenergiefaktor für Strom aus dem Netz. Dieser ist abhängig vom Betrachtungsjahr und beträgt z. B. für Bad Aibling 3,0 (Betrachtungsjahr 2006) und für Stuttgart Neckarpark 2,4 (Betrachtungsjahr 2014). Da deutschlandweit immer höhere Stromanteile durch erneuerbare Energien oder KWK erzeugt werden, reduziert sich der Primärenergiefaktor des allgemeinen Stromnetzes im Laufe der Jahre. Dies wird in Stufen veröffentlicht und

Primärenergiefaktor reine Nahwärme

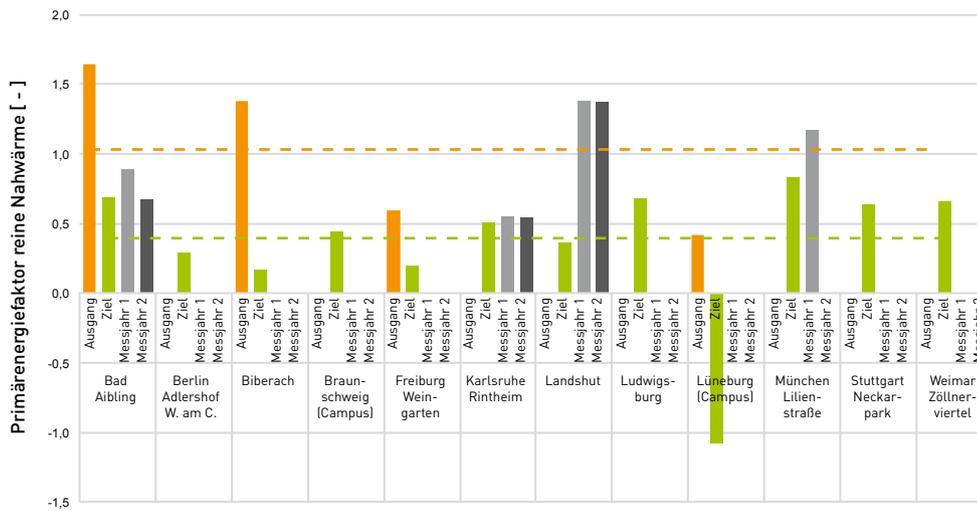


Bild 61: Primärenergiefaktor für die reine Nahwärmeversorgung in den Demonstrationsvorhaben

— Mittelwert Ausgang
— Mittelwert Ziel

Primärenergiefaktor Strom gesamt

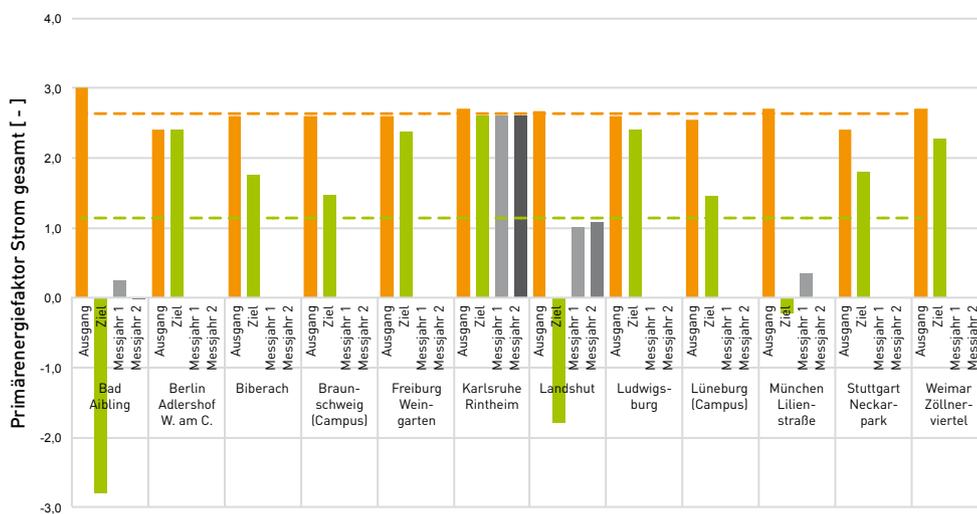


Bild 62: Primärenergiefaktor für die gesamte Stromversorgung der Demonstrationsvorhaben, ermittelt aus der Summe der Primärenergie für Strom im Quartier dividiert durch die Summe der Endenergie Strom an der Gebäudekante

— Mittelwert Ausgang
— Mittelwert Ziel

in der Energieeinsparverordnung festgelegt (siehe auch Kapitel 2.5). Im Zielzustand kann es deshalb auch ohne stromseitige Maßnahmen zu einer leichten Reduzierung des Primärenergiefaktors kommen, wie z. B. das Projekt Karlsruhe Rintheim zeigt, bei dem sich zwischen Ausgangszustand (2008) und Zielzustand (2012) der Primärenergiefaktor um 0,1 auf 2,6 reduziert. Andere Projekte umfassen stromseitige Maßnahmen und können so den Primärenergiefaktor zwischen Ausgangs- und Zielzustand deutlich verringern. Beispiele dafür sind Bad Aibling und Landshut, aber auch Campus Lüneburg. Der Mittelwert der Primärenergiefaktoren für den Strom im Gesamtquartier im Zielzustand beträgt 1,14 und ist damit um 1,49 oder 57 % geringer als im Ausgangszustand. Der geringste Primärenergiefaktor für Strom tritt in Bad Aibling auf und beträgt -2,8. In diesem Projekt sollten 1576 MWh/a Strom aus Photovoltaik ins allgemeine Stromnetz eingespeist werden. Der Gesamtstromverbrauch im Quartier beträgt demgegenüber nur 849 MWh/a. Zusätzlich darf der eingespeiste PV-Strom mit einem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 2,8 bilanziert werden. Der Stromverbrauch dagegen wird mit einem Primärenergiefaktor von 2,4 angerechnet. Da in den beiden Messjahren aufgrund geringerer PV-Flächen nur 891 MWh/a bzw. 1.077 MWh/a erzeugt und eingespeist werden konnten, betragen die Primärenergiefaktoren für den Strom im Gesamtquartier 0,25 (Messjahr 1) bzw. -0,02 (Messjahr 2).

4.9 Mittelwerte der Endenergie und Primärenergie im Quartier

Vergleicht man die Mittelwerte der End- und der Primärenergie aller zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben im Ausgangszustand und im Zielzustand, erhält man Bild 63. Im Ausgangszustand beträgt der mittlere Endenergieverbrauch 189 kWh/m²a und der mittlere Primärenergieverbrauch 246 kWh/m²a. Die Steigerung zwischen Endenergie und Primärenergie beträgt 30 %. Interessanterweise hat sich das Verhältnis im Zielzustand umgedreht mit 101 kWh/m²a mittlerem Endenergiebedarf und 74 kWh/m²a mittlerem Primärenergiebedarf und einer Reduzierung von 27 %.

4.10 Einordnung in den Zielkorridor aus Energieeinsparung und Erhöhung des erneuerbaren Energieanteils

Im Jahr 2014 hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) die Broschüre „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie Gebäude“ veröffentlicht. Darin enthalten ist eine Grafik, die einen möglichen Zielkorridor zur Erreichung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 darstellt. Ausgehend vom Jahr 2008 sind dort unterschiedliche Zielpfade eingetragen, auf denen das Ziel „80 % Primärenergieeinsparung im Jahr 2050“ erreicht werden kann, jeweils abhängig von einer gewählten Kombination aus Endenergieeinsparung und Anteil der erneuerbaren Energien. Die Grafik wurde in Bild 64 übernommen und mit den Kennwerten für die Endenergieeinsparung und den Anteil der erneuerbaren Energien der zwölf Demonstrationsquartiere gespiegelt.

Mittelwerte der Endenergie und Primärenergie im Quartier

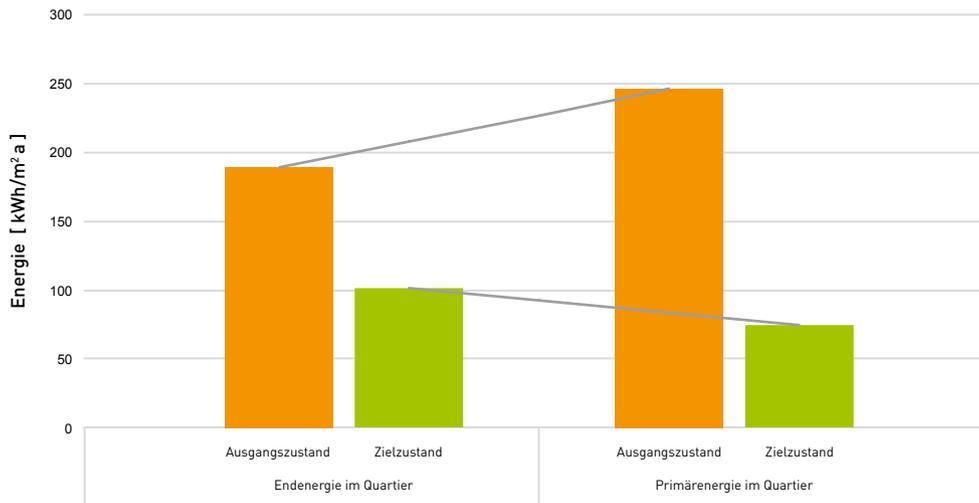


Bild 63: Mittelwerte der Endenergie und der Primärenergie der zwölf ausgewerteten Demonstrationsvorhaben in Ausgangszustand und Zielzustand

Zielkorridor aus Endenergieeinsparung und Anteile erneuerbarer Energien

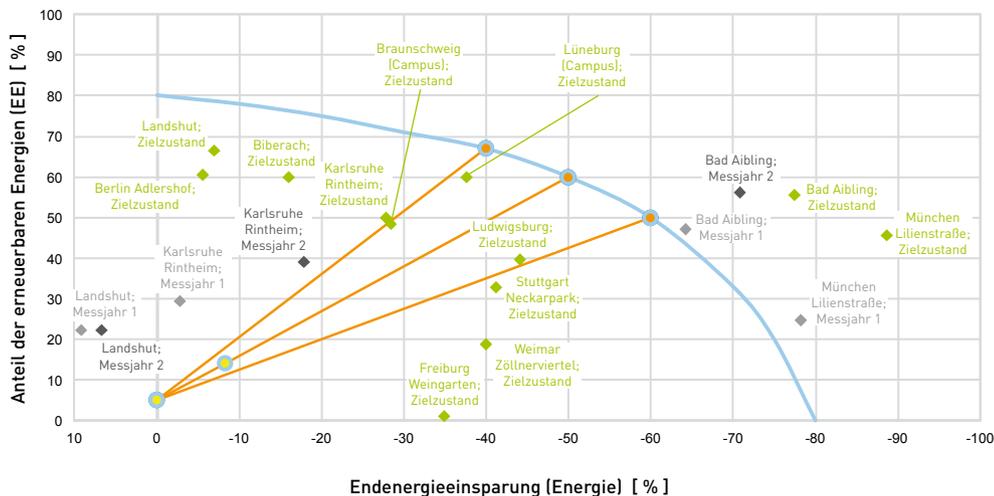


Bild 64: Möglicher Zielkorridor (orangefarben) zur Erreichung eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 gemäß der Veröffentlichung „Sanierungsbedarf im Gebäudebestand – Ein Beitrag zur Energieeffizienzstrategie“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, 2014. Zusätzlich eingetragen sind die entsprechenden Kennwerte der erneuerbaren Energieanteile und der Endenergieeinsparung der zwölf ausgewerteten EnEff:Stadt-Demonstrationsvorhaben.

Die beiden gelben Punkte stellen den Startpunkt im Jahr 2008 (5 % erneuerbarer Energieanteil) und den Zielwert im Jahr 2020 (14 % erneuerbarer Energieanteil) dar. Die blaue Kurve deutet das langfristige Ziel des Energiekonzepts der Bundesregierung an, eine 80%ige Primärenergieeinsparung im Gebäudebestand Deutschlands (nahezu klimaneutral). Die drei orangefarbenen Linien weisen auf mögliche Pfade hin, dieses Ziel zu erreichen (mögliche Zielkorridore). So wird dazu ein erneuerbarer Energieanteil von rund 60 % benötigt, wenn der Endenergieverbrauch um 50 % gesenkt werden kann. Eine Steigerung des erneuerbaren Energieanteils auf 67 % müsste von einer Endenergieeinsparung von 40 % begleitet werden. Und eine Minderung des Endenergieverbrauchs um 60 % benötigt nur noch einen erneuerbaren Energieanteil von 50 %.

Strenggenommen gilt die blaue Kurve nur, wenn sich die Verteilung der eingesetzten Energieträger zwischen Ausgangszustand und Endzustand nicht verändert hat. In diesem Fall würden alle Vorhaben, deren Kennwerte auf oder über der blauen Kurve liegen, die für 2050 gewünschte 80%ige Primärenergieeinsparung bereits heute erreichen. Alle Vorhaben, deren Kennwerte darunter liegen, müssten bis 2050 noch weitere Anstrengungen unternehmen, um den Primärenergieverbrauch zu reduzieren. Die gleichbleibende Verteilung der eingesetzten Energieträger trifft aber für keines der ausgewerteten Vorhaben zu. Die durchgeführten Maßnahmen sind vielschichtig und umfassen immer eine Veränderung der Wärmeerzeugung, die sich auch auf die dafür eingesetzten Energieträgeranteile auswirkt. Oft beinhalten die Maßnahmen zusätzliche Veränderungen im Strombereich, etwa durch den Einsatz von Photovoltaik oder BHKW. All dies bedeutet auf jeden Fall eine Verschiebung der Anteile zwischen Wärmeenergie und Strom.

Im Vergleich mit Bild 56 ist zu erkennen, dass nicht alle Vorhaben bzw. Zustände mit Primärenergieeinsparungen von über 80 % auch auf oder oberhalb der blauen Linie liegen. In beiden Darstellungen halten die Vorhaben Bad Aibling und München Lilienstraße diese Zielvorgabe für 2050 bereits heute ein. Das trifft sowohl für die Zielwerte als auch für die Messung zu. Zwei andere Projekte, Landshut und Campus Lüneburg, sollen im Zielzustand die Primärenergie um über 80 % verringern (Bild 56), erreichen aber die blaue Kurve in Bild 64 nicht.

Um auch für veränderbare Energieträgerverteilungen die Primärenergieeinsparung korrekt abzubilden, müsste statt des erneuerbaren Energieanteils eine Reduzierung des gesamten nicht erneuerbaren Primärenergiefaktors für das Quartier angegeben werden. Dieser ist jedoch nicht in gleichem Maße allgemein verständlich wie der Anteil der erneuerbaren Energien.

4.11 Untersuchungen von vergleichbaren Projekten

Wie in Kapitel 3.13 dargestellt, bietet es sich an, einige in bestimmter Hinsicht ähnliche Quartiere nochmals getrennt von den restlichen Vorhaben miteinander zu vergleichen. Das soll im Folgenden für die jeweils interessanten Kenngrößen getan werden, um weitere Benchmarks zu ermitteln.

4.11.1 Sanierung und zum Teil Nachverdichtung von Quartieren mit mehrheitlich oder ausschließlich Wohngebäuden (Mehrfamilienhäuser) und Nahwärmeversorgung im Zielzustand

Untersucht werden hier die Demonstrationsvorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße. Aufgrund der Ähnlichkeiten soll sich die Analyse auf folgende Kennwerte konzentrieren:

- Endenergie gesamt sowie aufgeteilt in Wärme und Strom an der Gebäudekante
- Endenergie gesamt sowie aufgeteilt in Wärme und Strom auf Quartiersebene
- Energieträger der Nahwärmeversorgung (zur Veranschaulichung der Unterschiede)
- In- und Output der Nahwärme
- Netzverluste der Nahwärme
- Gesamtprimärenergie im Quartier

Die Summe der Endenergie an der Gebäudekante ist im Ausgangszustand sehr unterschiedlich, wie Bild 65 zeigt. Während Freiburg Weingarten und Karlsruhe Rintheim Werte zwischen 126 und 163 kWh/m²a aufweisen und damit bereits vor der Sanierung unter dem Mittelwert des Wohngebäudebestands in Deutschland liegen, weist München Lilienstraße mit 338 kWh/m²a Endenergie einen sehr viel höheren Wert auf. Die Zielzustände sind weitaus besser vergleichbar. Hier befinden sich Freiburg Weingarten und München Lilienstraße nahezu auf dem gleichen Niveau mit 87 kWh/m²a bzw. 73 kWh/m²a, während Karlsruhe mit 111 kWh/m²a ein etwas anderes Level anstrebt. Dieses wird im Messjahr 2 mit 124 kWh/m²a nur geringfügig überschritten. Auch das Messjahr 1 von München weist mit 88 kWh/m²a einen leicht höheren Endenergieverbrauch auf als geplant. Um die Werte besser vergleichen zu können, wurden für Freiburg Weingarten ausschließlich die Wohngebäude berücksichtigt. Grundsätzlich kann als Benchmark für eine Wohnquartierssanierung mit großen Mehrfamilienhäusern ein Endenergiebedarf an der Gebäudekante von ca. 100 kWh/m²a und bei ambitionierteren Maßnahmen an der Gebäudehülle ein Bedarf von 85 kWh/m²a angesetzt werden. Diese Kennwerte beinhalten, anders als die Berechnungen für den Energieausweis, auch den gesamten Strom des Gebäudes.

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

Aufgeteilt in Endenergie Wärme und Strom (siehe Bild 66), ergibt sich wärmeseitig ein Benchmark von ca. 60 kWh/m²a Endenergie für den Zielzustand und stromseitig ein Benchmark von 30 kWh/m²a. Wie bereits in Kapitel 4.2 dargestellt, unterscheidet sich der Stromverbrauch zwischen Ausgangs- und Zielzustand nur geringfügig und beträgt im Mittel 33 kWh/m²a. Damit

Bild 65: Darstellung der Endenergie an der Gebäudekante in den Wohngebäuden der Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße

- Mittelwert Ausgang
- Mittelwert Ziel

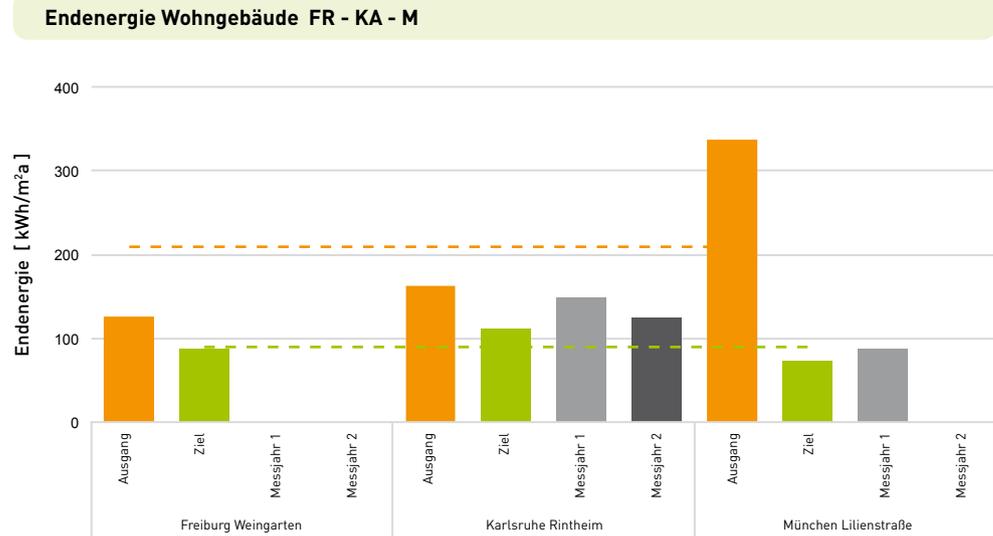
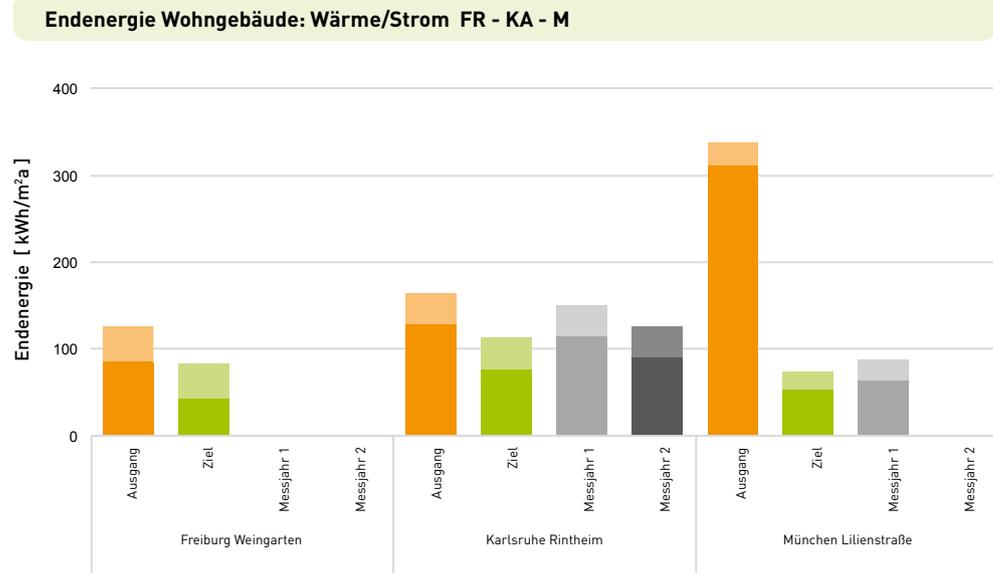


Bild 66: Darstellung der Endenergie an der Gebäudekante in den Wohngebäuden der Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße, aufgeteilt in Wärme und Strom

- Wärme
- Strom



ist er etwas höher als der Mittelwert aller Wohngebäude aus den EnEff:Stadt-Projekten. Das kann mit den relativ kleinen Wohneinheiten in den drei Quartieren begründet werden.

BENCHMARK: Für sanierte große Wohngebäude kann ein Endenergiebedarf Wärme an der Gebäudekante von $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und ein Endenergiebedarf Strom an der Gebäudekante von $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angestrebt werden.

Die Endenergie auf Quartiersebene, d. h. unter Berücksichtigung der Nahwärmeverluste und möglichen Stromeinspeisungen, zeigt in Bild 67 einen leichten Zuwachs beim Zielzustand im Vergleich zur Gebäudekante bei den Projekten Freiburg Weingarten und Karlsruhe Rintheim, beim Projekt München Lilienstraße jedoch eine deutliche Abnahme. Während bei den ersten beiden Vorhaben die Energieversorgung auf einer Nahwärmeerzeugung aus Fernwärme bzw. mit einem gasbetriebenen BHKW in Kombination mit einem Heizwerk beruht, also durch den Leitungsverlust und die Erzeugeraufwände (Letzteres nur in Freiburg Weingarten) einen Anstieg der Endenergie verursachen muss, wird die Nahwärme im Projekt München Lilienstraße unter anderem durch eine Wärmepumpe erzeugt. Hier wird je eingesetzter Kilowattstunde Gas für den Wärmepumpenbetrieb ein Anteil erneuerbarer Energie (Geothermie) hinzugewonnen. Dadurch verringert sich die Endenergie im Bereich der Wärme im Vergleich zur Betrachtung ab Gebäudekante. Stromseitig wird hier die große Photovoltaikfläche relevant, deren ins allgemeine Stromnetz eingespeister Strom in der Bilanzierung einen verbleibenden Endenergiebedarf Strom im Quartier von nur noch $1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ermöglicht.

Mit relativ konventionellen Lösungen auf Seiten der Nahwärme kann man den Endenergiebedarf in einem von Wohngebäuden bestimmten sanierten Quartier auf ca. $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ drücken. Bindet man größere Anteile erneuerbarer Energien sowohl wärmeseitig als auch stromseitig mit ein, ist mit unter $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ein noch deutlich reduzierter Endenergiebedarf auf Quartiersebene möglich. Der Strombedarf kann über die bilanzierte Einspeisung von erneuerbar erzeugtem Strom nahezu eliminiert werden.

Bild 68 stellt zum Verständnis die Anteile der verschiedenen Energieträger an der Nahwärmeversorgung in den drei Projekten zusammen. Nur im Projekt München Lilienstraße ergeben sich Anteile erneuerbarer Energien, konkret aus Solarthermie und Geothermie. Allerdings ist zu vermuten, dass die Fernwärme, die in die Nahwärme von Karlsruhe Rintheim einspeist, ebenfalls Anteile erneuerbarer Energieträger aufweist. Diese wirken sich jedoch nicht reduzierend auf die Endenergie im Quartier aus. Auf der Ebene der Primärenergie können jedoch sowohl das Blockheizkraftwerk aus Freiburg Weingarten als auch die Fernwärme mit niedrigem Primärenergiefaktor in Karlsruhe Rintheim punkten.

Der In- und Output von Nahwärme in den drei Vorhaben ist in Bild 69 dargestellt. Die Angabe erfolgt prozentual auf die jeweils erreichte Gesamtenergie bezogen, um die im Vergleich sehr niedrigen absoluten Werte für München Lilienstraße und Karlsruhe Rintheim aussagekräftig

Bild 67: Darstellung der Endenergie auf Quartiersebene in den Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße

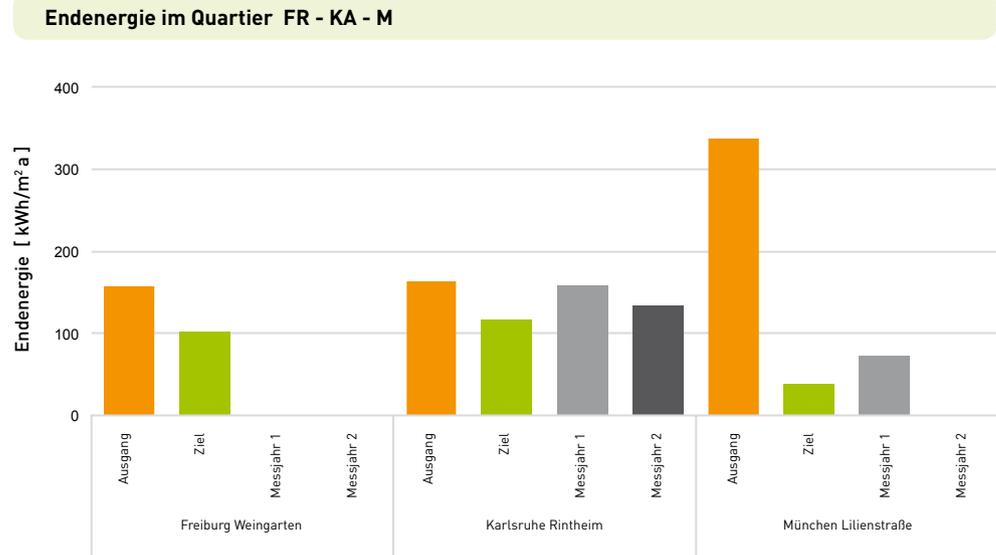
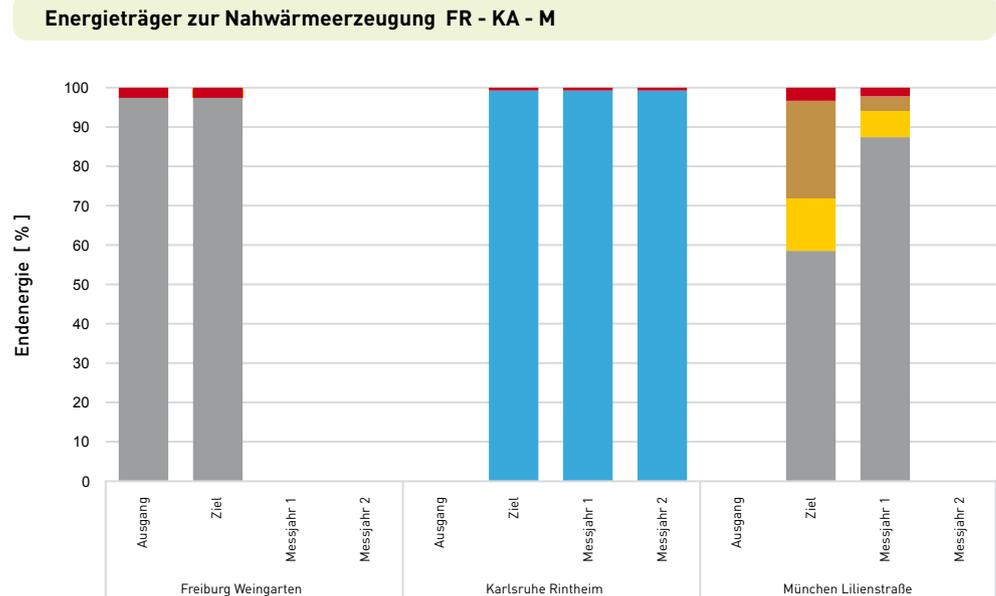


Bild 68: Analyse der Energieträger, die in den Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße für die Nahwärmeerzeugung genutzt werden

- Strom (Pumpen etc.)
- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Fernwärme



Nahwärme FR - KA - M

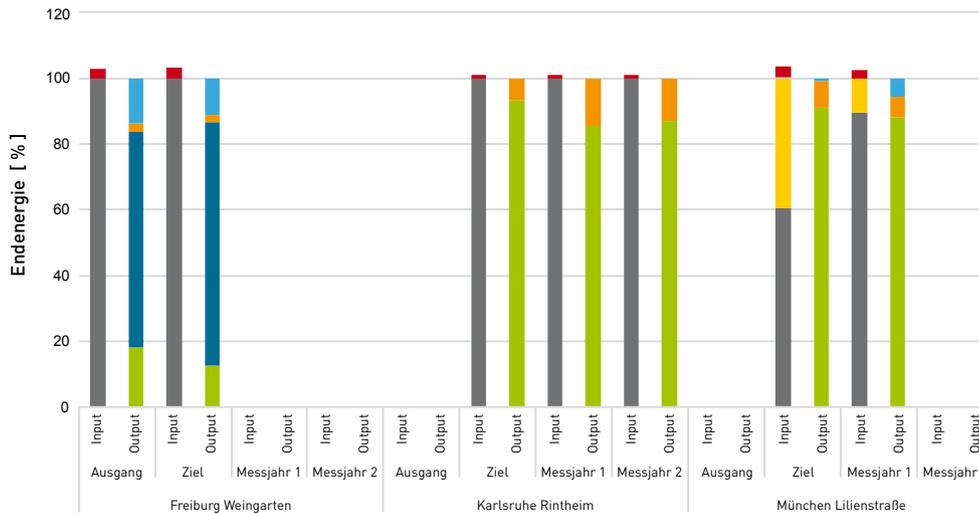


Bild 69: Prozentualer Nahwärme-Input und -Output in den Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Nahwärmeversorgung: Netzverluste über Energieabnahme Gebäude FR - KA - M

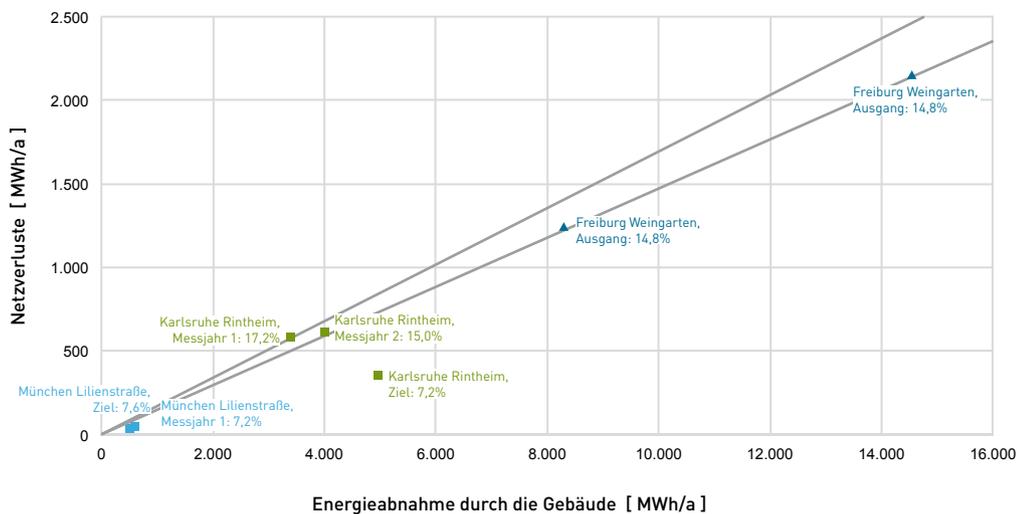
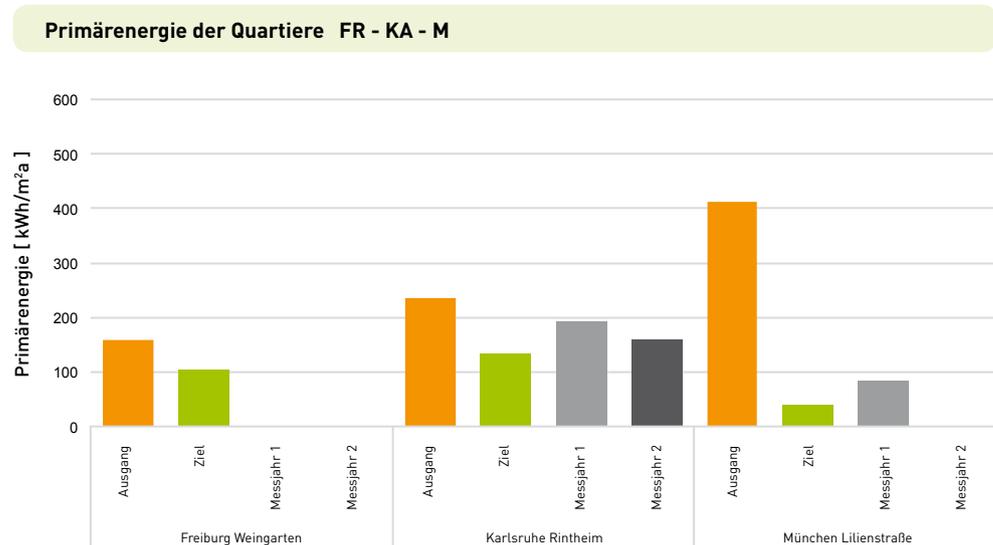


Bild 70: Netzverluste der Nahwärme, aufgetragen über der Endenergieabnahme der Gebäude in den Vorhaben Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße

denen für Freiburg Weingarten gegenüberstellen zu können. Grundsätzlich ist der hohe Anteil der Abgabe an ein externes Netz in Freiburg Weingarten ähnlich wie die Abnahme durch die Gebäude im Quartier zu sehen. Allerdings ist die Abgabe an ein externes Netz nicht in nutzbare Anteile (Abnahme der an das externe Netz angeschlossenen Gebäude) und Leitungsverluste (in diesem externen Netz) unterteilt. Möglicherweise entsteht hier der Eindruck, die Netzverluste in Freiburg seien kleiner, weil sie prozentual kleiner sind als in Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße, doch die Situation ist komplexer: Die Netzverluste müssten korrekterweise anteilmäßig von der Gebäudeabnahme im Quartier gerechnet werden, wie weiter unten analysiert wird. Da die Nahwärmeversorgung in Karlsruhe Rintheim durch einen Fernwärmeanschluss realisiert wurde und in München Lilienstraße die Nahwärme u. a. über eine Wärmepumpe erzeugt wird, sind die Erzeugerverluste nicht separat ausweisbar. Diese sind nur in Freiburg Weingarten erkennbar. Karlsruhe Rintheim weist bei Weitem den niedrigsten elektrischen Aufwand für Pumpen und Regelungen auf. Dieser wurde allerdings nicht gemessen, sondern auf Basis von Erfahrungswerten berechnet. Insgesamt lassen die unterschiedlichen Erzeugungsarten im Bereich der Nahwärmeaufteilung keinen sinnvollen Benchmark zu.

Bild 70 zeigt die Netzverluste in den drei Vorhaben, aufgetragen über der jeweiligen Energieabnahme der Gebäude. Werden nur die gemessenen Werte berücksichtigt (und dabei beachtet, dass im Messjahr 1 des Vorhabens München Lilienstraße die Netzverlustanteile berechnet wurden), ergibt sich ein sehr enger Korridor zwischen 14,8 % und 17,2 %. Der Benchmark aus Kapitel 4.2 gilt weiterhin, also 15 % Netzverluste abhängig von der Summe der Energieabnahmen durch die Gebäude.

Bild 71: Primärenergie der Quartiere Freiburg Weingarten, Karlsruhe Rintheim und München Lilienstraße



Die gesamte Primärenergie je Quartier und Projektphase wird in Bild 71 dargestellt. Wie auch schon für die Endenergie unterscheiden sich die entsprechenden Kennwerte im Ausgangszustand stark. Im Zielzustand lassen die Werte es schon eher zu, einen Benchmark zu bilden. Dieser beträgt ca. 120 kWh/m²a für einen eher konventionellen Nahwärmeansatz in Kombination mit einer übers Quartier gemittelten gemäßigten Gebäudesanierung (siehe auch Endenergie an der Gebäudekante) wie in Freiburg Weingarten und Karlsruhe Rintheim. Dieser Wert kann auf deutlich unter 100 kWh/m²a sinken – in München sind es sogar unter 50 kWh/m²a –, wenn eine etwas höherwertige Gebäudesanierung mit Nahwärmeerzeugung kombiniert wird, die über hohe Anteile erneuerbarer Energien mit jeweils Primärenergiefaktor 0 (thermische Solarenergie und Geothermie) betrieben wird.

BENCHMARK: Die drei ausgewerteten Vorhaben zeigen, dass für eine Wohnquartierssanierung ein Zielwert von unter 120 kWh/m²a Primärenergie (Strom plus Wärme) im Quartier realistisch geplant werden kann. 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) gesenkt werden.

4.11.2 Universitätscampus-Projekte mit mehrheitlich zu sanierenden Bestandsgebäuden (ausschließlich Nichtwohngebäude) mit zentraler Versorgung im Ausgangs- und Zielzustand und geplantem Einsatz von erneuerbaren Energien (Photovoltaik und Biogas)

Der gesonderte Vergleich der beiden Universitätscampus-Projekte Braunschweig und Lüneburg ist besonders interessant, weil hier wie in vielen Universitäten bereits im Ausgangszustand eine Nahwärme- bzw. Fernwärmeversorgung vorliegt. Diese soll in den Vorhaben durch die Einbindung erneuerbarer Energien weiter in ihrer primärenergetischen Effizienz verbessert werden. Aufgrund der ähnlichen Gebäudestrukturen (ausschließlich Nichtwohngebäude) auf den Campus können vergleichende Benchmarks für den Energieverbrauch an der Gebäudekante ermittelt werden. Im Fokus der Untersuchung liegen hier folgende Kennwerte:

- Endenergie gesamt sowie aufgeteilt in Wärme und Strom an der Gebäudekante
- Energieträger der Nahwärmeversorgung
- Anteile erneuerbarer Energien
- Primärenergiefaktor der Nahwärme
- Gesamtprimärenergie im Quartier

Beim Vergleich der beiden Campus muss berücksichtigt werden, dass der Campus Braunschweig mit über 344.000 m² Nettogrundfläche der Gebäude 4,6-mal so groß ist wie der Cam-

pus Lüneburg mit ca. 75.000 m². Daher soll im Folgenden mit flächenbezogenen Kennwerten gearbeitet werden. Der Gebäudemix auf dem betrachteten Campus Braunschweig enthält Gebäude aller Altersklassen (Gründerzeit bis hin zu Neubauten) und auch der Campus Lüneburg beherbergt alte (1915–1948) und jüngere Gebäude bis hin zu einem Neubau, dessen Energiekonzept derzeit in der Forschungsinitiative EnOB gefördert wird. Die alten Gebäude in Lüneburg sind ursprünglich als Teil einer Kaserne errichtet worden.

Es fällt auf: Der Endenergieverbrauch Wärme an der Gebäudekante ist sowohl im Ausgangszustand als auch im Zielzustand in beiden Vorhaben nahezu gleich, wie Bild 72 zeigt. Der Mittelwert der Endenergie Wärme an der Gebäudekante beträgt im Ausgangszustand 98 kWh/m²a und im Zielzustand 64 kWh/m²a. Die damit verbundene 35%ige Einsparung liegt allerdings deutlich unter dem Mittelwert von 47 %, der für die eingesparte Endenergie Wärme auf Gebäudeebene aller zwölf Demonstrationsvorhaben ermittelt wurde.

BENCHMARK: Soweit sich aus nur zwei Vorhaben ein Benchmark bilden lässt, kann für den bezogenen Endenergieverbrauch Wärme an der Gebäudekante eines Universitäts-campus, der aus reinen Nichtwohngebäuden besteht, ca. 100 kWh/m²a angenommen werden. Dieser kann durch Sanierungsmaßnahmen an Teilen der Gebäude innerhalb eines Gesamtkonzepts deutlich gesenkt werden, nämlich um ca. 30 %.

Der Stromverbrauch an der Gebäudekante unterscheidet sich in beiden Projekten stark: Im Ausgangszustand beträgt er 89 kWh/m²a in Braunschweig und 37 kWh/m²a in Lüneburg, im Zielzustand 70 kWh/m²a in Braunschweig und 27 kWh/m²a in Lüneburg. Es ist zu vermuten, dass sich auf dem Campus Braunschweig mehr Versuchsgebäude mit hohem Stromverbrauch befinden und ggf. auch Strom für die Kälteerzeugung eingesetzt wird, ohne dass dies getrennt im energetischen Bilanzierungstool ausgewiesen wurde. In beiden Projekten soll eine Stromeinsparung von über 20 % erreicht werden. Während Lüneburg diese durch Reduzierung des Stromverbrauchs erreichen will, plant Braunschweig dezentrale Photovoltaik auf den Gebäuden. Der damit erzeugte Strom soll von den Gebäuden überwiegend selbst genutzt werden.

Der Campus Braunschweig besitzt im Ist-Zustand eine Fernwärmeversorgung mit einem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,54. Im Zielzustand ist die Versorgung mit Nahwärme geplant (Bild 73), die zu 80 % aus Fernwärme gespeist wird, unterstützt von zwei Biogas-BHKW. In Lüneburg wird die Nahwärme im Ausgangszustand durch ein BHKW und ein Heizwerk und zu 100 % aus Erdgas erzeugt. Im Zielzustand soll das Erdgas zu großen Anteilen durch Biogas ersetzt werden. Eine Erörterung zur Anrechenbarkeit des Energieträgers Biogas folgt in Kapitel 4.11.7.

Endenergie der Gebäude: Wärme/Strom/Kälte BS - LG

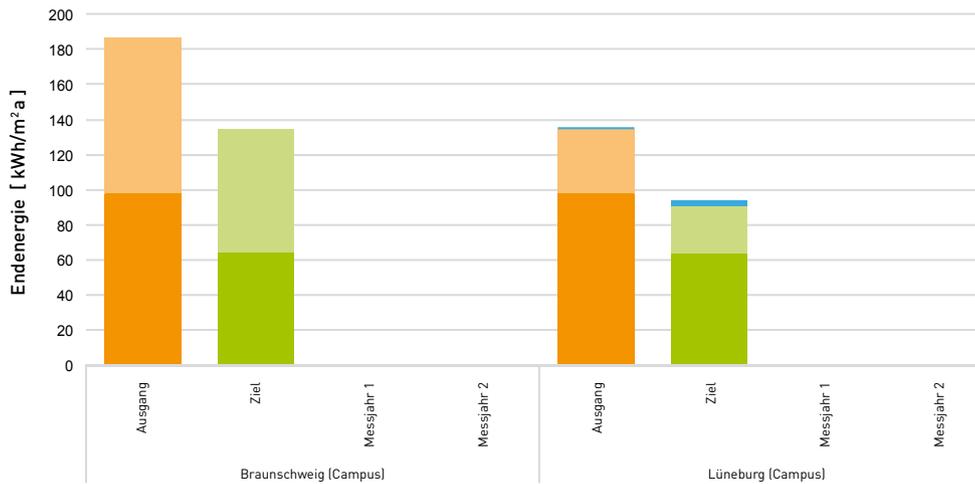


Bild 72: Darstellung der Endenergie an der Gebäudekante in den Campus-Projekten Braunschweig und Lüneburg

■ Wärme
 ■ Strom
 ■ Kälte

Energieträger zur Nahwärmeerzeugung BS - LG

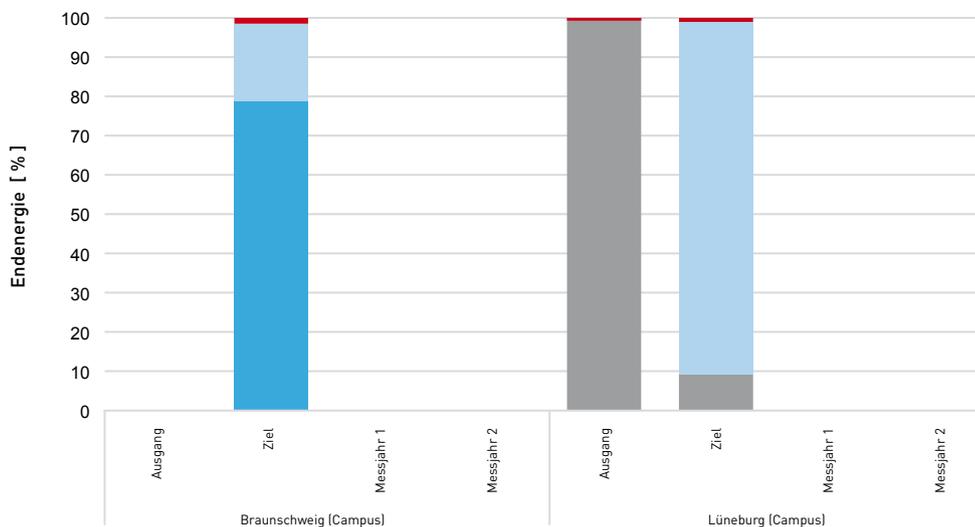


Bild 73: Energieträgeranteile an der Nahwärmeerzeugung in den Campus-Projekten Braunschweig und Lüneburg

■ Strom (Pumpen etc.)
 ■ Erdgas
 ■ Fernwärme
 ■ Biogas

Bild 74: Anteil der erneuerbaren Energien in der Wärmeversorgung des Quartiers für die Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg

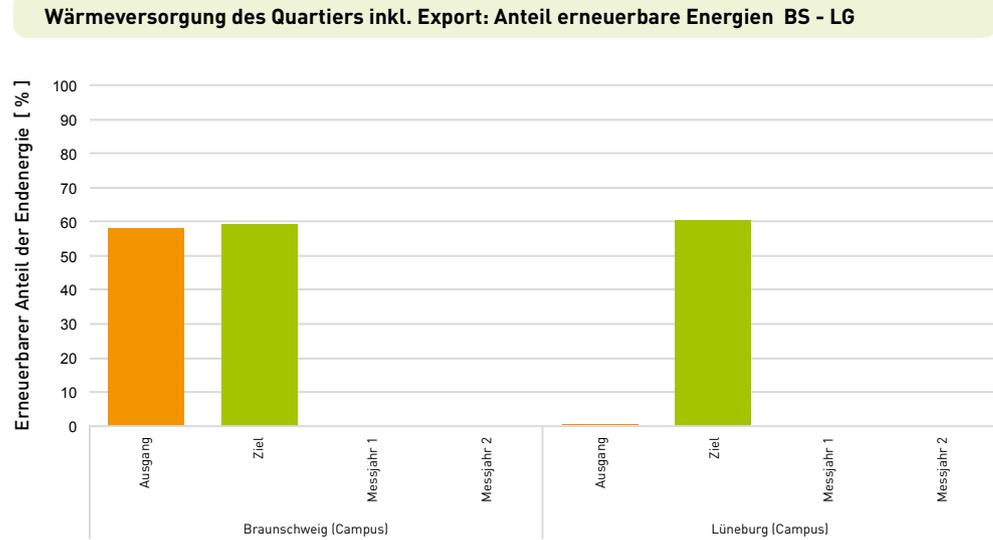


Bild 75: Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung des Quartiers für die Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg

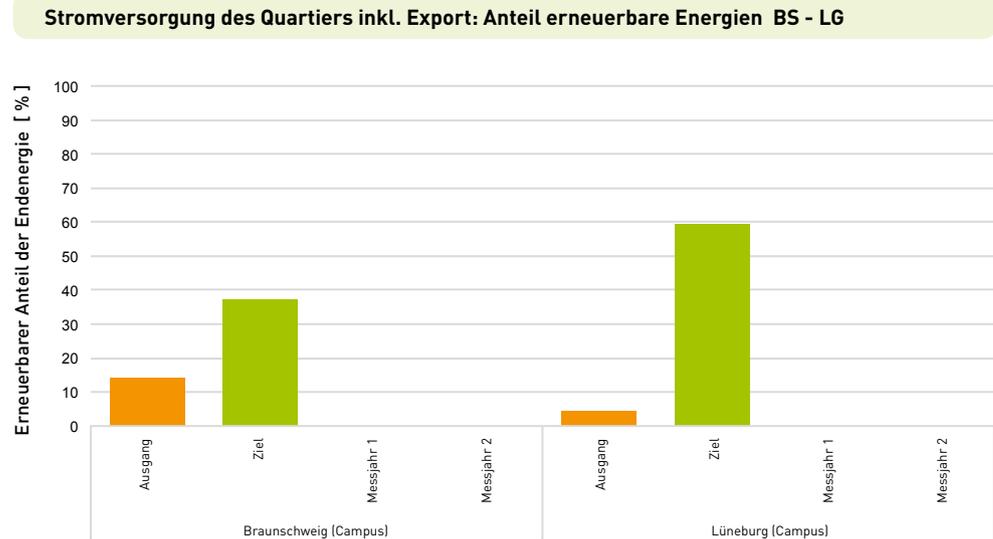


Bild 74 gibt die Anteile der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung der Quartiere wieder. Im Zielzustand ergeben sich für beide Projekte erneuerbare Energieanteile von ca. 60 %. Allerdings beruht der erneuerbare Energieanteil von Braunschweig im Ausgangs- und Zielzustand auf den in Kapitel 4.6 erläuterten Abschätzungen für eine undefinierte Fernwärme in Abhängigkeit vom dafür zertifizierten nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor. Hier ist zu bedenken, dass der Primärenergiefaktor in Braunschweig mit 0,54 angegeben und daraufhin mit einem erneuerbaren Anteil von 58 % geschätzt wurde. Die Nahwärme aus Lüneburg, die auch für den Ausgangszustand detailliert definiert wurde und ausschließlich aus Erdgas erzeugt wird, hat zum Vergleich einen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,42, aber einen erneuerbaren Anteil von 0 %. Für die nächste energetische Querauswertung sollte neben dem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor der Fernwärme auch der erneuerbare Energieanteil der Fernwärme abgefragt werden.

Beide Projekte weisen hohe erneuerbare Energieanteile in der Stromversorgung auf, wie Bild 75 veranschaulicht. Wegen des im Vergleich zu Wohngebäudequartieren hohen Stromverbrauchs in Universitäten ist es wichtig, auch die Primärenergie auf Stromseite durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren. In Braunschweig sollen hier große, zentrale und auf die Gebäude aufgeteilte Photovoltaikfelder eingesetzt werden. In Lüneburg sind ebensolche Maßnahmen geplant, ergänzt um den mit Biogas erzeugten BHKW-Strom, der ins allgemeine Stromnetz eingespeist werden soll. Die Zielwerte für den erneuerbaren Energieanteil an der Stromversorgung liegen mit 37 % (Braunschweig) bzw. 59 % (Lüneburg) über dem Mittelwert aller zwölf Demonstrationsvorhaben (33 %).

BENCHMARK: Auch bei Quartieren mit relativ hohem Stromverbrauch, wie Universitäts-campus, 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, wie hier gezeigt wurde.

Der erneuerbare Energieanteil der Gesamtenergieversorgung des Quartiers aus Wärme, Strom und im Fall von Lüneburg auch einem kleinen Kälteanteil ist in Bild 76 dargestellt. Basierend auf den Auswertungen für Wärme und Strom sind auch hier die erneuerbaren Energieanteile für die Zielzustände hoch: 48 % in Braunschweig und 60 % in Lüneburg. Zum Vergleich: Der entsprechende Mittelwert aus allen zwölf Vorhaben beträgt 45 %.

Aufgrund der bereits dargestellten Konzepte zur Nahwärmeerzeugung ergeben sich die in Bild 77 gezeigten nicht erneuerbaren Primärenergiefaktoren für die reine Nahwärme. Während Braunschweig im Zielzustand (Fernwärme mit einem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,54, ergänzt um zwei Biogas-BHKW) einen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,44 erreicht, startet Lüneburg bereits im Ausgangszustand mit einem nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,42 (Erdgas-BHKW und Erdgas-Heizwerk). Durch die Umstellung des BHKWs auf Biogas ergibt sich ein Primärenergiefaktor von -1,08. Die Ener-

Bild 76: Anteil der erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieversorgung des Quartiers für die Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg

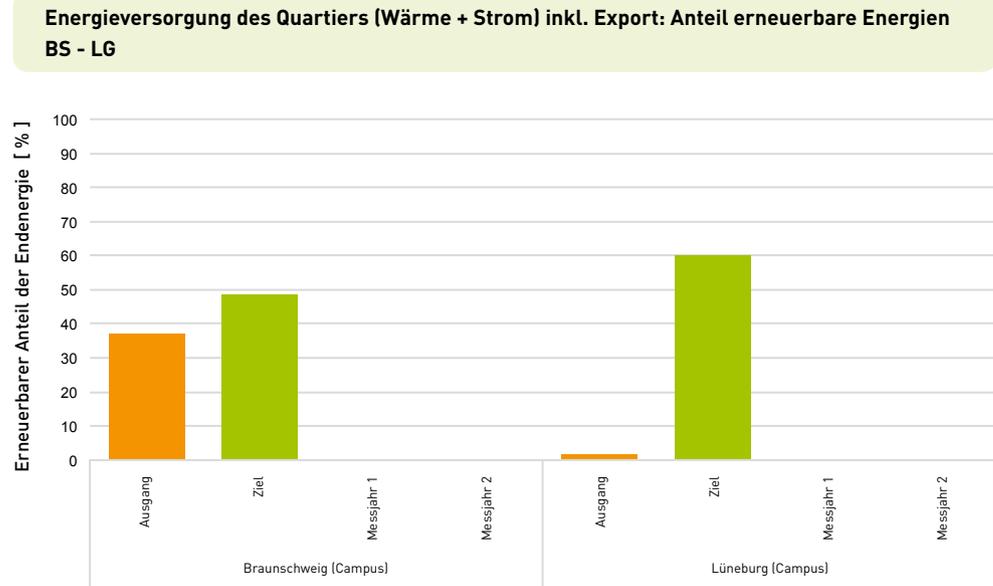
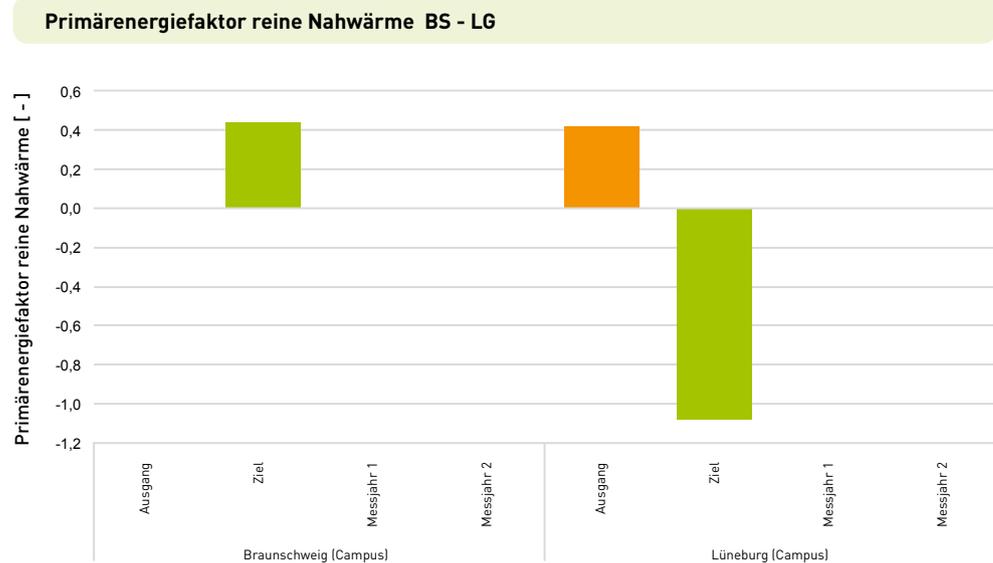


Bild 77: Primärenergiefaktor der reinen Nahwärme in den Campus-Projekten Braunschweig und Lüneburg



Primärenergie der Quartiere BS - LG

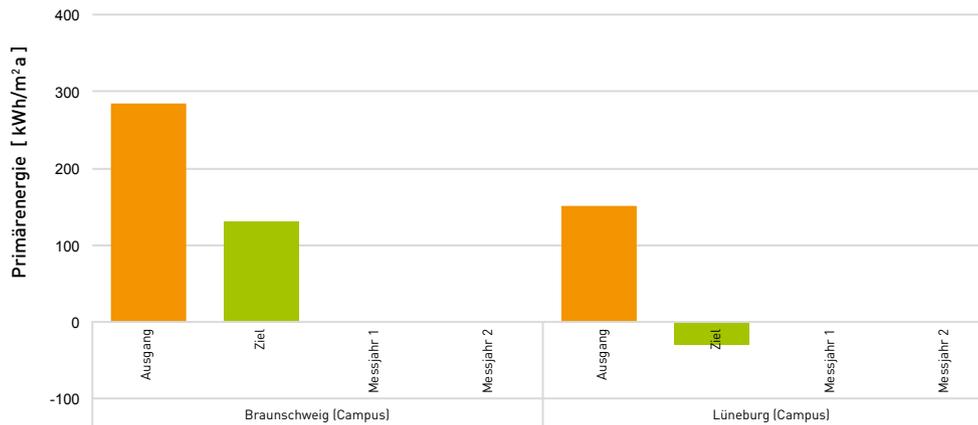


Bild 72: Primärenergie der Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg

gieeinsparverordnung (EnEV) regelt, dass negative Primärenergiefaktoren für die Nahwärme zu null gesetzt werden. Die Berechnungsmethode in EnEff:Stadt nutzt jedoch die der EnEV zugrunde liegende Norm DIN V 18599, die negative Primärenergiefaktoren als Ergebnis zulässt.

Die gesonderte Auswertung der beiden Campus-Projekte Braunschweig und Lüneburg bezüglich der Primärenergie im Quartier zeigt sehr große geplante Einsparungen. In Braunschweig soll von 284 kWh/m²a auf 131 kWh/m²a reduziert werden, das ist eine Einsparung von 54 %. Lüneburg plant mit einer Primärenergieeinsparung von 119 % (von 151 kWh/m²a auf -29 kWh/m²a). Damit sind die Einsparungen teilweise etwas niedriger und teilweise deutlich höher als der Mittelwert aus allen Demonstrationsvorhaben (68 %). Beide Vorhaben zeigen aber, dass auch für große und sehr heterogene Campus-Quartiere hohe Primärenergieeinsparungen geplant werden können.

4.11.3 Neubauprojekte mit Wohngebäuden und mehrheitlich zentraler Energieversorgung im Zielzustand

Neubauprojekte haben einen sehr viel niedrigeren Energiebedarf im Ausgangszustand als Bestandsvorhaben, da alle Einzelgebäude die Anforderungen der zum Zeitpunkt der Baugenehmigung gültigen Energieeinsparverordnung einhalten müssen. Gleichzeitig sind jedoch

auch darüber hinausgehende energetische Qualitäten an der Gebäudehülle und an der technischen Gebäudeausstattung einfacher zu erreichen, da diese ja von Anfang an mitgeplant werden können. Deshalb ist es interessant, welches energetische Niveau die Gebäude in den Neubauprojekten Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg anstreben bzw. umgesetzt haben und wie eine Nahwärmeversorgung zu diesen teilweise niedrigen Endenergiebedarfswerten an der Gebäudekante passt. Es soll Folgendes für die drei Vorhaben analysiert werden:

- Endenergiebedarf gesamt sowie aufgeteilt in Strom und Wärme an der Gebäudekante
- Endenergie gesamt sowie aufgeteilt in Strom und Wärme auf Quartiersebene
- Energieträger der Nahwärmeversorgung (zur Veranschaulichung der Unterschiede)
- In- und Output der Nahwärme
- Netzverluste der Nahwärme
- Gesamtprimärenergie im Quartier

Bild 79 zeigt den Vergleich der Endenergie an der Gebäudekante für die drei ausgewählten Vorhaben in den bisher bilanzierten Projektphasen. Auffällig ist der relativ geringe Unterschied zwischen dem Ausgangszustand (hier EnEV-Anforderungen) und dem Zielzustand. Während die geplante Endenergieeinsparung aus allen zwölf Demonstrationsvorhaben $67 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. 39 % beträgt, ist der Mittelwert aus diesen drei Vorhaben im Ausgangszustand $112 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und im Zielzustand $83 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die geplante mittlere Endenergieeinsparung an der Gebäudekante beträgt damit $29 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. 26 %. Der Grund dafür ist, dass die Endenergie im Ausgangszustand schon deutlich geringer ist als bei den Bestandsvorhaben. Trotzdem sind die Gebäude im Mittel um rund ein Viertel energieeffizienter geplant, als es die EnEV fordert. Im Projekt Landshut konnte der angestrebte Endenergiekennwert der Gebäude in den Messjahren nicht erreicht werden.

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

Bild 80 teilt die Endenergie in die Anteile für Wärme und Strom auf. Die Stromanteile weisen nur sehr geringe Unterschiede im Bereich zwischen $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (berechnet für Ludwigsburg) und $28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ auf (Mittelwert aus allen Wohngebäuden der zwölf Demonstrationsvorhaben, eingesetzt für Berlin Adlershof). Der sehr niedrige geplante Strombedarf für Landshut im Zielzustand von $12 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ konnte durch die Messungen nicht bestätigt werden. Gemessen wurden $27 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im Messjahr 1 und $26 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im Messjahr 2.

Endenergie an der Gebäudekante B - LA - LB

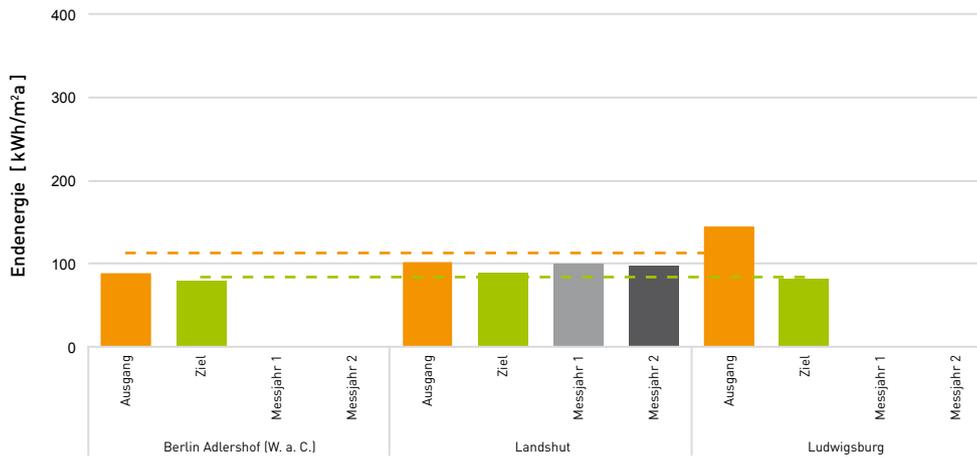


Bild 79: Endenergie an der Gebäudekante der Demonstrationvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg

- Mittelwert Ausgang
- Mittelwert Ziel

Endenergie an der Gebäudekante Wärme/Strom B - LA - LB

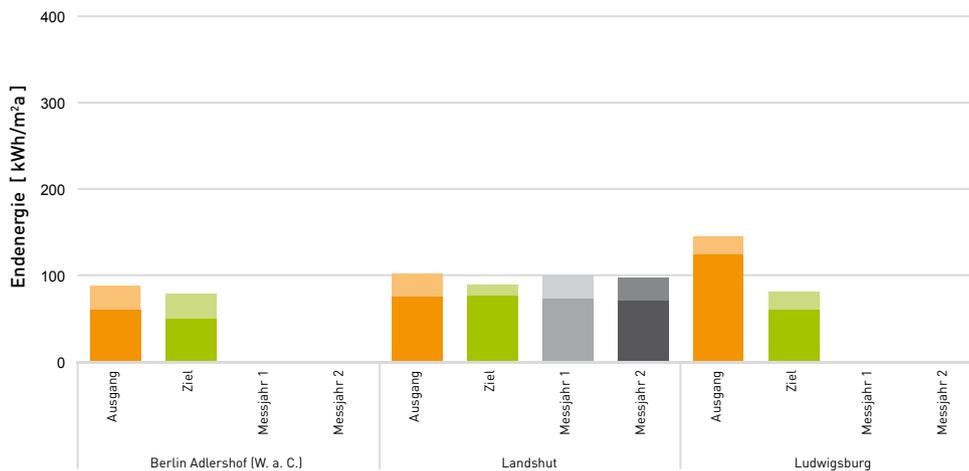


Bild 80: Endenergie an der Gebäudekante der Demonstrationvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg, aufgeteilt in Wärme und Strom

- Wärme
- Strom

Berücksichtigt man den jeweiligen Aufwand für die zentrale Nahwärmeversorgung und die Möglichkeiten der Einspeisung von erneuerbarem oder BHKW-Strom ins allgemeine Stromnetz, ergeben sich die Endenergiekennwerte im Quartier aus Bild 81. Hier war für Landshut ein negativer Stromkennwert geplant, basierend auf dezentralen Photovoltaikflächen auf den Gebäuden, deren generierter Strom ins allgemeine Stromnetz eingespeist werden sollte. Umgesetzt wurde dies jedoch nur in Teilen, so dass die Bilanz nach den Messungen jeweils einen Reststromverbrauch ergab.

Als Mittelwert der Endenergie im Quartier für die drei Vorhaben ergibt sich im Ausgangszustand wieder $112 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (alle Vorhaben werden im Ausgangszustand dezentral gemäß EnEV-Referenztechnologien versorgt) und im Zielzustand $87 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Hierbei steigt der Wärmeanteil im Zielzustand gegenüber den Werten an der Gebäudekante beim Vorhaben Berlin Adlershof um $5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und beim Vorhaben Landshut um $23 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ an. Da die Nahwärme im Vorhaben Ludwigsburg derzeit über einen Fernwärme-Primärenergiefaktor abgebildet wird, ergibt sich hier keine Veränderung, d. h. die Erzeuger- und Verteilverluste können nicht gesondert ermittelt werden.

Bild 82 veranschaulicht die in der jeweiligen Nahwärme enthaltenen Energieträger. Die Energieerzeugung in Berlin Adlershof (Wohnen am Campus) beruht auf Fernwärme. In Landshut wurde im Bereich der Mehrfamilienhäuser mit Nahwärme aus Biogas-BHKW und Biogas-Heizwerk geplant, wobei in den Messjahren dann Erdgas statt Biogas eingesetzt wurde. Die Nahwärme in Ludwigsburg wurde über einen Fernwärme-Primärenergiefaktor abgebildet und ist deshalb nicht in Bild 82 eingetragen.

Der In- und Output der Nahwärme für die Projekte Berlin Adlershof (Wohnen am Campus) und Landshut ist in Bild 83 dargestellt. Auch hier kann Ludwigsburg nicht dargestellt werden. Die geplanten Leitungsverluste in Abhängigkeit vom Energie-Input sind ähnlich hoch und können im Fall Landshut auch durch die Messungen bestätigt werden.

Bezogen auf die Endenergieabnahme der Gebäude betragen die geplanten (berechneten) Netzverluste für Berlin Adlershof $9,4 \%$ und für Landshut $15,2 \%$. Gemessen wurden in Landshut $13,4 \%$ und $15,6 \%$.

Bild 84 zeigt den resultierenden nicht erneuerbaren Primärenergiebedarf und im Falle von Landshut auch den nicht erneuerbaren Primärenergieverbrauch in den beiden Messjahren. Die drei Vorhaben liegen im Ausgangszustand mit $134 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (Berlin Adlershof), $154 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (Landshut) und $190 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (Ludwigsburg) alle weit unter dem Mittelwert für Primärenergie aus allen zwölf Demonstrationsprojekten ($246 \text{ kWh/m}^2\text{a}$). Den Mittelwert aller zwölf Vorhaben im Zielzustand von $74 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ erreicht jedoch nur Landshut mit $24 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Messungen mit einem Einsatz von Erdgas statt Biogas und weniger Photovoltaik als geplant resultieren jedoch hier in einem Primärenergieverbrauch von $144 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. $137 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Berlin Adlershof benötigt im Zielzustand $82 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Primärenergie,

Endenergie im Quartier Wärme/Strom B - LA - LB

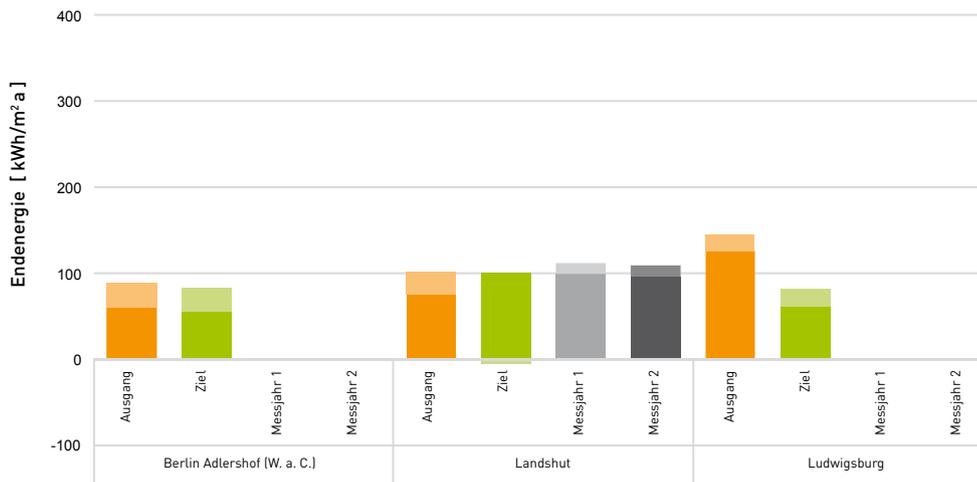


Bild 81: Endenergie auf Quartiersebene der Demonstrationvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg, aufgeteilt in Wärme und Strom

■ Wärme
■ Strom

Energieträger zur Nahwärmeerzeugung B - LA - LB

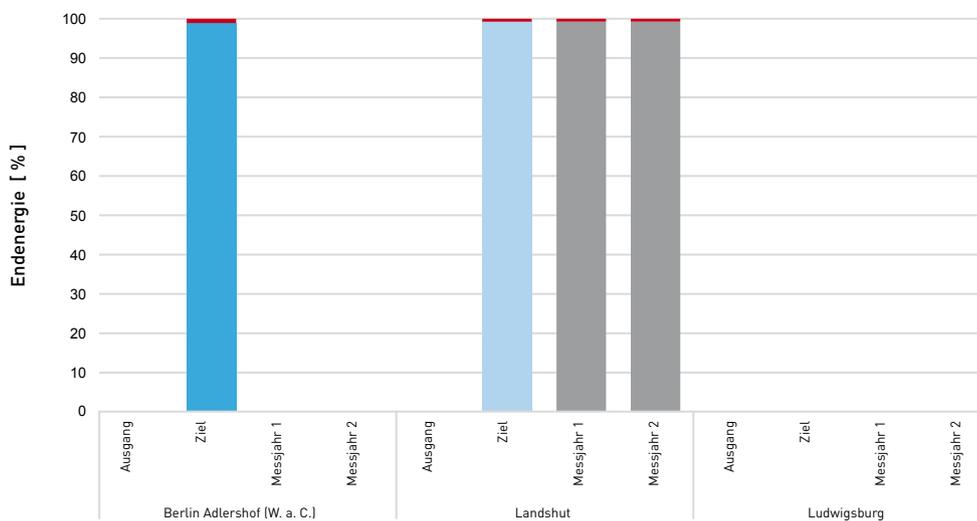


Bild 82: Energieträgeranteile an der Nahwärmeerzeugung in den Demonstrationvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg

■ Strom (Pumpen etc.)
■ Biogas
■ Erdgas
■ Fernwärme

Bild 83: Prozentualer Nahwärme-Input und -Output in den Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

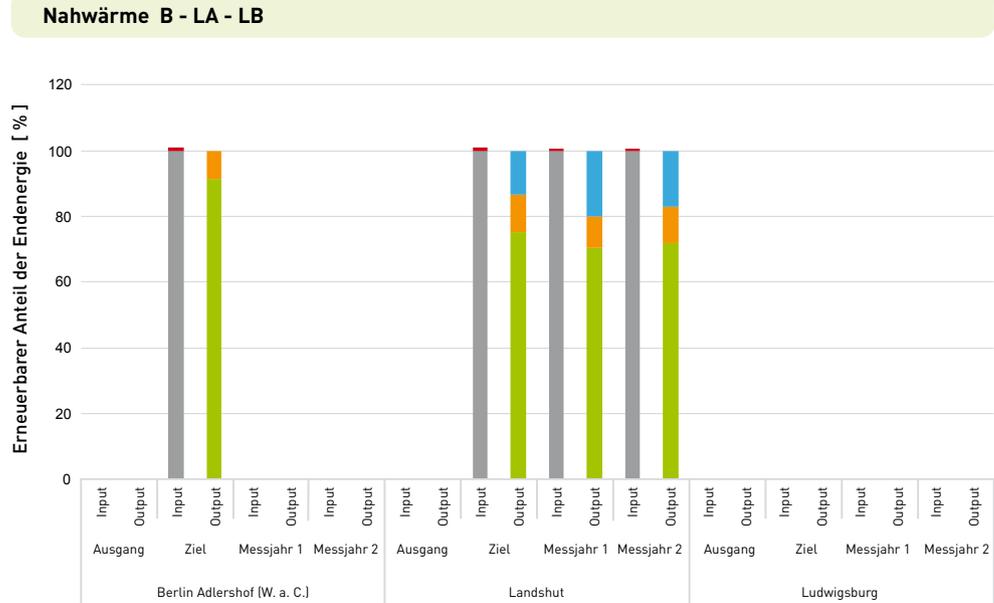
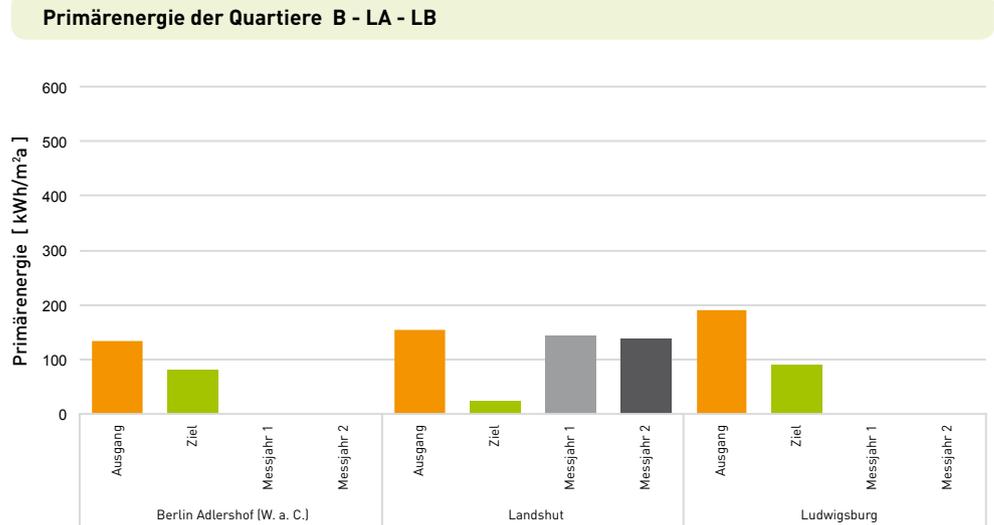


Bild 84: Primärenergie in den Demonstrationsvorhaben Berlin Adlershof (Wohnen am Campus), Landshut und Ludwigsburg



Ludwigsburg 90 kWh/m²a. Die geplanten Einsparungen an Primärenergie sind jedoch mit 52 % (Berlin Adlershof), 84 % (Landshut) und 53 % (Ludwigsburg) beträchtlich.

4.11.4 Quartiere mit Wohn- und Nichtwohngebäuden, Nahwärmeversorgung im Zielzustand sowie großen Anteilen an der Energieerzeugung durch erneuerbare Energien

Die Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel umfassen jeweils eine Mischung aus Wohngebäuden und Nichtwohngebäuden. Die Nutzung und der Anteil der Nichtwohngebäude weichen voneinander ab, so dass ein Benchmark auf Gebäudeebene wenig aussagekräftig ist. Eine Aufteilung der Endenergie an der Gebäudekante für Wohn- und Nichtwohngebäude erfolgte bereits in Kapitel 4.2. Der gesamte Endenergiebedarf bzw. -verbrauch im Ausgangszustand beläuft sich auf 286 kWh/m²a in Bad Aibling, 191 kWh/m²a in Biberach, 143 kWh/m²a im Stuttgarter Neckarpark und 152 kWh/m²a im Weimarer Zöllnerviertel. Die Endenergiebedarfswerte auf der Gebäudeebene im Zielzustand betragen 161 kWh/m²a (Bad Aibling), 160 kWh/m²a (Biberach), 82 kWh/m²a (Stuttgart Neckarpark) und 98 kWh/m²a (Weimar Zöllnerviertel), wie Bild 85 zeigt.

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

Im Folgenden sollen die Art der Nahwärmeerzeugung sowie die dabei eingesetzten Energieträger und in Kauf zu nehmenden Verluste näher analysiert werden, bevor die Primärenergie der Projekte einander gegenübergestellt wird.

In Bild 86 werden die Energieträger der Nahwärmeversorgungen in den vier Demonstrationsvorhaben prozentual dargestellt. Das Projekt Stuttgart Neckarpark operiert derzeit im Bilanzierungstool mit einem berechneten Primärenergiefaktor, der entsprechend einer Fernwärmeversorgung eingegeben wird. Der berechnete Primärenergiefaktor beruht auf einer strombetriebenen Abwasser-Wasser-Wärmepumpe in Kombination mit einem Erdgas-BHKW. Sobald eine genauere Aufschlüsselung möglich ist, kann der Zielzustand detailliert in die Nahwärmeversorgungsberechnung nachgetragen werden. Das Vorhaben Bad Aibling besaß schon im Ausgangszustand eine Nahwärmeversorgung, die über ein Heizwerk mit Heizöl als Brennstoff betrieben wurde. Im Projekt sollte das Heizwerk durch eine Kombination aus Erdgas- und Biomasse-Heizwerk sowie Solarthermie ersetzt werden. Die solarthermischen Anteile sind allerdings in den Messjahren geringer als geplant ausgefallen und wurden durch den vermehrten Einsatz von Biomasse ausgeglichen. In Biberach soll das beste-

Bild 85: Endenergie an der Gebäudekante der Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel

— Mittelwert Ausgang
— Mittelwert Ziel

Endenergie an der Gebäudekante AIB - BC - S - WE

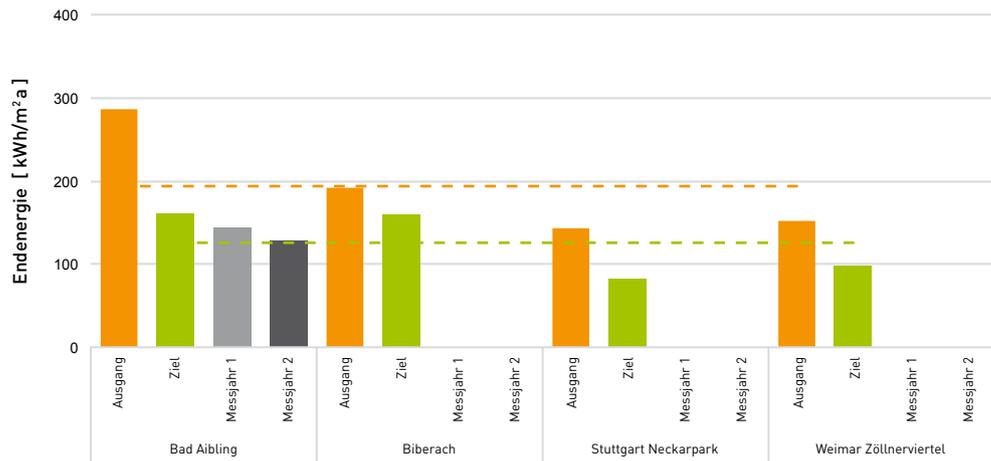
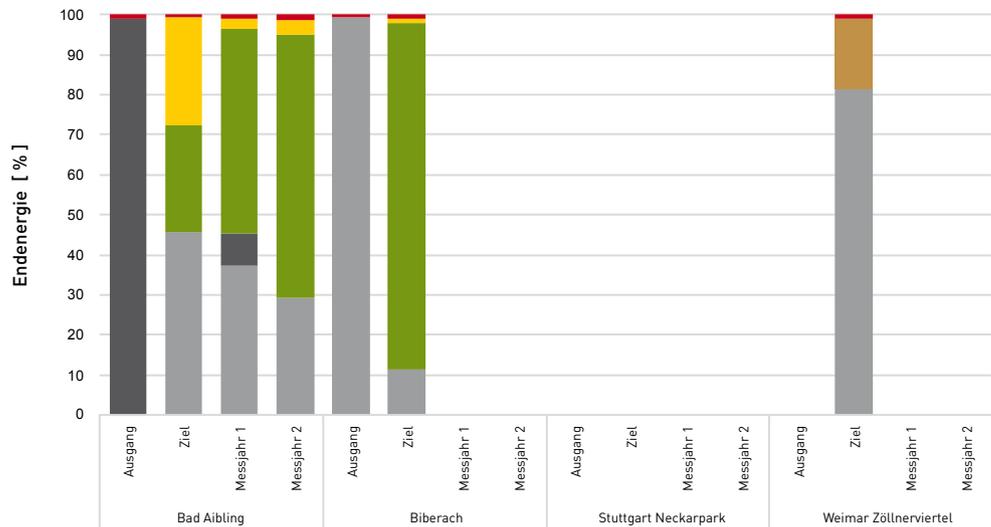


Bild 86: Energieträgeranteile an der Nahwärmeversorgung in den Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel

■ Strom (Pumpen etc.)
■ Solarthermie
■ Geothermie
■ Erdgas
■ Heizöl
■ Biomasse

Nahwärme AIB - BC - S - WE



Nahwärme AIB - BC - S - WE

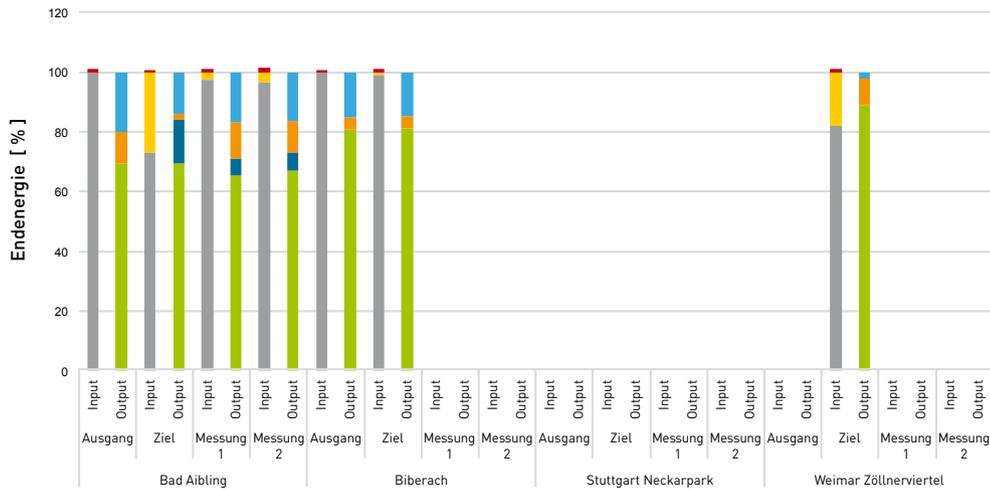


Bild 87: Input und Output der Nahwärmeversorgung in den Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel

- Erzeugerverluste
- Netzverluste
- Abgabe externes Netz
- Abnahme Gebäude
- Solarthermie/Geothermie/Abwärme
- Strom (Pumpen etc.)
- Brennstoffe

Wärmeversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien AIB - BC - S - WE

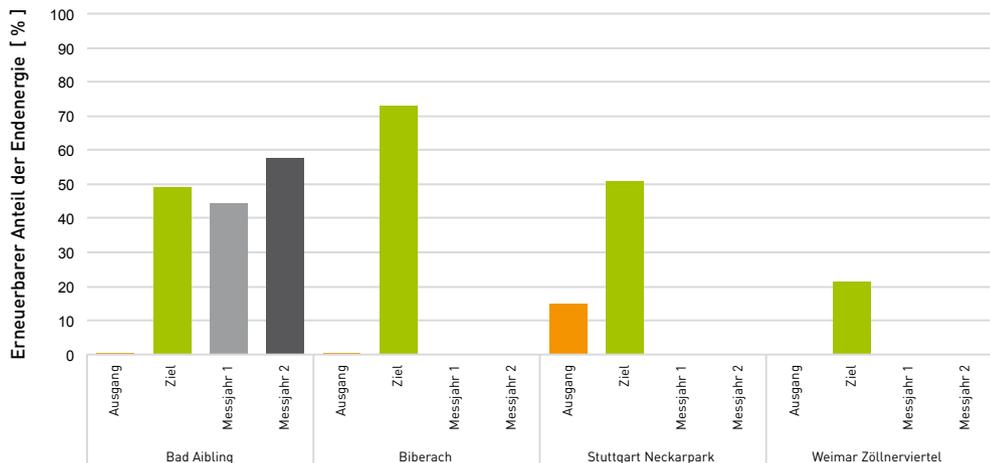


Bild 88: Anteil erneuerbarer Energien an der Wärmeversorgung der Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel

hende Erdgas-Heizwerk um ein Biomasse-Heizwerk und ein Biomasse-BHKW mit kleinen Anteilen Solarthermie erweitert werden. Die geplante Nahwärme in Weimar soll über ein Erdgas-BHKW, eine erdgekoppelte Erdgas-Wärmepumpe und ein Erdgas-Heizwerk betrieben werden.

Der prozentuale Vergleich des Inputs und Outputs der Nahwärme in den vier Projekten (Bild 87) zeigt relativ gleich hohe elektrische Aufwände für die Nahwärme. Die solaren bzw. geothermischen Beiträge in den Vorhaben weichen jedoch stark voneinander ab, beim Projekt Bad Aibling auch zwischen dem Zielzustand und den Messjahren. Nur Bad Aibling liefert Nahwärme an ein externes Netz. Die Netzverluste sind prozentual unterschiedlich und in der Planung niedriger als gemessen. Die Netzverluste im Ausgangszustand von Biberach sind niedriger als andere Netzverluste, die gemessen wurden. Es wird vermutet, dass diese Verluste im Ausgangszustand nicht gemessen, sondern berechnet oder geschätzt wurden. Die Erzeugerverluste sind hingegen relativ gleich hoch und liegen zwischen 14 % (Zielzustand Bad Aibling) und 20 % (Ausgangszustand Bad Aibling). Eine Ausnahme bildet hier der Zielzustand von Weimar, der aber auch eine Gas-Wärmepumpe vorsieht.

Die erneuerbaren Anteile an der Wärmeversorgung, der Stromversorgung und der gesamten Energieversorgung der Quartiere werden in den Bildern 88, 89 und 90 dargestellt. Der mittlere erneuerbare Anteil an der Wärmeversorgung der vier Vorhaben beträgt im Zielzustand 49 % und ist geringfügig niedriger als das allgemeine Mittel aus allen zwölf Vorhaben. Bei der Stromversorgung ist das Mittel der erneuerbaren Anteile im Zielzustand 32 % und damit auf gleicher Höhe wie der Mittelwert aus allen zwölf Vorhaben. Der Mittelwert des erneuerbaren Anteils der gesamten Energieversorgung der vier Quartiere im Zielzustand ergibt sich zu 42 %.

BENCHMARK: 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.

Der resultierende Primärenergiebedarf bzw. -verbrauch in den vier Demonstrationsquartieren wird in Bild 91 verglichen. Die Ausgangszustände sind zu verschieden, um einen aussagekräftigen Vergleich zuzulassen. Die Zielzustände hingegen ähneln sich eher, und umso mehr, wenn man berücksichtigt, dass Bad Aibling den sehr ambitionierten Primärenergiebedarf von 7 kWh/m²a in den Messungen nicht erreicht hat. Stattdessen harmonisieren die dort durchgeführten Messungen eher mit den Zielzuständen der anderen Projekte. Allerdings müssen auch diese Projekte erst nachweisen, dass sie die geplanten Kennwerte zwischen 88 kWh/m²a und 120 kWh/m²a einhalten können. Als Mittelwert aus allen Zielzuständen ergibt sich 79 kWh/m²a. Ohne den sehr niedrigen Kennwert von Bad Aibling beträgt der Mittelwert im Zielzustand 103 kWh/m²a.

Stromversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien AIB - BC - S - WE

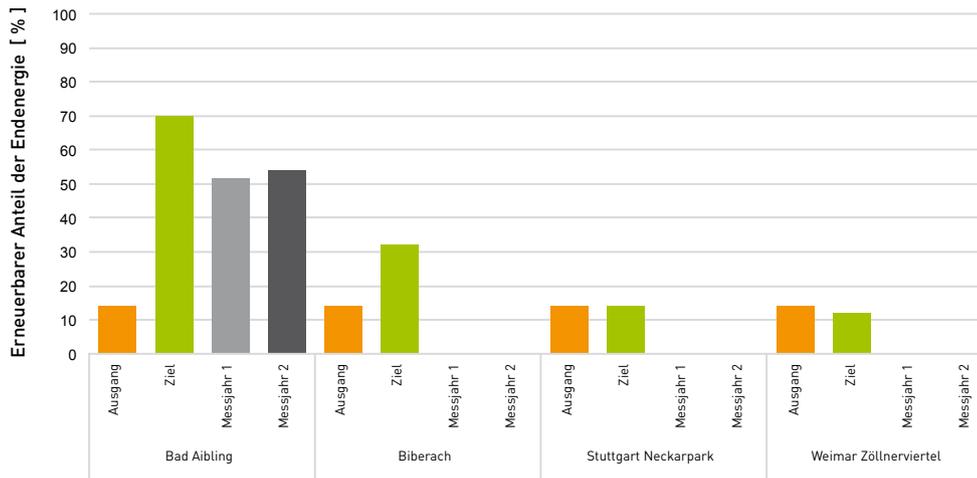


Bild 89: Anteil erneuerbarer Energien an der Stromversorgung der Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel.

Energieversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien AIB - BC - S - WE

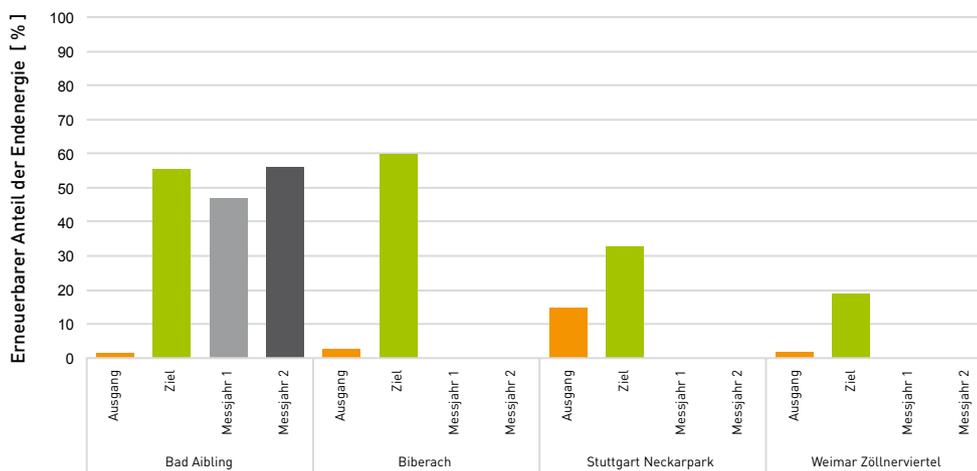
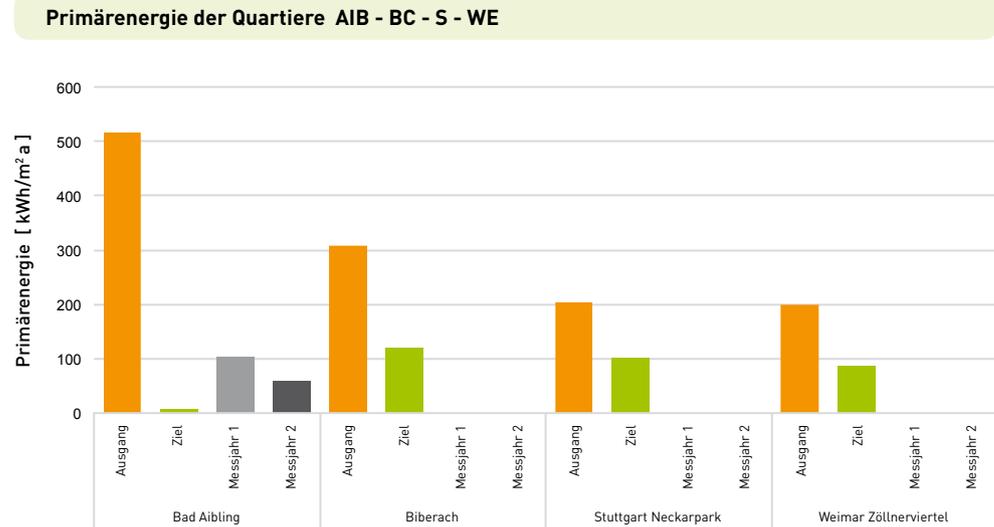


Bild 90: Anteil erneuerbarer Energien an der gesamten Energieversorgung der Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel.

Bild 91: Primärenergie in den Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach, Stuttgart Neckarpark und Weimar Zöllnerviertel



BENCHMARK: In Mischquartieren können Primärenergiekennwerte von ca. 100 kWh/m²a eingeplant und, wie das Projekt Bad Aibling zeigt, auch messtechnisch nachgewiesen werden.

4.11.5 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung geothermischer Wärmepumpen

In diesem Kapitel soll anhand der Projekte Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel analysiert werden, welche Einflüsse eine geothermische Wärmepumpe auf den Energieverbrauch von Quartieren haben kann. Der detaillierte Vergleich konzentriert sich auf die Nahwärme und die Auswirkungen auf die erneuerbaren Energieanteile und die Primärenergie. Zu berücksichtigen ist, dass in Landshut die geothermischen Wärmepumpen nicht in der Nahwärme, sondern parallel zur Nahwärme für die dezentral versorgten Einfamilienhäuser eingesetzt werden, und dass die Nahwärmeversorgung von Ludwigsburg derzeit über einen Primärenergiefaktor ähnlich wie eine Fernwärme bilanziert wird.

Der Endenergiebedarf der Gebäude beträgt im Ausgangszustand 103 kWh/m²a in Landshut, 145 kWh/m²a in Ludwigsburg, 338 kWh/m²a in München und 152 kWh/m²a im Weimarer Zöllnerviertel. Im Zielzustand ergeben sich folgende Kennwerte: 89 kWh/m²a für Landshut, 81 kWh/m²a für Ludwigsburg, 73 kWh/m²a für München und 98 kWh/m²a für Weimar. Damit liegen die Zielzustände in einem schmalen Band zwischen 73 und 98 kWh/m²a.

Bild 92 visualisiert die unterschiedlichen Einsätze der Geothermie in den vier Vorhaben. In Landshut wird sie im Zielzustand und in den Messjahren durch dezentrale Wärmepumpen in den Einfamilienhäusern genutzt (Anteile Strom und Anteile Geothermie), wohingegen die Mehrfamilienhäuser mit Nahwärme (orangefarben) aus einer Kombination von Biogas- bzw. Erdgas-BHKW und -Kessel versorgt werden. In Ludwigsburg ist ausschließlich eine Versorgung mit Nahwärme geplant, in die eine an das Erdreich gekoppelte Wärmepumpenanlage eingebunden ist. Ähnliches gilt für München Lilienstraße, wo eine Sole-gekoppelte Wärmepumpe geplant und bereits umgesetzt ist (die aber in den Darstellungen der Geothermie zugeordnet wird). Im Weimarer Zöllnerviertel soll ebenso eine Erdreich-Wärmepumpe in die Nahwärme einbezogen werden, es gibt aber auch dezentrale Energieversorgung aus Erdgas und Biomasse.

Bild 93 zeigt den Einsatz der Energieträger in der Nahwärme für die einzelnen Vorhaben. Landshut hatte hier die Nutzung von Biogas geplant, aber dann Erdgas eingesetzt. Ludwigsburg kann, wie bereits angemerkt, nicht genauer aufgeschlüsselt werden (Angabe eines Primärenergiefaktors für die Nahwärme). München Lilienstraße setzt sowohl Geothermie als auch Solarthermie zusätzlich zu Erdgas im Bereich der Nahwärme ein, und Weimar erzeugt die Nahwärme aus Erdgas und Geothermie. Sowohl München Lilienstraße als auch Weimar Zöllnerviertel haben dafür eine mit Erdgas betriebene Wärmepumpe geplant. Der Nutzungsanteil der gasbetriebenen Wärmepumpe in München ist im Messjahr 1 aufgrund aufgetretener Defekte an der Kuppelung deutlich geringer als geplant. Deshalb sind die Anteile der Geothermie hier niedriger.

Die erneuerbaren Energieanteile an der gesamten Wärmeversorgung der Quartiere im Zielzustand belaufen sich auf 67 % in Landshut, 48 % in Ludwigsburg (geschätzt aus dem Primärenergiefaktor der Nahwärme), 39 % in München und 21 % in Weimar. Der Mittelwert aus den vier Vorhaben im Zielzustand beträgt 44 %. Ludwigsburg ist das einzige Quartier, dessen erneuerbare Energie allein auf Geothermie beruht. Da für dieses Projekt, wie in 4.6 beschrieben, der erneuerbare Energieanteil geschätzt werden musste, lässt sich leider kein Benchmark dafür ermitteln, wie hoch ein erneuerbarer Energieanteil aus Geothermie in einem Quartier werden kann. Man kann jedoch erkennen, dass Geothermie in Verbindung mit der Nutzung anderer erneuerbarer Energieträger zu einem hohen erneuerbaren Energieanteil führen kann.

BENCHMARK: 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 %.

Bild 92: Energieträger zur Wärmearzeugung in den Demonstrationsvorhaben Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel

- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Heizöl
- Nahwärme
- Strom
- Biomasse

Energieträger Wärme LA - LB - M - WE

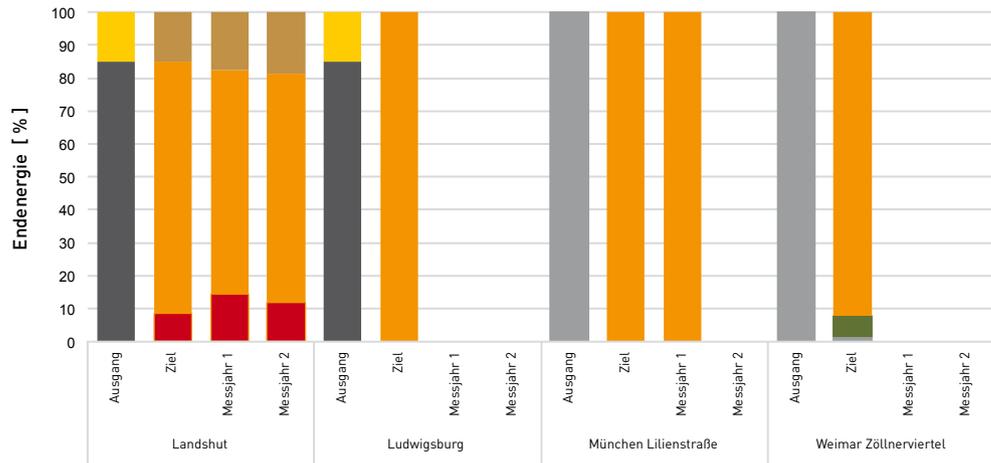
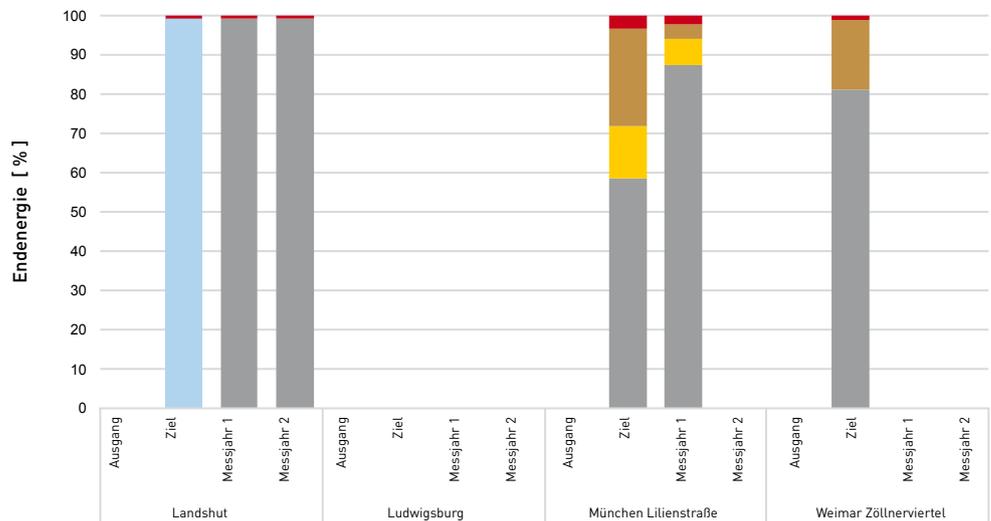


Bild 93: Energieträger zur Nahwärmearzeugung in den Demonstrationsvorhaben Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel

- Strom (Pumpen etc.)
- Solarthermie
- Geothermie
- Erdgas
- Biogas

Energieträger zur Nahwärmearzeugung LA - LB - M - WE



Wärmeversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien LA - LB - M - WE

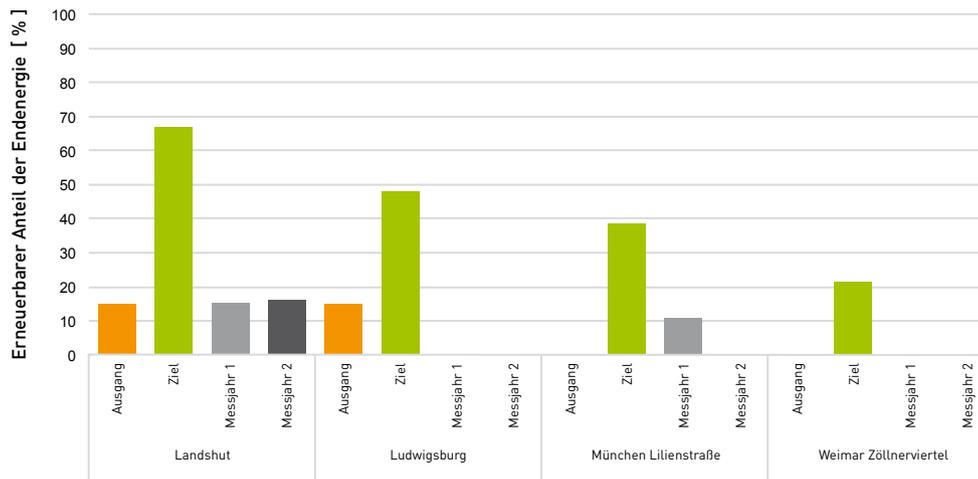


Bild 94: Erneuerbare Energieanteile an der Wärmeversorgung der Quartiere in den Demonstrationsvorhaben Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel

Primärenergie der Quartiere LA - LB - M - WE

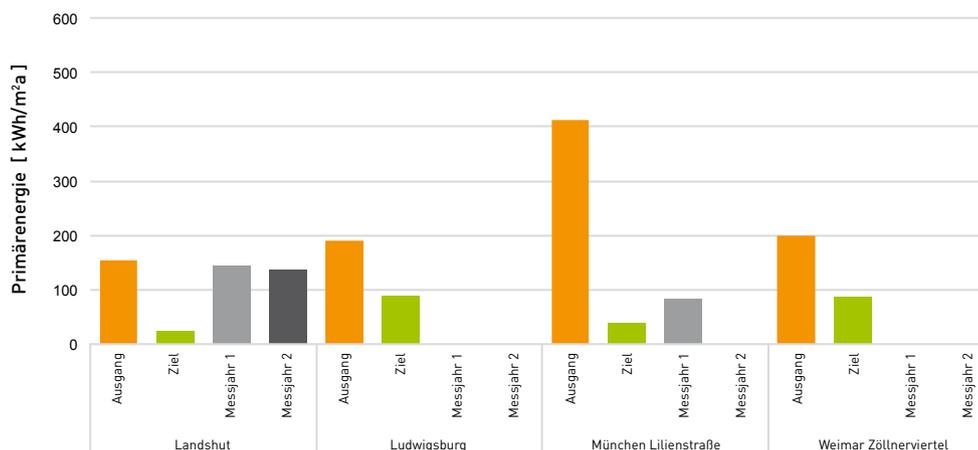


Bild 95: Primärenergiebedarf und -verbrauch der Demonstrationsvorhaben Landshut, Ludwigsburg, München Lilienstraße und Weimar Zöllnerviertel

Als resultierender Primärenergiebedarf der vier Vorhaben im Zielzustand ergibt sich 24 kWh/m²a in Landshut (gemessen wurden hier unter den bereits angemerkten veränderten Randbedingungen 144 und 137 kWh/m²a), 90 kWh/m²a in Ludwigsburg, 40 kWh/m²a in München Lilienstraße (gemessen wurden hier 84 kWh/m²a) und 87 kWh/m²a im Weimarer Zöllnerviertel. Obwohl die Endenergiekennwerte der Gebäude relativ dicht beieinander liegen, zeigen sich deutlich unterschiedliche Primärenergiekennwerte. Das ist auf die unterschiedlichen Energieversorgungskonzepte sowie die unterschiedlich hohen Beiträge durch Geothermie und andere erneuerbare Energieträger zurückzuführen. Der Mittelwert im Zielzustand aus allen vier Vorhaben beläuft sich auf 60 kWh/m²a. Das bedeutet eine mittlere Einsparung von Primärenergie um 75 % gegenüber dem Ausgangszustand.

BENCHMARK: 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.

4.11.6 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung von Solarthermie

In diesem Vergleich sollen die Demonstrationsvorhaben Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße genauer analysiert werden. Betrachtet werden dabei:

- Energieträger der Nahwärmeversorgung
- In- und Output der Nahwärme
- Netzverluste der Nahwärme
- Anteile von erneuerbaren Energien
- Primärenergiefaktor der Nahwärme
- Gesamtprimärenergie im Quartier

Die Endenergie an der Gebäudekante zu vergleichen, ist hier nicht sinnvoll, da die Quartiers-typen sich in Bezug auf Gebäudegrößen, enthaltene Nichtwohngebäude, Gebäudealter etc. stark unterscheiden. Trotzdem sei darauf hingewiesen, dass der Endenergiebedarf an der Gebäudekante der Vorhaben auch noch im Zielzustand starke Unterschiede aufweist. Er beträgt für Bad Aibling 161 kWh/m²a, für Biberach 160 kWh/m²a und für München Lilienstraße 73 kWh/m²a.

Bild 96 zeigt die unterschiedlichen eingesetzten Energieträger in den Nahwärmeversorgungen der drei Demonstrationsprojekte. Zwei Projekte haben bereits im Ausgangszustand eine Nahwärmeversorgung, die jeweils eine Energieerzeugung aus rein fossilen Energieträgern umfasst (Bad Aibling mit Heizöl und Biberach mit Erdgas). Im Zielzustand weisen alle Vor-

Energieträger zur Nahwärmeerzeugung AIB - BC - M

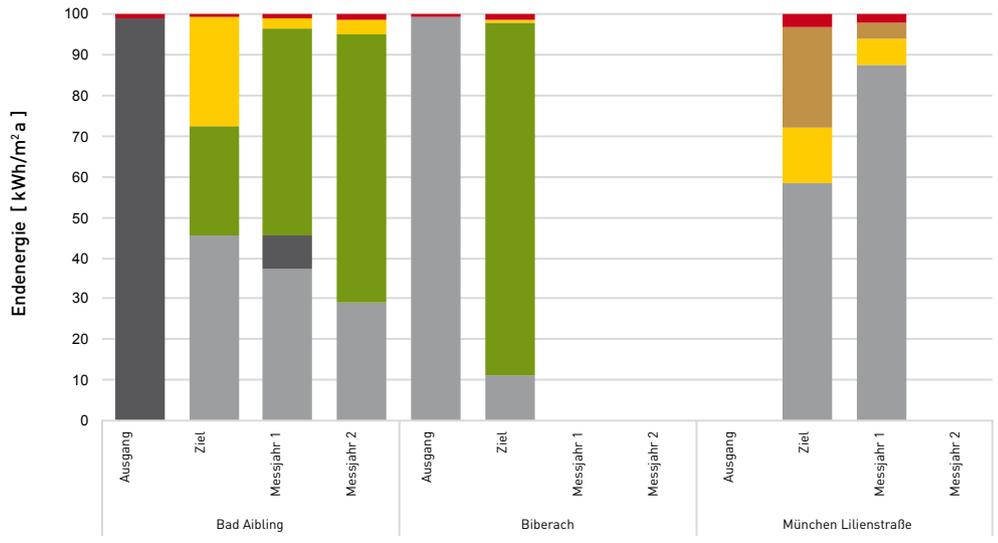


Bild 96: Energieträger der Nahwärmeversorgung in den Quartieren Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße
 ■ Strom (Pumpen etc.)
 ■ Solarthermie
 ■ Geothermie
 ■ Erdgas
 ■ Heizöl
 ■ Biomasse

Nahwärme AIB - BC - M

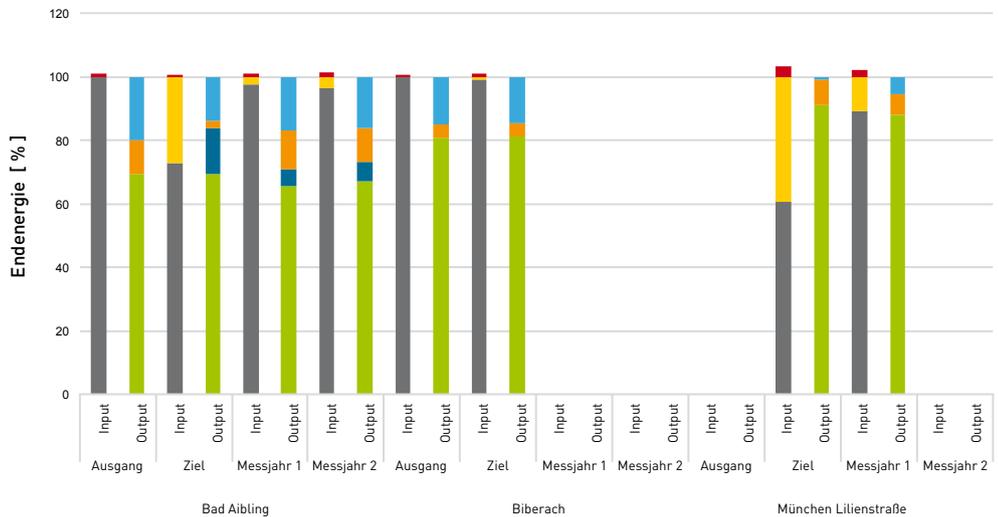


Bild 97: Prozentualer Nahwärme-Input und -Output in den Quartieren Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße
 ■ Erzeugerverluste
 ■ Netzverluste
 ■ Abgabe externes Netz
 ■ Abnahme Gebäude
 ■ Solarthermie/Geothermie/Abwärme
 ■ Strom (Pumpen etc.)
 ■ Brennstoffe

haben solarthermische Anteile an der Energieerzeugung auf. Diese betragen für Bad Aibling 27 %, für Biberach 1 % und für München Lilienstraße 14 %. In allen drei Projekten sollen die solarthermischen Anteile noch mit weiteren erneuerbaren Energieträgern unterstützt werden: mit Biomasse im Fall von Bad Aibling und Biberach und mit Geothermie im Projekt München Lilienstraße. So verbleiben fossile Energieträgeranteile von 46 % in Bad Aibling, 11 % in Biberach und 59 % im Vorhaben München Lilienstraße. In den Projekten Bad Aibling und München Lilienstraße konnten die geplanten hohen solaren Anteile in den Messjahren (noch) nicht erreicht werden.

BENCHMARK: 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 %.

In Bild 97 werden jeweils der Input und der Output der Nahwärme einander gegenübergestellt. Auf der Inputseite sind alle Brennstoffe (fossil und erneuerbar, also auch die Biomasse) und die Anteile von Solarthermie und Geothermie zusammengefasst. Die Darstellung fokussiert auf die entstehenden Verlustanteile der Erzeuger und der Nahwärmetrassen. Biberach weist im Zielzustand mit 19 % ähnliche prozentuale Verluste (Netzverluste plus Erzeugerverluste) auf wie Bad Aibling (16 %). Allerdings haben in Bad Aibling die gemessenen Verlustkennwerte die Planung nicht bestätigen können. Bei Biberach steht eine Messung noch aus. München Lilienstraße bilanziert gemäß Planung nur 8 % Netzverluste. Durch den Einsatz einer Wärmepumpe in Kombination mit Solarthermie und einem Heizwerk ergeben sich in Summe die Erzeugerverluste von 1 %. Die Wärmepumpe hat eine Jahresarbeitszahl von 1,5 (d.h. einen thermischen Wirkungsgrad von 150 %). Das Heizwerk besteht aus einem Brennwärmtessel, der mit einem thermischen Wirkungsgrad von 90 % angesetzt wurde. Unter Berücksichtigung der gewonnenen Geothermie, die sich aus der Differenz zwischen der von der Wärmepumpe erzeugten thermischen Energie und dem Erdgaseinsatz für die Pumpe ergibt, beträgt die Effizienz der Wärmepumpe 100 %. Das Messjahr 1 in München zeigt Erzeugerverluste von 6 %, weil die Wärmepumpe deutlich weniger lief als geplant.

Die Netzverluste in Nahwärmesystemen mit solaren Erzeugungsanteilen bezogen auf die Endenergieabnahme durch die Gebäude weisen keinen signifikanten Unterschied zu Nahwärmesystemen mit anderen Erzeugerenergien auf, wie auch Bild 45 (S.77) zeigt. Der prozentuale Anteil der gemessenen Netzverluste beträgt zwischen 15,4 % und 18,9 %.

Bei den erneuerbaren Energieanteilen in den Bildern 98 und 99 wurde gleich auf Quartiers-ebene bilanziert, also inklusive Export von Wärmeanteilen in Fremdnetze und von Stromproduktion ins allgemeine Netz. Wenig überraschend zeigen die drei Projekte relativ hohe erneuerbare Anteile an der Wärmeversorgung des Quartiers im Zielzustand und auch in den bereits durchgeführten Messjahren. Der Mittelwert im Zielzustand liegt hier bei 54 %. Zum Vergleich: Der Mittelwert der Wärmeversorgung im Quartier bei allen zwölf Demonstra-

Wärmeversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien AIB - BC - M

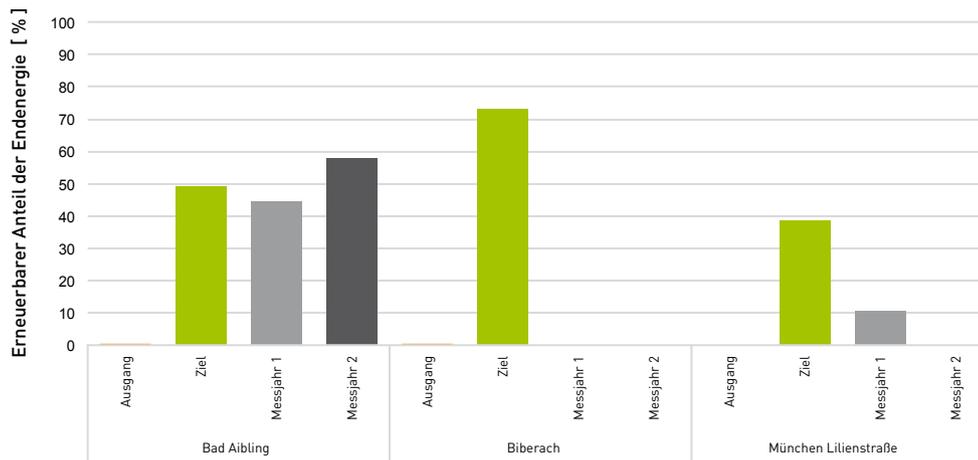


Bild 98: Erneuerbarer Energieanteil an der Wärmeversorgung der Quartiere Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße

Energieversorgung des Quartiers (Wärme + Strom) inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien AIB - BC - M

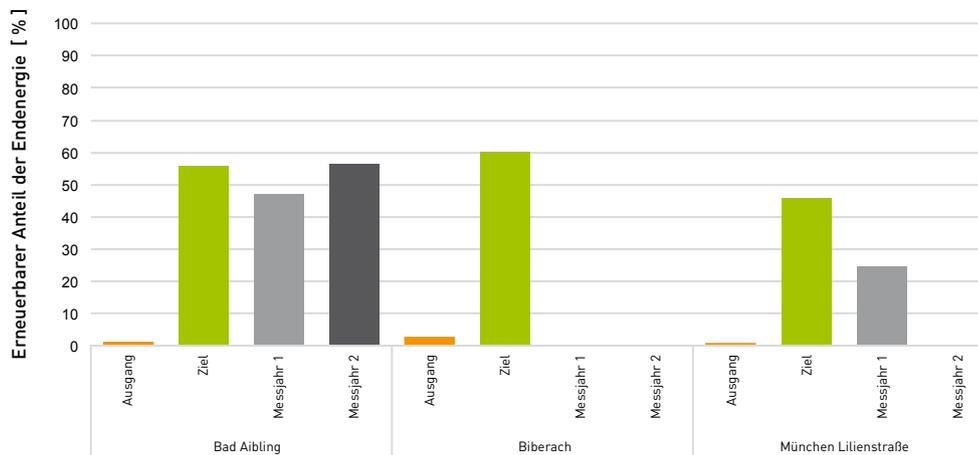


Bild 99: Erneuerbarer Energieanteil an der gesamten Energieversorgung der Quartiere Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße

Bild 100: Nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor der Nahwärmeversorgung der Quartiere Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße

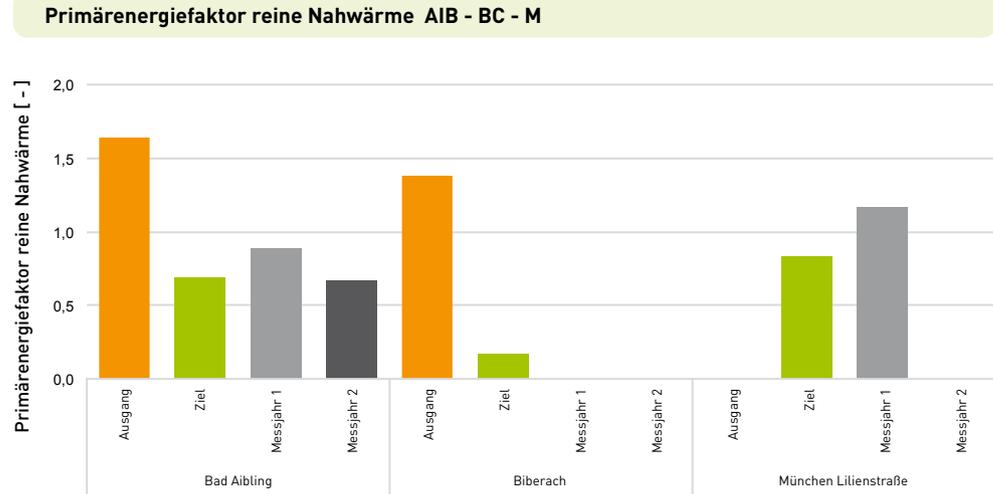
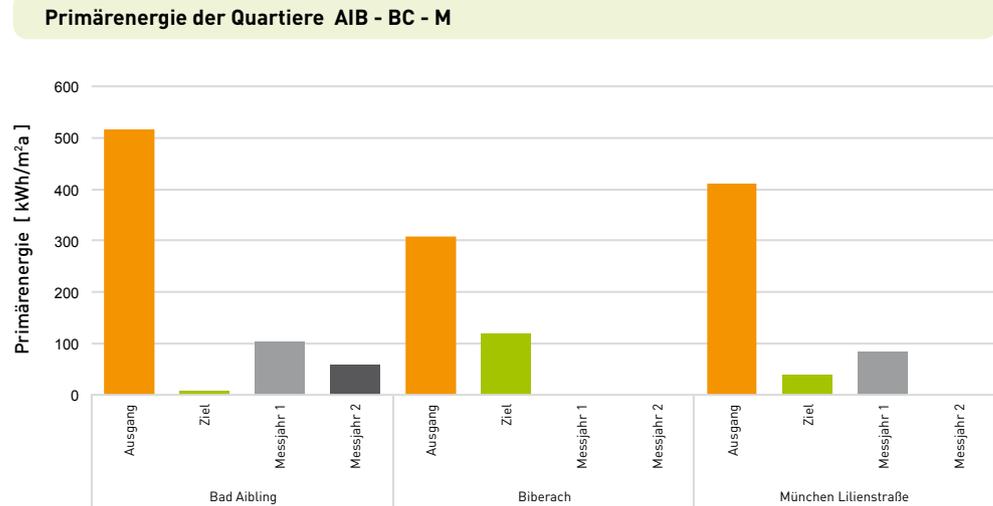


Bild 101: Primärenergiebedarf bzw. -verbrauch der Quartiere Bad Aibling, Biberach und München Lilienstraße



tionsvorhaben im Zielzustand beläuft sich auf 51 %. Allerdings steuert nicht die Solarthermie allein die erneuerbaren Anteile bei, größere Anteile kommen durch den Einsatz von Biomasse und Geothermie hinzu.

BENCHMARK: Bei einem Fokus auf erneuerbare Energien inklusive Solarthermie in der Nahwärmeerzeugung kann ein Anteil von über 50 % erneuerbarer Energien in der Quartierswärmeversorgung geplant und, wie Bad Aibling zeigt, auch messtechnisch nachgewiesen werden.

Bezogen auf die gesamte Energie im Quartier, also für Wärme und Strom, ergeben sich ebenfalls hohe erneuerbare Energieanteile. In Bad Aibling und München Lilienstraße wachsen die Anteile bedingt durch die zentralen Photovoltaikfelder mit dem Export ins allgemeine Stromnetz sogar noch an. Der Mittelwert der erneuerbaren Energieanteile im Quartier für die drei Vorhaben beträgt im Zielzustand 54 %. Für alle zwölf analysierten Vorhaben beläuft er sich auf 45 %.

Der nicht erneuerbare Primärenergiefaktor, der sich für die reine Nahwärme im Zielzustand ergibt, ist bei allen drei Vorhaben niedrig und beträgt im Mittel 0,56, wie im Bild 100 zu sehen ist. Allerdings betrug das Mittel aller zwölf Demonstrationsvorhaben 0,36 und lag damit deutlich darunter. Dies wurde vor allem durch Vorhaben wie Lüneburg, Freiburg und eben Biberach bewirkt, in denen BHKW teilweise mit erneuerbaren Energieträgern betrieben werden. Die relativ geringen solaren Anteile der drei betrachteten Projekte tragen nicht signifikant dazu bei, den Primärenergiefaktor der Nahwärme zu reduzieren.

Die Summe des Primärenergiebedarfs bzw. -verbrauchs in den drei Demonstrationsvorhaben mit solaren Anteilen in der Nahwärmeversorgung ist in Bild 101 dargestellt. Der Mittelwert im Zielzustand soll auf 56 kWh/m²a gesenkt werden und liegt damit unter dem Mittelwert aller zwölf Demonstrationsvorhaben von 74 kWh/m²a. Dies geht aber nicht hauptsächlich auf den Einsatz thermischer Solarenergie zurück. Es ist die Summe aller Maßnahmen an der Nahwärmeversorgung, die diesen Effekt ausmacht: die Nutzung von Solarthermie, Geothermie und Biomasse, der Einsatz des BHKWs in Biberach und die in Bad Aibling und München eingesetzten zentralen Photovoltaikfelder zur Stromproduktion. Ein Benchmark für solare Nahwärme kann hieraus also nicht abgeleitet werden.

4.11.7 Quartiere mit zentralen Photovoltaikfeldern

Die Projekte mit zentralen Photovoltaikfeldern sind Bad Aibling, Braunschweig, Lüneburg und München Lilienstraße. Anhand dieser vier Vorhaben soll untersucht werden, wie groß der Einfluss der Photovoltaik auf den Stromverbrauch der Quartiere sein kann, also welche erneuerbaren Energieanteile am Strom und welche Primärenergiekennwerte entstehen.

Bild 102 enthält die flächenbezogenen Endenergiekennwerte an der Gebäudekante, unterteilt in Wärme, Strom und Kälte (letztere nur für Lüneburg). Auch für den Zielzustand und die Messjahre sind diese sehr unterschiedlich. Die Stromanteile betragen im Ausgangszustand 36 kWh/m²a für Bad Aibling, 89 kWh/m²a für Braunschweig, 37 kWh/m²a für Lüneburg und 25 kWh/m²a für München Lilienstraße. Im Zielzustand sind es 30 kWh/m²a in Bad Aibling (gemessen wurden 49 kWh/m²a und 47 kWh/m²a), 70 kWh/m²a in Braunschweig, 27 kWh/m²a in Lüneburg und 20 kWh/m²a in München (bei gemessenen 23 kWh/m²a).

Der Strombedarf bzw. -verbrauch auf Quartiersebene, der in Bild 103 als Anteil an der Endenergie dargestellt ist, ergibt sich, wenn man die folgenden Faktoren mitbilanziert: die stromseitigen Verluste von Nahwärme-BHKW für selbst genutzten Strom im Quartier, den zentral erzeugten Photovoltaikstrom, der selbst genutzt bzw. eingespeist wird, und den auf den Gebäuden erzeugten Photovoltaikstrom, der in das allgemeine Netz eingespeist wird.

Im Zielzustand verringert sich der Endenergiebedarf Strom von 30 kWh/m²a an der Gebäudekante auf -25 kWh/m²a auf Quartiersebene im Fall von Bad Aibling, von 70 kWh/m²a auf 64 kWh/m²a in Braunschweig, von 27 kWh/m²a auf 17 kWh/m²a in Lüneburg und von 20 kWh/m²a auf 1 kWh/m²a in München. Bad Aibling konnte im Messjahr 2 einen Stromverbrauch auf Quartiersebene von 7 kWh/m²a messen und München im Messjahr 1 den Wert von 6 kWh/m²a. Die jeweiligen Differenzen im Strombedarf betragen 55 kWh/m²a in Bad Aibling (186 %), 6 kWh/m²a in Braunschweig (9 %), 9 kWh/m²a in Lüneburg (34 %) und 20 kWh/m²a in München (97 %). Die sehr hohen Differenzen zum Strombedarf an der Gebäudekante in Bad Aibling und München Lilienstraße gehen ausschließlich auf Photovoltaikanlagen zurück, beide Quartiere umfassen kein zentrales BHKW.

BENCHMARK: Der Einsatz von Photovoltaik kann in der Quartiersbilanz zu einer (nahezu) vollständigen Abdeckung des Strombedarfs von Stadtquartieren mit vielen Wohngebäuden führen, wie die zwei Demonstrationsvorhaben Bad Aibling und München Lilienstraße zeigen.

Die erneuerbaren Energieanteile an der Stromversorgung der Vorhaben werden in Bild 104 aufgetragen. Diese betragen im Mittel 56 % und liegen damit weit über dem Durchschnitt von 33 % für alle zwölf ausgewerteten Vorhaben.

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

Endenergie an der Gebäudekante: Wärme/Strom/Kälte AIB - BS - LG - M

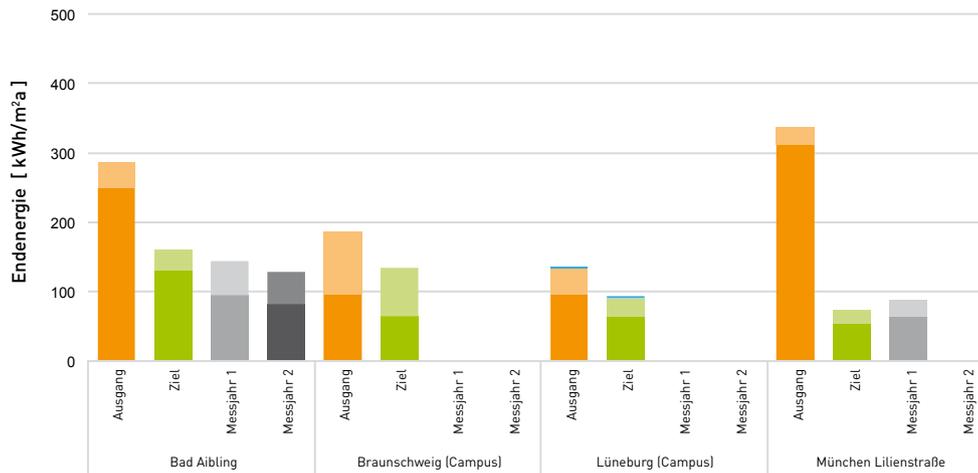


Bild 102: Endenergiebedarf an der Gebäudekante der Quartiere Bad Aibling, Braunschweig, Lüneburg und München Lilienstraße

- Wärme
- Strom
- Kälte

Endenergie im Quartier: Wärme/Strom/Kälte AIB - BS - LG - M

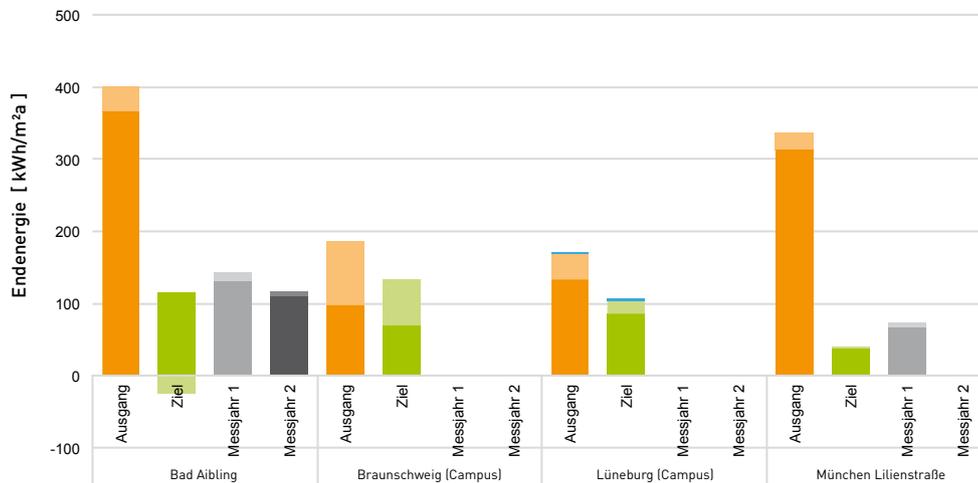


Bild 103: Endenergiebedarf auf Quartiersebene in den Vorhaben Bad Aibling, Braunschweig, Lüneburg und München Lilienstraße

- Wärme
- Strom
- Kälte

Bild104: Erneuerbare Energieanteile in der Stromversorgung der Vorhaben Bad Aibling, Braunschweig, Lüneburg und München Lilienstraße

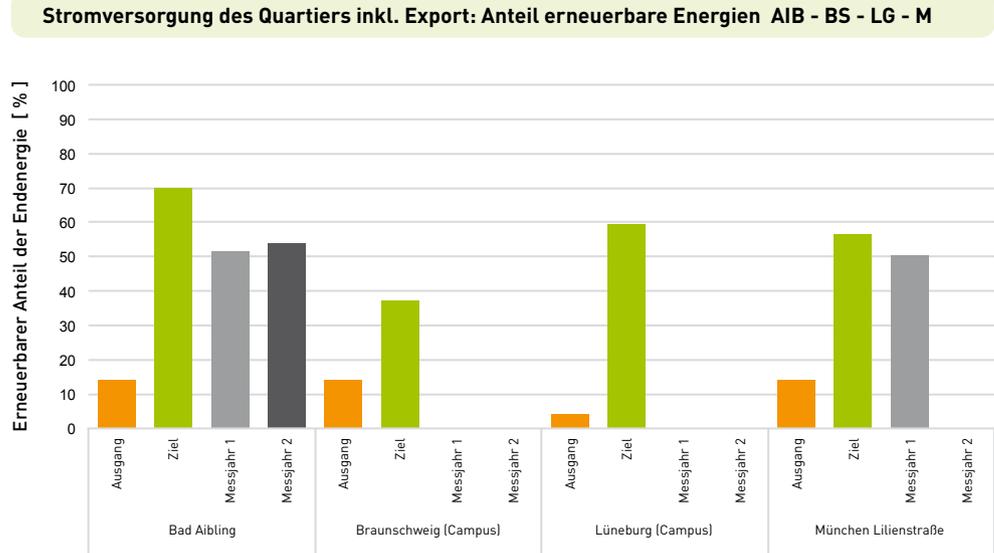
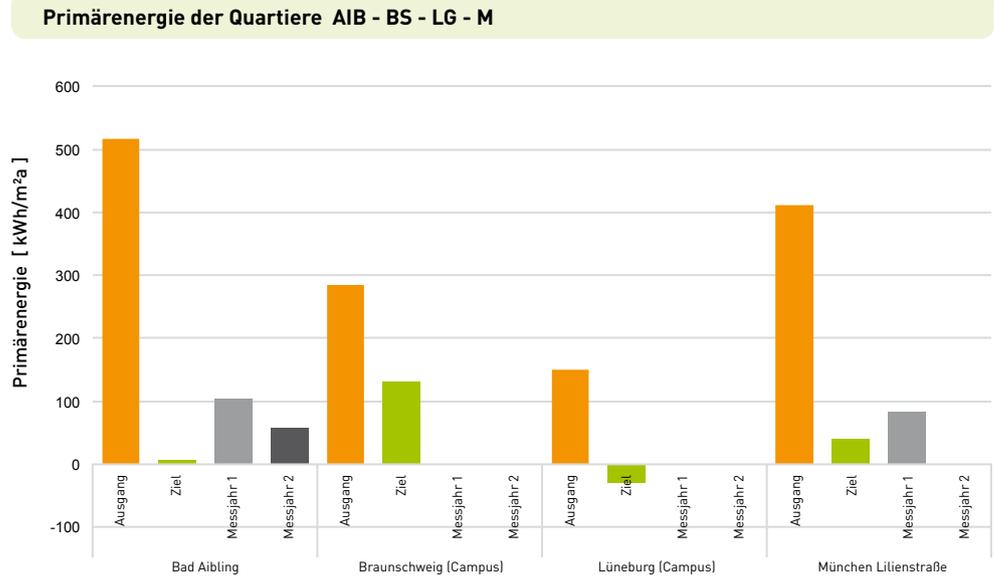


Bild 105: Primärenergie der Demonstrationsquartiere Bad Aibling, Braunschweig, Lüneburg und München Lilienstraße



Die resultierenden Primärenergieverbrauchs- und -bedarfswerte der vier Vorhaben werden in Bild 105 gezeigt. Neben den stromseitigen Einsparungen durch den gerade erörterten Einsatz von Photovoltaik gibt es natürlich weitere Parameter, die sich auf die Primärenergiekennwerte im Zielzustand positiv auswirken, z. B. die energetische Gebäudesanierung und der Einsatz von Wärmepumpen, BHKW und erneuerbaren Energieträgern in der Nahwärme. Deshalb lässt sich hier kein Benchmark für den Einsatz von Photovoltaik ermitteln.

4.11.8 Quartiere mit Nahwärmeversorgung im Zielzustand unter Nutzung von Biogas

In diesem speziellen Kapitel soll untersucht werden, wie sich der Einsatz von Biogas in der Nahwärmeversorgung auswirkt. Biogas soll gemäß Zielzustandsdefinition in den Vorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg zum Einsatz kommen. In Landshut wurde dann aber in den Messjahren jeweils gewöhnliches Erdgas statt Biogas eingesetzt. Dies hatte natürlich starke Auswirkungen auf den erneuerbaren Energieanteil und die Primärenergie im Quartier. Es ist aber auch grundsätzlich zu diskutieren, unter welchen Umständen Biogas mit dem niedrigen nicht erneuerbaren Primärenergiefaktor von 0,5 angerechnet werden darf:

- Wenn es im jeweiligen Quartier erzeugt und dann auch zur Nahwärmeversorgung eingesetzt wird?
- Wenn es in Behältnisse (Tanks oder Flaschen) abgefüllt und zur Nahwärmeeinheit geliefert und dort eingesetzt wird?
- Wenn es an einer anderen Stelle in das allgemeine Erdgasnetz eingespeist wird, ggf. mit Zertifikat für den jeweiligen Abnehmer?
- Wie wird z. B. bei einem Energieausweis sichergestellt, dass immer Biogas verwendet wird und nicht im nächsten Jahr Erdgas?

Grundsätzlich weisen Biogas und Erdgas folgende voneinander abweichende Parameter auf:

	Erdgas	Biogas
Erneuerbarer Anteil	0 %	67 %
Nicht erneuerbarer Primärenergiefaktor	1,1	0,5
Durchschnittlicher Preis	ca. 0,06 €/kWh	ca. 0,10 €/kWh

Bei den drei Vorhaben wird jetzt jeweils im Zielzustand und in den Daten aus den Messjahren (nur für Landshut vorliegend) Biogas eingesetzt und dann in einem Vergleichsfall normales Erdgas. So kann analysiert werden, welchen Einfluss das Biogas auf die Ergebnisse hat und

welche Änderungen entstehen, wenn statt Biogas wie in Landshut in der Realität Erdgas eingesetzt wird. Dabei werden folgende Kennwerte betrachtet:

- erneuerbarer Energieanteil an der Wärmeversorgung und der gesamten Energieversorgung des Quartiers
- Primärenergiefaktor der Nahwärme
- Primärenergie im Quartier

Als Basis des Vergleichs zeigt Bild 106 zunächst die Endenergie an der Gebäudekante, aufgeteilt in Wärme, Strom und Kälte in den drei Vorhaben. Hier wirkt sich die Wahl des Energieträgers (Biogas oder Erdgas) noch nicht aus. Da in allen drei Vorhaben das Bio- bzw. Erdgas ab dem Zielzustand in BHKW eingesetzt wird, gibt es im Folgenden Auswirkungen sowohl im Wärme- als auch im Strombereich.

Der Endenergiebedarf Wärme an der Gebäudekante ist in allen drei Vorhaben im Zielzustand ähnlich: 65 kWh/m²a in Braunschweig, 77 kWh/m²a in Landshut und 65 kWh/m²a in Lüneburg. Bei Landshut ist zu erkennen, dass keine Einsparungen zwischen Ausgangszustand und Zielzustand geplant waren und die Messjahre einen etwas geringeren Endenergieverbrauch für Wärme an der Gebäudekante aufweisen als geplant. Stromseitig ergeben sich die folgenden Endenergiekennwerte an der Gebäudekante im Zielzustand: 70 kWh/m²a in Braunschweig, 12 kWh/m²a in Landshut und 27 kWh/m²a in Lüneburg. Der Stromverbrauch der Gebäude in Landshut ist gemessen mehr als doppelt so hoch wie geplant.

Die Bilder 107 bis 110 zeigen die Ergebnisse für den Einsatz von Biogas, wie ursprünglich geplant. Dabei ändert sich für Braunschweig und Lüneburg nichts, nur im Projekt Landshut wird jetzt für die Messjahre ebenfalls Biogas (statt wie in der Realität Erdgas) angenommen.

Die erneuerbaren Energieanteile an der Wärmeversorgung ab dem Zielzustand (Bild 107) liegen in allen drei Vorhaben deutlich über 50 %, mit 59 % in Braunschweig, 67 % in Landshut und 60 % in Lüneburg. Es ist auch zu erkennen, dass Landshut den geplanten erneuerbaren Wärmeanteil mit 65 % und 67 % erreicht hätte, wenn in den Messjahren Biogas eingesetzt worden wäre.

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

Auch bei der gesamten Energieversorgung (Wärme, Strom und Kälte) ergeben sich in den drei Vorhaben im Zielzustand und den vorhandenen Messjahren hohe erneuerbare Anteile von 48 % (Braunschweig), 67 % bzw. zweimal 56 % (Landshut) und 60 % (Lüneburg).

Endenergie an der Gebäudekante: Wärme/Strom/Kälte BS - LA - LG

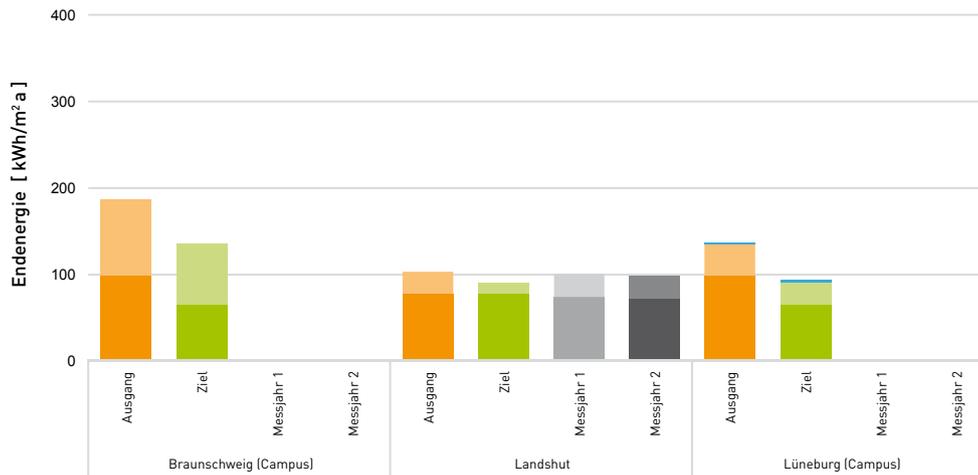


Bild 106: Endenergie an der Gebäudekante für die Demonstrationsvorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg

■ Wärme
■ Strom
■ Kälte

Wärmeversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien BS - LA - LG (Biogas)

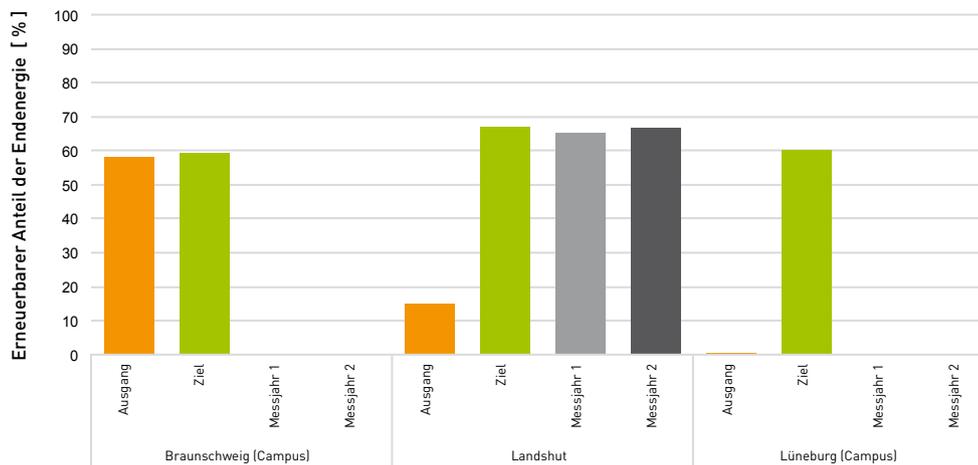


Bild 107: Erneuerbarer Energieanteil an der Wärmeversorgung des Quartiers in den Demonstrationsvorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Biogas

Bild108: Erneuerbarer Energieanteil an der gesamten Energieversorgung des Quartiers in den Vorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Biogas

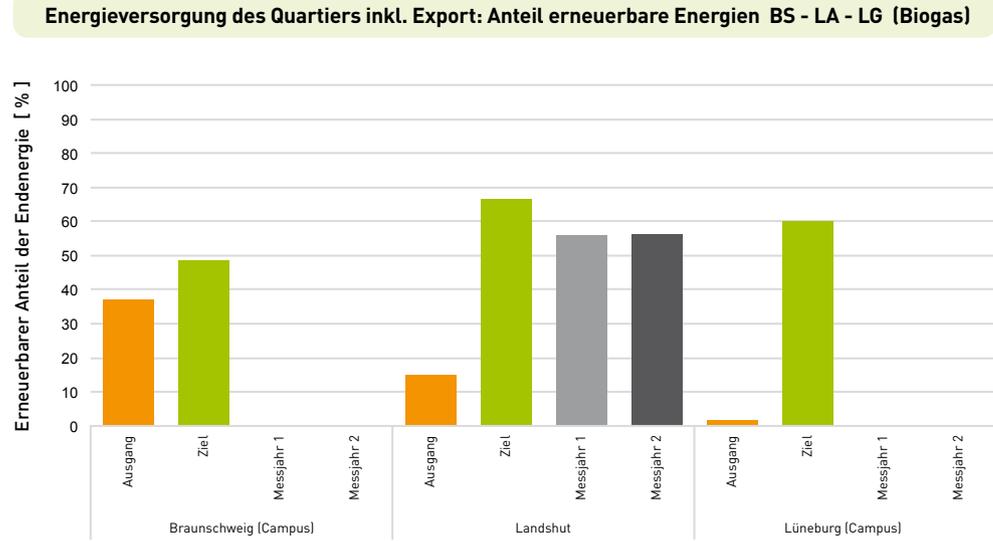
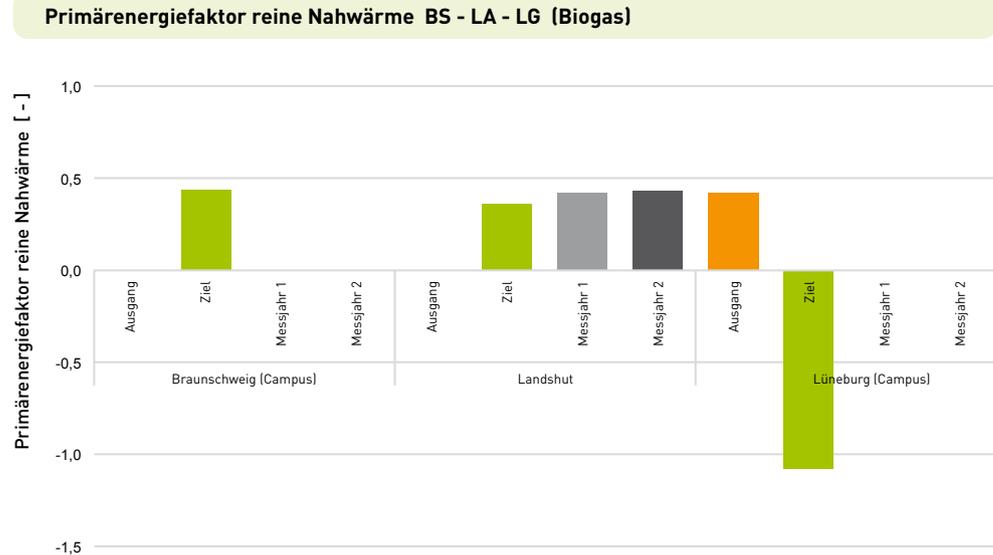


Bild 109: Primärenergiefaktor der reinen Nahwärme in den Vorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Biogas



Primärenergie der Quartiere BS - LA - LG (Biogas)

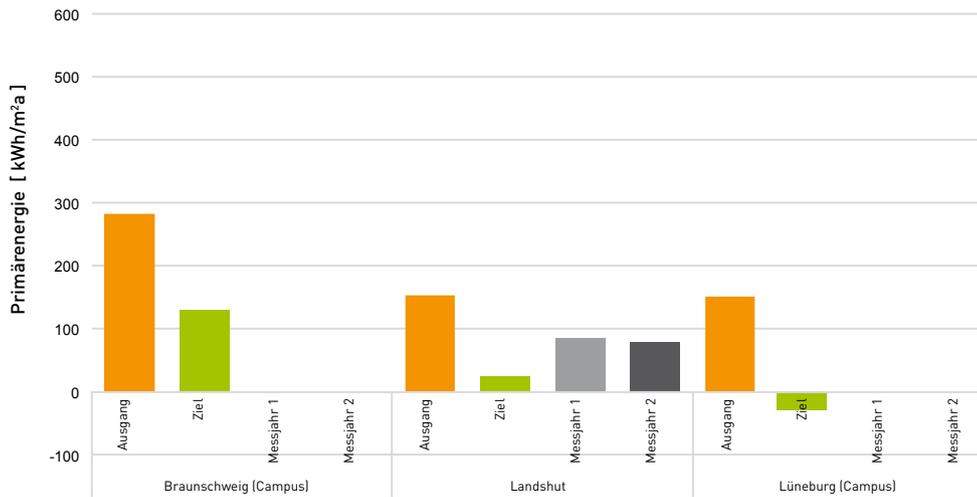


Bild 110: Primärenergiebedarf und Verbrauch der Demonstrationvorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Biogas

Wärmeversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien BS - LA - LG (Erdgas)

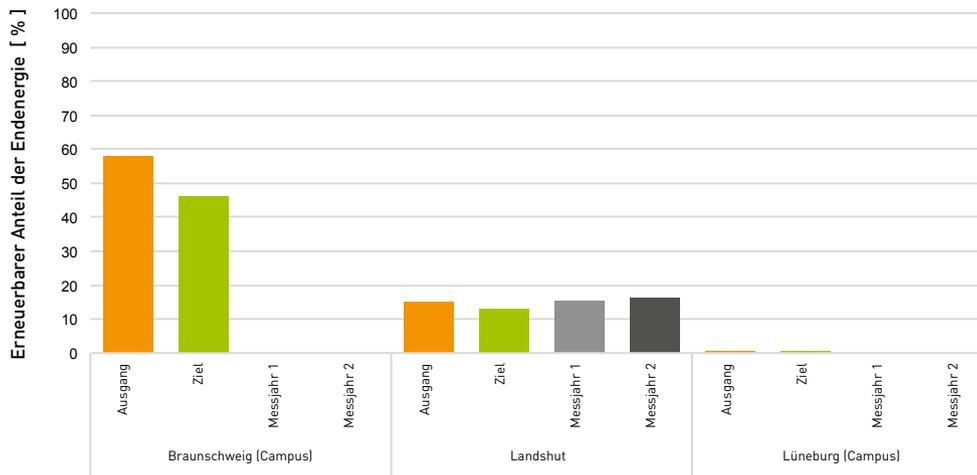


Bild 111: Erneuerbarer Energieanteil an der Wärmeversorgung der Quartiere in den Demonstrationvorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Erdgas

Alle drei Vorhaben erreichen mit Biogas (Bild 109) einen Primärenergiefaktor der reinen Nahwärme von deutlich unter 0,5. Lüneburg erzielt einen negativen Primärenergiefaktor von -1,08 (siehe Kapitel 4.8).

Der resultierende Primärenergiebedarf bzw. -verbrauch bei Einsatz von Biogas ist in Bild 110 dargestellt. Die Primärenergiebedarfskennwerte im Zielzustand betragen 131 kWh/m²a in Braunschweig, 24 kWh/m²a in Landshut und -29 kWh/m²a in Lüneburg. Der Mittelwert aus allen drei Vorhaben beträgt 42 kWh/m²a. In Landshut ergibt sich für die beiden Messjahre ein Primärenergieverbrauch von 86 kWh/m²a bzw. 80 kWh/m²a. Dies ist immer noch deutlich höher als geplant, was unter anderem an einem höheren Stromverbrauch in den Gebäuden und einem gegenüber der Planung geringeren Einsatz von Photovoltaik liegt. Trotzdem sind diese Werte weitaus dichter am geplanten Zustand als die Werte, die mit dem tatsächlich eingesetzten Erdgas in den Messjahren entstehen (144 kWh/m²a und 137 kWh/m²a).

Im Folgenden (Bilder 111 bis 114) werden die Ergebnisse für den Einsatz von Erdgas statt Biogas dargestellt. Dabei ändert sich für alle drei Vorhaben (Braunschweig, Lüneburg und Landshut) der Zielzustand, im Projekt Landshut wird damit die Realität in den Messjahren dargestellt.

Im Ergebnis sinkt der erneuerbare Energieanteil der Wärmeversorgung im Quartier, siehe Bild 111, in allen drei Vorhaben im Zielzustand deutlich: von 59 % auf 46 % in Braunschweig, von 67 % auf 13 % in Landshut und von 60 % auf 0 % in Lüneburg. Auch in der gesamten Energieversorgung der Quartiere, dargestellt in Bild 112, reduziert sich der Anteil erneuerbarer Energien im Zielzustand: in Braunschweig von 48 % auf 37 %, in Landshut von 67 % auf 23 % und in Lüneburg von 60 % auf 4 %. Die Messungen in Landshut halten unter den gleichen Bedingungen (Erdgas im Zielzustand und in den Messungen) den geplanten erneuerbaren Energieanteil knapp ein (22 %).

Die Primärenergiefaktoren der reinen Fernwärme (Bild 113) steigen durch den Einsatz von Erdgas statt Biogas von 0,44 auf 0,68 in Braunschweig, von 0,36 auf 1,25 in Landshut und von -1,08 auf 0,11 in Lüneburg. In Braunschweig würde der Zusatz des BHKWs mit Erdgas zur eigentlichen Fernwärmeversorgung primärenergetisch keinen Sinn ergeben, da die Fernwärme einen besseren Primärenergiefaktor aufweist als das Erdgas-BHKW.

Bild 114 zeigt schließlich den resultierenden Primärenergiebedarf und -verbrauch bei Einsatz von Erdgas statt Biogas in allen drei Vorhaben. Der Primärenergiebedarf im Zielzustand steigt mit dem Einsatz von Erdgas im Campus Braunschweig von 131 kWh/m²a auf 146 kWh/m²a an (11 %), im Vorhaben Landshut von 24 kWh/m²a auf 86 kWh/m²a (258 %) und im Campus Lüneburg von 29 kWh/m²a auf 47 kWh/m²a (262 %).

Energieversorgung des Quartiers inkl. Export: Anteil erneuerbare Energien BS - LA - LG (Erdgas)

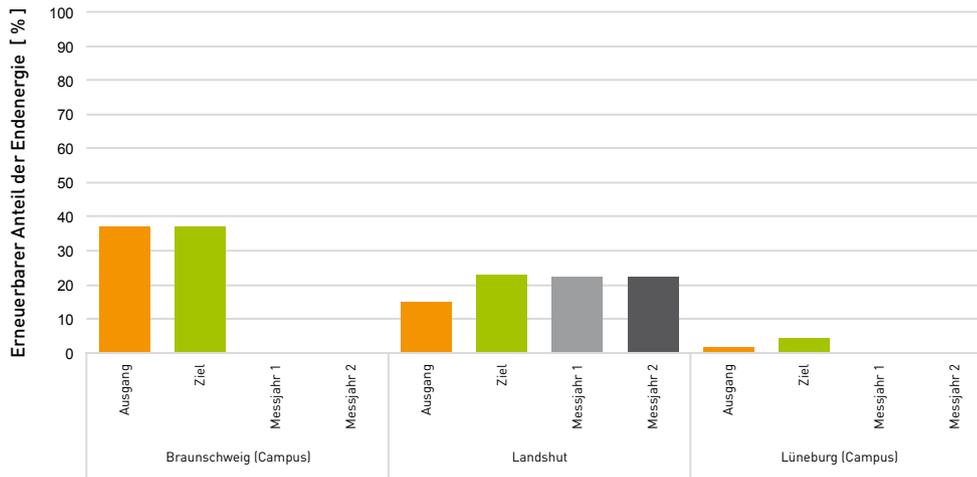


Bild 112: Erneuerbarer Energieanteil an der gesamten Energieversorgung der Quartiere in den Vorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Erdgas

Primärenergiefaktor reine Nahwärme BS - LA - LG (Erdgas)

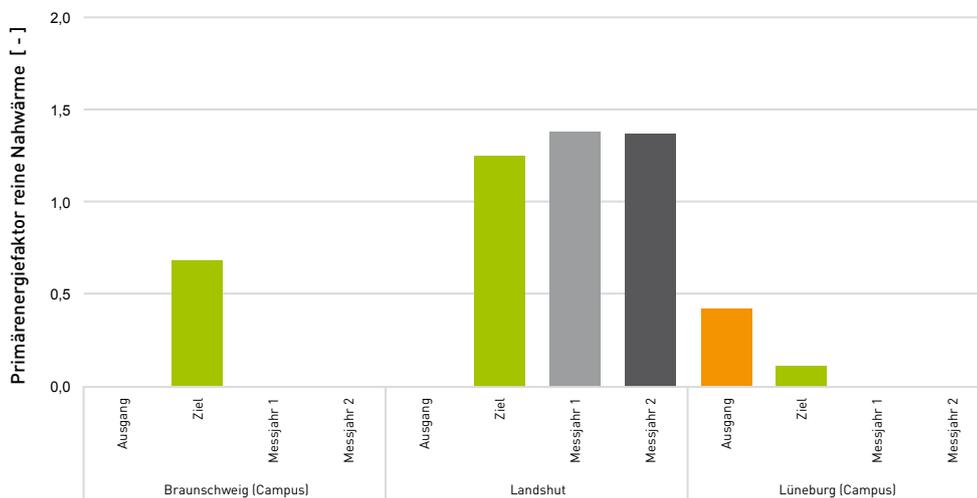
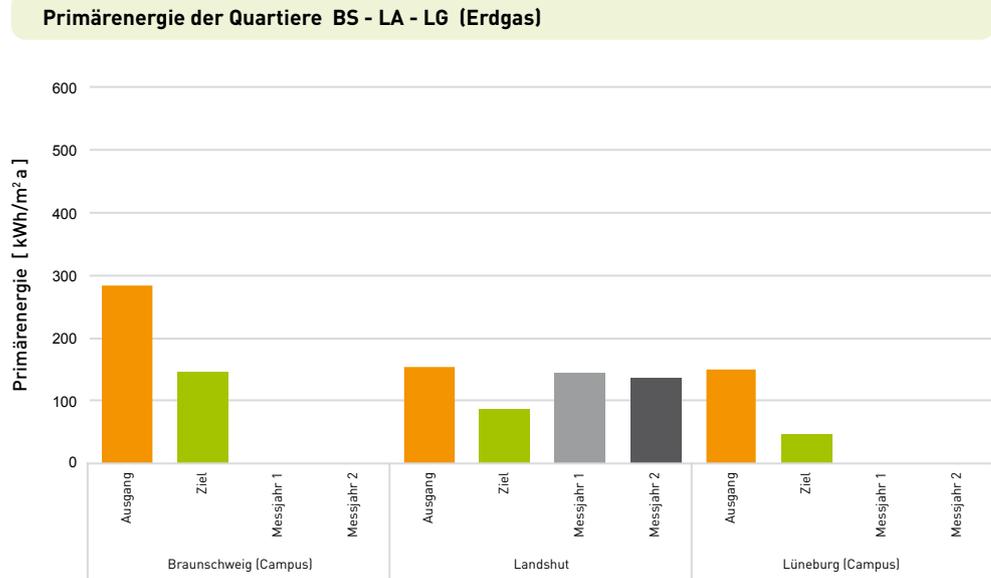


Bild 113: Primärenergiefaktor der reinen Nahwärme in den Vorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Erdgas

Bild114: Primärenergiebedarf und -verbrauch in den Demonstrationsvorhaben Braunschweig, Landshut und Lüneburg bei Nutzung von Erdgas



BENCHMARK: 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 von Nahwärmeversorgung mit Biogas muss unbedingt sichergestellt werden, dass das Biogas auch langfristig in der geplanten Menge zum Einsatz kommt.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Querauswertung wurde im Rahmen der Begleitforschung zu EnEff:Stadt entwickelt und durchgeführt. Neben dem Berichtswesen der einzelnen Vorhaben, das unter anderem auch die geplanten und erreichten Energieeinsparungen umfasst, führt die Begleitforschung eine vergleichende Auswertung der Projekte durch und entwickelt erste Benchmarks für energieeffiziente Stadtquartiere. Dafür wurde eine Bilanzierungsmethode erarbeitet, die sich stark an die DIN V 18599 anlehnt, die die in der Energieeinsparverordnung EnEV maßgebliche Bewertungsnorm für die Energieeffizienz von Einzelgebäuden darstellt. Ein elektronisches Formular ermöglichte die Abfrage der für die Bilanzierung benötigten Kennwerte der einzelnen Pilotvorhaben.

Bis Mitte 2015 konnten zwölf Demonstrationsvorhaben auf Basis der erhobenen Daten ausgewertet werden. Die vorliegenden Kennwerte beziehen sich für acht Vorhaben auf den Ausgangs- und den Zielzustand. Für vier Vorhaben sind bereits zusätzlich Messdaten vorhanden. Diese Zahlen sind ein Signal dafür, dass die Planung und Umsetzung von Stadtquartieren zumeist einen deutlich größeren Zeitraum in Anspruch nimmt als die von einzelnen Gebäuden. Begonnen wurde mit der Forschungsinitiative im Jahr 2007.

Die zwölf Vorhaben wurden in dieser Schriftenreihe detailliert ausgewertet und miteinander verglichen. Zusätzlich wurden erste Cluster gebildet, d. h. es wurden Vorhaben, die unter bestimmten Gesichtspunkten vergleichbar sind, in Hinblick darauf noch einmal gesondert ausgewertet. Die analysierten Kennwerte umfassen die Endenergie an der Gebäudekante und im Quartier, die erneuerbaren Energieanteile, den Input und Output der Nahwärme und die dabei entstehenden Verluste und Effizienzen, die Primärenergiefaktoren und die Primärenergie. Da die Vorhaben unterschiedlich groß sind, wurde zumeist ein flächenbezogener Kennwert zu Vergleichszwecken herangezogen.

Alle zwölf Vorhaben halten gemäß der Querauswertung das energetische Förderkriterium der EnEff:Stadt-Initiative ein: eine 30%ige Primärenergieeinsparung zwischen Ausgangszustand und Zielzustand. Die meisten Vorhaben verfolgen jedoch weit ambitioniertere Ziele. Allerdings zeigen die bisher durchgeführten Messungen, dass diese Ziele in keinem der vier Projekte, in denen bereits gemessen wird, auch komplett erreicht wurden. Die Hintergründe dafür werden in diesem Bericht angedeutet, werden aber genauer im jeweiligen Schlussbericht der Vorhaben erläutert, der auf der Website der Forschungsinitiative EnEff:Stadt (www.eneff-stadt.info) veröffentlicht wird. Die Abweichungen zeigen aber auch, dass eine Messung von Pilotprojekten unerlässlich ist. Ohne eine detaillierte Aufschlüsselung der Verbräuche können die gemachten Erfahrungen nicht dokumentiert und im zweiten Messjahr oder danach nicht entsprechende Verbesserungen durchgeführt werden.

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, um generell eine energieeffizientere Stadtplanung bzw. energieeffiziente Sanierungen von Bestandsquartieren in großer Breite voranzutreiben. Nur wenn gute Projekte dokumentiert werden und besichtigt werden können, werden auch andere Städte, Wohnungsbaugesellschaften und Investoren ähnliche Vorhaben anstreben und umsetzen.

Die energetische Querauswertung erbrachte darüber hinaus folgende erste Benchmarks:

- Der Ausgangswert des Endenergieverbrauchs (Wärme plus Strom) der Wohngebäude aus den EnEff:Stadt-Demonstrationsquartieren an der Gebäudekante beträgt $174 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und passt sehr gut zum entsprechenden Kennwert von $185 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, der von der BMWi-Projektgruppe Energiebilanzen ermittelt wurde.
- Der Mittelwert des geplanten Endenergiebedarfs der energetisch optimierten Wohngebäude aus den EnEff:Stadt-Demonstrationsquartieren an der Gebäudekante beträgt $93 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Zielwerte für die mittlere Endenergie für Wohngebäude an der Gebäudekante von unter $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. Einsparungen von 40 % können damit in den Demonstrationsquartieren angestrebt werden.
- Der mittlere Stromverbrauch der Wohngebäude ohne Berücksichtigung von Einspeisungen ins allgemeine Stromnetz ist nahezu unabhängig von der Projektphase und beträgt $28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- Als Kennwert für den Strom-Input (Pumpenantrieb, Regelung etc.) in die Nahwärme in Abhängigkeit von der erzeugten thermischen Energie konnte $0,0132 \text{ MWh}_{\text{el}}$ 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 können also ca. 15 % Netzverluste in Abhängigkeit von der Endenergieabnahme der Gebäude angenommen werden.
- Die angestrebte Primärenergieeinsparung von 30 % im Quartier (Förderkriterium) wird von allen Vorhaben eingehalten. Ggf. könnte die Vorgabe auf 40 bis 50 % Primärenergieeinsparung im Quartier erhöht werden.
- Die ausgewerteten Vorhaben zeigen, dass für eine Wohnquartierssanierung ein Zielwert von unter $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Endenergie (Wärme plus Strom) an der Gebäudekante angestrebt werden kann. Für ambitioniertere Maßnahmen an der Gebäudehülle kann dieser Zielwert auf $85 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ gesenkt werden.

- Für sanierte große Wohngebäude kann ein Endenergiebedarf Wärme an der Gebäudekante von $60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und ein Endenergiebedarf Strom an der Gebäudekante von $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angestrebt werden.
- Für eine Wohnquartierssanierung kann ein Zielwert von unter $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ 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 $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ (bis hin zu $50 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, wie das Beispiel München Lilienstraße zeigt) abgesenkt werden.
- Soweit sich aus nur zwei Vorhaben ein Benchmark bilden lässt, kann für den bezogenen Endenergieverbrauch Wärme an der Gebäudekante eines Universitätscampus, der aus reinen Nichtwohngebäuden besteht, ca. $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ angenommen werden. Dieser kann durch Sanierungsmaßnahmen an Teilen der Gebäude innerhalb eines Gesamtkonzepts deutlich gesenkt werden, nämlich um ca. 30 %.
- Auch bei Quartieren mit relativ hohem Stromverbrauch, wie 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, wie hier gezeigt wurde.
- Die Neubauwohnquartiere in EnEff:Stadt haben einen geplanten Endenergiebedarf an der Gebäudekante, 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 können Endenergiekennwerte auf Gebäudeebene von deutlich unter $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im Neubaubereich und um $160 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ im Bestandsbereich geplant werden. Eines der EnEff:Stadt-Bestandsquartiere, das Zöllnerviertel in Weimar, plant einen Endenergiekennwert auf der Gebäudeebene von $98 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.
- 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 ca. $100 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ 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 kann ein Anteil von über 50 % erneuerbarer Energien in der Quartierswärmeversorgung geplant und, wie Bad Aibling zeigt, auch messtechnisch nachgewiesen werden.
- Der Einsatz von Photovoltaik kann in der Quartiersbilanz zu einer (nahezu) vollständigen Abdeckung des Strombedarfs von Stadtquartieren mit vielen Wohngebäuden führen, wie die zwei Demonstrationsvorhaben Bad Aibling und München Lilienstraße zeigen.
- Der Einsatz von Photovoltaik kann 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 muss unbedingt sichergestellt werden, dass das Biogas auch langfristig in der geplanten Menge zum Einsatz kommt.

Diese ersten Benchmarks sollten unbedingt mit weiteren Projektergebnissen 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.

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 wurden 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 und soll in der verbleibenden Zeit des aktuellen Begleitforschungsvorhabens nochmals verstärkt angestrebt werden. Eine Analyse der Nachhaltigkeit, d.h. 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, ist aber vermutlich in naher Zukunft noch nicht detailliert möglich.

Zusätzlich zu dieser energetischen Querauswertung bearbeitet das EnEff:Stadt-Begleitforschungsteam noch weitere Themen wie z.B. die Auswertung der beteiligten Akteure und der Projekthemmnisse und erfolgreichen Lösungen, den Einsatz von Planungsinstrumenten und die damit gemachten Erfahrungen sowie die Analyse der eingesetzten Technologien. Weitere Schriften dazu und zu einzelnen Demonstrationsvorhaben folgen.

6. Danksagung

Die gesamte Forschungsinitiative EnEff:Stadt und auch die Begleitforschungsarbeiten (FKZ 03ET1109A) wurden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie ermöglicht. Der Projektträger Jülich unterstützt das Ministerium bei der Durchführung der Forschungsinitiative und bildet das Bindeglied zu den einzelnen Vorhaben. Den engagierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern dieser Institutionen sei an dieser Stelle für die vertrauensvolle und konstruktive Zusammenarbeit unser Dank ausgesprochen.

Die Autoren möchten sich außerdem bei den Projektleitern der zwölf ausgewerteten Vorhaben für die Bereitstellung der energetischen Kenndaten bedanken, ohne die die energetische Querauswertung nicht möglich gewesen wäre.

Anhang: Zusammenstellung der wichtigsten Kennwerte für die zwölf ausgewerteten EnEff:Stadt-Demonstrationsvorhaben

Vorhaben	Phase	Bezugsfläche m ²	Endenergie an der Gebäudekante				
			Wärme		Strom		Kälte MWh/a
			MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a	
Bad Aibling	Ausgangszustand	55.467,00	13.867,64	250,02	1.993,16	35,93	
	Zielzustand	28.753,00	3.773,95	131,25	848,61	29,51	
	Messjahr 1	24.185,00	2.295,40	94,91	1.189,80	49,20	
	Messjahr 2	27.701,00	2.273,00	82,05	1.288,48	46,51	
Berlin Adlershof: Wohnen am Campus	Ausgangszustand	90.015,00	5.444,80	60,49	2.520,40	28,00	
	Zielzustand	90.015,00	4.605,70	51,17	2.520,40	28,00	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						
Biberach	Ausgangszustand	17.525,20	2.616,80	149,32	741,90	42,33	
	Zielzustand	26.242,80	2.656,50	101,23	1.531,30	58,35	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						
Braunschweig (Campus)	Ausgangszustand	34.4173,50	3.3616,20	97,67	30.604,40	88,92	
	Zielzustand	34.4173,50	2.2241,00	64,62	24.047,30	69,87	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						

Vorhaben	Phase	Bezugs- fläche m ²	Endenergie an der Gebäudekante				
			Wärme		Strom		Kälte
			MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a
Freiburg Wein- garten	Ausgangszustand	172.598,60	14.538,40	84,23	7.212,60	41,79	
	Zielzustand	178.174,60	8.296,80	46,57	7.214,10	40,49	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						
Karlsruhe Rintheim	Ausgangszustand	66.310,46	8.483,40	127,93	2.298,10	34,66	
	Zielzustand	66.310,46	5.003,90	75,46	2.386,80	35,99	
	Messjahr 1	66.310,46	7.537,00	113,66	2.341,50	35,31	
	Messjahr 2	66.310,46	5.889,53	88,82	2.343,40	35,34	
Landshut	Ausgangszustand	5.636,80	430,90	76,44	146,90	26,06	
	Zielzustand	5.636,80	435,00	77,17	67,00	11,89	
	Messjahr 1	5.636,80	413,50	73,36	150,90	26,77	
	Messjahr 2	5.636,80	403,80	71,64	146,90	26,06	
Ludwigs- burg	Ausgangszustand	17.523,60	2.194,80	125,25	350,50	20,00	
	Zielzustand	17.523,60	1.072,00	61,17	350,50	20,00	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						
Lüneburg (Campus)	Ausgangszustand	75.430,00	7.358,20	97,55	2.788,40	36,97	86,00
	Zielzustand	75.430,00	4.835,60	64,11	1.999,30	26,51	228,00
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						

Vorhaben	Phase	Bezugs- fläche m ²	Endenergie an der Gebäudekante				
			Wärme		Strom		Kälte
			MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a
München Lilien- straße	Ausgangszustand	7.550,40	2.360,27	312,60	188,77	25,00	
	Zielzustand	9.300,68	496,40	53,37	186,80	20,08	
	Messjahr 1	9.300,68	598,50	64,35	217,60	23,40	
	Messjahr 2						
Stuttgart Neckar- park	Ausgangszustand	10.8520,00	11.444,50	105,46	3.847,10	35,45	175,60
	Zielzustand	10.8520,00	46.30,40	42,67	4.196,90	38,67	68,80
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						
Weimar Zöllner- viertel	Ausgangszustand	25.468,00	3.346,00	131,38	522,70	20,52	
	Zielzustand	25.468,00	2.092,10	82,15	403,10	15,83	
	Messjahr 1						
	Messjahr 2						

Die Autoren

Heike Erhorn-Kluttig

Dipl.-Ing. Heike Erhorn-Kluttig ist Leiterin der Gruppe Gebäude - Quartier - Stadt in der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima im Fraunhofer-Institut für Bauphysik und seit Beginn der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt Mitglied der Begleitforschung.

Hans Erhorn

Dipl.-Ing. Hans Erhorn ist Leiter der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima im Fraunhofer-Institut für Bauphysik, seit Beginn der BMWi-Forschungsinitiative EnEff:Stadt Mitglied der Begleitforschung und Obmann des DIN-Gesamtausschusses Energetische Bilanzierung von Gebäuden.

ISBN 978-3-8167-9629-9



9 783816 796299

Fraunhofer IRB  Verlag