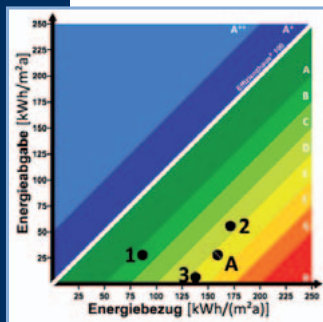
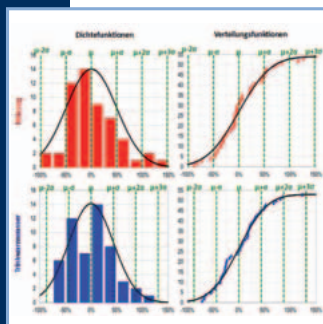


Volker Stockinger

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

Definition, Planung, Betrieb, Nutzung,
Bilanzierung und Bewertung





TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Institut für Bauklimatik

Schriftenreihe | Publication Series

Volker Stockinger

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

Definition, Planung, Betrieb, Nutzung,
Bilanzierung und Bewertung

Fraunhofer IRB  Verlag

Herausgeber:
Technische Universität Dresden
Zentrum für Bauforschung – Institut für Bauklimatik
01062 Dresden
Telefon +49 351 463 35259
Telefax +49 351 463 32627
URL http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_architektur/ibk

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2365-9084
ISBN (Print): 978-3-8167-9653-4
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9654-1

Dieser Titel war bereits in der Reihe Wissenschaft mit der ISBN 978-3-8167-9440-0
beim Fraunhofer IRB Verlag erschienen.

Herstellung: Gabriele Wicker
Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Druck und Bindung: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V.
wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit
dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6,
10787 Berlin, erhältlich ist.

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Fraunhofer IRB Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2016

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-2500
Telefax +49 711 970-2508
E-Mail irb@irb.fraunhofer.de
URL www.baufachinformation.de

VORWORT

„Ein Ziel zu haben, ist die größte Triebkraft im Leben eines Menschen.“

Viktor Emil Frankl

Österreichischer Neurologe und Psychiater

26.03.1905-02.09.1997 Wien

Während des Verfassens meiner Dissertation habe ich gelernt, dass Ziele unglaubliche Prozesse in Bewegung setzen können, wenn man es wirklich will. Irgendwann ist es nicht mehr wichtig, was das eigentliche Ziel war. Ziele verändern sich im Laufe der Zeit. Eines zu haben, das ist wichtig, und den ersten Schritt zu tun.

Ich habe an mir selbst gesehen, welche Energie Ziele bei einem Menschen freisetzen können. Kaum vorstellbar, was das Ziel Energiewende in Deutschland auslösen kann. Und jeder Einzelne von uns kann seinen Teil dazu beitragen. Denn das große Ganze ist nur die Summe vieler Einzelner. Weiter gedacht, was es für die Menschheit bedeuten würde, wenn das positive Beispiel Deutschlands auf andere Länder der Welt ausstrahlt.

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere, vor allem wenn sie sich nur in Deutschland befinden, können den Klimawandel nicht aufhalten. Aber sie sind ein wichtiger Schritt dahin, unseren Kindern einen ebenso angenehmen Lebensraum und eine intakte Umwelt zu hinterlassen, wie wir sie jeden Tag aufs Neue genießen dürfen.

Für die hervorragende Betreuung meiner Arbeit, das stets offene Ohr und die vielen hilfreichen Anregungen danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. John Grunewald und Herrn Professor Dr.-Ing. Werner Jensch sehr herzlich.

Meinen Kollegen vom Competence Center - Energieeffiziente Gebäude und dem Zentrum für Forschungsförderung der Hochschule München danke ich für die vielen thematischen, aber auch persönlichen Gespräche. Auch den Mitarbeitern vom Institut für Bauklimatik möchte ich für die vom ersten Tag an entgegengebrachte Freundschaft besonders danken.

Mein Dank gilt weiterhin der Familie Hanke sowie den Mitarbeitern der Ludmilla-Wohnbau GmbH und aller beteiligten Firmen für die Unterstützung während der Durchführung des gemeinsamen Projektes, das die thematische Grundlage für diese Arbeit lieferte. Besonders möchte ich Frau Ilona Dasch, Herrn Alex Grünleitner, Herrn Werner Schwinghammer, Herrn Harry Steinhäuser sowie Herrn Dipl.-Geol. Markus Mentele erwähnen.

Meinen Eltern Klaus und Christiane Stockinger möchte ich für die Unterstützung und Ermutigung in all der Zeit danken.

Mein größter Dank gilt meiner Lebensgefährtin Cristina, die verständnisvoll alle Höhen und Tiefen mit mir durchlebte und immer die richtigen Worte zur richtigen Zeit fand.

Gewidmet meiner Großmutter, Hildegard Weitzel.

Volker Stockinger

München im Oktober 2014

KURZFASSUNG

Die Energiewende und der damit einhergehende stetige Anstieg von dezentral gewonnener erneuerbarer Energie stellt das energieeffiziente Bauen vor eine große Herausforderung. [BMWi 2010] Um der Entwicklung vom „reinen Energieverbraucher“ zum „Energieakteur“ Rechnung zu tragen und die energetische Betrachtung vom Einzelgebäude auf Siedlungen und Quartiere zu erweitern, wird in der vorliegenden Arbeit der Begriff „ENERGIE[⊕]“ eingeführt und definiert. Für die Umsetzung sind angepasste Energie- und Gebäudekonzepte notwendig. Weiterhin muss dem Anlagenbetrieb und dem Nutzerverhalten besondere Beachtung geschenkt werden, weshalb diese Punkte besondere Berücksichtigung finden. Die Bilanzierung von Energie[⊕]-Objekten ist mit aktuell zur Verfügung stehenden Verfahren nicht realisierbar. Um dies zu ermöglichen wurde der „ENERGIEAUSWEIS[⊕] FÜR ENERGIE[⊕]-SIEDLUNGEN und -QUARTIERE“ entwickelt.

Aktuell werden Gebäude in der [EnEV 2014] hauptsächlich als thermische Energieverbraucher gesehen. Die getrennte Betrachtung von elektrischer und thermischer Energie wird zukünftig nicht mehr zielführend sein. Zudem werden Gebäude immer häufiger zum Energielieferanten. Ein Gebäude kann deshalb nicht mehr für sich allein gestellt, sondern muss im Zusammenspiel mit der Infrastruktur betrachtet werden. Folglich kommt Siedlungen und Quartieren eine größere Bedeutung zu. Diese Entwicklung wird bei Energie[⊕] berücksichtigt. Energie[⊕] hat nicht den Anspruch, ein neuer Gebäudestandard zu sein. Energie[⊕] verfolgt das Ziel, die besten Lösungsansätze aus den aktuell definierten Standards zu kombinieren und sie für die Umsetzung in der Praxis aufzubereiten. Energie[⊕] ist damit ein Instrument zur Unterstützung des Wissenstransfers von der Forschung in die Praxis.

Im Rahmen der Arbeit wurden die vielfältigen Möglichkeiten zur Umsetzung und dem Betrieb von Energie[⊕]-Objekten beleuchtet. Als Grundlage dienen die Erkenntnisse aus dem Bauvorhaben „Ludmilla-Wohnpark Landshut“ (LWP). Da es sich beim LWP um ein Objekt im städtischen Kontext handelt, fokussiert auch die Arbeit auf diesen. Die Betrachtung von Objekten im ländlichen Kontext ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

Betriebsoptimierung hat sich aufgrund des enormen Einsparpotentials als ebenso unverzichtbares Werkzeug für Energie[⊕]-Objekte gezeigt wie die Sensibilisierung der Nutzer. Im LWP haben sich Abweichungen von ±100 Prozent und mehr im Nutzerverhalten von Siedlungen gezeigt. Diese Tatsache macht die Voraussage des energetischen Ergebnisses in der Nutzung im Planungsprozess nur im Rahmen statistischer Wahrscheinlichkeiten möglich.

Der „Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere“ hat den Vergleich von Planungswerten und gemessenen Energieströmen im späteren Betrieb zum Ziel. Die Einstufung erfolgt mit Hilfe von neu entwickelten und eingeführten „ENERGIE[⊕]-EFFIZIENZKLASSEN“, dem „EFFIZIENZHAUS[⊕]“ sowie dem „EFFIZIENZKLASSEN-DIAGRAMM“.

Die gewonnenen Erkenntnisse lassen die Aussage zu, dass Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere einen großen Beitrag für die zukünftige Energieversorgung nicht nur in Deutschland liefern können und zwangsläufig auch werden.

ABSTRACT

The German exit from nuclear and fossil-fuel energy and the associated rise of distributed produced renewable energy pose a big challenge for the energy-efficient building activity [BMW 2010] in the future. To stay abreast of changes from the “only-consumer” to the “prosumer” and to extend the energetic regard from single-buildings to settlements and quarters, the term “ENERGY⁺” is established and defined in this thesis. For the implementation, adapted energy and building concepts are necessary. Furthermore, the system-operation and the user behavior are addressed. The accounting and assessment of energy⁺-building projects is not possible with current available systems. In this work the “ENERGY⁺-PASS FOR ENERGY⁺-SETTLEMENTS AND -QUARTERS” was established as a tool for the transparent assessment of energy⁺-building projects.

Currently, buildings would basically be understood as a thermal energy-consumer. But the view on electrical and thermal energy, each taken individually, is no longer adequate. Moreover, buildings will become energy-producer more often. That is one of the reasons, buildings should not be considered individually, but always in the interaction with their technological environment. Therefore, the importance of settlements and quarters will increase. This development is taken into consideration in energy⁺. Energy⁺ is not intended to be a new building-standard. The aim of energy⁺ is rather, to combine all standards treated in this thesis.

The work engages the manifold possibilities of implementation and operation of energy⁺-objects. The results are based on a research project on the “Ludmilla-Wohnpark Landshut” (LWP). Because of the enormous possible savings, optimizing operations of the equipment and the sensitization of the users with by example visualization of their energy-uses are essential instruments in energy⁺-objects.

The users behavior in the LWP varied ± 100 percent and in some extreme cases +150 percent and more. Energy prognosis in the planning process can strike the later energy results in the utilization phase only within the frame of statistical probabilities.

The “ENERGY⁺-PASS FOR ENERGY⁺-SETTLEMENTS AND -QUARTERS” follows the target to compare the energy prognosis with the measured results. The classification is supported by the new developed and introduced terms „ENERGY⁺-EFFICIENCY-CLASS“, „EFFICIENCY-BUILDING⁺“ and „EFFICIENCY-CLASS-CHART“.

The results of this thesis allow the general statement, that energy⁺-settlements and -quarters can and necessarily will add an important contribution to the energy supply of Germany in the future.

SYMBOLE

Allgemeines



Gebäude



Elektrische Energie
(Elektrizität)



Thermische Energie
(Wärme)

Energiebedarf



Raumheizung



Trinkwarmwasser



Raumkühlung



Hilfsenergie



Künstliche
Beleuchtung



Haushaltsstrom

Sonstiger Energiebedarf



Graue Energie



Elektro-Mobilität

Konzeptziele



Energieautark



Energienneutral



Bilanzieller
Energieüberschuss



CO₂-neutral



CO₂-frei

Quelle Energieträger



Externer
Energiebezug



Interne
Energiequelle

Form Energieträger



Gasförmig



Flüssig



Festbrennstoff
(erneuerbar)

Erneuerbare Energiequellen



Solarstrahlung



Windkraft



Wasserkraft

Umweltwärme



Außenluft



Erdwärme



Grundwasser

Energieerzeugung



Energiewandlung
(z.B. Verbrennung)



Wärmepumpe



Kraft-Wärme-Kopplung

Energieverteilung



Heizungsverteilung



Trinkwarmwasser-
verteilung



Gekoppelte
Wärmeverteilung

Energiespeicherung



Wärmespeicher



Trinkwarmwasser-
Speicher



Elektrischer
Energiespeicher

Hilfsenergien



Pumpe



Mechanische Lüftung



Mess-, Steuer- und
Regelungstechnik

Deckungsmöglichkeit Energiebedarf



Vollständiger
Energiebezug



Anteiliger Energiebezug
und Eigendeckung



Vollständige
Eigendeckung

Nutzungsmöglichkeit Eigenerzeugung



Vollständige
Eigennutzung



Anteilige Eigennutzung
und Energieabgabe



Vollständige
Energieabgabe

GLOSSAR

An dieser Stelle erfolgen eine Kurzerläuterung der in dieser Arbeit eingeführten Begriffe und eine Abgrenzung sonstiger relevanter Begriffe zueinander. Detaillierte Beschreibungen befinden sich an den angegebenen Stellen.

Energie[⊕]-Versorgungskonzepte

Alle Versorgungskonzepte für Bauvorhaben die sowohl über eigene thermische als auch elektrische Erzeugungsanlagen verfügen und aus vor Ort nutzbaren, erneuerbaren Energiequellen Wärme und Elektrizität bereitstellen, sind Energie[⊕]-Versorgungskonzepte.

Energie[⊕]-Objekte

Alle Einzelgebäude, Siedlungen und Quartiere, mit Ausnahme von Heiz- und Kraftwerken, die mit Hilfe eines Energie[⊕]-Versorgungskonzeptes mit elektrischer und thermischer Energie versorgt werden, sind Energie[⊕]-Objekte.

Energie[⊕]-Verfahren (Seite 98 ff)

Das Energie[⊕]-Verfahren ist ein Bilanzierungsverfahren, das mit Hilfe des „Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere“ die Bilanzierung von Bauprojekten auf Siedlungen und Quartiere erweitert und den Vergleich der ermittelten Planungswerte mit den gemessenen Verbrauchswerten von Energie[⊕]-Objekten zum Ziel hat.

Energie[⊕]-Effizienzklassen (Seite 105 ff)

Der Begriff Effizienzklassen ist bekannt und eingeführt. Die Energie[⊕]-Effizienzklassen kommen zur Einstufung von Energie[⊕]-Objekten im „Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere“ zum Einsatz.

Effizienzhaus[⊕] (Seite 116)

Der Begriff Effizienzhaus wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau zur Einteilung in Förderstufen für energieeffiziente Wohngebäude verwendet. Das „Effizienzhaus[⊕]“ übernimmt die prozentuale Betrachtungsweise der KfW-Effizienzhäuser. Das „[⊕]“ symbolisiert das Vorhandensein einer elektrischen oder thermischen Energieabgabe.

Effizienzklassen-Diagramm (Seite 123)

Das Effizienzklassen-Diagramm für Energie[⊕]-Objekte verbindet das Korrelations-Diagramm für Null-Energie-Häuser nach (Voss 2010) mit den Energie[⊕]-Effizienzklassen. Es ermöglicht den Vergleich von Maßnahmen zur Bedarfsreduzierung mit Maßnahmen zur erhöhten Energiebereitstellung und Eigendeckung.

Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere (Seite 113, 121, 125)

Der „Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere“ stellt drei Datenblätter zur Verfügung, mit deren Hilfe es möglich ist, den Energiebedarf/-verbrauch für den Gebäudebetrieb, die Energiebilanz für das Gesamtsystem unter Berücksichtigung der Eigendeckung und Überschusseinspeisung sowie den Vergleich von Umsetzungsvarianten durchzuführen. Es erfolgt ein Vergleich von Planungs- und Messwerten.

Energiebedarf

Energiebedarf ist der in der Planung mit Hilfe von Berechnungswerkzeugen ermittelte voraussichtliche elektrische und thermische verursacherbezogene Energieeinsatz für den Gebäudebetrieb. [DIN 4108-6]

Energieverbrauch

Der in Nutzung und Betrieb gemessene tatsächliche elektrische und thermische verursacherbezogene Energieverbrauch für den Gebäudebetrieb. [DIN 4108-6]

Energiebezug (Seite 69)

Der Energiebezug wird für Energie[⊕]-Objekte als externer Bezug von Energie in Form von fossilen oder erneuerbaren Brennstoffen für die Eigenerzeugung sowie direkter Bezug von elektrischer und thermischer Energie definiert. [Schaefer 1980]

Energieabgabe (Seite 69)

Die Energieabgabe wird für Energie[⊕]-Objekte als Abgabe von eigenerzeugter elektrischer und, unter besonderen Bedingungen (siehe Seite 19), thermischer Energieüberschüsse über die Bilanzgrenzen des betrachteten Bauvorhabens nach außen definiert.

Eigendeckungsgrad (Seite 64 ff)

Der Eigendeckungsgrad bei Energie[⊕]-Objekten gibt an, wie viel Prozent des eigenen Energieverbrauchs für den Gebäudebetrieb durch eigenerzeugte Energie gedeckt wird.

Eigennutzungsgrad (Seite 67 ff)

Der Eigennutzungsgrad bei Energie[⊕]-Objekten gibt an, wie viel Prozent der eigenerzeugten Energie innerhalb des Gebäudes und der eigenen Elektromobilität selbst genutzt wird. [Schaefer 1980]

Graue Energie (Seite 30)

„Graue Energie ist der aufsummierte Aufwand an nicht erneuerbarer Primärenergie zur Herstellung und Entsorgung eines Baustoffes. Diese wird aus den vorgelagerten und nachgelagerten Prozessen, vom Rohstoffabbau über Transport-, Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse sowie Entsorgung inkl. der dazu notwendigen Hilfsmittel, berechnet.“ [SIA 2010: 10]

Mittlerer Primärenergiefaktor (e_{PM}) (Seite 107)

Der mittlere Primärenergiefaktor gibt das Verhältnis der Gesamtsummen von Endenergie zu Primärenergie eines Energie[⊕]-Objektes an. Er wird beeinflusst durch die eingesetzten Energieträger sowie die elektrische und thermische Eigendeckung.

CO₂-neutral (Seite 21)

In CO₂-neutralen Energie[⊕]-Objekten ist ausschließlich der Einsatz regenerativer Energieträger für die elektrische und thermische Eigenerzeugung zulässig. Der Bezug von Wärme und Elektrizität aus externen Energiequellen wird für Energie[⊕]-Objekte als CO₂-neutral eingestuft, da innerhalb des Energie[⊕]-Versorgungskonzeptes keine Emissionen entstehen.

CO₂-frei (Seite 22)

In CO₂-freien Energie[⊕]-Objekten dürfen innerhalb der Bilanzgrenzen keine CO₂-Emissionen entstehen. Energiebezug von elektrischer und thermischer Energie wird in Energie[⊕]-Objekten als CO₂-frei eingestuft, da keine Emissionen innerhalb des Energie[⊕]-Versorgungskonzeptes entstehen.

Energieneutral (Seite 21)

Ein energieneutraler Betrieb ist gewährleistet, wenn durch die abgegebenen Energieüberschüsse der externe Energiebezug bilanziell sowohl end- als auch primärenergetisch, ausgeglichen wird. Bei Energieneutralität spricht man auch von Null-Energie. [Voss 2011]

Energieüberschuss (Seite 21)

Energieüberschuss ist erreicht, wenn die Energieabgabe den Energiebezug sowohl end- als auch primärenergetisch übersteigt und somit ein bilanzieller energetischer Überschuss für das Gesamtsystem vorliegt. [BMUB 2014]

Energieautark (Seite 21)

Ein Energie[⊕]-Objekt wird als Energieautark¹ bezeichnet, wenn es den elektrischen und thermischen Eigenverbrauch für den Gebäudebetrieb aus vor Ort zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energien ohne jeglichen Energiebezug aus externen Quellen selbständig deckt.

¹ Der Begriff AUTARKIE leitet sich vom altgriechischen Begriff für SELBSTÄNDIGKEIT ab.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	ENTWICKLUNG DES ENERGIEEFFIZIENTEN BAUENS	1
1.2	MOTIVATION	2
1.3	ZIELE DER ARBEIT	4
1.4	HERANGEHENSWEISE	5
1.5	AUFBAU DER ARBEIT.....	9
2	AKTUELLE GEBÄUDESTANDARDS	10
2.1	NIEDRIGSTENERGIEHAUS UND NULLENERGIEHAUS	10
2.2	PLUSENERGIEHAUS®	10
2.3	EFFIZIENZHAUS PLUS	11
2.4	ENERGIEPLUS-STANDARD	11
2.5	AKTIVHAUS	12
2.6	EUROPÄISCHE STANDARDS	13
3	DEFINITION VON ENERGIE[⊕]	14
3.1	VORAUSSETZUNGEN FÜR ENERGIE [⊕]	14
3.1.1	Nutzungsarten	14
3.1.2	Objekttypen.....	15
3.1.3	Konzeptgrößen	15
3.1.4	Baualtersklassen.....	16
3.1.5	Energetische Qualität der Gebäudehülle	16
3.1.6	Energetische Eigenversorgung	17
3.1.7	Energieträger.....	17
3.1.8	Eingespeiste Energieüberschüsse	19
3.1.9	Energetische und CO ₂ -Ziele	21
3.2	BERÜCKSICHTIGTE ENERGIEN FÜR DEN GEBÄUBE BETRIEB	23
3.2.1	Nach Energieeinsparverordnung (EnEV)	23
3.2.2	Haushalts- und Allgemeinstrom	27
3.2.3	Beleuchtung.....	28
3.2.4	Kälteanwendungen	28
3.2.5	Gesamtübersicht Gebäudebetrieb.....	29
3.3	GRAUE ENERGIE UND ELEKTRO-MOBILITÄT.....	30
3.3.1	Graue Energie.....	30
3.3.2	Elektro-Mobilität	31
3.3.3	Sonstige	31
3.4	AKTUELLE GEBÄUDESTANDARDS UNTER ENERGIE [⊕] -GESICHTSPUNKTEN	32
4	PLANUNG UND BETRIEB VON ENERGIE[⊕]-VERSORGUNGSKONZEPTEN..	34
4.1	ZU BERÜCKSICHTIGENDE EINFLUSSFAKTOREN	34
4.1.1	Standort.....	34
4.1.2	Gebäude	36
4.1.3	Nutzerverhalten	38

4.2	ENERGIEERZEUGUNG	42
4.2.1	Thermische Energieerzeugung	42
4.2.2	Elektrische Energieerzeugung	45
4.2.3	Gekoppelte Energieerzeugung	46
4.3	ENERGIEVERTEILUNG	48
4.3.1	Wärmeverteilung Heizung	48
4.3.2	Wärmeverteilung Trinkwarmwasser	48
4.3.3	Gekoppelte Wärmeverteilung	50
4.4	ENERGIESPEICHERUNG	51
4.4.1	Thermische Energiespeicherung	51
4.4.2	Elektrische Energiespeicherung	54
4.5	HILFSENERGIEN	56
4.6	ENERGETISCHE BETRIEBSOPTIMIERUNG	57
4.6.1	Energetische Optimierungsmaßnahmen	57
4.6.2	Messtechnische Erfassung	58
4.6.3	Datennutzung	60
4.6.4	Einsparpotential durch Betriebsoptimierung	61
4.7	GESAMTÜBERSICHT ENERGIEBEREITSTELLUNG	62
5	ENERGIESTRÖME IN ENERGIE⁺-VERSORGUNGSKONZEPTEN	64
5.1	MÖGLICHKEITEN DER BEDARFSDECKUNG	64
5.1.1	Vollständiger Energiebezug	64
5.1.2	Vorrangige Eigendeckung mit Energiebezug	64
5.1.3	Vollständige Eigendeckung	66
5.2	NUTZUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR EIGENERZEUGTE ENERGIE	67
5.2.1	Vollständige Einspeisung	67
5.2.2	Vorrangige Eigennutzung mit Überschusseinspeisung	67
5.2.3	Vollständige Eigennutzung	68
5.3	ENERGIEBEZUG	69
5.4	ENERGIEABGABE	69
5.5	ZUSAMMENHANG DER ENERGIESTRÖME	70
6	NUTZERVERHALTEN	72
6.1	NUTZERVERSTÄNDNIS	72
6.1.1	Entscheidungskriterien für energieeffiziente Gebäude	74
6.1.2	Erwartungen an energieeffiziente Gebäude	74
6.1.3	Einstellung der Nutzer zum Thema Energiesparen	74
6.1.4	Einsparungsmöglichkeiten aus Sicht der Nutzer	77
6.1.5	Erkenntnisse für Energie ⁺ -Konzepte	78
6.2	NUTZEREINFLUSS	79
6.2.1	Abweichung von Nutzenergieverbräuchen	79
6.2.2	Statistische Analyse des Nutzerverhaltens	82
6.2.3	Richtwerte für die Planung	88

6.3	NUTZERSENSIBILISIERUNG	90
6.3.1	Sensibilisierungswerkzeuge.....	90
6.3.2	Anforderungen an eine Verbrauchsvisualisierung	92
6.3.3	Ermittlung von Vergleichswerten.....	93
6.3.4	Benötigte Infrastruktur für eine Verbrauchsvisualisierung	94
6.3.5	Visuelle Darstellung von Energieverbräuchen	94
6.3.6	Einsparpotentiale durch Nutzersensibilisierung	96
7	BILANZIERUNG UND BEWERTUNG VON ENERGIE[⊕]-OBJEKTEN	98
7.1	RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE BILANZIERUNG	98
7.1.1	Systemgrenze	98
7.1.2	Betrachtungszeitraum	100
7.1.3	Energieform.....	101
7.2	BENÖTIGTE INFORMATIONEN	102
7.2.1	Allgemeine Projektdaten.....	102
7.2.2	Ermittlung der Energieströme in der Planung	103
7.2.3	Ermittlung der Energieströme in Nutzung und Betrieb	104
7.3	ENERGIE[⊕]-EFFIZIENZKLASSEN	105
7.3.1	Energie [⊕] -Effizienzklassen A-H.....	105
7.3.2	Energie [⊕] -Effizienzklasse A ⁺	108
7.3.3	Energie [⊕] -Effizienzklasse A ⁺⁺	108
7.3.4	Sonstige Energie [⊕] -Effizienzklassen	109
7.3.5	Übersicht	110
7.4	BILANZIERUNG UND BEWERTUNG GEBÄUDEBETRIEB.....	112
7.4.1	Berücksichtigte Energieströme	112
7.4.2	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	112
7.5	BILANZIERUNG UND BEWERTUNG GESAMTSYSTEM	115
7.5.1	Berücksichtigte Energieströme.....	115
7.5.2	Effizienzhaus [⊕]	116
7.5.3	Elektrischer Eigendeckungsgrad.....	116
7.5.4	Elektrischer Eigennutzungsgrad	118
7.5.5	Graue Energie	118
7.5.6	Weitere Bilanzierungsmöglichkeiten	119
7.5.7	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	120
7.6	VERGLEICH VON UMSETZUNGSVARIANTEN	122
7.6.1	Betrachtete Größen.....	122
7.6.2	Effizienzklassen-Diagramm	123
7.6.3	Datenblatt und Gesamtübersicht.....	124
8	SCHLUSSBEMERKUNGEN	126
8.1	ZUSAMMENFASSUNG	126
8.2	AUSBLICK UND WEITERE FORSCHUNGSANSÄTZE.....	130

VERZEICHNISSE.....	XIII
V.1 LITERATUR.....	XIII
V.2 ABKÜRZUNGEN.....	XVIII
V.3 ABBILDUNGEN.....	XIX
V.4 DIAGRAMME	XX
V.5 TABELLEN.....	XX
ANHANG	XXI
A.1 TABELLARISCHER LEBENSLAUF.....	XXI
A.2 VERZEICHNIS DER WISSENSCHAFTLICHEN VERÖFFENTLICHUNGEN/VORTRÄGE	XXII
A.3 SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG ZU DEN SACHVERHALTEN GEMÄß §11 DER PROMOTIONSORDNUNG DER FAKULTÄT ARCHITEKTUR	FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.

1 EINLEITUNG

1.1 Entwicklung des energieeffizienten Bauens

Bis 1952 wurden an Gebäude und deren Komponenten in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) keine energetischen Anforderungen gestellt. Mit der vom Deutschen Institut für Normung (DIN) entwickelten und 1952 in Kraft tretenden [DIN 4108], die den Wärmeschutz im Hochbau beschreibt, wurden erstmals Anforderungen an Bauteile, jedoch nicht an das Gesamtgebäude formuliert. [Schild 2011]

Durch die beiden Ölkrisen 1973 und 1979 wurden die Endlichkeit der fossilen Brennstoffe und der damit einhergehende unweigerliche Preisanstieg für Energie deutlich. Aus diesem Grund wurde 1976 vom deutschen Bundestag das Energieeinsparungsgesetz [EnEG 1976] und 1977 die Wärmeschutzverordnung für Gebäude [WSchV 1977] beschlossen. Diese stellten erstmals energetische Mindestanforderungen an Gebäude und zielten auf die Reduzierung von Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten ab. Zusätzlich trat 1978 die Heizungsanlagen-Verordnung [HeizAnV 1978] in Kraft. In ihr wurden die Anforderungen an die technischen Anlagen zur Deckung des Wärmebedarfs geregelt. [GMSH 2013]

Diese Zeit markiert die Geburtstagsstunde des energieeffizienten Bauens und der Forschung in diesem Bereich in Deutschland. Ziel der Forschung ist es seit Beginn, die gesetzlichen Mindestanforderungen deutlich zu unterschreiten und die Umsetzbarkeit entwickelter Maßnahmen mit Hilfe von Demonstrationsvorhaben zu veranschaulichen. Die Forschung stellt somit die „Pfeilspitze“ der Entwicklung dar. Sie zeigt das Machbare auf und gibt die Richtung des energieeffizienten Bauens für die Zukunft vor. Die allgemeine Baupraxis bewegt sich von jeher zwischen den gesetzlichen Mindestanforderungen und dem technisch Machbaren. Die untere Kurve in Diagramm 1-1 zeigt Forschungsvorhaben, die zur Markteinführung verbesserter Energieniveaus initiiert wurden. [BMUB 2014]

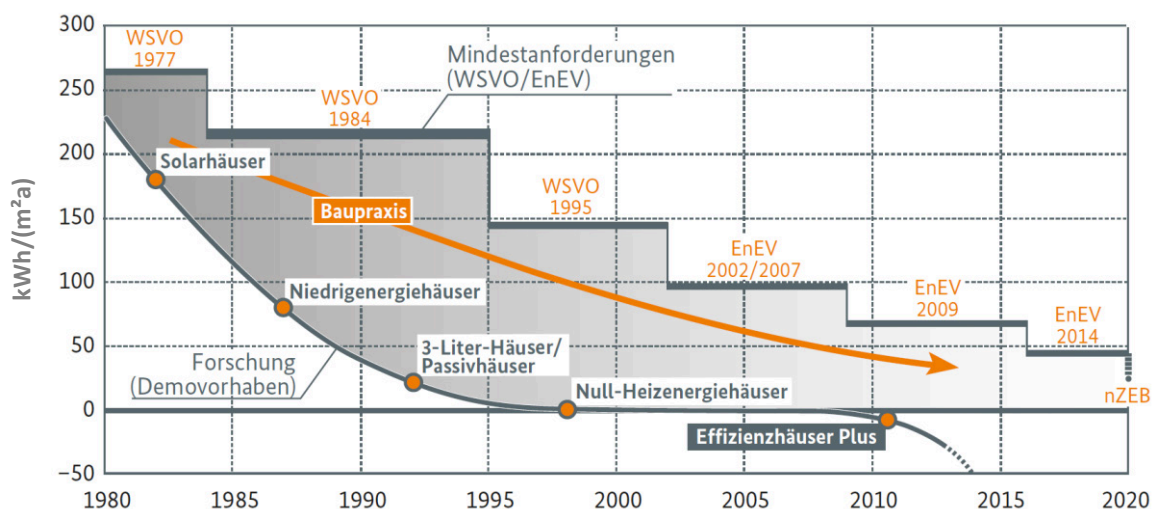


Diagramm 1-1: Entwicklung des Primärenergiebedarfs von Doppelhäusern [BMUB 2014]

Im Bereich des energieeffizienten Bauens ist seit den 1970er Jahren eine ständige Weiterentwicklung zu beobachten, die sich in den fortlaufenden Verschärfungen der Mindestanforderungen widerspiegelt. Durch die Novellierungen der WSchV 1984 und 1995 wurden die Anforderungen an die Gebäude bereits schrittweise erhöht. Die HeizAnIV wurde ebenfalls 1989, 1994 und 1998 novelliert. Zur Festlegung der Mindestanforderungen wurden die Erkenntnisse aus Forschung und Entwicklung sowie der Baupraxis genutzt. Die Verschärfungen wiederum führten zu einer Anpassung der Ziele für die Forschung.

Das Jahr 2002 stellt einen Meilenstein im Bereich des energieeffizienten Bauens in Deutschland und in Europa dar. Die Gebäuderichtlinie „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ [EPBD 2002] der Europäischen Union und des Rates, die mit Stichtag 01. Januar 2003 für alle europäischen Mitgliedstaaten bindend eingeführt wurde, zog massive Veränderungen in der Betrachtungsweise von Gebäuden nach sich. Die WSchV und die HeizAnIV wurden in der Energieeinsparverordnung (EnEV) zusammengeführt und von dieser am 01. Februar 2002 abgelöst. [Schild 2011] Aus Sicht des Autors war die Einführung der EnEV ein wichtiger Schritt in Richtung der ganzheitlichen Betrachtung von Gebäuden. Bis dahin wurden die Gebäude und die Technik zur Bereitstellung der benötigten Wärmeversorgung getrennt voneinander gesehen. Durch die EnEV wurde erstmals das Zusammenwirken von Bautechnik und Haustechnik in Bezug auf die Energieeffizienz in den Fokus gestellt. Auch die EnEV erfuhr in den Jahren seit ihrer Einführung mehrmals Novellierungen. Die aktuelle [EnEV 2014] trat am 01. Mai 2014 in Kraft.

In der aktuellen Fassung der EPBD vom 08. Juli 2010 ist die verpflichtende Forderung nach Niedrigstenergiegebäuden im Neubau ab 01. Januar 2021 fest verankert. [EPBD 2010] Zunächst muss jeder Mitgliedstaat bis Ablauf des Kalenderjahres 2015 eine eigene Definition für den Niedrigstenergiehaus-Standard festlegen. Die EU gibt in der [EPBD 2010] vor, dass die Gebäude eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz und einen fast bei Null liegenden Energiebedarf haben müssen, der im Idealfall ausschließlich aus erneuerbaren Energiequellen, nach Möglichkeit auch direkt vor Ort gedeckt wird. Diese Definition beschäftigt aktuell sowohl die Forschung im Bereich des energieeffizienten Bauens als auch die Gesetzgebung, da der Niedrigstenergiehaus-Standard das energieeffiziente Bauen in Zukunft prägen wird. Es existieren vielfältige Lösungsvorschläge, die sich in verschiedenen Gebäudestandard-Definitionen manifestieren.

1.2 Motivation

„Die Sicherstellung einer zuverlässigen, wirtschaftlichen und umweltverträglichen Energieversorgung ist eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts.“ [BMWi 2010:3] Um die angestrebte „Energiewende“ in Deutschland bis 2050 zu schaffen, wurde das „Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung“ auf den Weg gebracht. [BMWi 2010: 3]

Dem Gebäudesektor kommt im Rahmen der „Energiewende“ besondere Bedeutung zu, da sich die Gebäude für 40 Prozent des Energieverbrauchs verantwortlich zeichnen. [EPBD 2010] Die Forderung nach dem Niedrigstenergiehaus-Standard birgt zusätzliche Herausforderungen für den Gebäudesektor.

Aktuell fokussiert die Sicht auf Gebäude hauptsächlich auf den thermischen Energiebedarf. Die Ausschöpfung der passiven Möglichkeiten zur Reduzierung des Energiebedarfs (Passivhaus) macht neue Wege notwendig, um die Energieeffizienz von Gebäuden weiter zu verbessern. Es kommen aktive Energieerzeugungsanlagen zum Einsatz, die aus vor Ort zur Verfügung stehenden erneuerbaren Energiequellen elektrische und thermische Energie bereitstellen. Die Eigenzeugung verlangt eine völlig neue Sichtweise auf Versorgungskonzepte für Gebäude. Warum sollte man den Energiebedarf mit passiven Maßnahmen bis ins Extrem reduzieren, wenn vor Ort ausreichend erneuerbare Energie zur Eigenversorgung bereitsteht? Vielmehr ist es sinnvoll, durch die Abstimmung der aktiven und passiven Maßnahmen aufeinander das energetische Optimum über den gesamten Lebenszyklus anzustreben. Zusätzlich wird durch die sinkenden thermischen Energiebedarfe und die Forderung nach einer sehr hohen Gesamtenergieeffizienz der elektrische Energiebedarf für den Gebäudebetrieb ebenfalls in den Fokus gerückt. Eine getrennte Betrachtung von elektrischer und thermischer Energie ist in Zukunft nicht mehr zielführend.

Die Veränderung von Gebäuden weg vom „reinen Energieverbraucher“ hin zum „Energieakteur“ sowohl nach innen als auch nach außen, lässt eine spannende Zukunft für den vergleichsweise noch jungen technischen Sektor des energieeffizienten Bauens erahnen. Das Ziel scheint durch die gesetzlichen Regelungen vorgegeben. Doch der Weg dorthin ist aufgrund der neuen technischen Möglichkeiten vielfältig. Die Modellvorhaben aus dem Netzwerk: Modellhäuser im „Effizienzhaus PLUS-Standard“ und aus [Voss 2011, Fisch 2012, Hegger 2013] zeigen, dass es mittlerweile technisch möglich ist, Gebäude zu bauen, die im Laufe eines Jahres bilanziell mehr Energie erzeugen als sie verbrauchen. Diese Entwicklung ist allerdings noch nicht im alltäglichen Baugeschehen angekommen und macht die Betrachtung der Gebäude in Zusammenhang mit der gesamten Infrastruktur notwendig. Die eingespeisten Überschüsse stellen für die Versorgungsnetze eine zusätzliche Herausforderung dar, da diese nicht auf die dezentrale Einspeisung von variablen Energieströmen aus erneuerbaren Energiequellen ausgelegt sind. Hierfür können effiziente Anlagen- und Gebäudekonzepte als eine Art „Batterie“ fungieren und für den Ausgleich von Erzeugungs- und Nachfragespitzen sorgen. [Synwoldt 2013, Taphorn 2013, Herkel 2014] Siedlungs- und Quartierskonzepten kommt hierbei besondere Bedeutung zu. [Erhorn-Kluttig 2011]

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der Einbezug des Nutzers in die energetischen Betrachtungen von Gebäuden. Je besser der energetische Standard eines Gebäudes ist, umso entscheidender ist das Nutzerverhalten. [Richter 2003] Gebäude und die darin enthaltene Technik können gesteckte energetische Ziele nur dann erreichen, wenn der Nutzer ein gewisses Maß an „Fremdbestimmung“ durch eingesetzte Mess-, Steuer- und

Regelungstechnik (MSR) akzeptiert beziehungsweise die Anlagentechnik versteht und richtig nutzt. Dies ist jedoch nur möglich, wenn dem Nutzer sein eigenes Verhalten auch bewusst ist, was den Einsatz von Informations- und Kommunikationshilfsmitteln zu einem nahezu unverzichtbaren Element moderner Gebäude werden lässt.

Die Planung, Errichtung und der energieeffiziente Betrieb von Siedlungen und Quartieren stellen zunehmend höhere Anforderungen an alle Baubeteiligten. Breitentaugliche Planungs- und Bilanzierungswerkzeuge sind aktuell nicht in der Lage, alle relevanten Einflussfaktoren für zukünftige Gebäude zu berücksichtigen. Dies ist jedoch notwendig, um bereits in der Planung verlässliche Prognosen über das energetische Ergebnis im Betrieb zu ermöglichen. [Van Treeck 2014] Der Vergleich von Planungswerten mit den gemessenen Energieverbräuchen bietet für die Zukunft wichtige Optionen. Hierfür ist neben der Entwicklung geeigneter Berechnungswerkzeuge auch die Erarbeitung eines Verfahrens notwendig, das eine vollumfängliche und adäquate Bilanzierung von Siedlungen und Quartieren über den Lebenszyklus ermöglicht. Um den energieeffizienten Betrieb der eingesetzten Anlagen zu gewährleisten, spielt Betriebsoptimierung eine wichtige Rolle. [Plesser 2010]

Der Bausektor erfuhr durch die Einführung des energieeffizienten Bauens eine elementare Veränderung. Nun steht das energieeffiziente Bauen selbst vor einem Wendepunkt und großen Veränderungen.

1.3 Ziele der Arbeit

Die aktuellen Veränderungen der Rahmenbedingungen und Herausforderungen für das energieeffiziente Bauen machen völlig neue Herangehensweisen bei der Entwicklung von zukunftsfähigen energetischen Versorgungskonzepten für Gebäude notwendig. Daraus leitet sich folgende Forschungsfrage ab:

Wie sehen energetische Versorgungskonzepte für Siedlungen und Quartiere in Zukunft aus und welche Einflussfaktoren müssen Berücksichtigung finden, damit diese in der Lage sind einen Beitrag zur Energiewende zu leisten und somit die gesteckten Ziele aus dem Energiekonzept der Bundesregierung zu erreichen?

Um diese Frage zu beantworten wird zunächst das Ziel verfolgt, eine standardunabhängige Definition zu erarbeiten, in der die allgemeinen Grundlagen für energetische Versorgungskonzepte von Siedlungen und Quartieren zusammengefasst sind. Hierbei sollen alle aktuellen Gebäudestandard-Definitionen und die Vorgaben der Europäischen Union (EU) für den Niedrigstenergiehaus-Standard Beachtung finden und diese über das Einzelgebäude hinaus auf Siedlungen und Quartiere erweitern.

Um die Verbreitung moderner Versorgungskonzepte für Siedlungen und Quartiere zu unterstützen, bedarf es Lösungsansätzen, die eine unmittelbare Umsetzung in die Praxis ermöglichen. Die Erarbeitung solcher Umsetzungskonzepte stellt ein elementares Ziel der vorliegenden Arbeit dar. Neben der Planung soll auch der spätere Betrieb und die

Möglichkeiten zur Verbesserung des energetischen Ergebnisses durch Optimierungsmaßnahmen Beachtung finden.

Die Potentiale der elektrischen und thermischen Eigenerzeugung und die verschiedenen Verwendungsmöglichkeiten der bereitgestellten Energien machen eine völlig neue Sichtweise auf zukünftige Versorgungskonzepte notwendig. Welche Energieströme besondere Beachtung finden müssen und in welchem Zusammenhang diese zueinander stehen soll ebenso erarbeitet werden wie die Auswirkungen der geänderten Bedingungen auf das energetische Gesamtsystem von Siedlungen und Quartieren.

Je besser der energetische Standard von Gebäuden, umso größer ist der Einfluss des Nutzers auf das energetische Ergebnis. [Richter 2003] Um diese Aussage zu überprüfen verfolgt die Arbeit das Ziel, Aussagen über das Nutzerverständnis für und den Nutzereinfluss auf energieeffiziente Siedlungen zu erarbeiten. Weiterhin soll der Sensibilisierung der Nutzer für energiesparendes Verhalten besondere Beachtung geschenkt werden.

Mit aktuellen Bilanzierungsverfahren ist es nicht möglich, Versorgungskonzepte für Siedlungen und Quartiere zu beurteilen. Der Vergleich von Planungs- und Messwerten ist aktuell weder möglich noch angedacht. Eigenerzeugte Energie kann nur bis zur Höhe des eigenen Energiebedarfs angerechnet werden. Die Erreichung eines bilanziellen Energieüberschusses ist in der EnEV 2014 nicht vorgesehen. All diese Punkte sind jedoch notwendig, um Siedlungen und Quartiere aus energetischer Sicht zukünftig umfassend beurteilen zu können. Um den genannten Aspekten Rechnung zu tragen, soll im Rahmen dieser Arbeit ein Bilanzierungsverfahren erarbeitet werden, mit dem die vergleichende Betrachtung der Planungs- und Messwerte von Siedlungen und Quartieren möglich ist. Sie soll fast durchgängig nach etablierten Verfahren erfolgen, die aber in ihrer Kombination die Vollständigkeit bisheriger Verfahren übertreffen. Eigene elektrische und thermische Energiebereitstellungssysteme sollen ebenso Beachtung finden, wie die Möglichkeit zur Erreichung eines bilanziellen Energieüberschusses. Ein weiteres Ziel stellt der Vergleich von Umsetzungsvarianten dar.

1.4 Herangehensweise

Die Forschungsarbeiten, die die Grundlage der vorliegenden Dissertation bilden, wurden zu großen Teilen im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter der Forschungsinitiative Eneff-Stadt² geförderten Forschungsvorhabens „Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut (+Eins)“³ erbracht. Die Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit leitet sich aus der geschichtlichen Entwicklung, dem aktuellen Stand und vor allem den zukünftigen Herausforderungen wie beispielsweise der Energiewende und der

² EnEff:Stadt und EnEff:Wärme - Forschung für Energieeffizienz, <<http://www.eneff-stadt.info/de/>>

³ Eine detaillierte Beschreibung des Forschungsvorhabens +Eins (Förderkennzeichen 0327431R) und des untersuchten Ludmilla-Wohnpark in Landshut, sowie der über die im Rahmen dieser Arbeit hinausgehenden Erkenntnisse, können dem Mitte 2015 erscheinenden Abschlussbericht entnommen werden.

kommenden gesetzlichen Forderung nach dem Niedrigstenergiehaus ab, denen sich das energieeffiziente Bauen in Zukunft stellen muss. Die notwendigen Informationen wurden neben den eigengewonnenen Erkenntnissen aus der Bearbeitung von +Eins der themenrelevanten Literatur entnommen.

Die im Rahmen des Forschungsvorhabens (FV) +Eins durchgeführten Tätigkeiten umfassten neben der Planung, Überwachung und Mithilfe bei der Umsetzung des Monitorings und Auswertung der Messdaten auch die Durchführung von sozialwissenschaftlichen Bewohnerbefragungen sowie Gebäude- und Anlagensimulationen. Es wurde eine neuartige Verbrauchsvisualisierung für die Bewohner entwickelt, ein Leitfaden für energiesparendes Verhalten erarbeitet [Stockinger 2012a] sowie Schulungen für die Bewohner und Fachpublikum durchgeführt. Weiterhin wurde ein Messfeld für oberflächennahe Geothermie konzipiert und umgesetzt, das zur Validierung eines neuentwickelten Simulationstools dient.

Die Tätigkeiten des Verfassers gingen jedoch noch deutlich über das eigentliche Forschungsvorhaben hinaus. So wurde das Energiekonzept für das Bauvorhaben Ludmilla-Wohnpark Landshut (LWP) in enger Zusammenarbeit mit dem Bauherren, der Architektin, den Fachplanern und den ausführenden Firmen im Rahmen einer konsequent durchgeführten integralen Planung unter Berücksichtigung aller energetischer, wirtschaftlicher und soziologischer Aspekte entwickelt und die Umsetzung fachtechnisch begleitet. In den ersten Betriebsjahren wurden zusätzlich aufschlussreiche Erkenntnisse aus der durchgeführten Optimierung des Anlagenbetriebes gewonnen.



Abb. 1-1: Süd-Ansicht der ersten beiden Bauabschnitte des Ludmilla-Wohnpark in Landshut, die im Rahmen des Forschungsvorhabens +Eins untersucht wurden. [Ludmilla 2014]

In den ersten beiden Bauabschnitten des Ludmilla-Wohnpark Landshut wurden dreizehn Einfamilienhäuser (EFH) und acht Mehrfamilienhäuser (MFH) mit 55 Wohneinheiten

umgesetzt und im Rahmen von +Eins untersucht. Alle Gebäude sind in einem sehr guten energetischen Standard umgesetzt (Außenbauteile EnEV 2009 minus 30 Prozent und besser). Während in jedem EFH die Wärme über eine eigene Kleinstwärmepumpe mit integrierter Wohnraumlüftung, die als Wärmequelle Erdkollektoren nutzt, bereitgestellt wird, erfolgt die Wärmebereitstellung für die MFH über ein Nahwärmenetz aus einer gemeinsamen Heizzentrale mit Grundlast-Blockheizkraftwerk (BHKW) und Spitzenlast-Brennwerttherme. Für die Erzeugung von Trinkwarmwasser (TWW) kommt je Wohnung (WGH) eine thermische Frischwasserstation zum Einsatz, die zusammen mit der Heizung über ein gemeinsames Verteilnetz mit Wärme versorgt werden. Jedes MFH verfügt über eine zentrale mechanische Belüftung mit Wärmerückgewinnung. Die Photovoltaik-Anlagen auf den Dächern der MFH und zweier EFH speisen, ebenso wie das BHKW, die erzeugte elektrische Energie zum bilanziellen Ausgleich des Energiebezuges in das öffentliche Netz ein.

Die im LWP gewonnenen Daten, die nicht nur aus Errichtung und Betrieb der Wohnsiedlung resultieren, sondern auch ein besonderes Augenmerk auf die Einbeziehung der Bewohner legen, bilden die Basis der vorliegenden Arbeit. Die umfangreichen Monitoring-Daten liegen für einen Zeitraum von annähernd drei Jahren in hoher Detailtiefe und zeitlicher Auflösung vor. Die aufwendige Analyse des thermischen Gebäudeverhaltens, des Anlagenbetriebs der zentralen und dezentralen Versorgungssysteme, sowie des Nutzerverhaltens einschließlich sozialwissenschaftlicher Untersuchungen lassen Schlussfolgerungen zu, die zu Erkenntnissen verdichtet und, unter Berücksichtigung des aktuellen Stands der Technik, in allgemeingültige Form gebracht werden.

Das Ziel einer standardunabhängigen Betrachtung von Versorgungskonzepten für Siedlungen und Quartieren hat zur Einführung des Begriffes „ENERGIE \oplus “ in dieser Arbeit geführt. Energie \oplus hat nicht das Ziel, ein neuer Standard zu sein, sondern vielmehr alle aktuellen Gebäudestandard-Definitionen zu vereinen und die relevanten Aspekte für moderne Versorgungskonzepte von Siedlungen und Quartieren zu erfassen. Hierfür werden sowohl die allgemeinen Grundlagen als auch alle zu berücksichtigenden Energiebedarfe für den Gebäudebetrieb und darüber hinaus aufgezeigt und die aktuellen Gebäudestandards unter Energie \oplus -Gesichtspunkten betrachtet.

Die Umsetzungskonzepte für Energie \oplus -Objekte werden aus den im FV +Eins gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet und in allgemeingültige Form gebracht. Die zu berücksichtigenden Einflussfaktoren sind ebenso Bestandteil der Untersuchungen, wie die zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zur Energieerzeugung, -verteilung und -speicherung. Darüber hinaus werden Optimierungsmaßnahmen vorgestellt und die erreichbaren Einsparpotentiale durch Betriebsoptimierung am Beispiel des LWP aufgezeigt.

Neben dem Bezug von Energie aus externen Quellen verfügen Energie \oplus -Objekte auch über die Möglichkeit der Bedarfsdeckung aus der eigenen Energiebereitstellung. Die eigenerzeugte Energie kann auf unterschiedlichste Weise genutzt werden. Die zur Verfügung

stehenden Alternativen werden erläutert und zur Gegenüberstellung von Energieabgabe und Energiebezug das „EFFIZIENZKLASSEN-DIAGRAMM“ eingeführt.

Der Einfluss des Nutzers wird aus den im Rahmen der Bearbeitung des FV +Eins gewonnenen Erkenntnissen für die Nutzungsart Wohnen abgeleitet und verallgemeinert. Zunächst wird das Nutzerverständnis mit Hilfe von zwei im LWP durchgeführten Bewohnerbefragungen näher beleuchtet und daraus allgemeine Schlüsse für Energie⁺-Siedlungen gezogen. Es erfolgt beispielhaft für Energie⁺-Siedlungen die Analyse des Nutzerverhaltens am LWP mit Hilfe statistischer Methoden. Aufgrund der hohen Relevanz des Nutzerverhaltens für energieeffiziente Siedlungen werden mögliche Werkzeuge zur Nutzersensibilisierung vorgestellt und die erreichbaren Einsparpotentiale am Beispiel des LWP aufgezeigt.

Mit den aktuellen Bilanzierungsverfahren ist es nicht möglich, Energie⁺-Objekte allumfassend zu bewerten. Die Bilanzierung von Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren erfordert die Schaffung von Verfahren und entsprechenden Einstufungen, die auf den bisherigen Standards basieren und diese gleichzeitig weiter entwickeln. Deshalb wird in dieser Arbeit mit dem „ENERGIEAUSWEIS⁺ FÜR ENERGIE⁺-SIEDLUNGEN UND -QUARTIERE“ ein mögliches Werkzeug vorgestellt, mit dem die Bilanzierung von Energie⁺-Objekten und der Vergleich von Bedarf und Verbrauch möglich werden. Methodisch baut die Arbeit auf der [EnEV 2014], der [DIN V 18599] und dem Energieausweis für Gebäude auf. Die Weiterentwicklungen ergeben sich aus dem Anspruch, die Eigenversorgung von Siedlungen und Quartieren in Zukunft voran zu treiben und die Herausforderungen entsprechender Versorgungskonzepte erfolgreich meistern zu können. Die Erweiterungen betreffen vor allem die Einführung wichtiger neuartiger Kennwerte in die Bilanzierung von Energie⁺-Objekten, wie beispielsweise „ENERGIE⁺-EFFIZIENZKLASSEN“, das „EFFIZIENZHAUS⁺“ und die Integration des elektrischen Eigennutzungsgrades und Eigendeckungsgrades sowie der Grauen Energie. Es werden die Rahmenbedingungen für die Bilanzierung aus den aktuellen Festlegungen für Gebäude abgeleitet und auf Siedlungen und Quartiere erweitert. Die Bilanzierung erfolgt getrennt für den Gebäudebetrieb und das Gesamtsystem. Darüber hinaus ermöglicht das Verfahren einen Vergleich unterschiedlicher Umsetzungsvarianten.

Antworten auf die Frage, welchen Beitrag Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere zur Energiewende in Deutschland beitragen können und welche weiteren Forschungsansätze hierfür notwendig sind, werden aus den im Rahmen der Bearbeitung der vorliegenden Arbeit gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet und in den Schlussbemerkungen erläutert.

1.5 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich zu Beginn mit dem aktuellen Stand der Wissenschaft und Technik. In **Kapitel 2** wird der Niedrigstenergiehaus-Standard, sowie aktuelle nationale und internationale Gebäudestandards vorgestellt.

Die gewonnenen Erkenntnisse aus dem aktuellen Stand der Wissenschaft haben zur Einführung des standardübergreifenden Begriffes „Energie⁺“ geführt. **Kapitel 3** widmet sich der Definition von Energie⁺, während **Kapitel 4** die Umsetzung und den Betrieb von Siedlungen und Quartieren mit Energie⁺-Versorgungskonzepten beleuchtet und sich **Kapitel 5** mit den Energieströmen in Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren befasst.

Der Nutzer hat sich als elementarer Einflussfaktor für energieeffiziente Wohngebäude herausgestellt. Aus diesem Grund thematisiert **Kapitel 6** das Verständnis, den Einfluss sowie Möglichkeiten zur Sensibilisierung des Nutzers.

Kapitel 7 beschäftigt sich mit der Bilanzierung und Bewertung von Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren.

Mit der Zusammenfassung beginnt das abschließende **Kapitel 8**. Unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse dieser Arbeit erfolgt ein Ausblick auf die mögliche zukünftige Entwicklung des energieeffizienten Bauens bei Siedlungen und Quartieren sowie die weiteren Forschungsansätze.

2 AKTUELLE GEBÄUDESTANDARDS

2.1 Niedrigstenergiehaus und Nullenergiehaus

In der Neufassung der EU-Gebäuderichtlinie „Energy Performance of Buildings Directive“ [EPBD 2010] vom 19. Mai 2010 wurde von der EU der Niedrigstenergiehaus-Standard (nearly-zero energy building, Fast-Nullenergie-Gebäude) für Neubauten ab 1. Januar 2021 verpflichtend festgesetzt. Für den Niedrigstenergiehaus-Standard gibt es keine länderübergreifende Definition. Vielmehr soll jeder Mitgliedsstaat bis 31. Dezember 2015 eine länderinterne Definition unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit erarbeiten. Das Niedrigstenergie-Gebäude weist laut EPBD 2010 eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz auf. Der fast bei Null liegende oder sehr niedrige Energiebedarf soll zu einem wesentlichen Teil mit Energie aus erneuerbaren Energiequellen, nach Möglichkeit auch direkt vor Ort, gedeckt werden. Diese Vorgaben kommen dem Nullenergiehaus sehr nahe.

„Ein Nullenergiehaus ist [...] als ein energieeffizientes Gebäude definiert, das in Verbindung mit dem Stromnetz und gegebenenfalls weiteren Netzen seinen gesamten Jahresprimärenergiebedarf auf der Basis einer monatlichen Bilanzierung durch die Primärenergiegutschrift für den eingespeisten Energieüberschuss in der Jahressumme deckt. Die Energiebereitstellung vor Ort deckt dabei vorrangig den Eigenbedarf.“ [Voss 2011: 41]

Ein Nullenergiehaus deckt somit den eigenen Energiebedarf ab, indem die von außen bezogene Energie über den Jahreszyklus durch die Überschusseinspeisung ausgeglichen wird. Nullenergiegebäude verfolgen denselben Ansatz wie Plusenergiegebäude, ohne jedoch den Anspruch zu haben, mehr Energie zu erzeugen als zu verbrauchen. Sie stellen die Untergrenze von Plusenergie dar.

2.2 Plusenergiehaus®

Der im allgemeinen Sprachgebrauch verbreitetste Begriff dürfte Plusenergiehaus® sein, der eingeführt und als Markenname geschützt ist. [Disch 2014] definiert den Begriff wie folgt:

„Das Plusenergiehaus® produziert mehr Energie, als seine Bewohner verbrauchen. [...] Plusenergie heißt: 100 Prozent regenerative Energieversorgung und emissionsfreier Betrieb. Zusätzlich wird ein Plus an sauberem Solarstrom ... abgegeben.“ [Disch 2014]

Mit dieser Festlegung wurden eindeutige Anforderungen an das Plusenergiehaus® gestellt. Es muss mehr Energie erzeugen, als es für den gesamten Gebäudebetrieb verbraucht. Es wurden Einschränkungen bezüglich der Technik definiert. So dürfen zur Erzeugung nur Systeme zum Einsatz kommen, die 100 % regenerativ und emissionsfrei sind. Die Wärmebereitstellung kann somit nur elektrisch, geothermisch oder solar erfolgen. Verbrennungsprozesse sind ausgeschlossen. Die Überschusseinspeisung ist auf elektrische Solarenergie begrenzt. Über die Bewertungsgrenze und den Betrachtungszeitraum wird ebenso keine Aussage getroffen wie über die Höhe des benötigten Energieüberschusses.

2.3 Effizienzhaus PLUS

Im Jahr 2011 wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) der Begriff Effizienzhaus PLUS eingeführt und dieser im Januar 2014 vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) wie folgt definiert:

„Das Effizienzhaus Plus-Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) als auch negativer Jahres-Endenergiebedarf ($Q_e < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen nach Energieeinsparverordnung (EnEV), wie z.B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten. [...] Die Nachweise sind in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung 2014 nach DIN V 18599 zu führen. [...] Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und –prozesse in der Berechnung mit berücksichtigt werden.“ [BMUB 2014: 9]

Die Definition enthält zusätzlich Festlegungen für die Bilanzgrenze und den Betrachtungszeitraum sowie die Anrechnung von „on-site“ erzeugten Energien bei Konzepten mit mehreren Gebäuden. Der Definition ist zu entnehmen, dass der Nachweis des negativen Primär- und Endenergiebedarfs ausschließlich im Planungsstadium mit einem vorgegebenen Wert für den Haushaltsstrom erfolgen muss. Über die Verbräuche im realen Betrieb wird keine Aussage getroffen. Die Wahl der Wärme- und Stromerzeugung ist ebenso frei gestellt wie die des verwendeten Energieträgers. Als Nebenanforderungen werden der Einsatz von Geräten mit höchstem Energieeffizienzlabel und der Einbau von intelligenten Zählern gefordert. Der errechnete Eigennutzungsgrad des erzeugten Stromes muss angegeben werden. Für die zu erreichende Höhe werden jedoch keine Vorgaben gemacht. [BMUB 2014]

2.4 EnergiePLUS-Standard

Vom Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS) der Technischen Universität Braunschweig wurde 2012 der EnergiePLUS-Standard als Antwort auf den ab 2021 verpflichtend geforderten Niedrigstenergiehaus-Standard erarbeitet.

„Zur Definition des Standards EnergiePLUS werden folgende Festlegungen getroffen:

1. Bewertungsgröße: Primärenergie-Bedarf zum Betrieb des Gebäudes (inklusive Ausstattung, Arbeitsmittel)
2. Bilanzgrenze: Gebäude, Gebäudeblock, Stadtquartier beziehungsweise Grundstück
3. Bilanzzeitraum: Jahres- und/oder Lebenszyklus“ [Fisch 2012: 28]

Beim EnergiePLUS-Standard wird die Primärenergie als Bewertungsgröße festgelegt. Eine Bewertung der Endenergie wird ausschließlich bei „Nur-Strom-Gebäuden“ oder einem Land wie Norwegen, in dem über 90 Prozent der Energie aus erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt wird, als sinnvoll erachtet, da sonst die Unterschiede der zum Einsatz

kommenden Energieträger nicht ausreichend berücksichtigt würden. Der EnergiePLUS-Standard sieht auch eine Erweiterung auf Siedlungen, Quartiere oder gar Stadtteile vor. Für die reine energetische Betrachtung wird in Anlehnung an die EnEV ein Betrachtungszeitraum von einem Jahr definiert. Soll die Graue Energie Berücksichtigung finden, wird eine zusätzliche Betrachtung über den Lebenszyklus vorgeschlagen. Es wird ein Eigennutzungsgrad der eigenerzeugten elektrischen Energie von >30 Prozent gefordert.

Der EnergiePLUS-Standard verfügt über vier Abstufungen, welche sich in den berücksichtigten Energieverbräuchen bzw. -bedarfen unterscheiden. Die erste Stufe ist der HeizenergiePLUS-Standard. Hier muss ein Ausgleich der Energieeinsätze für die Wärme-Bereitstellungsfunktionen Raumheizung und Warmwasserbereitung erfolgen. In der zweiten Stufe, dem BetriebsenergiePLUS-Standard, erfolgt eine Erweiterung um die zugehörigen Hilfsenergien für die Wärmebereitstellung. Zu den Hilfsenergien zählt neben elektrischer Energie für Verteilung und Regelungstechnik auch der Energieeinsatz für mechanische Wohnraumlüftung. Die nächste Stufe stellt der GesamtenergiePLUS-Standard dar. In ihm werden alle Energieverbräuche bzw. -bedarfe für den Gebäudebetrieb berücksichtigt. Dies schließt die elektrische Energie für Beleuchtung und Haushaltsgeräte ein. Bei Mehrfamilienhäusern und Siedlungen kommt der Allgemeinstrom für beispielsweise Aufzüge hinzu. Die vierte Stufe erweitert die Betrachtung über das Gebäude hinaus und integriert die Mobilität. [Mahler 2012]

Der EnergiePLUS-Standard verfügt über keinerlei Einschränkungen bezüglich der eingesetzten Energieträger oder Erzeugungseinrichtungen. Weiterhin ermöglicht er einen Energieverbund mehrerer Gebäude zu einer gemeinsamen Energieversorgung.

2.5 Aktivhaus

Im Jahr 2013 wurde der Verband Aktivhaus e.V. von Architekten und Ingenieuren aus Forschung und Praxis gegründet. Ziel des Verbandes ist es, das Qualitätslabel Aktivhaus national und international voranzubringen.

„Das Aktivhaus ist die zeitgemäße Weiterentwicklung bisheriger Gebäudeenergie-Standards. Es baut auf den Prinzipien einer Minimierung der Energieverluste und des gebäudeinternen Energieverbrauchs, sowie der direkten (passiven) Nutzung der Sonneneinstrahlung durch das Gebäude selbst auf. [...] Ergänzt werden diese Maßnahmen durch die aktive Nutzung regenerativer Energiequellen, soweit sie auf das Haus oder das Grundstück treffen, also durch die Umwandlung der Sonneneinstrahlung, der Umgebungswärme, der Windströmung oder der Erdwärme in Wärmeenergie und Elektrizität für das Gebäude. Das Aktivhaus spart also nicht nur Energie. Es ist zusätzlich auf die Erzeugung von Energie über seine Gebäudehülle, seine erdberührten Bauteile und seine unmittelbare Umgebung ausgerichtet. Das Aktivhaus greift damit nicht weiter auf die Versorgung durch die großen externen Energieversorgungsanlagen zurück. [...] Das Aktivhaus nutzt die hohen

Selbstversorgungspotentiale der nahen Umgebung. [...] Das Aktivhaus vernetzt sich in der Nachbarschaft und Stadt mit anderen Gebäuden und Einrichtungen. In diesem Verbund gleicht es zunehmend Angebot und Bedarf aus und verringert den derzeit noch hohen Speicherbedarf der erneuerbaren Energien. [...] Zunächst noch vereinzelt, können Aktivhäuser vernetzt für die Selbstversorgung von städtischen Quartieren und schließlich Städten bedeutsam werden.“ [Hegger 2013: 70]

Beim Aktivhaus handelt es sich um keinen neuen Gebäudestandard, sondern vielmehr um eine Planungsstrategie für zukünftige Gebäude, Siedlungen und Städte. Es fokussiert neben der Energieeffizienz auch die Raumklimaqualität und die durch das Gebäude verursachten Umwelteinflüsse. Um die Verluste möglichst niedrig zu halten, verfügt es über einen hohen Effizienzstandard, der über die gesetzlichen Anforderungen hinausgeht, ohne hierfür jedoch feste Forderungen zu stellen. Die Versorgung erfolgt ausschließlich aus erneuerbaren Energien, die primär aus der eigenen Energiegewinnung oder aus der Infrastruktur der näheren Umgebung stammen. Es fordert nicht zwingend einen energetischen Überschuss. Das Aktivhaus wird in vier Klassen eingeteilt, die mit steigender Qualität höhere Anforderungen an das Konzept bezüglich des Endenergiebedarfs, der Primärenergiebilanz inklusive Energieerzeugung sowie den Eigendeckungsgrad der elektrischen Energie stellen.

2.6 Europäische Standards

Neben den verschiedenen Definitionen in Deutschland gibt es in den europäischen Nachbarländern eine Vielzahl von Ansätzen für Plusenergiegebäude wie z.B.:

- Haus der ZukunftPLUS in Österreich [BMVIT 2009]
- Minergie-A^R in der Schweiz [Minergie 2010]
- Code for Sustainable Homes – Level 6 in Großbritannien [ODPM 2006]
- Plusenergiehaus 1 -3 des EnergieCluster in der Schweiz [Viridén 2010]

Alle Konzepte verfolgen das Ziel, eine primär- und/oder endenergetisch positive Energiebilanz für Gebäude oder Energieverbundprojekte zu erreichen. Die Basis ist ein möglichst effizienter Gebäudebetrieb bei gleichzeitiger Eigendeckung und Überschussproduktion von thermischer und elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen.

3 DEFINITION VON ENERGIE⊕

Die aktuelle Entwicklung des energieeffizienten Bauens weg vom „Energieverbraucher“ hin zum „Energieakteur“ macht es nötig, neue Ansätze zu verfolgen. Um dem gerecht zu werden, wird in dieser Arbeit der Begriff „Energie⊕“ eingeführt und definiert.

Alle Versorgungskonzepte, mit Ausnahme von Heiz- und Kraftwerken, die sowohl über eigene thermische als auch elektrische Erzeugungsanlagen verfügen und aus vor Ort nutzbaren, erneuerbaren Energiequellen Wärme und Elektrizität bereitstellen, sind Energie⊕-Versorgungskonzepte.

Abweichend von der aktuellen Gebäudebewertung werden bei Energie⊕ alle Energieströme innerhalb des Gesamtsystems berücksichtigt. Das umfasst alle thermischen und elektrischen Energiebedarfe für den Gebäudebetrieb ebenso wie die eigenerzeugte Wärme und Elektrizität. Die Eigenerzeugung ermöglicht völlig neue Lösungsansätze für Versorgungskonzepte, da zur Bedarfsreduzierung durch passive Maßnahmen die Steigerung der Energieeffizienz des Gesamtsystems durch aktive Maßnahmen hinzukommt.

Durch die Berücksichtigung der Grauen Energie wird die Betrachtung über den reinen Gebäudebetrieb hinaus auf den Lebenszyklus erweitert. Energie⊕ und Elektromobilität ermöglichen die Nutzung von Synergien. Energie⊕ beachtet mit der Mobilität den zweitgrößten Endenergieverbraucher der deutschen Haushalte. [BDEW 2014]

Energie⊕ hat nicht den Anspruch, ein neuer Gebäudestandard zu sein! Vielmehr verfolgt Energie⊕ das Ziel, alle relevanten gesellschaftlichen und technischen Bereiche für Gebäude miteinander zu verknüpfen und die Sichtweise auf Gebäude sowohl über Einzelobjekte als auch die thermische Energie hinaus zu erweitern.

3.1 Voraussetzungen für Energie⊕

Energie⊕-Objekte müssen nicht zwingend aus reiner Wohnbebauung bestehen. Mischgebiete sind ebenso denkbar. Auch ist Energie⊕ nicht auf den Neubau beschränkt, sondern ebenso für die energetische Sanierung interessant. Alle Versorgungskonzepte für Siedlungen und Quartiere, aber auch Einzelgebäude, die über eigene elektrische und thermische Energieerzeugungsanlagen verfügen, mit Ausnahme von Heiz- und Kraftwerken, sind Energie⊕-Versorgungskonzepte. Es werden weder Forderungen nach einem, über die gesetzlichen Anforderungen hinausgehenden bauphysikalischen Standard gestellt, noch Einschränkungen bei den eingesetzten Energieerzeugern und Energieträgern vorgenommen. Für Energie⊕-Objekte ist kein energetisches Mindestergebnis vorgeschrieben. Es können jedoch jederzeit energetische oder ökologische Ziele für das Gesamtsystem und den Gebäudebetrieb vorgegeben werden.

3.1.1 Nutzungsarten

Für Energie⊕-Objekte erfolgt keine Einschränkung bezüglich der Gebäudenutzung.

Neben Wohnnutzung ist auch Nichtwohnnutzung oder Mischnutzung zulässig.

Grundsätzlich stellt neben Wohngebäuden auch die Versorgung von Nichtwohngebäuden mit Energie⊕-Versorgungskonzepten eine sehr interessante Alternative dar. Bürogebäude oder Bildungsstätten werden primär am Tag genutzt und somit zu Zeiten, in denen durch Photovoltaik-Anlagen, bei geeigneten Witterungsbedingungen, elektrische Energie bereitgestellt werden kann. Einige Nichtwohngebäude (z.B. Labore und Krankenhäuser) benötigen aufgrund ihres hohen Ausstattungsgrades viel elektrische Energie im Gebäudebetrieb, was die Eigennutzung der erzeugten elektrischen Energie positiv beeinflusst. Natürlich wird die Eigendeckung sowie der energetische Ausgleich für den Energiebezug durch den hohen Eigenbedarf deutlich erschwert.

Es gibt bereits umgesetzte Beispiele für Nichtwohnnutzung, die einem Energie⊕-Objekt entsprechen. An dieser Stelle seien das WWF-Hauptquartier in Zeist (NL) [Voss 2011] und die Plusenergie-Grundschule Hohen Neuendorf genannt. [Reiß 2013]

3.1.2 Objekttypen

Ein Gebäudetyp stellt kein Energie⊕-Objekt dar, obwohl er um ein vielfaches mehr Energie erzeugt als er für den eigenen Gebäudebetrieb verbraucht: Kraftwerke erfüllen die Voraussetzung, Energie zu produzieren. Jedoch ist dies auch ihr einziger Zweck. Der Hauptzweck ist manchmal Auslegungssache und es kann fließende Übergänge von der Eigenstromerzeugung zum Kraftwerk – laut Definition – geben.

Alle Siedlungen, Quartiere aber auch Einzelgebäude die selbst Energie erzeugen, grundsätzlich jedoch einer anderen Nutzung als der Energieerzeugung als Hauptzweck dienen, sind Energie⊕-Objekte.

Folgende Punkte helfen bei der Charakterisierung:

- Die Erzeugungsanlage muss in das energetische Versorgungskonzept eingebunden sein und in räumlichem Bezug stehen.
- Die Nutzung der erzeugten elektrischen Energie erfolgt idealerweise vorrangig zur Deckung des eigenen Energiebedarfs.
- Überschüsse werden in für Dritte nutzbarer Form nach außen abgegeben.
- Die Eigenerzeugungsanlage darf nicht ausschließlich auf die Erzielung von Gewinnen fokussieren und gleichzeitig den Energiebedarf für den Gebäudebetrieb nur in einem angemessenen Verhältnis überschreiten (Größenordnung 2-3 fach).

3.1.3 Konzeptgrößen

Grundsätzlich kann es sich bei Energie⊕-Objekten um Einzelgebäude handeln, wie sie beispielhaft in Form von Modellgebäuden im Rahmen der Initiative „Netzwerk: Modellhäuser im Effizienzhaus PLUS Standard“ des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) untersucht werden. [BMVI 2014] Energie⊕ ist jedoch primär für die Versorgung von mehreren Gebäuden in Energie⊕-Siedlungen oder -Quartieren angedacht. Diese werden bereits realisiert. Beispiele sind die „Solarsiedlung Freiburg“ [Heinze 2009] und der „Ludmilla-Wohnpark Landshut“. [Jensch 2011]

Der Zusammenschluss von mehreren Gebäuden zu einem gemeinsamen Verbund, bietet die Möglichkeit der Nutzung von Synergien!

Hierbei ist nicht nur der Zusammenschluss von Wohngebäuden interessant, sondern vor allem die Verbindung von Wohn- und Nichtwohngebäuden in einem gemeinsamen Versorgungskonzept. Während der Energiebedarf von Wohngebäuden tendenziell in den Morgen und Abendstunden höher ist, wird in Nichtwohngebäuden im Laufe des Tages mehr Energie für den Gebäudebetrieb benötigt. Dies führt zu einer Glättung des Verbrauchs für das Gesamtkonzept. Darüber hinaus können die hohen Energiebedarfe von Nichtwohngebäuden in den Tagesstunden im Energieverbund durch Energieüberschüsse aus den Wohngebäuden gedeckt werden. Im Gegenzug kann anfallende Abwärme aus Nichtwohngebäuden zur Wärmebereitstellung in den Wohngebäuden dienen.

Eine Energie⊕-Siedlung oder -Quartier kann aus vielen einzelnen Energie⊕-Gebäuden bestehen, die innerhalb des Konzeptes energetisch miteinander in Verbindung stehen. Dies ist allerdings nicht zwingend notwendig. Es ist auch möglich, den energetischen Überschuss einzelner Gebäude für die Versorgung anderer Gebäude – die isoliert betrachtet keine energetische Verbesserung erreichen können – im Verbund zu nutzen und auf diese Weise eine Verbesserung für das Gesamtkonzept zu realisieren.

3.1.4 Baualtersklassen

Vor allem für Bestandsobjekte stellen Energie⊕-Versorgungskonzepte eine interessante Sanierungsalternative dar, da neben den passiven Maßnahmen zur Verbrauchsreduzierung auch aktive Maßnahmen zur regenerativen Energieerzeugung in die Betrachtungen einfließen können.

Auch hierfür soll mit einem sanierten Wohnhaus aus den 1970er Jahren in Darmstadt-Dieburg ein bereits umgesetztes Beispiel genannt werden, dass 2011 zum Plusenergiehaus saniert wurde. [Tichelmann 2014]

Grundsätzlich ist es sinnvoll, sowohl bei Neubau als auch Sanierungen den Heizenergiebedarf zunächst durch passive Maßnahmen auf einen vertretbaren Restbedarf zu reduzieren. Im Anschluss daran ist bei Energie⊕-Objekten neben der weiteren Reduzierung des verbleibenden Heizenergiebedarfs durch ergänzende passive Maßnahmen die zusätzliche aktive Eigenerzeugung von elektrischer und thermischer Energie möglich. Diese kann selbst genutzt werden oder durch Überschusseinspeisung ein energetischer Ausgleich für den externen Energiebezug erfolgen.

3.1.5 Energetische Qualität der Gebäudehülle

Das Zusammenspiel von passiven und aktiven Maßnahmen macht es möglich, unter den gegebenen örtlichen Rahmenbedingungen das nachhaltigste Konzept für den gesamten Lebenszyklus des Gebäudes zu realisieren. Dies muss nicht zwingend die Reduzierung des Heizwärmebedarfs durch die Verbesserung des energetischen Dämmstandards sein. Energieneutrale Siedlungen beispielsweise decken mit der eigenerzeugten Energie

mindestens den benötigten Energiebedarf für den Gebäudebetrieb selbst ab, beziehungsweise gleichen diesen durch die Einspeisung von Energieüberschüssen bilanziell aus. Somit bleibt als einziger Energiebedarf die im Gebäude gebundene Energie übrig, die stark abhängt von der Art und Menge der eingesetzten Materialien. Je besser ein Gebäude gedämmt wird, umso weniger Heizenergiebedarf benötigt es. Im Gegenzug kommt jedoch mehr Baumaterial zum Einsatz, was die im Gebäude verbaute Graue Energie erhöht. Durch den Einsatz ökologischer Baustoffe und der sinnvollen Dimensionierung von Dämmmaßnahmen aus energieintensiven Materialien wird die energetische Gesamtbilanz über den Lebenszyklus positiv beeinflusst. [Lüking 2012]

Für Energie⊕-Objekte müssen keine, über die Mindestanforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) hinausgehenden Dämmstandards erfüllt werden.

Eine über die gesetzlich geforderten Mindestwerte hinausgehende Ausführung der Gebäudehülle ist jedoch jederzeit zulässig und wird ausdrücklich empfohlen, wenn dies für das Gesamtkonzept sinnvoll ist. [Lüking 2012]

3.1.6 Energetische Eigenversorgung

Energie⊕-Versorgungskonzepte verfügen, wie bereits erwähnt, über eigene elektrische und thermische Erzeugungsanlagen, die sowohl aus erneuerbaren Energiequellen als auch Kraft-Wärme-Kopplung thermische und elektrische Energie zur Eigenversorgung oder Überschusseinspeisung bereitstellen können.

Die Eigenzeugung von thermischer und elektrischer Energie ermöglicht völlig neue Ansätze für energetische Versorgungskonzepte.

Es wäre denkbar, die Potentiale der Eigenenergieerzeugung am geplanten Standort zu analysieren und daraus die benötigte energetische Qualität der Gebäudehülle abzuleiten. Auf diese Weise wird ein möglichst hoher Nutzungsgrad der eigenerzeugten Energie sichergestellt und gleichzeitig die im Gebäude gebundene Energie reduziert, was zum bestmöglichen energetischen Gesamtergebnis über den Lebenszyklus führt. Der gesetzlich festgeschriebene Mindeststandard der Gebäudehülle darf allerdings nicht unterschritten werden, selbst wenn die Eigenzeugungspotentiale dies zulassen würden.

3.1.7 Energieträger

„Stoffe und physikalische Erscheinungsformen der Energie, aus denen direkt oder durch eine oder mehrere Umwandlungen (Umformung) Energie gewonnen werden kann. Sie können aus gleichen oder verschiedenen Energiequellen stammen.“ [Schaefer 1980: 12f] Es wird unterschieden nach fossilen Energieträgern wie Erdöl und Erdgas sowie regenerativen Energieträgern wie Wind und Solarstrahlung. [Schaefer 1980]

Für Energie⊕-Versorgungskonzepte erfolgen keine Beschränkungen bei der Wahl und dem Bezugsort des Energieträgers.

Dies unterscheidet Energie⊕ beispielsweise vom Plusenergiehaus® und dem Aktivhaus, bei denen ausschließlich der Einsatz von regenerativen Energieträgern zulässig ist. [Disch 2014]

Ort der Gewinnung

Es wird zwischen Energieträgern, die am jeweiligen Standort des Energie⊕-Objektes zur Verfügung stehen und solchen, die von außerhalb bezogen werden unterschieden. Bei den internen, primären Energieträgern handelt es sich in der Regel um regenerative Energieträger wie Solarstrahlung, Wind- und Wasserkraft, Umgebungswärme und Biomasse. Biomasse kann zusätzlich von externen Quellen in fester, flüssiger oder gasförmiger Form bezogen werden. Dasselbe gilt für fossile Brennstoffe. Die Energieträger werden mit Energiewandlungsprozessen in die sekundären Energieträger Wärme und Elektrizität umgewandelt. Elektrische und thermische Energie kann auch direkt aus öffentlichen Versorgungsnetzen bezogen und ohne Umwandlung zur Deckung des Energiebedarfs eingesetzt werden.

Umwelteinfluss

Unabhängig davon, ob Energieträger von internen oder externen Quellen stammen, ist ihr Umwelteinfluss von elementarer Bedeutung. Die Bundesregierung hat sich im „Energiekonzept 2010“ unter anderem zum Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 Prozent – im Vergleich zu 1990 – zu reduzieren. Bis 2050 sollen es sogar 80 Prozent sein. Hierfür soll unter anderem der Anteil der erneuerbaren Energien am Brutto-Endenergieverbrauch bis 2020 über 18 Prozent, beim Brutto-Stromverbrauch sogar 35 Prozent betragen. [BMWi 2010] Dies ist nur möglich, wenn der Gebäudesektor (Haushalte und Gewerbe, Handel, Dienstleistung), der 2012 für 43 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich war, seinen Beitrag leistet. [BDEW 2014]

Neben der Endenergie-Einsparung müssen hierfür die fossilen durch emissionsfreie Energieträger, wie elektrische Energie aus Solarstrahlung, Wind- und Wasserkraft oder thermischer Energie aus Umgebungswärme und Solarstrahlung, ersetzt werden. Auch der Einsatz von Biomasse stellt eine Alternative zu den fossilen Brennstoffen dar. Biomasse ist emissionsneutral, da beim Umwandlungsprozess nur die Menge an Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt wird, die bei der Entstehung gebunden wurde.

Der Energiebezug von elektrischer und thermischer Energie aus öffentlichen Versorgungsnetzen stellt für das Energie⊕-Objekte eine emissionsneutrale Energiequelle dar, da innerhalb des Bauvorhabens keine Emissionen entstehen. Stammt die bezogene thermische oder elektrische Energie aus Großkraftwerken auf der Basis fossiler Brennstoffe, werden die Emissionen zwar verlagert jedoch nicht verhindert. Idealerweise stammt die bezogene Fernwärme und Elektrizität ebenfalls aus regenerativen Energiequellen.

Abb. 3-1 zeigt eine Übersicht der zulässigen Energieträger für Energie⊕-Objekte. Es wird unterteilt in extern bezogene fossile, emissionsneutrale und emissionsfreie Energieträger und intern eigenerzeugter Energie aus emissionsfreien oder emissionsneutralen Energiequellen.













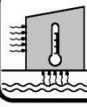
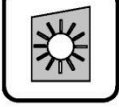

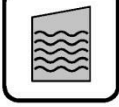
		THERMISCH		ELEKTRISCH	
ENERGIETRÄGER	EXTERN Fossil				
	EXTERN Emissions-neutral				
	EXTERN Emissions-frei				
	INTERN Emissions-neutral				
	INTERN Emissions-frei				

Abb. 3-1: Übersicht über die zulässigen Energieträger für Energie⊕-Konzepte

3.1.8 Eingespeiste Energieüberschüsse

Die eigenerzeugte Energie wird entweder selbst genutzt und reduziert dadurch den externen Energiebezug oder wird zum energetischen Ausgleich eingespeist.

Elektrische Überschusseinspeisung

Die Einspeisung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen in das öffentliche Versorgungsnetz stellt die geläufigste Variante zur Erzeugung von bilanziellen Überschüssen bei Energie⊕-Objekten dar.

Die eingespeiste Elektrizität muss dieselbe Spannung und Frequenz wie das öffentliche Versorgungsnetz aufweisen. Sind diese Bedingungen erfüllt, ist eine allgemeine Nutzbarkeit der abgegebenen elektrischen Energie durch Dritte gegeben. Somit darf die gesamte abgegebene elektrische Energie als Überschuss angerechnet werden.

Bei der Einspeisung von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen muss immer die Wirkung auf das öffentliche Versorgungsnetz in die Betrachtungen einfließen. Nach Möglichkeit sollte die Überschusseinspeisung nicht durch kurzzeitige Spitzeneinspeisungen erfolgen, sondern durch eine gleichbleibende Abgabe über längere Zeit. [Synwoldt 2013]

Thermische Überschusseinspeisung

Die Bereitstellung von thermischen Energieüberschüssen in allgemein nutzbarer Form ist schwierig. Einige Gründe, welche einer grundsätzlichen Berechtigung zur Einspeisung von thermischer Energie in Fernwärmenetze entgegenstehen sind:

- Meist keine Abnehmer für solar erzeugte Wärme in Spitzenzeiten (Sommer),
- Fernwärmenetze sind nicht für dezentrale Einspeisung konzipiert,
- Speicherung thermischer Energie in Fernwärmenetzen nicht möglich,
- Kein flächendeckender Ausbau von Fernwärmenetzen vorhanden,
- Hohe Energieverluste bei langen Transportwegen,
- Eingespeiste Wärme meist auf zu niedrigem Temperaturniveau,
- Vergütung der eingespeisten Wärme nicht geregelt.

Selbst wenn ein Fernwärmenetz zur Einspeisung überschüssiger Wärme zur Verfügung stehen würde, ist dies nicht grundsätzlich sinnvoll. Da Wärme auf unterschiedlichsten Temperaturniveaus zur Verfügung gestellt werden kann, ist eine Einspeisung von regenerativer thermischer Energie in öffentliche Versorgungsnetze in der Regel nur dann sinnvoll, wenn das Temperaturniveau der eingespeisten Wärme über der Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes liegt und eine Abnahme der dezentral eingespeisten thermischen Energie durch Dritte sichergestellt ist. Prinzipiell wäre auch eine Einspeisung in den Rücklauf möglich. Auch in diesem Fall muss die Wärmeabnahme durch Dritte garantiert sein. Nur so kann eine negative Beeinflussung der zentralen Erzeugungseinrichtung durch erhöhte Rücklauftemperaturen sichergestellt werden.

Grundsätzlich kann Überschusserzeugung durch die Wärme-Einspeisung in öffentliche Fernwärmenetze nur in Abstimmung mit dem Netzbetreiber erfolgen. Die Modalitäten müssen für den jeweiligen Fall festgelegt werden. Stimmt dieser der Einspeisung zu, darf die eingespeiste thermische Energie vollständig als Überschuss angerechnet werden. Alternativ zur Einspeisung in ein öffentliches Fernwärmenetz ist die Abgabe der thermischen Energieüberschüsse an einen bekannten Dritten möglich. Anders als bei elektrischer Energie kann ein öffentliches Fernwärmenetz hierbei jedoch nicht grundsätzlich zur „Durchleitung“ genutzt werden. Der Abnehmer muss sich im direkten räumlichen Umfeld zum Energie⊕-Objekt befinden. Nur so ist sichergestellt, dass die abgegebene thermische Energie in der vereinbarten Form beim externen Abnehmer ankommt.

Abgabe regenerativer Energieträger

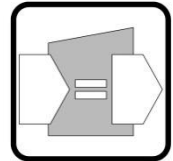
Die Abgabe von regenerativen Energieträgern, die auf der Grundstücksfläche gewonnen werden, würde eine Möglichkeit zum Ausgleich bezogener Endenergie oder zur Erzeugung von Überschüssen bieten. Eine Option wäre der Anbau von Holz oder Energiepflanzen innerhalb der Bilanzgrenzen, die geerntet und abgegeben werden könnten. Auch die Einspeisung von eigenerzeugtem, aufbereitetem Biogas ins öffentliche Gasnetz ist denkbar. Da jedoch der tatsächliche Energieinhalt der innerhalb eines Quartierkonzeptes gewinnbaren Energiepflanzen im städtischen Kontext sehr gering ist, wird diese Option für solche Bauobjekte als nicht relevant erachtet. Im ländlichen Kontext wären der Anbau von Energiepflanzen auf Ackerflächen und der Einbezug der auf diese Weise gewonnenen Energien in das Versorgungskonzept denkbar. Die Bereitstellung von innerhalb des Energie⊕-Objektes gewonnenen, regenerativen Brennstoffen ist jedoch nicht Thema dieser Arbeit.

3.1.9 Energetische und CO₂-Ziele

Alle Versorgungskonzepte, die über elektrische und thermische Energiebereitstellung verfügen, sind Energie⊕-Versorgungskonzepte. Ein energetischer Überschuss wird nicht gefordert. Auch an die eingesetzten Energieträger wird bezüglich der ökologischen Aspekte keine Anforderung gestellt. Jedoch können für die jeweiligen Energie⊕-Objekte ökologische und energetische Zielvorgaben definiert werden. Einen Überblick über die möglichen optionalen Ziele liefert dieses Kapitel.

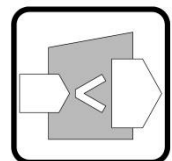
Energieneutral

Ein energieneutraler Betrieb ist gewährleistet, wenn durch die abgegebenen Energieüberschüsse der externe Energiebezug bilanziell ausgeglichen wird. Bei Energieneutralität spricht man auch von Null-Energie. Energieneutralität stellt den Übergang zur Plusenergie dar. Die ausgeglichene Energiebilanz muss sowohl endenergetisch als auch primärenergetisch realisiert werden. Eine Einschränkung der Energieträger erfolgt nicht. Abstufungen der Energieneutralität stellen elektroneutrale oder wärmeneutrale Konzepte dar. Diese haben das Ziel, nicht den kompletten Energiebezug auszugleichen, sondern nur die elektrische oder die thermische Energie.



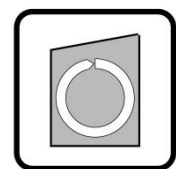
Energieüberschuss

Konzepte mit positiver Energiebilanz fallen unter die Plusenergie. Das heißt, es muss mehr Energie erzeugt werden, als für den Gebäudebetrieb verbraucht wird. Die Höhe des Energieüberschusses ist nicht vorgeschrieben. Für die Umsetzung gibt es verschiedene Ansätze. Energieautarke Konzepte die zusätzlich Energieüberschüsse ins öffentliche Netz einspeisen, haben eine positive Energiebilanz. Es ist jedoch auch zulässig, Energie von außerhalb zu beziehen und die erzeugte Energie zum energetischen Ausgleich vollständig einzuspeisen. Vorrangige Eigennutzung sollte jedoch immer bevorzugt werden.



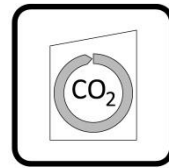
Energieautark

Energieautarke Versorgungskonzepte decken ihren gesamten elektrischen und thermischen Energiebedarf zur jedem Zeitpunkt durch die eigene Energieerzeugung und den Einsatz von Speichern. Der Bezug von Energie aus externen Quellen ist in keiner Form zulässig. Eine Verbindung zu öffentlichen Versorgungsnetzen ist ausschließlich für die optionale Einspeisung von Überschüssen erlaubt. Grundsätzlich ist der Einsatz jedes Energieerzeugers für die Bereitstellung der elektrischen und thermischen Energie möglich. Da allerdings ausschließlich interne Energiequellen genutzt werden dürfen, wird die Energieerzeugung in der Regel CO₂-frei, maximal CO₂-neutral erfolgen. Wie bei der Energieneutralität kann auch bei der angestrebten Autarkie die Begrenzung auf elektrische oder thermische Energie erfolgen.



CO₂-neutral

Ein optionales Ziel für Energie⊕-Objekte kann die CO₂-neutrale Versorgung mit elektrischer und thermischer Energie aller Objekte innerhalb der Bilanzgrenzen sein. (siehe hierzu Kapitel „7.1 Rahmenbedingungen für die Bilanzierung“ auf Seite 98ff) Dieses Ziel zieht Einschränkungen bei der Energieträgerwahl nach sich. Um CO₂-Neutralität zu garantieren, dürfen nur regenerative Energieträger für die Eigenerzeugung zum Einsatz kommen. Verbrennungsprozesse sind grundsätzlich zulässig. Jedoch dürfen nur regenerative Brennstoffe Verwendung finden. Elektrische und thermische Energie aus öffentlichen Versorgungsnetzen wird grundsätzlich als CO₂-neutral für das Konzept eingestuft, da durch sie keine Abgase innerhalb der Bilanzgrenzen entstehen. Idealerweise sollte die bezogene Energie ebenfalls aus CO₂-neutralen Energiequellen stammen.

CO₂-frei

Bei CO₂-freien Versorgungskonzepten dürfen innerhalb der Bilanzgrenzen keine Abgase entstehen. Somit sind alle Energieerzeuger mit Verbrennungsprozessen ausgeschlossen, selbst wenn regenerative Energieträger zum Einsatz kommen. Somit können für die Eigenerzeugung ausschließlich Umweltwärme, Wind- und Wasserkraft sowie Solarstrahlung genutzt werden. Der externe Bezug von elektrischer und thermischer Energie muss in diesem Fall nachweislich ebenfalls aus CO₂-freien Quellen stammen.

Übersicht

Abb. 3-2 zeigt eine Übersicht über alle optionalen energetischen und ökologischen Ziele für Energie⊕-Objekte. Eine ausgeglichene Energiebilanz oder gar ein energetischer Überschuss sind nicht zwingend vorgeschrieben, können aber genauso als Ziel definiert werden wie ein energieautarker Gebäudebetrieb. Die eingesetzten Energieträger sowie Erzeuger entscheiden darüber, ob ein Vorhaben CO₂-neutral oder gar CO₂-frei betrieben werden kann.

		THERMISCH			ELEKTRISCH		
ZIELE	Energetisch						
	CO ₂						

Abb. 3-2: Übersicht über die optionalen energetischen und ökologischen Ziele von Energie⊕-Konzepten

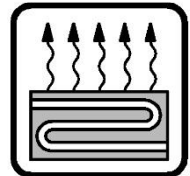
3.2 Berücksichtigte Energien für den Gebäudebetrieb

In Energie⁺-Objekten finden alle elektrischen und thermischen Energien für den Gebäudebetrieb Berücksichtigung. Dies sind für Wohngebäude über die in der [EnEV 2014] bereits berücksichtigte Heizung, TWW-Bereitung und Hilfsenergie hinaus, die elektrischen Energien für Haushaltsgeräte, Beleuchtung und eventuelle Kühlung.

3.2.1 Nach Energieeinsparverordnung (EnEV)

Heizung

Die Raumheizung ist aktuell der entscheidende Endenergieverbraucher in deutschen Haushalten. 2012 war sie für 68 Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs im Gebäudebetrieb verantwortlich. [BDEW 2014]



Auch in Zukunft wird die Heizung eine elementare Rolle für den Endenergieverbrauch von Gebäuden in Deutschland und somit auch für Energie⁺-Objekte spielen.

Der Neubau von Gebäuden und die fortschreitende Sanierung des Bestandes wird zur weiteren Reduzierung des Energieverbrauchs für die Heizung führen. Energie⁺-Versorgungskonzepte werden hierbei einen wichtigen Beitrag leisten, da es sich um technische Konzepte für Neubau- oder Sanierungsprojekte handelt. Diagramm 3-1 zeigt einen möglichen Zielbereich für die zukünftige Entwicklung auf. Hierbei soll das Maximum die aktuelle EnEV 2014 und das Minimum das Passivhaus⁴ symbolisieren. Es wird davon ausgegangen, dass sich der zukünftige durchschnittliche Heizenergieverbrauch zwischen diesen beiden Werten bewegen wird. In Diagramm 3-1 wird von einer Halbierung des aktuellen Heizenergieverbrauchs ausgegangen. Der Heizenergieverbrauch nimmt unter den genannten Bedingungen weiter ab, bleibt aber dennoch größter Verbraucher.

Die Gebäude bilden die Basis aller Versorgungskonzepte und haben großen Einfluss auf den Heizenergieverbrauch. Doch speziell Energie⁺-Versorgungskonzepte ermöglichen eine Betrachtungsweise über die reine Reduzierung der Heizwärme durch passive Maßnahmen hinaus. Der verbleibende Heizwärmebedarf wird durch effiziente Wärmeerzeuger wie Solarthermie, Photovoltaik, Wärmepumpen oder Blockheizkraftwerke (BHKW) selbst gedeckt bzw. durch Energieabgabe bilanziell ausgeglichen. Somit ist eine Maximierung der Einsparung von Heizwärme durch passive Maßnahmen nicht zwingend der einzige Weg.

Ein hochgedämmtes Gebäude garantiert nicht automatisch niedrige Heizenergieverbräuche. Änderungen im Nutzerverhalten können die erhofften Einsparungen deutlich reduzieren. Im Umkehrschluss kann der Heizenergieverbrauch durch optimalen Anlagenbetrieb und energiesparendes Verhalten jedoch auch deutlich reduziert werden. [Richter 2003] Somit muss aus Sicht des Autors der Betriebsoptimierung und Nutzersensibilisierung die gleiche Bedeutung zukommen wie dem Gebäude selbst.

⁴ Beschreibung Passivhaus siehe [Kraus 2011]

Trinkwarmwasser-Bereitung

Der Endenergieverbrauch für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser (TWW) steht bei den Haushalten an zweiter Stelle. [BDEW 2014]

Die Bedeutung der TWW-Bereitung nimmt aufgrund der benötigten, gleichbleibend hohen Temperaturen in Zukunft im Verhältnis zu.



Während die Heizmitteltemperaturen und der Heizenergiebedarf durch die gesetzlichen Forderungen an die energetische Gebäudequalität fortlaufend sinken, ist eine Reduzierung bei TWW in Zukunft nicht zu erwarten. TWW ist ein Lebensmittel und der Schutz vor möglichen gesundheitlichen Schädigungen, z.B. Legionellen, über die Energieeinsparung zu stellen.

Bei zentraler TWW-Erzeugung kommt nur ein vergleichsweise geringer Anteil der eingesetzten Endenergie als Nutzenergie beim Verbraucher an. Der Hauptteil der eingesetzten Endenergie geht bei der Wärmeerzeugung und vor allem in der Wärmeverteilung verloren. Gründe sind die hohen Betriebstemperaturen und die Verpflichtung zur unterbrechungsfreien Bereitstellung.

Der zukünftige Endenergieverbrauch für die Bereitstellung von TWW ist nach Meinung des Autors nur schwer abschätzbar. Er hängt von der Technik, der Erzeugungseffizienz und vor allem der zukünftigen Entwicklung des Nutzerverhaltens ab. Deshalb wäre es auch möglich, dass der Energieverbrauch für TWW in Zukunft steigt. Doch auch eine Reduzierung ist durchaus denkbar. Für Diagramm 3-1 wird von einem gleichbleibenden Verbrauch sowie einer möglichen Varianz von $\pm 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ausgegangen. Bleibt der Verbrauch gleich, nimmt der Einfluss der TWW-Bereitung aufgrund des sinkenden Endenergieverbrauchs für die Heizung deutlich zu.

Die Weichen für einen niedrigen Endenergiebedarf für TWW werden bereits in der Planung gestellt. Der Entscheidung zentral oder dezentral, der Wahl des Wärmeerzeugers und der Auslegung des Verteilsystems kommen hierbei besondere Bedeutung zu. Bei zentraler TWW-Bereitstellung spielt die Optimierung des Betriebes eine wichtige Rolle. Das Nutzerverhalten hat immer elementaren Einfluss auf den Energieverbrauch für TWW.

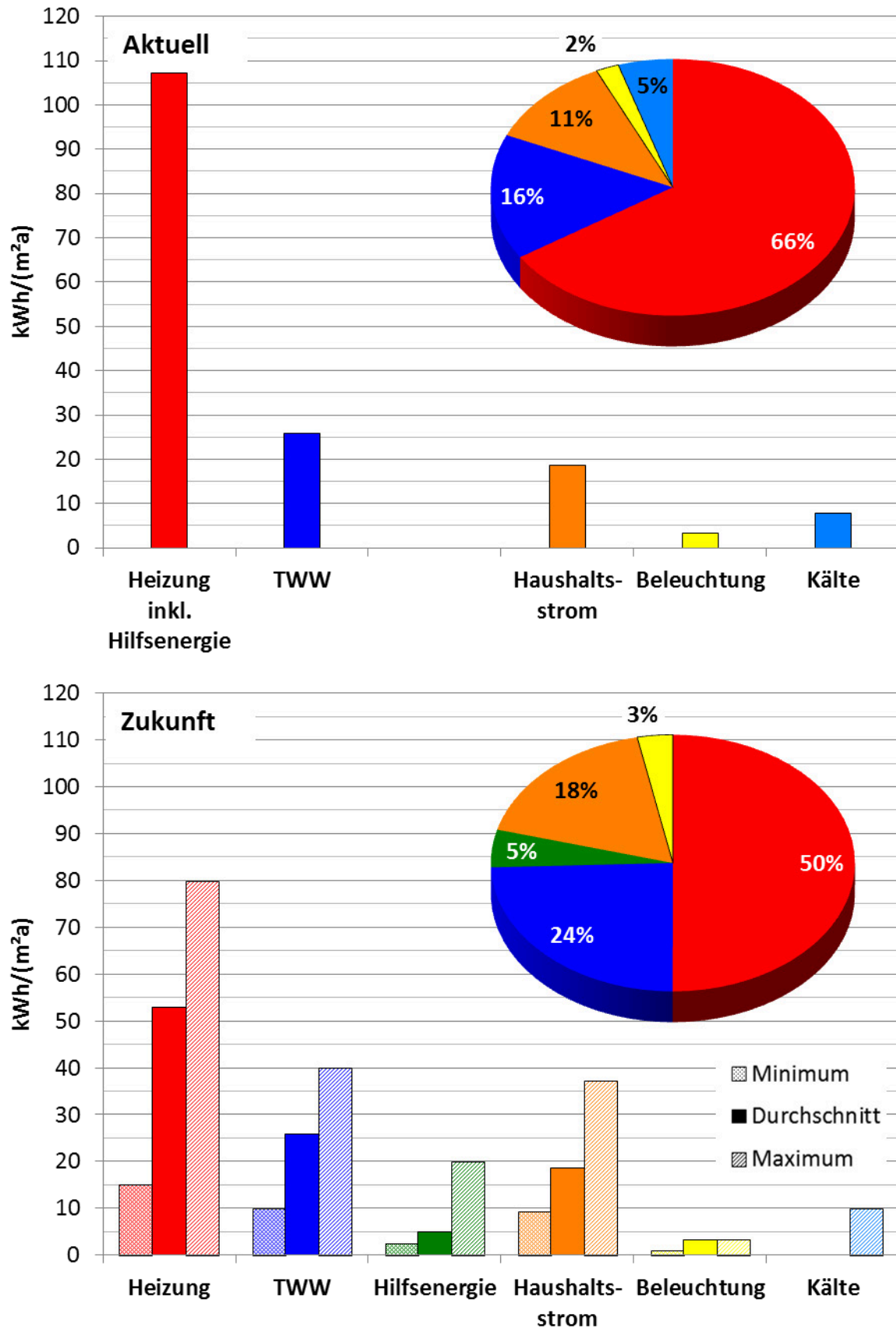
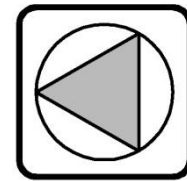


Diagramm 3-1: Zu erwartende zukünftige Entwicklung der Endenergieverbräuche aufgeteilt nach Verbrauchergruppen und Angabe des prozentualen Anteils am Gesamtendenergieverbrauch (unten) im Vergleich zum aktuellen bundesdeutschen Durchschnitt aller Haushalte für das Kalenderjahr 2012. [BDEW 2014, Statistisches Bundesamt 2014]

Hilfsenergien

Moderne Gebäude verfügen neben Wärmeerzeugung mittlerweile häufig über mechanische Zu- und Abluftsysteme mit Wärmerückgewinnung, mit deren Hilfe die Lüftungswärmeverluste reduziert werden sollen. Somit wird neben der Wärmeverteilung zusätzlich für die Lüftungsanlage elektrische Energie benötigt, welche den Hilfsenergiebedarf erhöht.



Die Hilfsenergiebedarfe müssen bereits in der Planung Berücksichtigung finden, um die angestrebten energetischen Ziele im späteren Betrieb nicht zu gefährden.

In Zukunft ist von einem steigenden Technisierungsgrad von Gebäuden auszugehen. Je mehr Anlagentechnik in einem Gebäude zum Einsatz kommt, umso mehr elektrische Energie muss für die Regelung dieser Anlagen aufgewendet werden, was zum Anstieg der Hilfsenergien für Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR) führt. Um den Einfluss der Hilfsenergie auf den Energieverbrauch von hoch technisierten Gebäuden aufzuzeigen, sind in Diagramm 3-2 beispielhaft die gemessenen Endenergieverbräuche des Effizienzhaus PLUS in Berlin dargestellt.

Von März 2012 bis Februar 2013 zeichneten sich die Hilfsenergien mit 3.099 kWh für ein Viertel des gesamten Endenergieverbrauchs (12.400 kWh) des Gebäudebetriebs verantwortlich. Dies unterstreicht, wie wichtig die Berücksichtigung der Hilfsenergien bei Gebäuden mit hohem Technisierungsgrad ist.

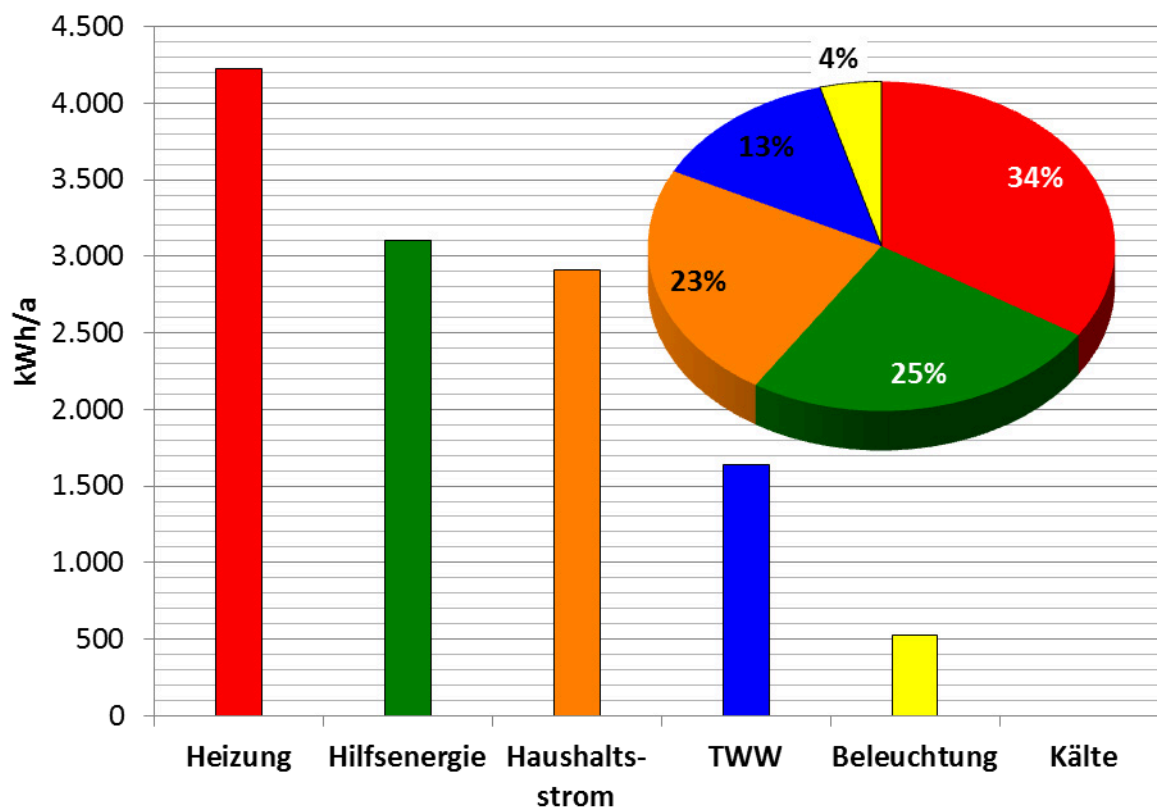


Diagramm 3-2: Anteil der einzelnen Verbraucher am gemessenen Gesamt-Endenergieverbrauch des BMVI Effizienzhaus PLUS in Berlin (03/12 – 02/13) [IBP 2013]

3.2.2 Haushalts- und Allgemeinstrom

Im Haushaltsstrom werden alle elektrischen Nutzenergien für Haushaltsgeräte und Haushaltsprozesse sowie die Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zusammengefasst. Bei Quartieren, Siedlungen und Mehrfamilienhäusern (MFH) müssen auch alle Allgemeinstromverbräuche, wie beispielsweise der Betrieb eines Aufzuges, Berücksichtigung finden. Der Haushalts- und Allgemeinstrom fließt in der aktuellen gesetzlichen Bewertung von Gebäuden nach [EnEV 2014] nicht ein.



Der Haushalts- und Allgemeinstrom muss aufgrund seiner steigenden Bedeutung zukünftig zwingend Berücksichtigung in der Gebäudebeurteilung finden!

Wie Diagramm 3-1 zu entnehmen ist, liegt der Anteil am gesamten Endenergieverbrauch der Haushalte aktuell bei elf Prozent. [BDEW 2014] Der Haushalts- und Allgemeinstrom gewinnt allerdings bei steigendem energetischem Standard der Gebäude, aufgrund des sinkenden Heizenergieverbrauchs, an Bedeutung. Geht man von einem gleichbleibenden Endenergieverbrauch für den Haushaltsstrom aus, steigt der Anteil um sieben Prozent und beträgt somit fast ein Fünftel des gesamten Endenergieverbrauchs.

Der Haushaltsstrom-Verbrauch hängt zum einen von der Effizienz der eingesetzten elektronischen Geräte ab⁵, zum anderen wirkt sich die Entwicklung zur Informationsgesellschaft steigend auf die elektrischen Energieverbräuche aus, da die Anzahl an elektronischen Geräten in den Haushalten zunimmt. Doch noch viel entscheidender ist das Nutzerverhalten: Konsequente Vermeidung von Standby-Verlusten und sinnvoller Einsatz der Geräte haben positiven Einfluss auf den elektrischen Energieverbrauch. In Diagramm 3-1 wird von einem Ausgleich der genannten Effekte ausgegangen und somit ein gleichbleibender Endenergie-Verbrauch angenommen. Jedoch lässt sich die tatsächliche Entwicklung sehr schwer abschätzen. Deshalb werden zur Veranschaulichung der Unsicherheit zwei Grenzwerte als Minimum- und Maximum-Balken angegeben, die von einer Verdoppelung bzw. Halbierung des aktuellen Bundesdurchschnitts ausgehen.

Bei Energie \oplus -Objekten kommt den elektrischen Energieverbräuchen aus einem weiteren Grund besondere Bedeutung zu. Die Versorgungskonzepte verfügen über eigene elektrische Erzeugungsanlagen und können durch diese den Energieverbrauch selbst bereitstellen. Dies ermöglicht trotz gleichbleibendem Energieverbrauch deutliche Reduzierungen des elektrischen Energiebezugs. Elektrische Energiespeicher unterstützen dies zusätzlich, da Erzeugungsüberschüsse in Zeiten mit erhöhter Nachfrage verschoben werden können.

Auch der Nutzer selbst kann positiven Einfluss auf die Eigennutzung nehmen, in dem er sein Verhalten an die Bereitstellung der elektrischen Energie aus den eigenen Erzeugungsanlagen anpasst und so – bei richtigem Verhalten – optimal von der Eigenerzeugung profitiert.

⁵ In Zukunft ist von einem steigenden Einsatz von Geräten mit sehr guten Effizienzklassen auszugehen.

3.2.3 Beleuchtung

In der Beleuchtung werden alle Energieverbräuche für künstliche Lichtquellen berücksichtigt. Dies umfasst bei Siedlungen und Quartieren auch Außenleuchten, Parkbeleuchtung oder Treppenhauslicht. Während bei Nichtwohngebäuden die Beleuchtung einen wichtigen Aspekt hinsichtlich des Endenergiebedarfs darstellt und deshalb Berücksichtigung in der Bewertung nach [EnEV 2014] findet, scheint sie bei Wohngebäuden aufgrund ihres geringen Anteils von zwei Prozent am gesamten Endenergieverbrauch der deutschen Haushalte eine untergeordnete Rolle zu spielen (siehe Diagramm 3-1).



Der Beleuchtung muss, trotz des vergleichsweise geringen Einflusses, bei Energie[⊕]-Objekten besondere Beachtung geschenkt werden: Kunstlicht wird immer dann benötigt, wenn kein Sonnenlicht zur Verfügung steht und somit keine Eigenversorgung durch PV-Anlagen möglich ist.

Wird eine Eigendeckung der Beleuchtungsenergie angestrebt, muss dies mit sonnenunabhängigen Erzeugungseinrichtungen oder Stromspeichersystemen realisiert werden, was den technischen Aufwand in Energie[⊕]-Versorgungskonzepten deutlich erhöht.

Ein Verzicht auf Kunstlicht ist heutzutage nahezu unmöglich. Somit ist das Einsparpotential durch den Nutzer, im Verhältnis zum Haushaltsstrom oder dem Wärmeverbrauch, für Kunstlicht vergleichsweise gering einzuschätzen. Es wird durch die eingesetzten Lichtquellen und Leuchtmittel bestimmt.

3.2.4 Kälteanwendungen

Für Kälteanwendungen gilt dasselbe wie für die Beleuchtung. Bei Nichtwohngebäuden wird der Energiebedarf hierfür bereits in der Gebäudebewertung nach [EnEV 2014] berücksichtigt. Bei Wohngebäuden ist der Einsatz von aktiven Kühlungssystemen nicht Standard. Dennoch zeichnen sich Kälteanwendungen für fünf Prozent des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland verantwortlich.



Grundsätzlich sollte der sommerliche Wärmeschutz so gewährleistet sein, dass eine aktive Kühlung und der damit verbundene Energiebedarf zur Sicherstellung der Behaglichkeit im Sommer nicht notwendig sind.

Bei neuen Gebäuden wird in der [EnEV 2014] der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach [DIN 4108-2] gefordert. Somit muss durch passive Maßnahmen eine Überhitzung der Wohnräume im Sommer ausgeschlossen sein. Wird für die Klimatisierung des Wohngebäudes dennoch eine Kälteanlage betrieben, muss ihr Energiebedarf berücksichtigt werden.

3.2.5 Gesamtübersicht Gebäudebetrieb

Der Gebäudebetrieb beinhaltet alle berechneten beziehungsweise verbrauchten thermischen und elektrischen Energien innerhalb des Gesamtkonzeptes. Hierfür ist es nicht von Belang, ob die Energie von außerhalb bezogen wird oder aus regenerativen Energiequellen vor Ort bereitgestellt wird. So wird beispielsweise nicht nur die eingesetzte elektrische Antriebsenergie der Wärmepumpen (WP) berücksichtigt, sondern auch die genutzte regenerative Wärme.

Dies schließt alle bereits in der EnEV 2014 betrachteten Energieströme ein. Für Wohngebäude werden der bei Nichtwohngebäuden bereits berücksichtigte thermische Energiebedarf für die Kühlung sowie die Elektrizität für die Beleuchtung einbezogen. Somit erfolgt bei Energie[⊕] eine Angleichung der Bilanzierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Energie[⊕] geht durch den Einbezug von Allgemein- und Haushaltsstrom einen wichtigen und notwendigen Schritt über die aktuelle Bilanzierung nach EnEV 2014 hinaus. Nur durch den Einbezug der elektrischen Energieverbraucher ist aus Sicht des Autors eine ganzheitliche Betrachtung des Gebäudebetriebes realisierbar. Eine Trennung von thermischer und elektrischer Energie ist für zukünftige Versorgungskonzepte nicht zielführend. Abb. 3-3 zeigt einen Vergleich der in Energie[⊕] berücksichtigten Energiebedarfe und denen der EnEV 2014. Der Gesamtblick auf den Gebäudebetrieb und die Angleichung von Wohngebäude- und Nichtwohngebäude-Betrachtung sind ersichtlich.

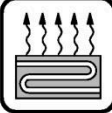

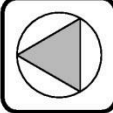
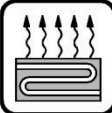




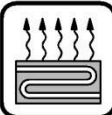











		THERMISCH			ELEKTRISCH			
GEBÄUDEBETRIEB	ENEV 2014	Wohngebäude						
		Nichtwohngebäude						
	ENERGIE⊕	Wohngebäude						
		Nichtwohngebäude						

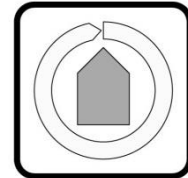
Abb. 3-3: Energieströme für Wohn- und Nichtwohngebäude bei Energie[⊕] im Vergleich zur EnEV 2014

3.3 Graue Energie und Elektro-Mobilität

Energie[⊕] versucht durch die Integration der Grauen Energie sowie der Elektromobilität, dass Gebäude nicht nur als Energieverbraucher im alltäglichen Betrieb wahrgenommen werden. Vielmehr soll ein erster Schritt in Richtung ganzheitliche Betrachtung etabliert und die Chancen zur Nutzung gegenseitiger Synergien aufgezeigt werden.

3.3.1 Graue Energie

Diagramm 3-3 stellt drei Standards gegenüber. Während der Einfluss der Grauen Energie bei einem Gebäude nach [EnEV 2009] etwa $\frac{1}{5}$ des Primärenergiebedarfs über den Lebenszyklus beträgt, ist es bei einem Passivhaus annähernd $\frac{1}{3}$. Das durch die Europäische Union (EU) mit Ablauf von 2020 in der [EPBD 2010] geforderte Niedrigstenergiehaus wird sich nahe einer ausgeglichenen Energiebilanz bewegen. Dadurch nimmt der Einfluss der Grauen Energie noch weiter zu.



Verfügt ein Objekt über eine ausgeglichene Energiebilanz für den Gebäudebetrieb, stellt die Graue Energie den einzigen Energieaufwand dar. [Hegger 2013]

Durch die Eigenversorgung aus regenerativen Quellen kann der Energiebezug reduziert und durch die Einspeisung von Überschüssen ein energetischer Ausgleich für den Energiebezug sowie die Graue Energie erfolgen. Eigenerzeugungsanlagen beinhalten Graue Energie. Aus diesem Grund müssen Eigenerzeugungsanlagen auch unter dem Gesichtspunkt der energetischen Amortisation der enthaltenen Grauen Energie betrachtet werden. Durch den Einsatz nachhaltiger Baustoffe kann die Graue Energie gesenkt und die Energiebilanz über den Lebenszyklus positiv beeinflusst werden.

Allein schon diese Entwicklung macht es auf Dauer zwingend notwendig, die Graue Energie von Gebäuden zu berücksichtigen. Zusätzlich wird die energetische Betrachtung von Gebäuden über den eigentlichen Betrieb hinaus auf den Lebenszyklus erweitert und somit das Bewusstsein für die ganzheitliche Betrachtung von Gebäuden geschärft.

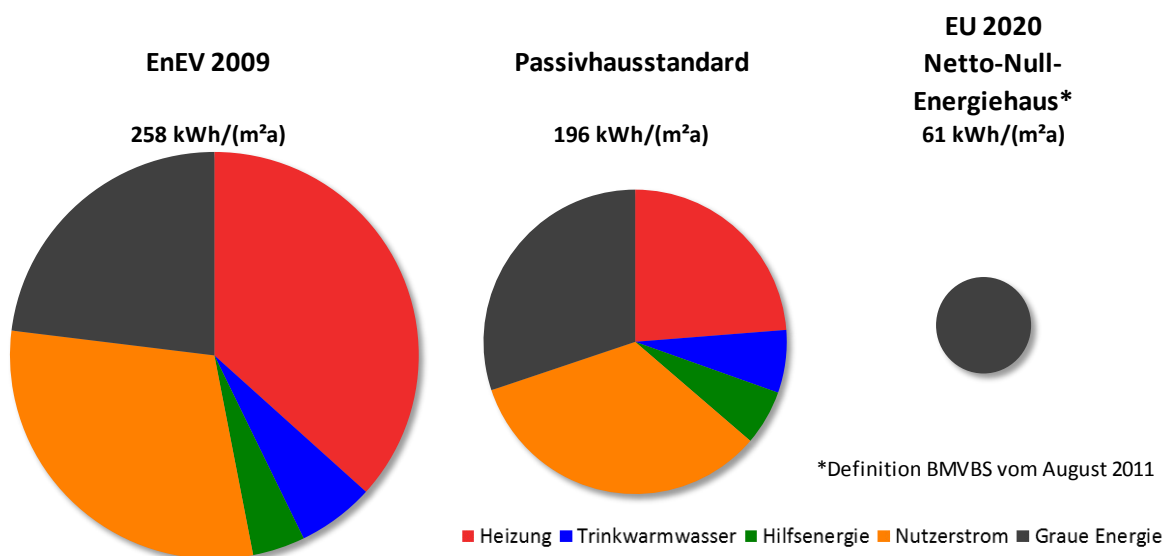


Diagramm 3-3: „Bedarf an zugeführter Primärenergie für Wohngebäude unterschiedlicher energetischer Standards im Jahresmittel (Betrachtungszeitraum 50 Jahre).“ [Hegger 2013: 66]

3.3.2 Elektro-Mobilität

Neben der Grauen Energie hat auch die Elektro-Mobilität für Energie[⊕]-Objekte Bedeutung. Energie[⊕]-Versorgungskonzepte stellen meist elektrische Energieüberschüsse zur Verfügung, die mit Elektrofahrzeugen genutzt werden können. Elektro-Mobilität stellt, besonders in Verbindung mit Energie[⊕], eine besonders interessante Alternative dar, da der Endenergiebedarf von Elektrofahrzeugen im Verhältnis zu fossil betriebenen Personenkraftwagen (PKW) deutlich niedriger ist. [IFEU 2011] Wird der elektrische Energiebedarf für die Mobilität zusätzlich aus erneuerbaren Energien bereitgestellt, wie dies bei Energie[⊕] der Fall ist, wirkt sich dies zusätzlich positiv auf den Energieeinsatz für Individualverkehr aus. Doch nicht nur die Mobilität hat einen Nutzen von den bereitgestellten Überschüssen. Das Energie[⊕]-Objekt profitiert im Gegenzug ebenfalls von der Überschussnutzung durch die Elektro-Mobilität. Diese wirkt sich positiv auf den Eigennutzungsgrad aus, weil durch die Elektro-Mobilität ein zusätzliches, örtliches Speicher- und Eigennutzungspotential für den erzeugten Energieüberschuss bereitgestellt wird. Damit wird die Belastung des öffentlichen Versorgungsnetzes durch Einspeisespitzen verringert. Somit profitieren Energie[⊕]-Objekte von Elektro-Mobilität und umgekehrt.



Durch die Vernetzung von Gebäude und Mobilität werden zwei große Energieverbraucher miteinander verbunden und die Möglichkeit zur Nutzung von Synergien geschaffen.

Der Individualverkehr ist aktuell der zweitgrößte Endenergieverbraucher in den deutschen Haushalten nach der Heizung. [BDEW 2014] Führen die energieeffizienten Sanierungen und Neubauten von Gebäuden in Zukunft zur Reduzierung des Endenergieverbrauches für den Gebäudebetrieb, nimmt der Einfluss der Mobilität bei gleichbleibendem Endenergieverbrauch im Verhältnis sogar noch deutlich zu. Deshalb darf nicht nur das Gebäude im Fokus der Betrachtungen stehen, sondern auch der Individualverkehr muss Beachtung finden. Für Siedlungskonzepte spielen hierbei auch Themen wie Car-Sharing eine wichtige Rolle. Die elektrischen Energieüberschüsse aus Energie[⊕]-Objekten können ökologische und ökonomische Anreize zum Umstieg auf Elektrofahrzeuge liefern, während die Elektro-Mobilität gleichzeitig eine Unterstützung für die Pufferung von Erzeugungsspitzen ist.

3.3.3 Sonstige

Erzeugte und abgegebene Energieüberschüsse könnten neben dem bilanziellen Ausgleich der Grauen Energie auch für den Ausgleich weiterer Energieverbräuche dienen. Beispiele sind die Versorgung mit Lebensmitteln, die Müllentsorgung und Reisen. [Hegger 2013] Die Ermittlung dieser Energieströme ist jedoch komplex: Jeder Nutzer müsste zu jedem Zeitpunkt dokumentieren, welche Güter verbraucht wurden, woher diese stammen und viele weitere Informationen sammeln, die oft nicht zur Verfügung stehen. Da dies im Alltag nicht realisierbar ist, wird hiervon Abstand genommen.

3.4 Aktuelle Gebäudestandards unter Energie⁺-Gesichtspunkten

Energie⁺ vereint alle in Kapitel 2 vorgestellten Gebäudestandards und ermöglicht eine einheitliche Betrachtung und Bewertung verschiedener Konzeptansätze. Alle Versorgungskonzepte, die nach einem der vorgestellten Gebäudestandards aus Kapitel 2 umgesetzt werden, erfüllen die Vorgaben für Energie⁺. Eine Übersicht liefert Tabelle 3-1.

Für Energie⁺-Objekte sind nicht nur Wohngebäude, sondern auch Nichtwohngebäude zulässig. Dies ist in annähernd allen Gebäudestandards ebenso. Die einzige Ausnahme stellt der Effizienzhaus PLUS-Standard dar, der ausschließlich auf Wohngebäude fokussiert. Grundsätzlich ist Energie⁺ für die Versorgung von Siedlungen und Quartieren gedacht, kann aber auch auf Einzelgebäude Anwendung finden. Nur der EnergiePLUS-Standard erwähnt die Betrachtung von Gebäuden im Verbund, alle anderen begrenzen sich auf Einzelgebäude.















Für die eingesetzten Energieerzeuger und Energieträger beschränkt einzig das Plusenergiehaus[®] die Auswahl auf emissionsfreie Energieerzeugung und den Einsatz regenerativer Energiequellen. Für das Aktivhaus werden die Energieträger ebenfalls auf regenerative Energien limitiert.

Für die Eigennutzung der erzeugten Energie und die Eigendeckung des eigenen Energiebedarfs wird jeweils nur in einem der genannten Standards eine Mindestanforderung definiert. Das Aktivhaus macht die Erreichung der vier definierten Stufen vom erreichten Eigendeckungsgrad abhängig, während der EnergiePLUS-Standard eine Eigennutzung von mindestens 30 Prozent fordert. Energie⁺-Objekte müssen keine bestimmten Mindestanforderungen diesbezüglich erreichen. Hohe Eigennutzung und -deckung sind empfohlen.

Anders als bei fast allen vorgestellten Gebäudestandards, die eine ausgeglichene oder sogar negative Energiebilanz fordern, gibt es für Energie⁺-Objekte keine zwingende Vorgabe eines energetischen Ergebnisses für das Gesamtsystem. Energieüberschüsse können sowohl in elektrischer als auch, unter bestimmten Voraussetzungen, thermischer Form zum Ausgleich von Energiebezug abgegeben werden. Dies ist beim Nullenergiehaus ebenso, während beim Plusenergiehaus[®] nur elektrische Überschüsse zulässig sind. Alle anderen Standards machen hierzu keine Aussage.

Energie⁺ hat nicht den Anspruch, ein neuer Gebäudestandard zu sein! Energie⁺ versteht sich vielmehr als Instrument zur Unterstützung des Wissenstransfers von der Forschung in die Praxis. Zudem verfolgt Energie⁺ das Ziel, alle relevanten gesellschaftlichen und technischen Bereiche für Gebäude miteinander zu verknüpfen und die Sichtweise auf Gebäude sowohl über Einzelobjekte als auch die thermische Energie hinaus zu erweitern. Des Weiteren findet die Entwicklung weg vom „reinen Energieverbraucher“ hin zum „Energieakteur“ Beachtung. Energie⁺ kombiniert die besten Lösungsansätze aus den aktuellen, wissenschaftlich erarbeiteten Gebäudestandard-Definitionen und bereitet diese für die Umsetzung in der Praxis auf.

Tabelle 3-1: Energie⊕ im Vergleich zu aktuellen Gebäudestandards

	berücksichtigter Energieverbrauch / Energiebedarf	Gebäude		Energiebereitstellung		Mindestgrad Eigendeckung	Mindestgrad Eigennutzung	Energieabgabe	
		Nutzung	Verbund	zulässige Energieerzeuger	zulässige Energieträger			Form	Energiebilanz
Energie⊕		Wohn- und Nichtwohngebäude	vom Einzelgebäude bis zur Siedlung	keine Beschränkung	keine Beschränkung	keine Mindestforderung	keine Mindestforderung	elektrisch und thermisch	keine Mindestanforderung
Niedrigstenergiehaus		Wohn- und Nichtwohngebäude	nur Einzelgebäude	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	nicht definiert	keine Mindestanforderung
Nullenergiehaus		Wohn- und Nichtwohngebäude	nur Einzelgebäude	keine Beschränkung	keine Beschränkung	keine Mindestforderung	keine Mindestforderung	elektrisch und thermisch	Abgabe = Bezug
Plusenergiehaus®		Wohn- und Nichtwohngebäude	nur Einzelgebäude	emissions-frei	regenerativ	keine Mindestforderung	keine Mindestforderung	elektrisch	Abgabe > Bezug
Standard		nur Wohngebäude	nur Einzelgebäude	keine Beschränkung	keine Beschränkung	keine Mindestforderung	keine Mindestforderung	keine Angabe	Abgabe > Bezug
+ Elektro-Mobilität									
HeizenergiePLUS									
BetriebsenergiePLUS									
Standard		Wohn- und Nichtwohngebäude	vom Einzelgebäude bis zum Stadtteil	keine Beschränkung	keine Beschränkung	keine Mindestforderung	keine Mindestforderung	keine Angabe	Abgabe > Bezug
+ Mobilität									
Klasse 1		Wohn- und Nichtwohngebäude	nur Einzelgebäude	keine Beschränkung	regenerativ	100 Prozent	keine Mindestforderung	keine Angabe	Abgabe > Bezug
Klasse 2						> 50 Prozent			
Klasse 3						> 25 Prozent			
Klasse 4						< 25 Prozent			Abgabe < Bezug

4 PLANUNG UND BETRIEB VON ENERGIE \oplus -VERSORGUNGSKONZEPTEN

Die Reduzierung der Energiebedarfe durch passive Maßnahmen stellt bei Energie \oplus -Objekten eine wichtige, jedoch nicht die einzige Option dar. Vielmehr ermöglicht die Eigenerzeugung und Überschusseinspeisung weitere Alternativen. So kann ein höherer Energiebedarf für den Gebäudebetrieb und die damit verbundene Einsparung an Grauer Energie sinnvoll sein, wenn die hierfür notwendige Energie aus regenerativen Quellen selbst gedeckt oder durch die Abgabe von Überschüssen bilanziell ausgeglichen wird.

Die Bereitstellung von eigenerzeugter thermischer und elektrischer Energie umfasst alle Aspekte von der Erzeugung, über die Verteilung bis hin zum Einsatz von Energiespeichern inklusive der notwendigen Hilfsenergien. Hierbei müssen die Einflussfaktoren auf die Energiebereitstellung wie der Standort, das Gebäude und das Nutzerverhalten Berücksichtigung finden und ein möglichst optimaler Betrieb gewährleistet sein.

4.1 Zu berücksichtigende Einflussfaktoren

Es gibt eine Reihe von Einflussfaktoren, die bereits bei der Planung von Versorgungskonzepten für Energie \oplus -Objekte Berücksichtigung finden müssen. Neben dem Standort betrifft das hauptsächlich die zu versorgenden Gebäude und das Nutzerverhalten.

4.1.1 Standort

Die örtlichen Rahmenbedingungen wie Klima, natürliche und gebaute Umwelt, Bauvorschriften am Standort sowie die Potentiale für die Eigenerzeugung müssen bei Energie \oplus -Versorgungskonzepten Beachtung finden.

Klimatische Bedingungen

Jeder Standort stellt unterschiedliche Anforderungen an Versorgungskonzepte. Ein Gebäude muss im Alpenvorland auf andere klimatische Bedingungen „reagieren“ wie beispielsweise an der Nordsee. Generell muss jedoch die Behaglichkeit sichergestellt sein und zusätzlich sollen die angestrebten energetischen Ziele erfüllt werden. Dies gilt für die berechneten Werte in der Planung ebenso wie für die tatsächlich gemessenen Verbräuche. Die klimatischen Bedingungen unterliegen standortabhängigen jahreszeitlichen Schwankungen, die ebenfalls Einfluss auf die Verbräuche haben und somit Berücksichtigung finden müssen.

Versorgungskonzepte müssen die klimatischen Gegebenheiten, Potentiale und Bedürfnisse des jeweiligen Standorts analysieren und bereits in der Planung des Gebäudes und der Anlagentechnik berücksichtigen.

Aktive oder passive energetische Maßnahmen, die an einem Standort unter dem dort herrschenden Klima sinnvoll sind, können an einem anderen Standort ihre Sinnhaftigkeit verlieren. Somit ist eine standortunabhängige, allgemeingültige Planung von Energie \oplus -Objekten weder möglich, noch zielführend. Als Beispiel sei das Passivhaus genannt. Während dieses bei kälterem Klima sein Potential voll ausschöpfen kann, ist das absolute Einspar-Potential durch den hohen Dämmstandard in Gebieten mit wärmerem Außenklima geringer.

Natürliche und gebaute Umwelt

Für Energie⁺-Konzepte spielt die natürliche und gebaute Umwelt eine elementare Rolle. Diese bietet Chancen, aber auch Herausforderungen.

Die natürliche und gebaute Umwelt muss in alle Überlegungen einfließen, da ein Versorgungskonzept an dem Standort funktionieren muss, an dem es umgesetzt wird.

Ist das Bauvorhaben auf einer Freifläche ohne Nachbarbebauung und Vegetation angedacht, sind im ersten Ansatz keine Beeinflussungen durch benachbarte Gebäude und Bäume zu erwarten. Somit muss keine externe Verschattung in der Konzeptentwicklung Berücksichtigung finden. Dies ermöglicht eine optimale aktive und passive Nutzung der Solarstrahlung. Jedoch muss sichergestellt sein, dass durch eine spätere Veränderung der Umgebung die geplanten Ziele des Konzeptes nicht gefährdet werden.

Nachverdichtungen oder Sanierungen im innerstädtischen Bereich verfügen über andere Rahmenbedingungen. Dies sind zusätzliche Herausforderungen, durch höhere Verschattung, aber auch viele zusätzliche Chancen: Während beispielsweise die Abgabe von Überschusswärme an Dritte in Gebieten ohne der hierfür notwendigen Infrastruktur nicht zu realisieren ist, wird dies durch die vorhandene Nachbarbebauung begünstigt. Auch die Erschließung von externen Wärmequellen aus der umgebenden Bebauung ist hier eine Option.

Bauvorschriften

Jedes Konzept muss sowohl die rechtlichen Rahmenbedingungen als auch die speziellen Vorschriften am jeweiligen Standort erfüllen. Dies sind unter anderem der Bebauungsplan und der Denkmalschutz. In manchen Bebauungsplänen werden Neigung und Ausrichtung der Dachflächen vorgeschrieben, was die aktive Nutzung des Daches zur elektrischen und thermischen Energiegewinnung stark beeinflussen kann. Auch ein Anschlusszwang an Fernwärme schränkt die technischen Varianten merklich ein. Denkmalschutzaufgaben können die Durchführung von Maßnahmen erschweren oder verhindern. Diese Aspekte müssen in die Überlegungen einfließen.

Gesetzliche und standortabhängige Vorschriften können die Umsetzung von Bauvorhaben mit Energie⁺-Versorgungskonzepten stark erschweren oder verhindern.

Baugenehmigungen durch zuständige Behörden und die Ablehnung von Maßnahmen durch die Nachbarschaft können die Umsetzbarkeit zusätzlich erschweren. Wird beispielsweise in Bayern eine Windkraftanlage zur Gewinnung von elektrischer Energie angedacht, ist je nach Größe eine Baugenehmigung vorgeschrieben. Weiterhin empfiehlt es sich, selbst bei genehmigungsfreien Kleinstanlagen ($h < 10\text{ m}$) das schriftliche Einverständnis der betroffenen Nachbarschaft einzuholen, um Unstimmigkeiten vorzubeugen.

Eigenerzeugungspotentiale

Die erneuerbaren Energieträger Solarstrahlung, Wind- und Wasserkraft stehen nicht an jedem Standort in gleicher Ausprägung zur Verfügung. Während die Solarstrahlung in südlicheren Regionen Deutschlands im bundesweiten Vergleich hohe Potentiale zur elektrischen Energieerzeugung hat, ist es an der Küste die Windkraft. [BDEW 2014b] Wasserkraft kann zur elektrischen Energieerzeugung nur zum Einsatz kommen, wenn innerhalb des Gesamtkonzeptes fließende Gewässer als Energiequelle vorhanden sind.

Das regenerative Energieträgerangebot am jeweiligen Standort bestimmt die Alternativen zur Eigenenergieerzeugung und schränkt diese somit bereits in der Planung deutlich ein.

Für die thermische Eigenenergieerzeugung kann, neben der solaren Strahlung, die Umgebungswärme genutzt werden. In diesem Fall wird, meist mit Hilfe von Wärmepumpen (WP), aus der Luft, dem Erdreich oder dem Grundwasser Wärme entzogen. Während Luft als Energiequelle an jedem Standort zur Verfügung steht, können das Erdreich nur bei ausreichenden Flächen und das Grundwasser nur bei Verfügbarkeit als Wärmequelle dienen.

Eine weitere Option stellt die Energieerzeugung mit Hilfe von Biomasse dar. Da hierfür jedoch vergleichsweise große Flächen benötigt werden und es sich somit im städtischen Kontext – auf den diese Arbeit fokussiert – um eine unwahrscheinliche Alternative handelt, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen.

4.1.2 Gebäude

Gebäude haben die Aufgabe, den Nutzern bei möglichst geringem Energiebedarf behaglichen Lebens- und Arbeitsraum zu bieten. Durch die Nutzung passiver Maßnahmen, wie z.B. Wärmedämmung opaker Außenbauteile, Fenster mit niedrigem Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) bei gleichzeitig hohem Energiedurchlassgrad (g-Wert), die Vermeidung von Wärmebrücken sowie eine kompakte Bauweise wird ein hochwertiger Gebäudekörper mit der Möglichkeit eines niedrigen Heizwärmebedarfs realisiert. Um ein energetisches Optimum über den gesamten Nutzungszeitraum zu erreichen, muss eine Abstimmung der passiven Maßnahmen zur Heizwärme-Bedarfsreduzierung auf die Potentiale der energetischen Eigenversorgung aus regenerativen Energiequellen erfolgen.

Die thermische Behaglichkeit hat einen primären Einfluss auf den späteren Energieverbrauch. Sie wird unter anderem von der operativen Temperatur im Raum beeinflusst, die nach [DIN EN ISO 7730] zu gleichen Teilen von der mittleren Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen und der Lufttemperatur abhängt. Je höher nun die Temperaturen der Bauteile in den Wintermonaten sind, umso weniger Heizenergie wird zur aktiven Erwärmung der Raumluft benötigt. Durch Dämmmaßnahmen werden die Transmissionswärme-Verluste deutlich reduziert und gleichzeitig die Oberflächentemperaturen erhöht.

Die Qualität der Gebäudehülle hat jedoch nicht nur großen Einfluss auf die thermische Behaglichkeit der Nutzer, sondern auch auf den Anlagenbetrieb. Je besser der energetische Gebäudestandard, umso geringer ist die benötigte thermische Heizleistung. Diese Tatsache

wird in Diagramm 4-1 mit drei qualitativen Leistungskurven für verschiedene Ausführungen der Gebäudehülle dargestellt. Energie \oplus -Objekte bewegen sich zwischen Objekten nach den gesetzlichen Mindestvorgaben der EnEV 2014 und Passivhäusern.

Bei Passivhäusern ist es durch die hochgedämmte Gebäudehülle möglich, im Idealfall auf aktive Heizsysteme zu verzichten. Das muss von den Nutzern allerdings verstanden und die damit verbundenen Einschränkungen akzeptiert werden. Für die Nutzer steht die Behaglichkeit oft im Vordergrund. Hierfür spielt es für viele Nutzer eine wichtige Rolle, aktiv Einfluss auf die Temperaturen nehmen zu können, wenn sie das Bedürfnis dazu haben. Dafür sind aktive Heizsysteme notwendig. In diesem Fall wirken sich niedrige thermische Leistungen nicht immer positiv auf den Anlagenbetrieb aus und führen zu Einschränkungen in den wirtschaftlich vertretbaren technischen Lösungsmöglichkeiten.

Doch nicht nur die Heizleistung spielt eine Rolle, sondern auch der Zeitraum in dem Heizenergie benötigt wird. Je besser der bauphysikalische Standard ist, umso kürzer sind die Zeiten mit Heizenergiebedarf. Während im Beispiel in Diagramm 4-1 für EnEV-Gebäude drei Monate im Jahr keine Nachfrage besteht, sind es für das Passivhaus sieben Monate. Das hat große Auswirkungen auf den ökonomischen Betrieb von Energie-Erzeugungsanlagen, die Nutzungsmöglichkeiten von eigenerzeugter thermischer Energie aus erneuerbaren Energiequellen und die Energieverteilung.

Neben dem Heizenergiebedarf werden von den Gebäuden auch die Energieverbräuche für Kühlung und Beleuchtung beeinflusst. Je lichtdurchfluteter ein Gebäude konzipiert wird, umso weniger Kunstlicht ist notwendig. Allerdings kann die erhöhte solare Einstrahlung im Sommer zur Überhitzung der Räume führen, was einen aktiven Kühlbedarf nach sich zieht. Angesichts zunehmender Hitzeperioden muss das in der Planung Berücksichtigung finden.

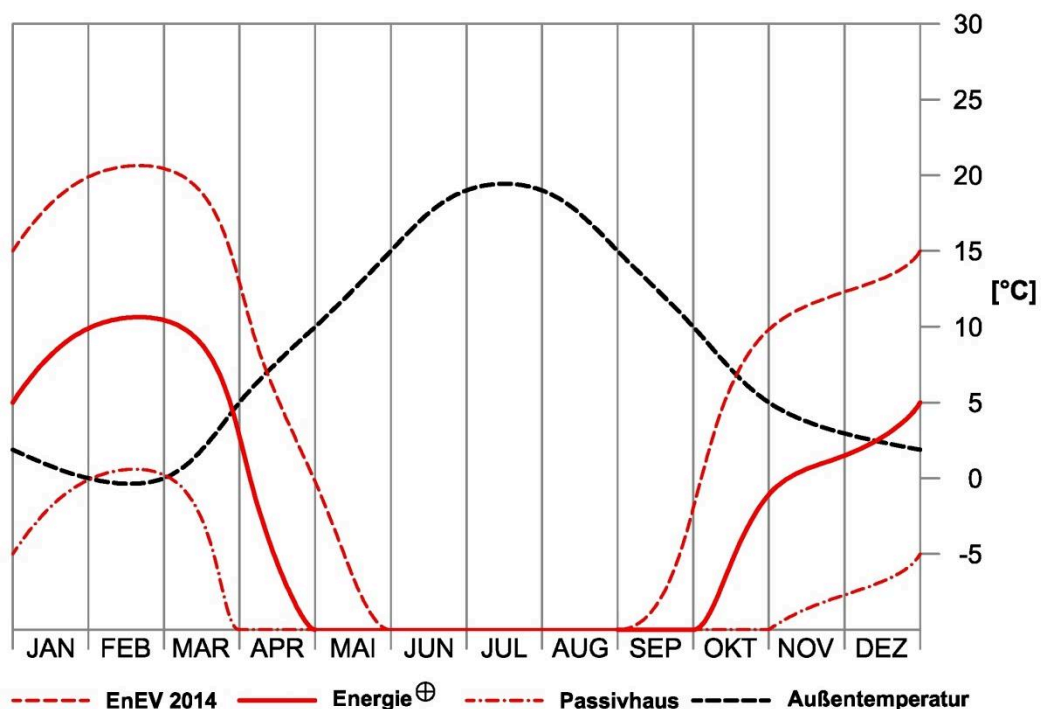


Diagramm 4-1: Qualitative Heizleistungskurven für verschiedene Gebäudestandards in Abhängigkeit von den klimatischen Rahmenbedingungen unter der Annahme von gleichem Nutzerverhalten

4.1.3 Nutzerverhalten

Der Nutzer bestimmt die Nachfrage nach elektrischer und thermischer Energie in Siedlungen und Quartieren. Die Jahresverläufe und Tagesgänge in diesem Kapitel wurden exemplarisch für Siedlungen aus den Messwerten im LWP abgeleitet und verallgemeinert.

Heizung

Das Heizverhalten wird vom subjektiven Behaglichkeitsempfinden der einzelnen Nutzer und hier vor allem von der thermischen Behaglichkeit beeinflusst, die von mehreren Faktoren wie Bekleidung, Alter und Gesundheitszustand abhängig ist. Des Weiteren unterliegt der Heizenergieverbrauch starken saisonalen Schwankungen.

Die klimatischen Einflussfaktoren werden exemplarisch durch den Verlauf der mittleren Außentemperatur symbolisiert. Die Auswirkungen sind im Jahresverlauf des Nutzenergie-Verbrauchs für Heizung (Diagramm 4-2 links oben) deutlich zu erkennen. In unseren Breitengraden wird die meiste Heizenergie in der Regel im ersten Quartal des Jahres benötigt. Im Sommerhalbjahr hingegen ist keine Nachfrage nach Heizwärme vorhanden. Erst im letzten Quartal ist bei Gebäuden wieder ein Bedarf an aktiver Raumheizung vorhanden.

Trinkwarmwasser

Der Trinkwarmwasser-Verbrauch und somit der thermische Nutzenergie-Verbrauch für die Erwärmung des TWW unterliegt ebenfalls saisonalen Schwankungen, was in Diagramm 4-2 deutlich zu sehen ist. Anders als bei Heizung ist hierfür ausschließlich das Nutzerverhalten verantwortlich. Die Nachfrage nach Warmwasser ist in den Wintermonaten höher als im Sommer. Dies wird sowohl auf kälteres und kürzeres Duschen, als auch eine erhöhte Nachfrage nach einem Wannenbad im Winter zurückgeführt.

Für die TWW-Bereitung muss das ganze Jahr Wärme auf hohem Temperaturniveau zur Verfügung stehen. Während die saisonale Schwankung mit etwa 35 Prozent geringerem Nutzenergieverbrauch im Sommer noch einer vergleichsweise geringen Varianz unterliegt, ist die Bandbreite der Wärmeanforderung im Tagesverlauf deutlich höher. Das meiste TWW wird in einer Siedlung wie dem LWP (gemischtes Nutzerklientel) in der Regel morgens benötigt. Über den Tag und in den Abendstunden erfolgen immer wieder Entnahmen, während in den Nachtstunden kaum bis gar keine Nachfrage vorhanden ist. Grundsätzlich muss für jede Nutzungseinheit zu jeder Zeit ausreichend TWW zur Verfügung stehen, obwohl in jeder Einheit für sich gesehen nur in einem vergleichsweise kurzen Zeitraum tatsächlich Warmwasser entnommen wird.

Haushaltsstrom

Für den Haushaltsstrom gilt das gleiche, wie für die TWW-Bereitung. Auch bei der elektrischen Energie zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen Sommer und Winter und auch hier ist dies ausschließlich vom Nutzerverhalten abhängig. Der elektrische Energieverbrauch lag in den Wintermonaten 2013 im LWP wie beim TWW um etwa 35 Prozent über dem niedrigsten Verbrauch im Sommer (siehe Diagramm 4-2 links unten).

Ein Grund hierfür liegt im erhöhten Bedarf an Kunstlicht im Winter. Die Beleuchtung allein kann jedoch nicht für den Verbrauchsunterschied verantwortlich sein. Weitere Aspekte, wie beispielsweise eine eventuell geringere Nachfrage nach warmen Speisen und ein daraus resultierender geringerer Energieverbrauch für Kochen und die mögliche Verlagerung von Freizeitaktivitäten ins Freie können ebenfalls eine Rolle spielen. Anders als bei TWW sinkt der elektrische Verbrauch aufgrund von Standby-Verbräuchen nie auf Null. Die Hauptnachfrage nach elektrischer Energie in einer Wohnsiedlung erfolgt in den Abendstunden.

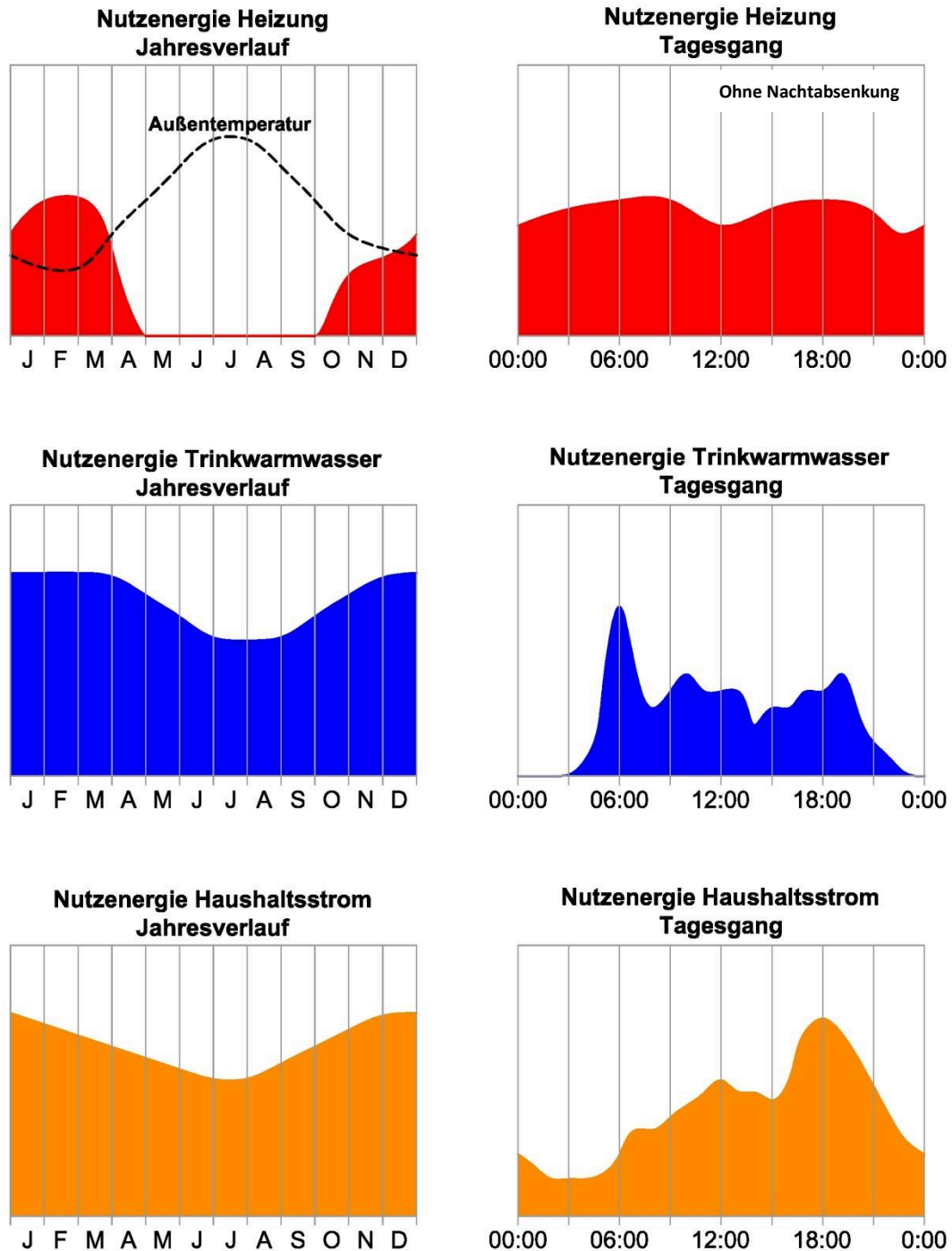


Diagramm 4-2: Jahresverläufe und Tagesgänge der Nutzenergien Heizung, TWW und Haushaltsstrom. Die Verläufe wurden aus den Messwerten für die Wohnungen der MFH im LWP abgeleitet.

Sonstige Verbraucher

Der Hilfsenergieverbrauch wird auch vom Nutzerverhalten beeinflusst. Laufzeiten einer mechanischen Lüftung sind von den Nutzereinstellungen oder dem anfallenden CO₂ und der Feuchte abhängig. Je häufiger die Nutzer anwesend sind, umso längere Laufzeiten hat die Anlage und somit erhöht sich der elektrische Energieeinsatz. Die Pumpenlaufzeiten für die Verteilung der Heizwärme sind ebenfalls von der Nutzernachfrage abhängig. Auch auf die Kühlung hat das Nutzerverhalten Einfluss. Wird ein aktives Verschattungs-System wie außenliegende Rollläden von Bewohnern nicht richtig genutzt, erfolgt eine Überhitzung der Räume. Verfügt das Objekt neben der Verschattung über aktive Kühlung, entsteht ein Energieverbrauch zur Gewährleistung der sommerlichen Behaglichkeit in den Räumen, der direkt auf das Nutzerverhalten zurück zu führen ist.

Thermische Nutzenergie

Die thermische Nutzenergie addiert sich aus der Heizwärme und der TWW-Bereitung (siehe Diagramm 4-3). Die Wärmeabgabe an den Raum erfolgt in aktuellen Versorgungskonzepten in der Regel über Flächenheizsysteme und dadurch mit vergleichsweise niedrigen Betriebstemperaturen. Für die TWW-Bereitung ist im Gegensatz dazu eine hohe Vorlauftemperatur notwendig, um das TWW auf dem gewünschten Temperaturniveau bereitstellen zu können und bei zentraler TWW-Bereitung thermischen Legionellenschutz sicherzustellen.

Elektrische Nutzenergie

Der elektrische Verbrauch setzt sich, wie in Diagramm 4-3 zu sehen, aus Haushalts- und Allgemeinstrom zusammen. Die beiden unterscheiden sich in Ihrem Tagesgang und Jahresverlauf deutlich. Der gleichbleibende Allgemeinstrom ist z.B. auf die Tatsache zurück zu führen, dass Aufzüge das ganze Jahr über gleichbleibend genutzt werden. Auch die Beleuchtung von Tiefgaragen und Kellergängen ist von Jahres- und Tageszeit unabhängig.

Während der Allgemeinstrom einen tageszeitlich und saisonal konstanten Verlauf aufweist, variiert der Haushaltsstrom nach Tages- und Jahreszeit. Der variable Verbrauch über den Tag und das Jahr muss in Energie⁺-Versorgungskonzepten dringend Beachtung finden, um die gesteckten Ziele zu erreichen.

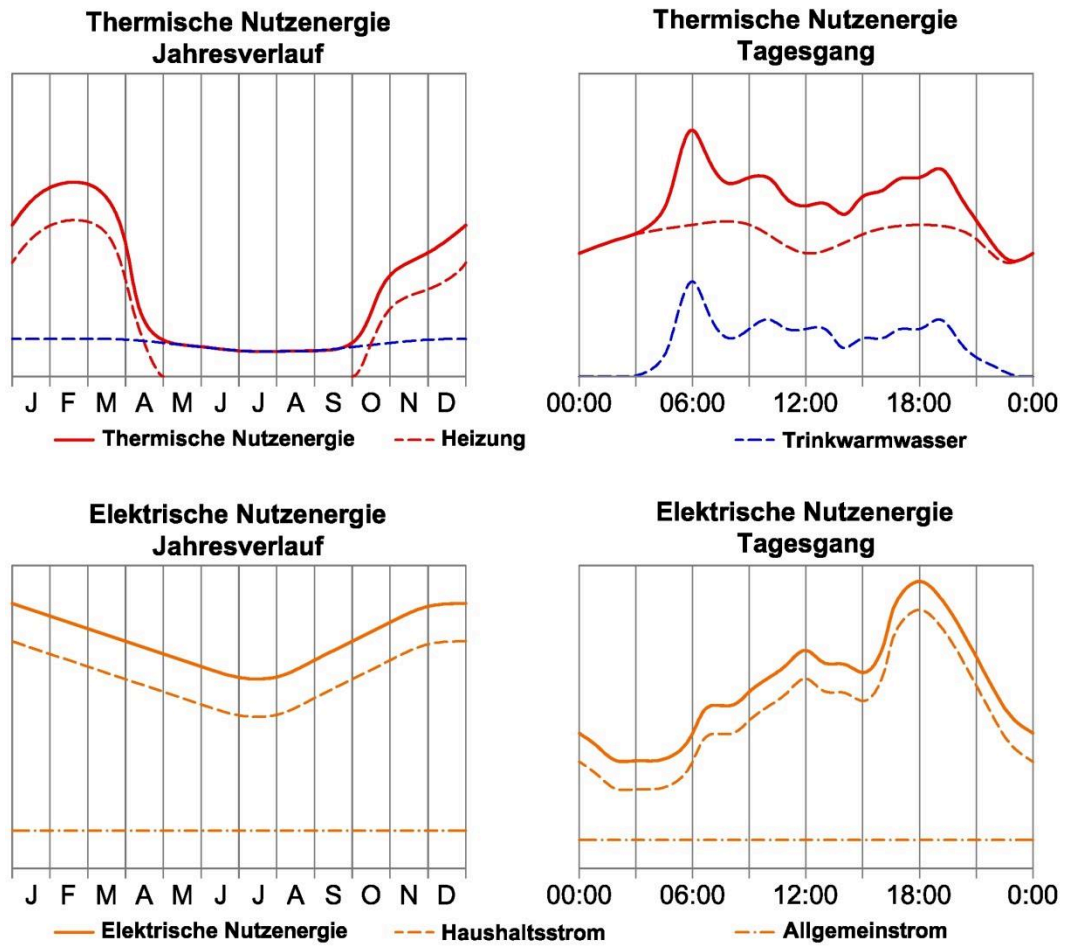


Diagramm 4-3: Jahresverläufe und Tagesgänge der elektrischen und thermischen Nutzenergien

4.2 Energieerzeugung

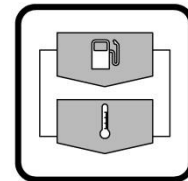
Die Energieerzeugung stellt Wärme und Elektrizität zur Deckung des eigenen Energiebedarfs und zur Einspeisung von Überschüssen bereit. Neben der getrennten Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie ist auch die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung zulässig. Anders als beispielsweise bei Plusenergiehäusern®, in denen Eigenerzeugung ausschließlich emissionsfrei erfolgen darf, gibt es für Energie⁺-Versorgungskonzepte keinerlei Beschränkungen in der Wahl des Energieerzeugers. Der Einsatz von Erzeugungsanlagen auf Basis regenerativer Quellen wird jedoch empfohlen.

4.2.1 Thermische Energieerzeugung

Das Versorgungskonzept muss die vollständige Deckung der thermischen Verbräuche für Heizung und TWW-Bereitung sicherstellen. Grundsätzlich kann hierfür neben eigenen Erzeugungsanlagen auch Fernwärme zum Einsatz kommen. Über die thermische Eigenversorgung hinausgehend kann die Wärmeerzeugung unter besonderen Bedingungen thermische Überschüsse für Dritte zur Verfügung stellen.

Verbrennungsprozesse

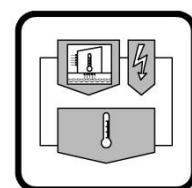
In vielen Versorgungskonzepten wird thermische Energie aus der Verbrennung von regenerativen oder fossilen Energieträgern erzeugt, die in der Regel von extern bezogen werden. Die Wärmebereitstellung aus Verbrennungsprozessen ist immer verlustbehaftet. Es sollte grundsätzlich Brennwerttechnik zum Einsatz kommen, um die Erzeugungsverluste möglichst gering zu halten. Moderne Brennwertgeräte verfügen über einen modulierenden Betrieb, mit dem die Wärmebereitstellung an den Wärmebedarf angepasst werden kann. Dies ist vereinfacht in Diagramm 4-4 dargestellt.



Die thermische Energieerzeugung aus Brennstoffen ist grundsätzlich nur für die Eigenversorgung zu empfehlen. Eine Erzeugung von thermischen Überschüssen ist nicht sinnvoll, da für jede abgegebene Kilowattstunde an thermischer Energie aufgrund der Erzeugungsverluste eine noch größere Energiemenge in Form von Brennstoffen von außen bezogen wird. Somit ergibt sich für die Einspeisung von Wärme aus Verbrennungsprozessen immer eine negative Bilanz. Eine Option wäre die Einspeisung von Wärme aus regenerativen Brennstoffen, die innerhalb des Gesamtkonzeptes gewonnen wurden. In diesem Fall ist jedoch eine gekoppelte Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie zu favorisieren.

Wärmepumpe

Die erneuerbaren Energiequellen Luft, Wasser und Erde bieten thermisches Potential. Die Wärme steht in der Regel jedoch nur auf niedrigem Temperaturniveau zur Verfügung, was die Anwendungsfälle für die direkte Nutzung der gewonnenen thermischen Energie stark einschränkt. Die Temperaturerhöhung der Wärme wird mit Hilfe von Wärmepumpen (WP) realisiert. Bei richtiger Planung stammt der Großteil der Energie aus erneuerbaren



Wärmequellen. Im Idealfall kommt als Antriebsenergie elektrische Energie aus der eigenen Erzeugung und somit aus regenerativen Energiequellen zum Einsatz. In diesem Fall würden WP einen CO₂-freien und unter besonderen Voraussetzungen sogar energieautarken Gebäudebetrieb ermöglichen. Eine Wärmepumpe verfügt im Normalfall nur über eine Leistungsstufe und wird deshalb taktend betrieben. Ist die Wärmepumpe ausschließlich für die Gebäudebeheizung verantwortlich, wird die Speichermasse des Gebäudes zur Überbrückung der Ausschaltzeiten genutzt. Diese können beispielsweise aus Sperrzeiten für den Wärmepumpenstrom resultieren. Aufgrund der vergleichsweise niedrigen Heizleistung ist die Bereitstellung von TWW nur mit Hilfe von Speichern realisierbar.

Während die Eigennutzung der thermischen Energie aus Umgebungswärme eine sehr interessante Option darstellt, wird die Erzeugung von Überschüssen aus Umgebungswärme zur Abgabe an Dritte als nicht sinnvoll erachtet. Die Wärme steht entweder auf vergleichsweise niedriger Temperatur bereit und ist somit nicht für die Einspeisung in Fernwärmenetze geeignet oder der elektrische Energieeinsatz wird unverhältnismäßig hoch.

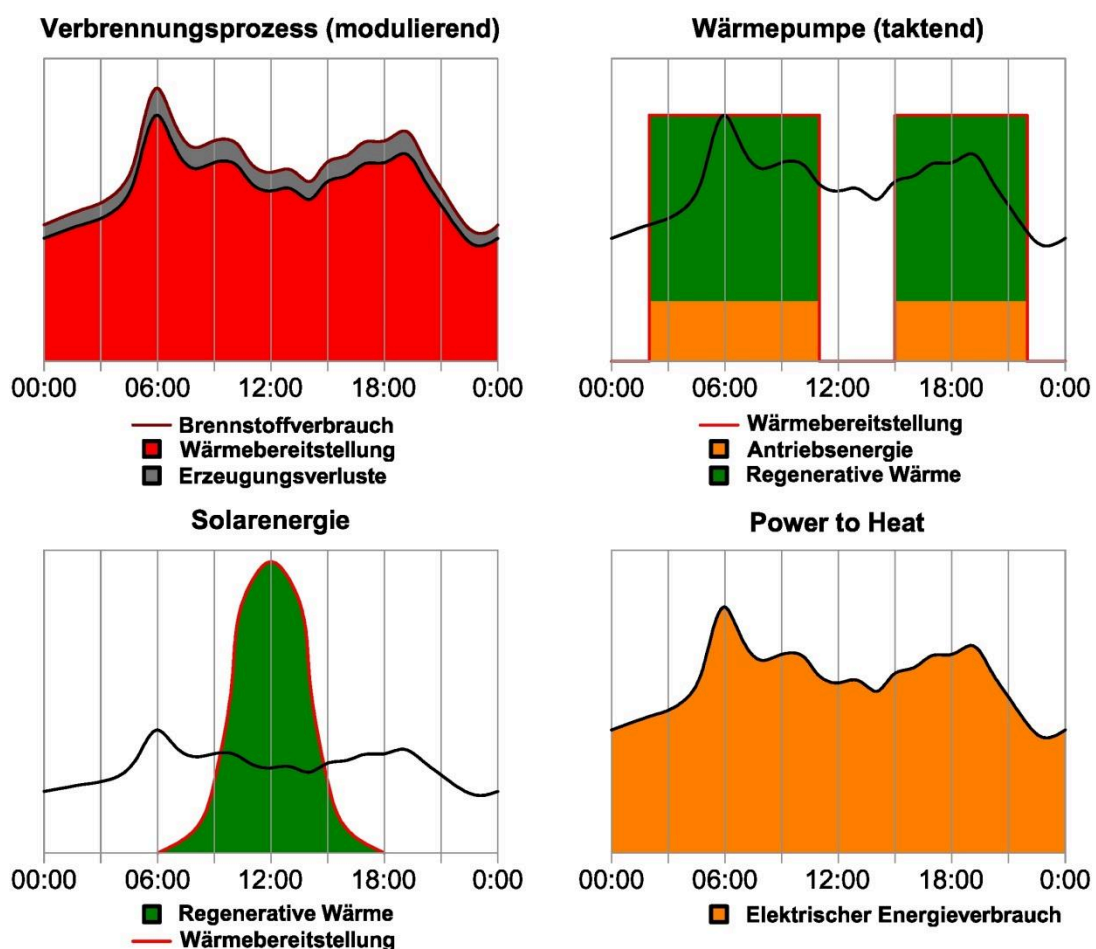
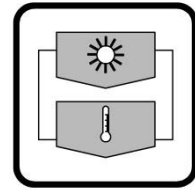


Diagramm 4-4: Gegenüberstellung verschiedener thermischer Energieerzeugungsmöglichkeiten

Solarenergie

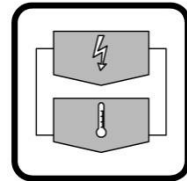
Die Sonne stellt erneuerbare Energie in Form von Solarstrahlung zur Verfügung, die mit Hilfe von Solarkollektoren als Wärme nutzbar gemacht werden kann. Die Solarenergie hat jedoch, genau wie alle anderen erneuerbaren Energiequellen, die Schwierigkeit der Unverhersehbarkeit. Solarstrahlung steht nur in den Tagstunden, in denen der Wärmebedarf meist begrenzt ist, zur Verfügung und wird durch Wolken, Nebel und weitere Störfaktoren negativ beeinflusst. Wie in Diagramm 4-4 deutlich zu sehen, kann nur ein vergleichsweise kurzer Zeitraum des Wärmebedarfs durch die Solarenergie direkt abgedeckt werden. In der restlichen Zeit muss die Wärmebereitstellung durch andere Wärmeerzeuger erfolgen.



Es ist jedoch auch deutlich zu erkennen, dass Solarstrahlung erhebliche Überschüsse auf hohem Temperaturniveau bereitstellt, die für den bilanziellen Ausgleich von Verbrauchsspitzen genutzt werden können. Dies ist vor allem im Sommer der Fall. Die gewonnene thermische Energie wird zuerst zur Deckung des eigenen Energiebedarfs genutzt und darüber hinaus gehende Überschüsse zum bilanziellen Ausgleich z.B. in Fernwärmenetze eingespeist.

Power to Heat

Elektrische Energie kann ohne großen technischen Aufwand und annähernd verlustfrei in thermische Energie umgewandelt werden. Die Erzeugung von Wärme aus elektrischer Energie stellt gerade bei Energie⁺-Versorgungskonzepten eine interessante Option dar. Energie⁺-Versorgungskonzepte verfügen über elektrische Eigenerzeugung, die in der Regel aus erneuerbaren Quellen elektrische Energie bereitstellen. Bei ausreichend großer elektrischer Eigenerzeugung kann auf diese Weise ein großer Teil, oder sogar die vollständige Wärmeversorgung, annähernd verlustfrei aus internen, regenerativen Energiequellen gedeckt werden. Gleichzeitig wird der Eigennutzungsgrad für die elektrische Energie deutlich erhöht.



Jedoch ist die Nutzung der Elektrizität als Antriebsenergie für eine Wärmepumpe immer der Direktnutzung gegenüberzustellen und die sinnvollere Variante auszuwählen. Kommen beispielsweise dezentrale elektrische Durchlauferhitzer zur TWW-Bereitung zum Einsatz, werden die Verteilverluste vermieden. Die direkte Bereitstellung von Wärme aus elektrischer Energie ist jedoch nur sinnvoll, wenn hierfür nachweislich elektrische Energie aus regenerativen Energiequellen zum Einsatz kommt. Dies kann bei der Nutzung von elektrischer Energie aus dem öffentlichen Versorgungsnetz nicht vorausgesetzt werden.

Die direkte Einspeisung von elektrischer Energie ist der Einspeisung von Wärme immer vorzuziehen. Deshalb wird auf die Möglichkeit der Überschusserzeugung durch Einspeisung von Wärme aus Strom nicht eingegangen.

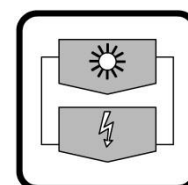
4.2.2 Elektrische Energieerzeugung

Energie[⊕]-Versorgungskonzepte verfügen in der Regel über Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen). Doch auch der Einsatz anderer elektrischer Erzeugungsanlagen ist denkbar die, je nach Konzept, ergänzend oder anstelle der PV zum Einsatz kommen.

Energie[⊕]-Versorgungskonzepte müssen nicht zwingend den vollständigen elektrischen Energiebedarf decken. Auch eine teilweise Eigendeckung ist denkbar. Andererseits kann die Eigenerzeugung den eigenen Energiebedarf auch um ein Vielfaches übersteigen und zum energetischen Ausgleich ganz oder teilweise in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist werden. Die Eigennutzung sollte jedoch immer Vorrang vor der Einspeisung haben. Der vollständige Ausgleich des elektrischen Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb ist nicht zwingend vorgeschrieben, sollte jedoch angestrebt werden.

Solarenergie

Solarstrahlung stellt die geläufigste Variante zur Erzeugung von Elektrizität bei Energie[⊕]-Versorgungskonzepten dar. Die Photovoltaikmodule werden auf den Dächern und/oder Fassaden angeordnet. Bei der Anbringung der Module an den Fassaden muss der geringere Ertrag und die mögliche ungünstige Verschattung Beachtung finden. Die elektrische Energie aus Solarstrahlung ist, ebenso wie die Solarwärme, starken saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen unterworfen und somit eine unterbrechungsfreie Elektroversorgung nur mit Hilfe einer zweiten Elektroquelle realisierbar.



Die elektrische Solarenergie wird in der Regel vorrangig selbst verbraucht und Erzeugungsspitzen als Überschüsse ins öffentliche Versorgungsnetz eingespeist. Wird auf den Einsatz von Elektrospeichern verzichtet, kann nur ein geringer Anteil des täglichen Bedarfs an elektrischer Energie selbst gedeckt werden, was im Diagramm 4-5 deutlich zu erkennen ist. Allerdings können eingespeiste Überschüsse zum bilanziellen Ausgleich der bezogenen Energie aus dem öffentlichen Netz dienen.

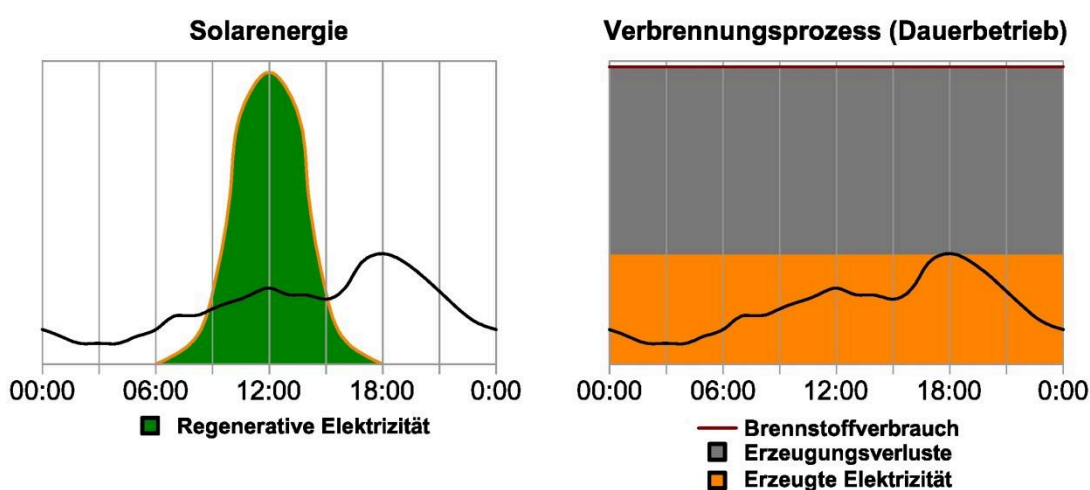
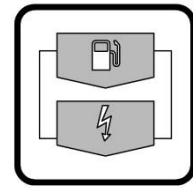


Diagramm 4-5: Gegenüberstellung von Solarenergie und Verbrennungsprozess als elektrische Energieerzeugungsmöglichkeiten

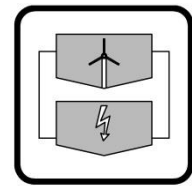
Verbrennungsprozess

Grundsätzlich wäre auch die Erzeugung von elektrischer Energie durch die Umwandlung regenerativer oder fossiler Brennstoffe mit Hilfe von Stromaggregaten in elektrische Energie denkbar. Da die Bereitstellung der elektrischen Energie in diesem Fall jedoch mit sehr hohen Erzeugungsverlusten verbunden ist, wird dies nicht empfohlen. Ein Einsatz von Verbrennungsprozessen zur elektrischen Energieerzeugung wird nur als Kraft-Wärme-Kopplung als sinnvoll erachtet.

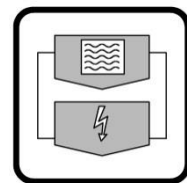


Sonstige regenerative Erzeugungsmöglichkeiten

Eine weitere Alternative stellt die Erzeugung von elektrischer Energie aus Windkraft dar. Die Windkraftanlage muss innerhalb der Bilanzgrenzen des Energie \oplus -Objektes angeordnet und in das elektrische Gesamtkonzept eingebunden sein. Eine vorrangige Eigennutzung der Windkraft ist wünschenswert und aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll. Ein Vorteil der Windkraft liegt in der Tatsache begründet, dass diese Erzeugungseinrichtung die höchsten Erträge im Herbst und Winter liefert [BDEW 2014b] und somit in Zeiten, in denen auch die Energienachfrage am höchsten ist. Auch steht die Windkraft, ausreichende Windstärke vorausgesetzt, tageszeitunabhängig zur Verfügung.

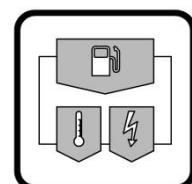


Prinzipiell ist auch die Nutzung von Wasserkraft bei größeren Versorgungskonzepten denkbar. Ein Kleinst-Wasserkraftwerk innerhalb eines Siedlungsgebietes, welches von einem Bachlauf mit fließendem Wasser versorgt wird, wäre als elektrische Erzeugungseinrichtung denkbar. Als Beispiel sei eine bestehende Wassermühle genannt, die mit einem elektrischen Generator zur Stromerzeugung ausgestattet wird. Wasserkraft hat den Vorteil einer tageszeitlich und saisonal nahezu unabhängigen Erzeugung. [BDEW 2014b] Die auf diese Weise erzeugte elektrische Energie soll ebenfalls primär zur Deckung des eigenen Energiebedarfs und die darüber hinausgehenden eingespeisten Überschüsse zum energetischen Ausgleich von Verbrauchsspitzen dienen.



4.2.3 Gekoppelte Energieerzeugung

Eine interessante Variante zur energetischen Eigenversorgung stellt die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Elektrizität mit Hilfe von Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) dar. Die Erzeugung erfolgt immer dann, wenn thermische und elektrische Energie benötigt werden. Eventuelle Überschüsse werden entweder in Energiespeichern für Nachfragespitzen vorgehalten oder in öffentliche Netze als Überschuss eingespeist.



KWK-Anlagen können, vor allem in Kombination mit Speichern, Wärme und Elektrizität verbrauchsorientiert bereitstellen und somit den Energiebezug von elektrischer Energie deutlich reduzieren.

Da KWK-Anlagen sowohl thermische als auch elektrische Energie erzeugen, sind auch zwei unterschiedliche Betriebsarten möglich, die in Diagramm 4-6 gegenüber gestellt sind. Die geläufigste Variante ist der wärmegeführte Betrieb. In diesem Fall richtet sich die KWK nach dem Wärmebedarf. Die gekoppelt erzeugte elektrische Energie wird entweder innerhalb des Versorgungskonzeptes selbst verbraucht oder als Überschuss in das öffentliche Netz eingespeist. Alternativ ist auch der elektrisch geführte Betrieb möglich. In diesem Fall richtet sich das Blockheizkraftwerk (BHKW) nach dem elektrischen Energiebedarf. Da ein BHKW in der Regel nur über eine Stufe verfügt, muss es auf die maximale elektrische Leistung ausgelegt sein und durchlaufen. Die erzeugten elektrischen Überschüsse werden eingespeist. Die Wärme muss zwingend innerhalb des Konzeptes selbst verbraucht werden um einen möglichst hohen Nutzungsgrad des eingesetzten Brennstoffes zu gewährleisten.

Eine autarke Energieversorgung ist mit KWK nicht realisierbar, da ein BHKW Brennstoffe für die Erzeugung von Wärme und Elektrizität benötigt. Idealerweise sollten hierfür erneuerbare Brennstoffe genutzt werden. Zusätzlich ist es mit KWK-Anlagen nicht möglich, endenergetische Überschüsse zu erzeugen, da der erzeugten Energiemenge immer ein Energiebezug gegenübersteht. Der Energiebezug ist aufgrund der Erzeugungsverluste immer größer als die erzeugte Energiemenge.

Dennoch stellt der Einsatz von KWK in Energie⁺-Versorgungskonzepten, vor allem in Kombination mit regenerativen Erzeugern wie PV und Energiespeichern eine interessante Alternative dar. Durch die KWK werden Versorgungslücken geschlossen, die durch die stark schwankende Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen resultiert. Auf diese Weise wird der elektrische Energiebezug deutlich reduziert oder sogar ein elektroautarker Betrieb möglich, da der elektrische Energiebezug durch den Bezug von Brennstoffen ersetzt wird. Gleichzeitig können die Eigenerzeugungsanlagen und Energiespeicher deutlich kleiner dimensioniert werden, als dies bei reiner Eigenversorgung aus erneuerbaren Quellen der Fall ist. All dies wirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit von Eigenversorgungskonzepten und somit auf die Umsetzbarkeit von Energie⁺-Versorgungskonzepten aus.

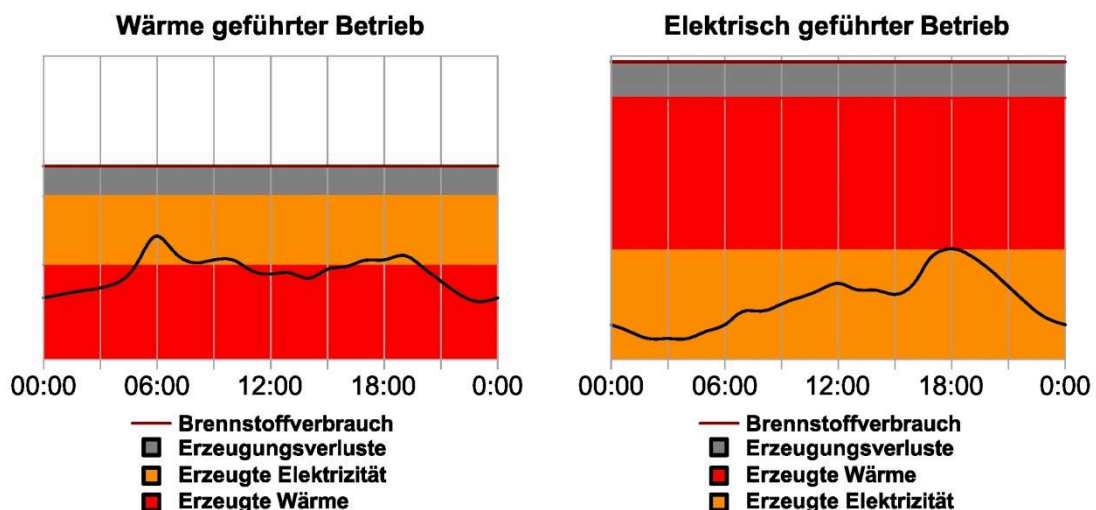


Diagramm 4-6: Gegenüberstellung von Wärme und Elektrisch geführtem KWK-Betrieb

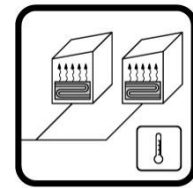
4.3 Energieverteilung

Bei zentraler Wärmeerzeugung wird ein Leitungsnetz zur Verteilung der Wärme für Heizung und TWW-Bereitung an die einzelnen Nutzer benötigt. Die Verteilung kann für Heizung und TWW getrennt oder mit einem gemeinsamen Verteilnetz erfolgen. Die Verteilungsverluste haben elementaren Einfluss auf das energetische Ergebnis von Versorgungskonzepten.

Die Verteilung der elektrischen Energie findet innerhalb eines Versorgungskonzeptes für Siedlungen oder Quartiere aufgrund der kurzen Verteilwege und niedrigen Spannungen annähernd verlustfrei statt und wird deshalb in dieser Arbeit nicht betrachtet.

4.3.1 Wärmeverteilung Heizung

Bei getrennter Wärmeverteilung wird für die Heizwärme ein eigenes Leitungsnetz betrieben. Da die Gebäude aufgrund der sehr guten Standards über einen geringen Heizwärmebedarf verfügen und in der Regel Flächenheizungen für die Wärmeabgabe an die Räume zum Einsatz kommen, kann das Versorgungsnetz auf niedrigem Temperaturniveau betrieben werden.

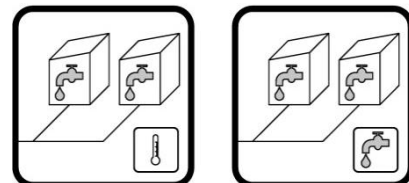


Das wirkt sich sowohl auf die Verteil- als auch die Erzeugungsverluste positiv aus. Wie in Diagramm 4-7 zu sehen, wird es zusätzlich möglich, das Leitungsnetz in den Sommermonaten abzuschalten und somit Verteilverluste vollständig auszuschließen. Für die Versorgung mit Trinkwarmwasser muss in diesem Fall entweder ein zusätzliches Versorgungsnetz vorgehalten werden oder die TWW-Bereitung dezentral mit beispielsweise elektrischen Durchlauferhitzern erfolgen.

Die Verteilverluste für die Heizwärme sind annähernd unabhängig von der Höhe der Energienachfrage durch die Nutzer. Sie werden vielmehr von den Umgebungstemperaturen der Verteilleitungen (Außenluft, Erdreich, Keller, Wohnraum), der Leitungsdimensionierung sowie dem Temperaturniveau des Heizmediums bestimmt. Vorteil des reinen Heizungsnetzes ist die ausschließliche Dimensionierung auf die Heizlast und die vergleichsweise niedrigen Betriebstemperaturen bei Flächenheizung. Doch der noch wichtigere Vorteil liegt in der Möglichkeit, das Leitungsnetz in den Sommermonaten stilllegen zu können und somit die Verteilverluste komplett zu vermeiden. Erfolgt die TWW-Bereitung dezentral, ist es zusätzlich möglich, die Wärmeerzeugung abzuschalten und somit Erzeugungsverluste in der Sommerzeit zu verhindern.

4.3.2 Wärmeverteilung Trinkwarmwasser

Bei zentraler Erzeugung von Trinkwarmwasser wird das Leitungsnetz direkt zur Verteilung von Warmwasser genutzt. Eine „Schädigung der menschlichen Gesundheit insbesondere durch Krankheitserreger“ [TrinkwV 2001] kann



durch thermischen Legionellenschutz sichergestellt werden. In diesem Fall müssen die Austrittstemperaturen aus der TWW-Erzeugung $>60\text{ °C}$ sein und dürfen sich laut DVGW Arbeitsblatt W551 in der Zirkulation um maximal 5 Kelvin abkühlen. [DVGW W551] Weiterhin muss in Speichern ausreichend TWW für beispielsweise ein Wannenbad

vorgehalten werden. Diese Wassermenge muss ebenfalls eine hohe Temperatur haben, woraus zusätzliche Wärmeverluste resultieren. Die hohen Betriebstemperaturen führen im Vergleich zu einem Niedertemperatur-Heizungsnetz zu sehr hohen Verteilverlusten, welche die Nutzenergie um ein vielfaches übersteigen kann. Dies ist auch in Diagramm 4-7 deutlich zu erkennen.

Zusätzlich wirken sich die hohen Temperaturen negativ auf die Wärmeerzeugung aus. Wärmepumpen benötigen beispielsweise aufgrund des benötigten Temperaturhubes mehr Antriebsenergie für die gleiche Wärmemenge. Auch Brennwertnutzung ist bei diesen Betriebstemperaturen nicht mehr sinnvoll.

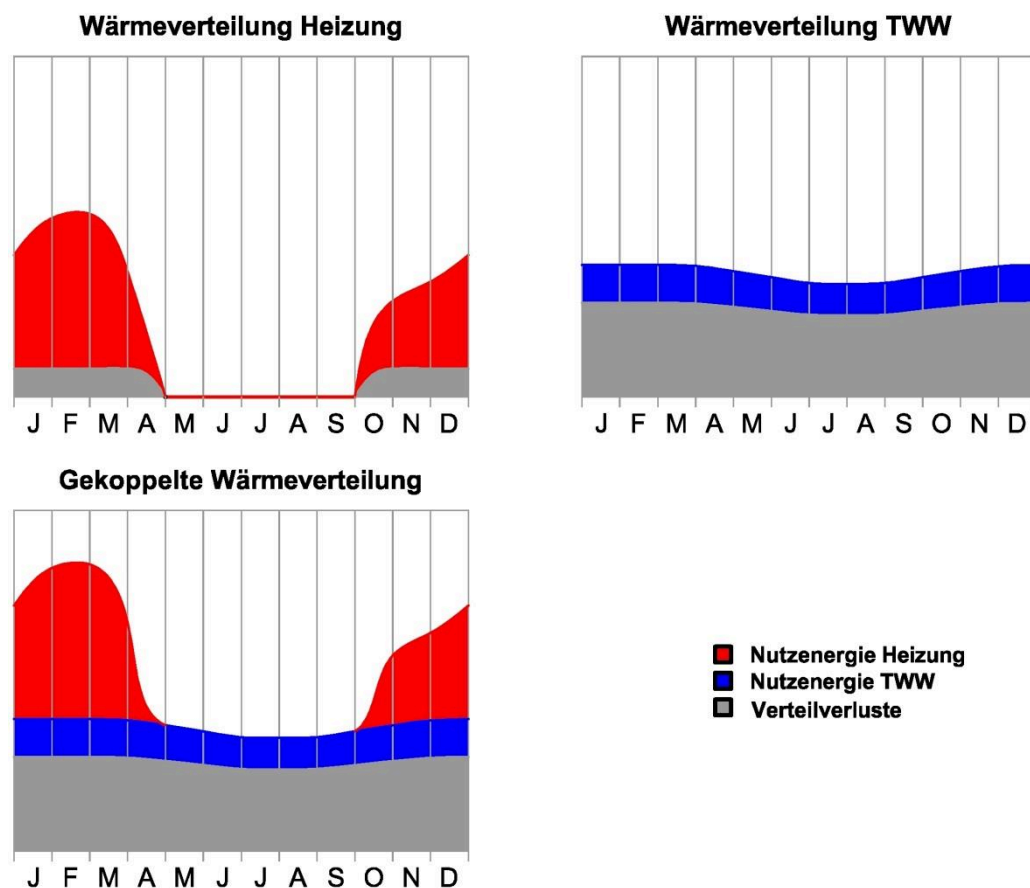


Diagramm 4-7: Gegenüberstellung von getrennter und gekoppelter Wärmeverteilung

Der zweite entscheidende Faktor ist der unterbrechungsfreie Betrieb. Die Energiebereitstellung muss zu jeder Zeit und an jeder Zapfstelle ausreichend warmes TWW bereitstellen. Somit ist eine saisonale Abschaltung nicht möglich.

Dem Trinkwarmwasser-Verteilnetz muss bei Energie⁺-Versorgungskonzepten immer besondere Beachtung zukommen, da für die TWW-Bereitung sowohl hohe Temperaturen benötigt werden als auch ein unterbrechungsfreier Netzbetrieb garantiert sein muss.

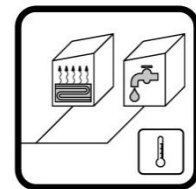
Alternativ kann die TWW-Bereitung mit thermischen Frischwasserstationen erfolgen. Liegt der Wasserinhalt der TWW-Leitung nach den Erzeugern unter drei Litern, ist laut [DVGW W551] kein thermischer Legionellenschutz vorgeschrieben. Somit können die

Auslauftemperaturen auf ein niedrigeres Niveau reduziert werden, was Betriebstemperaturen deutlich $<60\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Wärme-Verteilnetz ermöglicht. Die abgesenkten Temperaturen wirken sich positiv auf die Verluste der Erzeugung und Verteilung aus. Doch auch bei der Bereitstellung von Trinkwarmwasser mit Frischwasserstationen muss das Wärmenetz ohne Unterbrechung betrieben werden, um die Versorgung mit Trinkwarmwasser das ganze Jahr über zu gewährleisten.

Unabhängig von der Art der Wärmeverteilung für die TWW-Versorgung sind die Verteilverluste in der Regel höher als die thermische Nutzenergie, da Warmwasser meist nur kurz und in geringen Mengen benötigt wird (Hände waschen, Duschen). Erfolgt jedoch eine Abnahme für beispielsweise ein Wannenbad wird kurzzeitig eine sehr hohe Leistung für die TWW-Bereitung benötigt. Dies führt zu einem sehr groß dimensionierten Leitungsnetz, was sich ebenso negativ auf die Verteilverluste auswirkt wie die hohen Betriebstemperaturen und der unterbrechungsfreie ganzjährige Betrieb.

4.3.3 Gekoppelte Wärmeverteilung

Eine Möglichkeit zur Vermeidung der doppelten Leitungsführung stellt die gekoppelte Wärmeverteilung für Heizung und TWW-Bereitung dar. In diesem Fall können thermische Frischwasserstationen zur TWW-Bereitung zum Einsatz kommen. Der Vorteil der gekoppelten Wärmeverteilung liegt in der Reduzierung des benötigten Installationsaufwandes. Zusätzlich hat ein gekoppeltes Verteilnetz bei richtiger Planung geringere Wärmeverluste als zwei getrennte Verteilsysteme.



Jedoch hat ein einzelnes Verteilnetz auch Nachteile, die bei falscher Planung die Vorteile überwiegen können. So wird die Heizwärme im Winter aufgrund der TWW-Bereitung mit unnötig hoher Temperatur verteilt und erst in den Nutzungseinheiten auf das benötigte niedrigere Temperaturniveau gebracht, woraus höhere Verteilverluste resultieren. Zusätzlich ist eine Abschaltung des Leitungsnetzes im Sommerbetrieb nicht möglich und das Netz ist aufgrund der fehlenden Wärmeabnahme für die Heizung im Sommer überdimensioniert.

Um die Verteilverluste vollständig zu vermeiden, kann die Bereitstellung von Heizwärme und TWW direkt vor Ort erfolgen. Dies ist in der Regel nur durch die Nutzung von elektrischer Energie möglich. Für die TWW-Bereitung stellen elektrische Warmwasserbereiter vor allem in Energie \oplus -Versorgungskonzepten eine interessante Alternative dar. Die direkte Bereitstellung von Heizwärme aus elektrischer Energie wird nur unter besonderen Bedingungen als sinnvoll erachtet.

4.4 Energiespeicherung

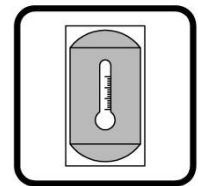
Energieangebot und –nachfrage sind bei der Bereitstellung von Energie aus regenerativen Quellen nicht deckungsgleich. Um eine möglichst hohe Eigennutzung der erzeugten Energie sowie Eigendeckung der Energiebedarfe aus den eigenen regenerativen Energiequellen zu erreichen, muss eine zeitliche Verschiebung der Energieströme erfolgen. Dies ist mit elektrischen und thermischen Energiespeichern möglich, die innerhalb des Energie \oplus -Versorgungskonzeptes zentral oder dezentral angeordnet sind.

Grundsätzlich werden Speicher nach der Dauer der angestrebten zeitlichen Verschiebung unterschieden. Es kann sich um Speicher zum Ausgleich von tageszeitlich variablen Energieströme handeln oder um Langzeitspeicher, die das Ziel eines ganzjährigen saisonalen Ausgleiches haben.

4.4.1 Thermische Energiespeicherung

Thermische Energie wird in der Regel auf zwei Arten gespeichert. Zum einen erfolgt die Speicherung in Form von Heizungswasser in Pufferspeichern. Eine zweite Möglichkeit stellt die Bevorratung von Trinkwarmwasser in Warmwasserspeichern dar.

Die Speicherung von thermischer Energie zu Heizzwecken in Pufferspeichern ist Stand der Technik und weit verbreitet. Durch die Speicherung werden die Bereitstellung und der Verbrauch zeitlich voneinander entkoppelt. Auf diese Weise wird es möglich, thermische Energieerzeuger am optimalen Betriebspunkt zu betreiben und parallel jederzeit die benötigte Energiemenge für die Beheizung bereitzustellen.



Thermische Energie kann auch in Form von Trinkwarmwasser gespeichert werden. Das ist vor allem bei Gebäuden mit niedrigem Heizenergiebedarf von Relevanz, da die thermischen Energieerzeuger in diesen Gebäuden meist niedrige Heizleistungen haben. TWW-Bereitung benötigt im Moment der Entnahme jedoch sehr hohe Erzeugungsleistungen, welche die Heizleistung des Wärmeerzeugers in manchen Fällen um ein vielfaches übersteigen. Durch die Speicherung von TWW werden die Entnahmespitzen abgedeckt und dem Erzeuger die Möglichkeit gegeben, den Ausgleich der entnommenen thermischen Energie über einen längeren Zeitraum zu realisieren. Bei der TWW-Speicherung ist zu berücksichtigen, dass diese aufgrund von thermischem Legionellenschutz bei hohen Temperaturen erfolgen muss, was zu hohen Speicherverlusten führt.



Solarenergie

Kommt eine solarthermische Anlage zum Einsatz, wird es durch die Pufferung der thermischen Energie möglich, die solaren Überschüsse vom Tag in die Nacht zu verschieben. Ohne thermische Speicher ist der Zeitrahmen sehr kurz, in dem die Wärme für Heizzwecke eingesetzt werden kann. Das ist vor allem in den Wintermonaten der Fall, was auch im Tagesgang in Diagramm 4-8 deutlich zu erkennen ist. Sonnenhäuser verschieben mit Hilfe

thermischer Speicher solarthermische Überschüsse vom Sommer in den Winter. Ziel der saisonalen Verschiebung ist die größtmögliche Deckung der Heizwärme aus Solarenergie und somit mit erneuerbarer Energie. [Jenni 2010] Wie Diagramm 4-8 zeigt, müssen aufgrund der saisonal gegenläufigen Entwicklung von Bedarf und Bereitstellung im Vergleich zu anderen Erzeugungssystemen sehr große Speichermassen für eine vollständige Eigendeckung der Wärme aus Solarstrahlung vorgehalten werden.

Die benötigten hohen Temperaturen für TWW verschärfen die Problematik zusätzlich. Soll die TWW-Bereitung ausschließlich durch die Direktnutzung der Speicherwärme erfolgen, kann der Speicher nur bis zu einer Temperatur von 60 °C genutzt werden, was die Speichermasse zusätzlich erhöht. In der Regel wird ein kleinerer Zusatzspeicher integriert, der in den Wintermonaten gewonnene Solarwärme mit Temperaturen >60 °C zunächst für die TWW-Bereitung speichert. Um auch für längere Zeiten ohne Sonnenschein oder erhöhten Wärmebedarf Versorgungssicherheit zu gewährleisten, kommen in Sonnenhäusern meist zusätzliche Erzeuger zum Einsatz, die als Brennstoff in der Regel Holz nutzen. Auf diese Weise bleibt die Wärmeerzeugung CO₂-neutral. Es wäre jedoch auch der Einsatz anderer Wärmeerzeuger denkbar. Eine Möglichkeit wäre der ergänzende Einsatz von Wärmepumpen die den Speicher als Energiequelle nutzen und die Heizwärme auf die gewünschte Temperatur anheben, wenn die Speicherwärme nicht mehr direkt genutzt werden kann. WP lassen auch den Einsatz von Eisspeichern⁶ zu. Die Phasenumwandlung verringert die benötigten Speichermassen deutlich und ermöglicht die Einspeisung von Solarwärme bereits auf sehr niedrigem Temperaturniveau, was die Wärmeausbeute der solarthermischen Anlage deutlich erhöht.

Konstante Wärmeerzeugung

Kommen KWK-Anlagen zum Einsatz, wird durch thermische Speicher ein Dauerbetrieb möglich. Dies wirkt sich positiv auf den Wirkungsgrad sowie die Lebensdauer von beispielsweise Blockheizkraftwerken aus. Die erzeugten thermischen Energieüberschüsse werden im Pufferspeicher für Zeiten mit erhöhtem Wärmebedarf vorgehalten. Der Speicher ermöglicht somit die Entkopplung von Wärmeangebot und -nachfrage. Soll ein Dauerbetrieb über das ganze Jahr erfolgen, ist im ersten Ansatz nur die Abdeckung des TWW-Sockels realisierbar. Selbst hierfür ist bereits ein Wärmespeicher notwendig, der eine Glättung des täglichen TWW-Bedarfs realisiert. Soll eine monovalente Wärmebereitstellung für das gesamte Versorgungskonzept mit einem BHKW im Dauerbetrieb realisiert werden, ist wie für die Solarenergie, ein saisonaler Speicher notwendig, der die Wärmeüberschüsse aus dem Sommer in den Winter verschiebt. Durch die konstante Wärmebereitstellung kann dieser zwar deutlich kleiner dimensioniert werden als für Solarenergie alleine. Die energetische und wirtschaftliche Sinnhaftigkeit ist dennoch in jedem Fall zu hinterfragen.

⁶ Beschreibung Eisspeicher siehe [Bedal 2012]

Taktende Wärmeerzeugung

Eine weitere Möglichkeit stellt der Einsatz eines Wärmeerzeugers mit taktendem Betrieb dar. Ein Beispiel hierfür sind Wärmepumpen. In diesem Fall muss der Wärmespeicher zur Überbrückung von beispielsweise Sperrzeiten für den WP-Strom ausgelegt sein. Eine saisonale Verschiebung von Erzeugungsspitzen ist in diesem Fall nicht notwendig, da die Wärmebereitstellung vergleichsweise exakt an den Energiebedarf angepasst werden kann.

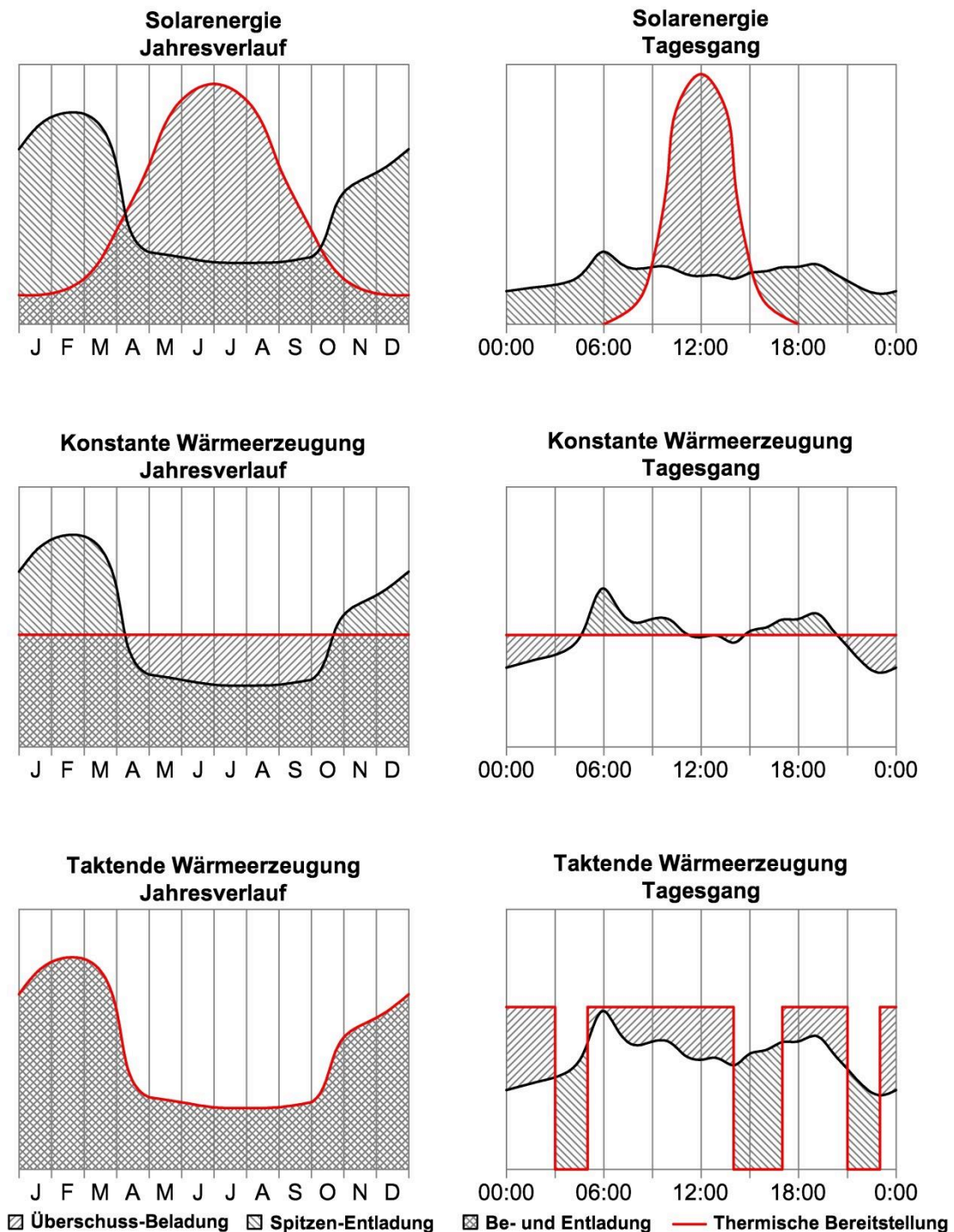
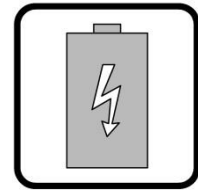


Diagramm 4-8: Thermische Tages- und Saisonal-Speicher bei unterschiedlichen Wärmeerzeugern

4.4.2 Elektrische Energiespeicherung

Die Speicherung von elektrischer Energie kann aktuell noch nicht als Stand der Technik bezeichnet werden. Zwar verfügt der Markt über ausreichend Techniken zur elektrischen Energiespeicherung. [TAB 2008] Der wirtschaftliche Einsatz ist jedoch noch nicht in jedem Fall sichergestellt.



Neben der Speicherung von elektrischer Energie in seiner Urform in Batterien stehen weitere Verfahren zur Verfügung oder werden erforscht. Hier sollen die Umwandlung in mechanische oder Lage-Energie in Druckluftspeichern und Pumpspeicherwerken genannt werden. Auch eine Umwandlung in Wasserstoff steht zur Diskussion. Jedoch stellen all diese Methoden, mit Ausnahme der Speicherung in Batterien, für den Anwendungsfall im Gebäude noch keine alltagstauglichen Alternativen dar.

Auch die Batterie-Speicherung hat sich zum aktuellen Zeitpunkt aus ökonomischen Gründen noch nicht flächendeckend durchgesetzt. Für die Speicherung müssen aktuell sehr große und vergleichsweise teure Batterie-Pakete vorgehalten werden. Jedoch lassen die aktuellen Entwicklungen auf dem Markt und der Trend zur Elektromobilität Verbesserungen im Bereich der Elektrospeicher erhoffen, die sich in einer verbesserten Energiedichte und fallenden Preisen zeigen könnten. Da Energie \oplus -Versorgungskonzepte über elektrische Erzeuger verfügen, muss dem Einsatz von elektrischen Speichern besondere Bedeutung zukommen. Sie ermöglichen die Nutzung der erzeugten Energie in Zeiten ohne eigene Erzeugung. Zusätzlich entlasten sie bei richtiger Betriebsführung die öffentlichen Netze, indem sie Einspeisespitzen aus regenerativen Energieerzeugern reduzieren oder sogar vollständig vermeiden. [ISE 2013] Hohe Eigennutzung und Eigendeckung oder gar ein autarker Betrieb sind ebenfalls nur mit Elektrospeichern realisierbar.

Solarenergie

Für elektrische Energie aus Solarstrahlung gilt dasselbe wie für die Wärme. Ohne Stromspeicher ist die Eigennutzung, wie in Diagramm 4-9 zu sehen, nur in einem vergleichsweise kurzen Zeitrahmen möglich. Eine saisonale Verschiebung der elektrischen Energie ist aktuell aufgrund der hohen Kosten für den benötigten Energiespeicher wirtschaftlich noch nicht realisierbar und somit ein elektroautarker Betrieb von Gebäuden auf Basis von reiner Solarenergie noch nicht umsetzbar.

Konstante Elektrizitätserzeugung

Der Einsatz von KWK-Anlagen zur elektrischen Energieerzeugung lässt eine konstante Bereitstellung von Elektrizität zu. Parallel sollten in diesem Fall jedoch immer thermische Speicher zum Einsatz kommen, um einen stromgeführten Betrieb der KWK-Anlage bei gleichzeitig möglichst hoher Nutzung der erzeugten Wärme zu ermöglichen. Die KWK-Anlage wird auf den durchschnittlichen elektrischen Energiebedarf ausgelegt. Der Stromspeicher dient der Anpassung von Erzeugungs- zu Nachfragespitzen. Eine saisonale Verschiebung ist ebenfalls denkbar, wird jedoch – wie bei Solarenergie erläutert – trotz der vergleichsweise kleineren Dimension immer noch als wirtschaftlich nicht sinnvoll erachtet.

Taktende Elektrizitätserzeugung

Alternativ zum Dauerbetrieb ermöglicht der stromgeführte Betrieb eines BHKWs die taktende Bereitstellung von elektrischer Energie, was einen deutlich kleineren Elektrospeicher bedingt. Der Taktbetrieb wirkt sich jedoch negativ auf die Erzeugung aus.

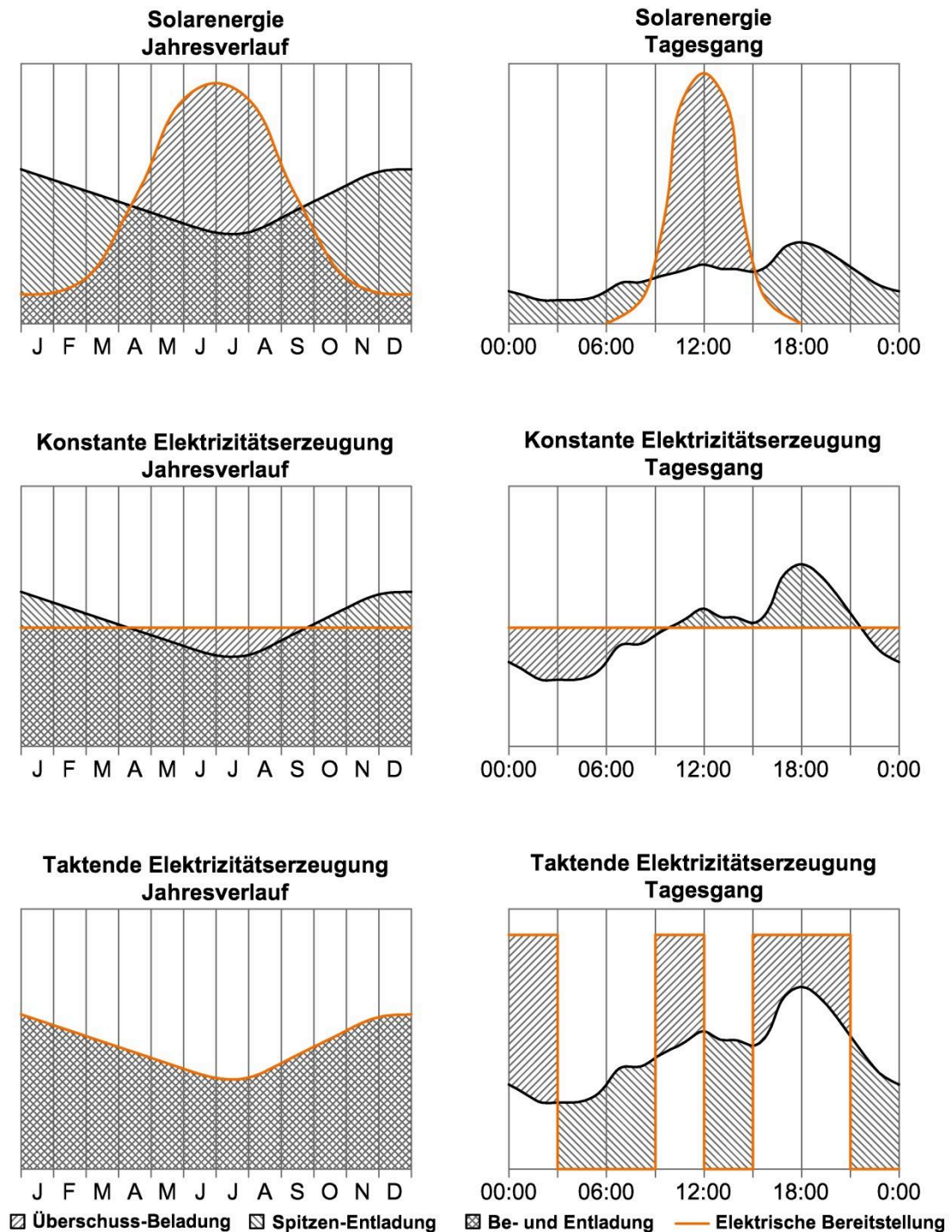


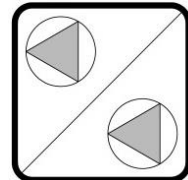
Diagramm 4-9: Elektrische Tages- und Saisonal-Speicher bei unterschiedlichen Energieerzeugern

4.5 Hilfsenergien

Für den Betrieb von Versorgungskonzepten wird Hilfsenergie in Form von Elektrizität benötigt. Dies schließt die Antriebsenergie der Pumpen für die Wärmeverteilung und der Ventilatoren der mechanischen Wohnraumbelüftung ebenso ein, wie den elektrischen Energiebedarf für Mess-, Steuer- und Regelungstechnik (MSR-Technik).

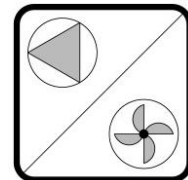
Wärmeverteilung

Erfolgt die Wärmeverteilung mit Hilfe von Leitungsnetzen wird die elektrische Energie zum Betrieb der Pumpen den Hilfsenergien zugeordnet. Um den Energiebedarf möglichst gering zu halten, müssen ausschließlich Hocheffizienzpumpen zum Einsatz kommen. Auf Pumpen kann nur verzichtet werden, wenn das System über kein Verteilnetz verfügt.



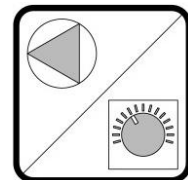
Mechanische Wohnraumbelüftung

Nach [EnEV 2014] müssen Neubauten ein Lüftungskonzept nach den anerkannten Regeln der Technik [DIN 1946-6] nachweisen. Die Belüftung kann mit Hilfe einer mechanischen Wohnraumbelüftung erfolgen, die immer über eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung verfügen sollte. Die elektrische Antriebsenergie für die Ventilatoren stellt – wie der Energieeinsatz für Pumpen – Hilfsenergie dar. Auch der elektrische Energiebedarf für die Sicherstellung des Frostschutzes wird in der Regel als Hilfsenergie erfasst.



Mess-, Steuer- und Regelungstechnik

In allen Bereichen des Lebens ist ein hoher Anstieg der Technisierung zu erkennen. Der Gebäudesektor macht hierbei keine Ausnahme. Aus dem steigenden Einsatz von Mess-, Steuer- und Regelungstechnik resultiert ein erhöhter elektrischer Hilfsenergiebedarf, der in allen Versorgungskonzepten, vor allem jedoch in Energie⁺-Versorgungskonzepten, nicht vernachlässigt werden darf.



4.6 Energetische Betriebsoptimierung

Die Betriebsoptimierung ermöglicht die fortlaufende Überprüfung und Verbesserung des Anlagenbetriebes. Hierfür kommen in der Regel Werkzeuge wie Betriebsvisualisierungen zum Einsatz, die einen schnellen Überblick über die aktuelle Effizienz der Energiebereitstellung ermöglichen. Die messtechnische Erfassung der Energieversorgung – von der Erzeugung über die Verteilung bis hin zur Nutzung – bildet die Grundlage für energetische Betriebsoptimierung und ermöglicht neben der visuellen Darstellung des Anlagenbetriebes eine detaillierte Analyse und somit das Feststellen von möglichem Fehlverhalten.

Nur bei richtigem Betriebsverhalten können komplexe Versorgungskonzepte ihre volle Effizienz erreichen und somit die Zielvorgaben erfüllen. Durch Betriebsoptimierung ist es nicht nur möglich, die Energieerzeugung effizienter zu gestalten, sondern auch unerwünschte Effekte in der Verteilung oder der Energieübergabe an den Nutzer festzustellen. Somit stellt die Betriebsoptimierung ein unverzichtbares Werkzeug zur Erreichung der gesteckten energetischen Ziele von hochtechnisierten Versorgungskonzepten dar.

4.6.1 Energetische Optimierungsmaßnahmen

Energie⁺-Versorgungskonzepte bieten die Möglichkeit, auf verschiedenen Wegen die gesteckten energetischen Ziele zu erreichen. Grundsätzlich kann eine Verbesserung durch die Reduzierung des Energieverbrauchs erfolgen. Energie⁺-Versorgungskonzepte bieten zusätzlich auch die Möglichkeit Optimierungen durch die Eigendeckung des Energiebedarfs und die Abgabe von erzeugten Energieüberschüssen aus erneuerbaren Quellen zu erreichen.

Möglichkeiten zur Bedarfs-/Verbrauchsreduzierung

Kommt anstelle einer Brennwärthequelle beispielsweise eine WP zum Einsatz, reduziert sich der Endenergiebezug für die Wärmebereitstellung unter geeigneten Rahmenbedingungen deutlich, da in diesem Fall die meiste Wärme aus erneuerbaren Wärmequellen vor Ort kommt. Stammt die elektrische Antriebsenergie für die WP zusätzlich noch aus der elektrischen Eigenerzeugung, ist hierfür ebenfalls kein Energiebezug von Nöten.

Eine weitere interessante Alternative bietet die Planung bzw. Nachrüstung von solarthermischen Anlagen, wenn sich der thermische Energieverbrauch für die TWW-Bereitung als besonders hoch zeigt. Wird sehr viel elektrische und thermische Energie zur gleichen Zeit benötigt, ist auch der Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung ein sehr effektives Werkzeug zur Eigenversorgung.

Flächenheizsysteme ermöglichen den Betrieb mit niedrigen Vorlauftemperaturen. Jedoch macht die Trägheit des Systems in diesem Fall einen Absenkbetrieb unmöglich. Diese Faktoren müssen in die Überlegungen für mögliche Versorgungsvarianten einfließen.

Die Nutzer-Sensibilisierung stellt eine sehr interessante Möglichkeit zur Reduzierung des Energieverbrauchs für den Gebäudebetrieb dar. Sie hat einen hohen Stellenwert, da durch energiesparendes Nutzerverhalten nicht nur Heizenergie, sondern auch thermische Energie

für die energetisch aufwendige TWW-Bereitung und elektrische Energie in allen Bereichen eingespart werden kann. Jede Kilowattstunde weniger Nutzenergie muss nicht erzeugt und verteilt werden. Daraus resultieren auch Einsparungen an Erzeugungs- und Verteilverlusten. Aufgrund des hohen Einflusses der Nutzer auf das energetische Gesamtergebnis ist dem Nutzerverhalten das Kapitel 6 dieser Arbeit gewidmet.

Erhöhung der Eigendeckung

Nicht nur durch Speicher wird der Eigendeckungsgrad positiv beeinflusst. Durch die Anpassung des Verhaltens der Nutzer an die Energiebereitstellung aus der Eigenerzeugung kann die Eigendeckung gesteigert werden und das ohne Mehraufwand an Grauer Energie.

Steigerung der Energieabgabe

Neben der Verringerung des Energiebezuges bieten Energie[⊕]-Versorgungskonzepte die Option, durch die Steigerung der Abgabe von elektrischer und thermischer Energie eine Verbesserung der energetischen Gesamtbilanz zu erreichen. Durch die Nachrüstung beziehungsweise Planung von Eigenerzeugungsanlagen, die aus regenerativen Quellen Elektrizität und in Sonderfällen Wärme erzeugen und diese in öffentliche Netze einspeisen oder an Dritte abgeben, erfolgt ein bilanzieller Ausgleich des Energiebezugs. Auf diese Weise kann das Gesamtsystem eine energetische Verbesserung erreichen, ohne an den Gebäuden oder der vorhandenen Technik selbst etwas verändern zu müssen. Auch die Abrechnungsmodalitäten der Energie bleiben hiervon unberührt. Dienen elektrische Erzeugungsanlagen ausschließlich dem energetischen Ausgleich und ermöglichen keine Eigennutzung der erzeugten Energie, kann auch keine Eigendeckung des Energieverbrauchs erfolgen.

Sonstige Maßnahmen

Die Reduzierung des Energiebezuges und die Steigerung der Energieabgabe wirken sich beide sowohl auf die endenergetische als auch primärenergetische Gesamtbilanz des Energie[⊕]-Objektes gleichermaßen positiv aus. Es besteht jedoch zusätzlich die Möglichkeit einer primärenergetischen Verbesserung, ohne an der Technik oder dem Gebäude Veränderungen vornehmen zu müssen. Nutzt ein Versorgungskonzept fossile Brennstoffe zur Eigenerzeugung von Wärme und Elektrizität, kann durch den Wechsel auf regenerative Energieträger das primärenergetische Ergebnis positiv beeinflusst werden. Die endenergetische Gesamtbilanz verändert sich hierdurch allerdings nicht.

4.6.2 Messtechnische Erfassung

die Ermittlung der benötigten Messwerte stellt die Basis für Betriebsoptimierung dar. Hierfür müssen bereits in der Planungsphase die Ziele der messtechnischen Erfassung bekannt sein. Soll lediglich eine Überprüfung der Erzeugereffizienz erfolgen oder auch die Optimierung des Verteilnetzes möglich sein? Reicht es aus, die Hauptverteilung messtechnisch zu erfassen oder muss das Netz bis zu jedem einzelnen Verbraucher erfasst werden? Soll das Nutzerverhalten ebenfalls erfasst werden und wenn ja, bis zu welchem Detaillierungsgrad? Sollen die Messwerte jederzeit visuell aufbereitet zur Verfügung stehen oder ausschließlich

eine Datenauswertung in regelmäßigen Zeitintervallen mit geeigneten Optimierungswerkzeugen möglich sein? Das sind beispielhafte Fragen, die vor dem Aufbau einer messtechnischen Erfassung bereits in der Planungsphase geklärt werden müssen.

Ohne messtechnische Erfassung ist eine Anlagenoptimierung nicht möglich und die damit verbundenen energetischen Potentiale nicht nutzbar. Je umfangreicher die messtechnische Erfassung erfolgt, umso detailliertere Auswertungen des Anlagenverhaltens sind möglich. Das Feststellen von Fehlerquellen wird dadurch deutlich erhöht. Natürlich bedeutet hoher messtechnischer Aufwand auf der anderen Seite hohe Investitionskosten. Deshalb sollte die eingesetzte Messtechnik immer im Verhältnis zur Größe des Versorgungskonzeptes und somit dem absoluten energetischen und monetären Einsparpotential stehen.

Um Aussagen über die Effizienz einzelner Bereiche der Energiebereitstellung treffen zu können, müssen die ein- und ausgehenden Energiemengen für den jeweiligen Bereich erfasst werden. Die Bewertung des Betriebsverhaltens in seiner Gesamtheit ist nur möglich, wenn die eingesetzten Energiemengen für die elektrische und thermische Energieerzeugung den thermischen Nutzenergieverbräuchen und der erzeugten elektrischen Energie gegenübergestellt werden können. Das Verhältnis von Energiebezug zu genutzter Energie ermöglicht die Bewertung des Betriebsverhaltens im Gesamten. Diese Betrachtung ist für kleinere Objekte mit nur einem Energieerzeuger und kleinem Verteilnetz meist ausreichend.

Abb. 4-1 zeigt eine Übersicht über die benötigten Messeinrichtungen.

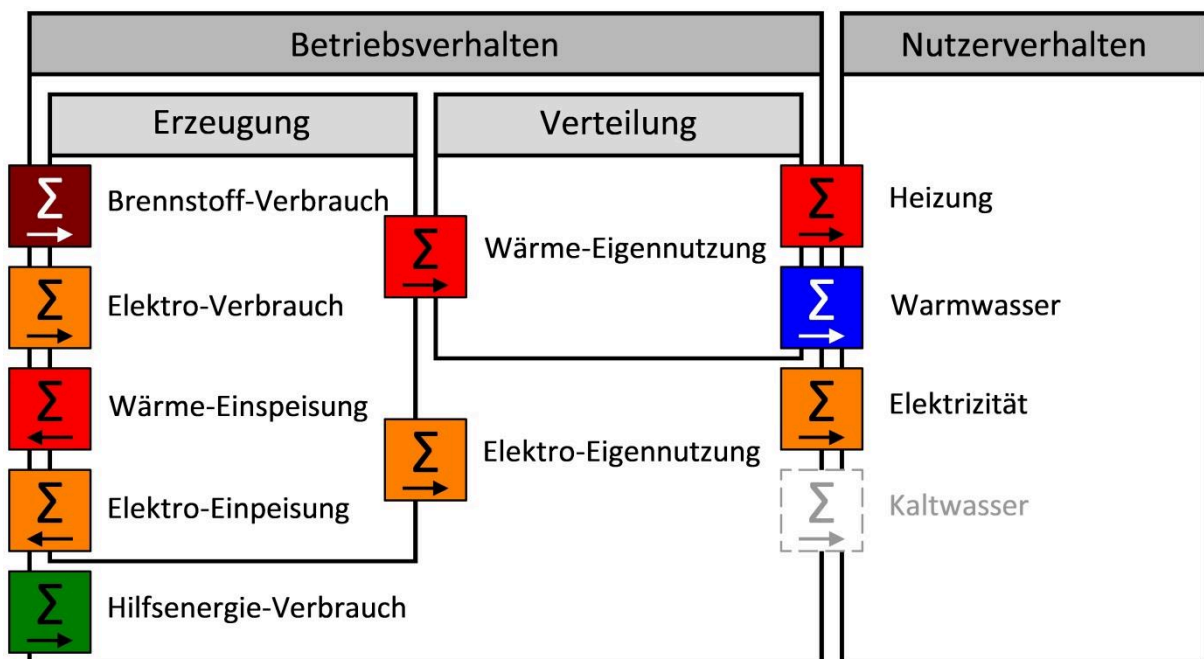


Abb. 4-1: benötigte Messtechnik zur Bewertung des Betriebsverhaltens

Handelt es sich jedoch um ein großes und sehr verzweigtes Versorgungskonzept, ist die getrennte Bewertung von Erzeugung und Verteilung zu empfehlen. In diesem Fall muss die Erfassung der Energiemengen am Übergang von der Erzeugung zur Verteilung erfolgen. Hierfür ist die messtechnische Erfassung aller erzeugten thermischen und elektrischen

Energien jedes einzelnen Energieerzeugers notwendig. Stellt man den Energieträgereinsatz der einzelnen Erzeuger der erzeugten Energie gegenüber, erhält man die Erzeugereffizienz. Zieht man von der Summe der erzeugten thermischen Energien die verbrauchte Wärme durch die Nutzer ab, resultieren die Verteilverluste. In größeren Versorgungskonzepten kann es auch von Bedeutung sein, wie viel Hilfsenergie für die Energiebereitstellung aufgewendet werden muss. Um den Einfluss der eingesetzten Hilfsenergie auf das energetische Gesamtergebnis des Betriebsverhaltens ermitteln zu können, muss eine gesonderte Erfassung des elektrischen Energieverbrauches hierfür erfolgen.

Die Energiemengen bilden die Basis einer jeden energetischen Analyse. Jedoch sind diese zur Optimierung eines Energieverbunds in der Regel nicht ausreichend. Um beispielsweise Fehlverhalten in der Verteilung aufgrund unverhältnismäßiger Massenströme ermitteln zu können, werden die Durchflussmengen an signifikanten Punkten des Verteilsystems benötigt. Rohrbereiche mit erhöhten Wärmeverlusten können durch die Aufnahme der Temperaturen im Verteilsystem analysiert werden. Auch hydraulisches Fehlverhalten im System kann durch die Auswertung der Durchflüsse und Temperaturen aufgezeigt werden.

4.6.3 Datennutzung

Die messtechnisch erfassten Daten können auf unterschiedliche Weise genutzt werden.

Betriebsvisualisierung

Eine Möglichkeit zur Nutzung der messtechnischen Daten stellt die Online-Visualisierung des Betriebsverhaltens dar. Hierfür werden die Messdaten auf webfähige Darstellungsform aufbereitet und online zur Verfügung gestellt. Es erfolgt eine fortlaufende Aktualisierung. Die Visualisierung kann sowohl die aktuellen Betriebswerte, als auch die zeitlichen Verläufe für die wichtigsten Betriebsfaktoren enthalten. Die Visualisierung ermöglicht einen schnellen Überblick über das aktuelle Verhalten des Systems. Weiterhin können die Auswirkungen von Optimierungsmaßnahmen zeitnah überprüft und bei Bedarf angepasst werden.

Datenauswertung

Bei einer Vielzahl von Messwerten ist es in der Regel weder sinnvoll noch mit vertretbarem technischem Aufwand möglich, alle relevanten Größen zu visualisieren. Wurde mit Hilfe der Betriebsvisualisierung ein energetisches Fehlverhalten festgestellt, dessen Ursache nicht aus der vorhandenen Visualisierung abgeleitet werden kann, erfolgt eine vertiefte Auswertung der Daten. Es werden im ersten Schritt die zu untersuchenden Messwerte in Umfang und Zeit eingegrenzt. Hierfür ist bereits in der Programmierung der messtechnischen Erfassung darauf zu achten, dass die Datenbank in der Lage ist, diese Funktionen auszuführen. Um die Messauswertung zu erleichtern, können Analysewerkzeuge wie Monisoft⁷ [KIT 2014] oder PIA [Baumann 2005] zum Einsatz kommen.

⁷ MoniSoft ist ein am Fachgebiet für Bauphysik und technischer Ausbau (fbta) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickeltes Werkzeug zur Analyse großer Datenmengen.

Energetische Zwischenevaluation

Neben der Betriebsoptimierung werden die Messdaten auch zur fortlaufenden energetischen Bewertung des Energie \oplus -Versorgungskonzeptes benötigt. Durch den Vergleich von Energiebezug und Energieabgabe sind Prognosen über die Erreichbarkeit der gesteckten energetischen Ziele zu jedem Zeitpunkt möglich. Hierfür werden die Verbräuche und der dafür notwendige Energiebezug der Energieerzeugung grafisch gegenübergestellt. Eine unerwünschte Entwicklung kann auf diese Weise schnellstmöglich festgestellt und notwendige Maßnahmen eingeleitet werden.

4.6.4 Einsparpotential durch Betriebsoptimierung

Betriebsoptimierung ist ein elementarer Baustein, um die gesteckten energetischen Ziele eines Versorgungskonzeptes erreichen zu können. Nur bei optimalem Anlagenbetrieb und damit verbundener hoher Anlageneffizienz kann die Energiebereitstellung ihr volles Potential ausschöpfen. Auch ist eine regelmäßige Überprüfung des Anlagenbetriebes notwendig, um möglichen Verschlechterungen entgegen wirken zu können.

„Dabei könnten in vielen Gebäuden allein durch eine veränderte Betriebsführung oder andere geringinvestive Maßnahmen der Strom- und Wärmeverbrauch um 10 bis 20 % reduziert werden.“ [Plesser 2010: 2]

Die Einsparpotentiale durch Betriebsoptimierung sollen am Beispiel der durchgeführten Maßnahmen am Nahwärmenetz im LWP aufgezeigt werden. Diagramm 4-10 zeigt die Gegenüberstellung der betriebsbedingten Verluste sowie der bereitgestellten Nutzenergien für die Zeit vor (2012) und nach der Betriebsoptimierung (2013).

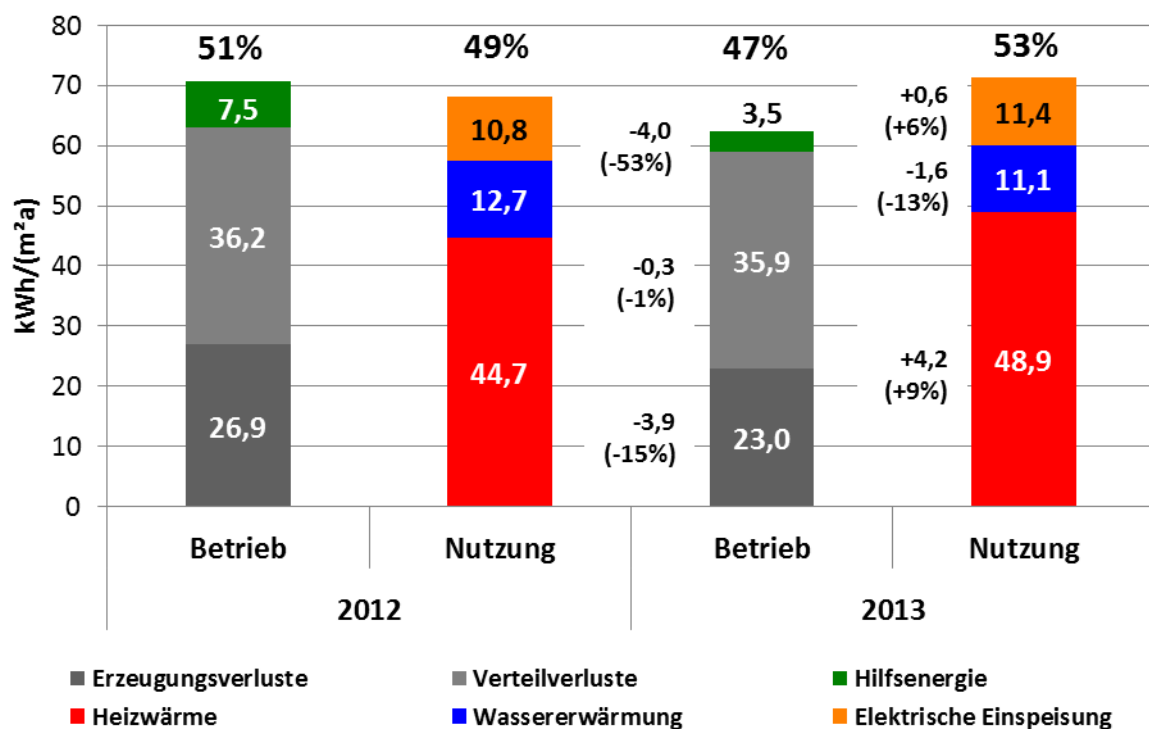


Diagramm 4-10: Exemplarische Gegenüberstellung der betriebsbedingten und nutzerabhängigen Energieverbräuche der Jahre 2012 und 2013 für die Nahwärmeversorgung im LWP Landshut

Der hohe Anteil der Erzeugungs- und Verteilverluste sowie der Hilfsenergien von 51 Prozent am Endenergie-Verbrauch vor der Optimierung zeigt die Relevanz eines optimierten Anlagenbetriebes auf. Weniger als die Hälfte der eingesetzten Endenergie kam bei den Nutzern an. Die durchgeführten Optimierungsmaßnahmen führten zu einer merklichen Reduzierung der Erzeugungsverluste und der Hilfsenergien und dies bei gleichzeitiger erhöhter Nachfrage nach Heizwärme. Somit veränderte sich das Verhältnis deutlich zu Gunsten der Nutzenergie.

Die Aussage aus [Plesser 2010: 2] wird durch die Erkenntnisse aus dem LWP bestätigt. Im Nahwärmenetz konnten witterungsbereinigt⁸ 20 Prozent Energieeinsparung für die Wärmeversorgung sowie 50 Prozent im Hilfsenergieverbrauch realisiert werden.

4.7 Gesamtübersicht Energiebereitstellung

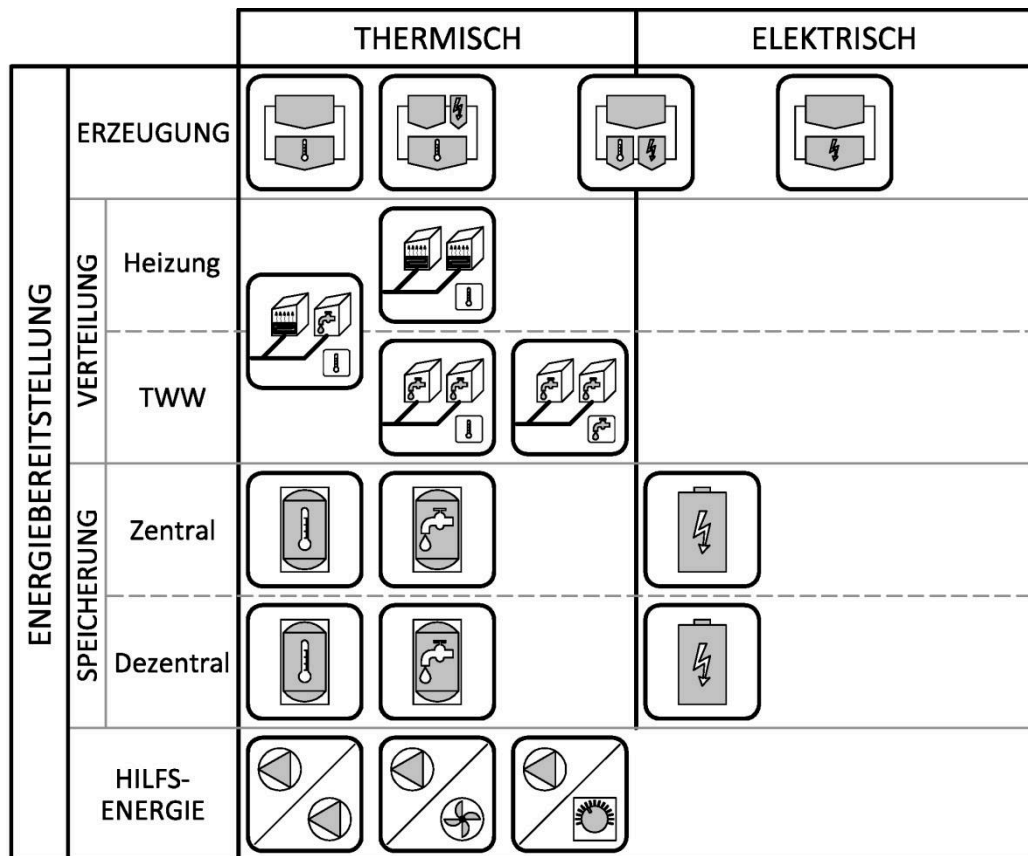
Abb. 4-2 zeigt eine Übersicht aller relevanten Komponenten der Energiebereitstellung in Energie⁺-Versorgungskonzepten. Als erstes sind die Energieerzeuger zu nennen. Es stehen verschiedene Erzeugungsprozesse zur Verfügung, um aus internen oder externen Energieträgern die benötigten Energien Wärme und Elektrizität zu erzeugen. In der einfachsten Variante werden fossile oder regenerative Energieträger direkt in Elektrizität und Wärme umgewandelt. Weiterhin kann die Bereitstellung von Wärme mit Hilfe von elektrischer Antriebsenergie für eine WP aus Umweltwärme erfolgen. Eine dritte Möglichkeit stellt die gekoppelte Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie mit KWK dar.

Die thermische Energieverteilung für Heizung und TWW-Bereitung kann mit gemeinsamen oder getrennten Verteilnetzen erfolgen. Bei der TWW-Bereitung erfolgt zusätzlich eine Unterscheidung nach dem Medium. Es kann sich direkt um Trinkwarmwasser oder bei der Nutzung von thermischen Frischwasserstationen Heizwärme handeln. Hochgedämmte Gebäude und der Einsatz von elektrischer Energie für die Wärmebereitstellung ermöglichen unter Umständen den Verzicht auf die Verteilnetze.

Die Speicherung von thermischer und elektrischer Energie hat bei Energie⁺-Versorgungskonzepten einen hohen Stellenwert. Speicher ermöglichen die Glättung von Erzeugungs- und Nachfragespitzen. Sie erhöhen sowohl die Eigennutzung als auch die Eigendeckung und wirken sich positiv auf die Erzeugereffizienz aus. Die Speicherung kann für alle Nutzungseinheiten zentral oder für jede Einheit gesondert erfolgen.

Energie⁺-Versorgungskonzepte verfügen häufig über erhöhten Technikeinsatz, um eine möglichst effiziente Bereitstellung der Nutzenergien zu ermöglichen. Aus der steigenden Technisierung resultiert ein erhöhter Hilfsenergiebedarf, der durch den sinkenden Bedarf an Energie für den Gebäudebetrieb zusätzlich an Bedeutung gewinnt. Um die Hilfsenergie möglichst gering zu halten, sollten ausschließlich hocheffiziente Geräte zum Einsatz kommen und der Einsatz von MSR-Technik auf das notwendigste reduziert werden.

⁸ Witterungsbereinigung nach [VDI 3807]

Abb. 4-2: Gesamtübersicht aller relevanten Komponenten der Energiebereitstellung für Energie[⊕]-Konzepte

5 ENERGIESTRÖME IN ENERGIE⁺-VERSORUNGSKONZEPTEN

Neben dem Bezug von Energie besteht in Energie⁺-Versorgungskonzepten die Option zur Eigendeckung des elektrischen und thermischen Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen und die Abgabe von Energieüberschüssen zum bilanziellen Ausgleich des Energiebezugs.

5.1 Möglichkeiten der Bedarfsdeckung

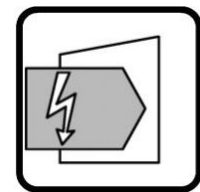
Durch die Eigenerzeugung ist in Energie⁺-Versorgungskonzepten neben dem externen Energiebezug auch die Eigendeckung des elektrischen und thermischen Energiebedarfs möglich. Die Alternativen erstrecken sich, wie in Abb. 5-1 dargestellt, von der vollständigen Eigendeckung bis zur vollständigen Deckung des Energiebedarfs durch externen Energiebezug. Die Höhe der Eigendeckung wird durch den Eigendeckungsgrad ausgedrückt.

Der Eigendeckungsgrad ist ein Maß für die Energieautarkie. Autarke Versorgungskonzepte verfügen über einen Eigendeckungsgrad von 100 Prozent.

Für Energie⁺-Versorgungskonzepte werden keine Mindestgrade für die Eigendeckung vorgeschrieben. An dieser Stelle wird jedoch die Empfehlung ausgesprochen, unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen höchstmögliche elektrische und thermische Eigendeckungsgrade anzustreben.

5.1.1 Vollständiger Energiebezug

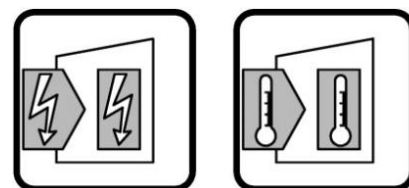
Eine Möglichkeit zur Deckung des elektrischen Energiebedarfs ist der vollständige Bezug der elektrischen Energie durch jeden einzelnen Nutzer. Dies bedeutet, dass bei mehreren Nutzern jeder die von ihm verbrauchte elektrische Energie von einem Elektroversorgungsunternehmen (EVU) seiner Wahl bezieht. Die Wahl des EVU erfolgt individuell und unabhängig von der Gemeinschaft. Der Energiestrom bei vollständigem elektrischem Energiebezug ist in Abb. 5-1 oben dargestellt. In diesem Fall wird die gesamte eigenerzeugte Elektrizität zum bilanziellen Ausgleich des Bezuges in das öffentliche Netz eingespeist.



Aufgrund der hohen Verluste bei der Verteilung von Wärme über weite Strecken muss die eigenerzeugte thermische Energie, im Unterschied zur elektrischen Energie, in Energie⁺-Versorgungskonzepten vorrangig selbst genutzt werden. Eine vollständige Deckung des Wärmebedarfs aus Fernwärme bei gleichzeitiger Wärmeeinspeisung ist nicht möglich. In diesem Fall darf Fernwärme nur zur Spitzenlast-Abdeckung zum Einsatz kommen.

5.1.2 Vorrangige Eigendeckung mit Energiebezug

Die eigenerzeugte elektrische Energie kann und sollte vorrangig zur Deckung des eigenen Energiebedarfs genutzt werden. Die vollständige Versorgung der Verbraucher erfolgt durch die Energiebereitstellung. Die Einspeisung der Überschüsse und der Bezug von externer Energie finden



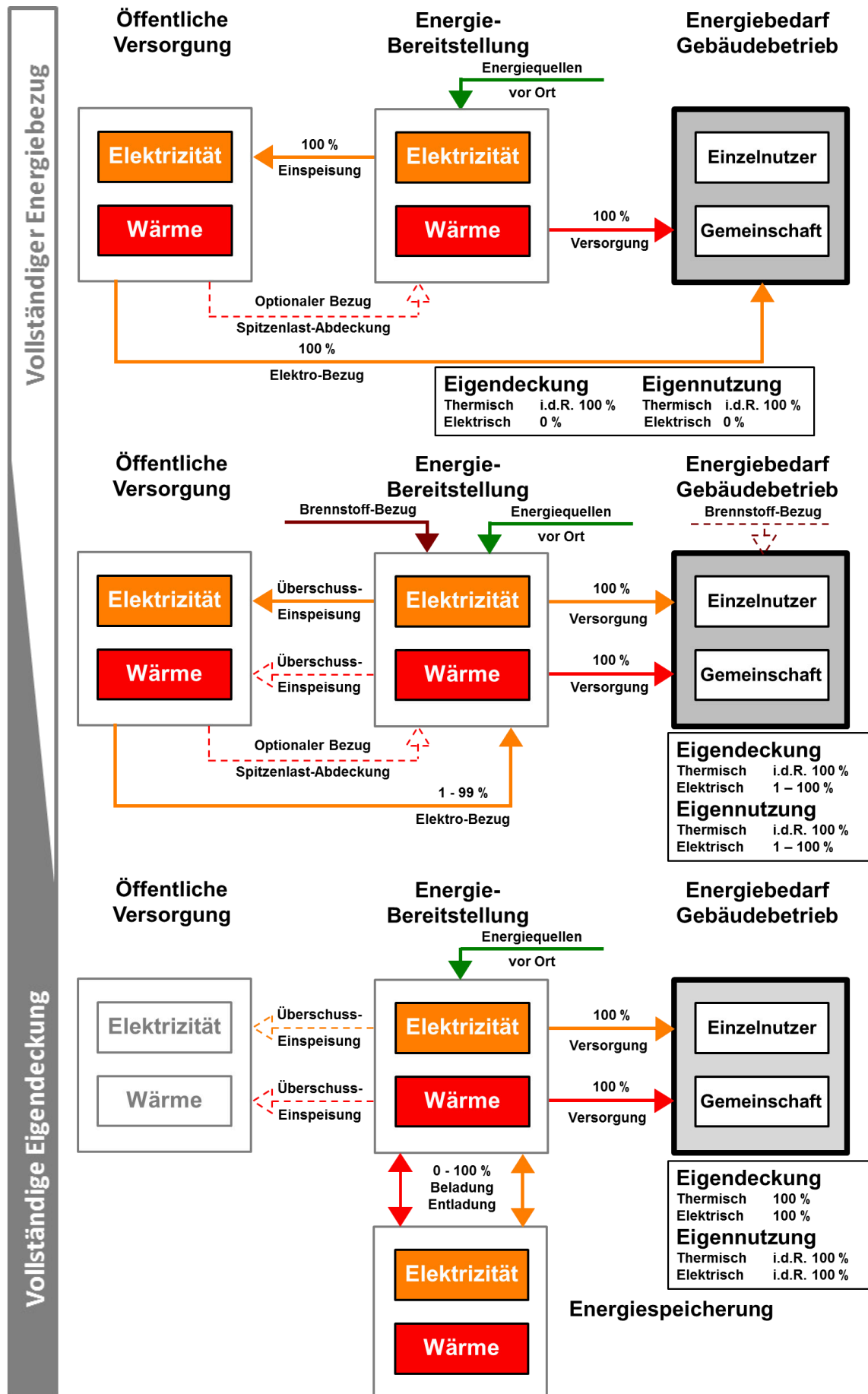


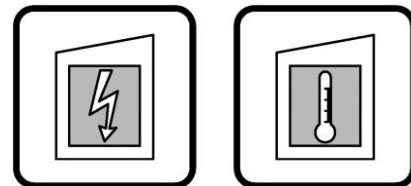
Abb. 5-1: Elektrische und thermische Energieströme bei unterschiedlichen Versorgungskonzepten

zentral für das gesamte Objekt statt. Es besteht keine Verbindung des öffentlichen Versorgungsnetzes zu den einzelnen Verbrauchern (siehe Abb. 5-1 Mitte). Der Einsatz von Energiespeichern zur Steigerung des Eigendeckungsgrades wird angeraten, ist in dieser Variante jedoch nicht zwingend notwendig.

Der thermische Energiebedarf für den Gebäudebetrieb wird in der Regel vollständig aus der eigenen Energiebereitstellung gedeckt. Zur Erzeugung der Wärme ist der externe Bezug von Brennstoffen zulässig. Wird der thermische Energiebedarf nicht vollständig selbst gedeckt und verfügt das System zusätzlich zur eigenen Wärmeerzeugung über einen Fernwärme-Anschluss, muss die bezogene Wärme berücksichtigt werden. Grundsätzlich ist auch der Bezug von Brennstoffen direkt durch die Nutzer selbst möglich. Hierbei handelt es sich in der Regel um regenerative Brennstoffe wie Holz. Wird von den dezentralen Wärmeerzeugern eine Wärmemenge von mehr als 10 Prozent des jeweiligen Heizwärme-Verbrauchs gedeckt, muss der Brennstoff berücksichtigt werden.

5.1.3 Vollständige Eigendeckung

Die technisch aufwändigste Variante stellt die vollständige Deckung des Elektrobedarfs für den Gebäudebetrieb aus der eigenen Energieerzeugung dar. Eine Verbindung zu öffentlichen elektrischen Versorgungsnetzen ist ausschließlich für die Einspeisung optionaler Energieüberschüsse erlaubt. Auch der Bezug von Brennstoffen für die Eigenerzeugung ist nicht zulässig. Erfolgt die elektrische Eigenversorgung ohne externen Energiebezug, spricht man von einem elektrisch autarken Energie \oplus -Objekt. Da die Energiebereitstellung und der Energiebedarf aufgrund der Nutzung regenerativer Energiequellen vor Ort zeitlich voneinander abweichen, ist eine vollständige elektrische Eigenversorgung nur durch den Einsatz elektrischer Speicher realisierbar. Diese übernehmen die „Speicheraufgabe“ des öffentlichen Versorgungsnetzes und puffern energetische Überschüsse für Spitzen-Entnahmezeiten. Für eine vollständige elektrische Eigenversorgung werden große Elektro-speicher benötigt, die sich unter ökonomischen Gesichtspunkten aktuell schwer realisieren lassen. Verfügt das Konzept jedoch über eine ausreichend große Eigenerzeugung, kann durch die Nachrüstung von entsprechend dimensionierten Speichern auch im Nachgang noch Autarkie erreicht werden. Abb. 5-1 unten zeigt die Energieströme, wenn die Deckung des elektrischen Energiebedarfs vollständig aus der eigenen Energiebereitstellung erfolgt.



Eine weitere Alternative stellt die autarke Wärmeversorgung dar, wie sie in Abb. 5-1 unten dargestellt ist. Die Versorgung mit Fernwärme ist in diesem Fall ebenso nicht zulässig wie der Bezug von Brennstoffen. Thermische Energieautarkie ist in der Regel nur mit rein elektrischen und/oder solarthermischen Konzepten möglich. Es werden große elektrische und/oder thermische Speicher benötigt, mit denen die saisonale Verschiebung von sommerlichen Erzeugungsüberschüssen in die Wintermonate realisiert wird. Die Abgabe von thermischen Überschüssen, die über die Eigendeckung hinausgehen ist optional möglich.

5.2 Nutzungsmöglichkeiten für eigenerzeugte Energie

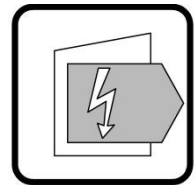
Die Nutzung der eigenerzeugten Energie spielt bei Energie[⊕]-Versorgungskonzepten eine elementare Rolle. Die Energiebereitstellung muss, mit Ausnahme des ausschließlichen Bezuges von Fernwärme, die vollständige Versorgung mit Wärme sicherstellen. Eine reine Wärmeeinspeisung bei gleichzeitigem Wärmebezug ist nicht zulässig. Bei der elektrischen Erzeugung erstrecken sich die Möglichkeiten von vollständiger Eigennutzung bis zur kompletten Einspeisung.

Der Eigennutzungsgrad kann als Indikator für die „Netzverträglichkeit“ eines Energie[⊕]-Versorgungskonzeptes verstanden werden. Je mehr elektrische Energie selbst verbraucht wird, umso geringer ist die Beeinflussung des öffentlichen Versorgungsnetzes durch die Einspeisung der regenerativen Energieüberschüsse.

Auch für den Eigennutzungsgrad werden keine Mindestanforderungen an Energie[⊕]-Versorgungskonzepte gestellt. Die Empfehlung, einen möglichst hohen Eigendeckungsgrad anzustreben, schließt die Empfehlung für den Eigennutzungsgrad mit ein.

5.2.1 Vollständige Einspeisung

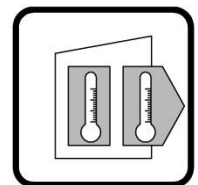
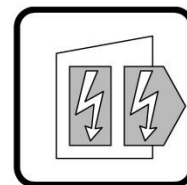
Die vollständige Einspeisung der elektrischen Energie stellt die einfachste Umsetzungsvariante dar. Die erzeugte elektrische Energie wird nicht selbst genutzt, sondern vollständig in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist und vergütet. Die erzeugte Wärme wird primär zur Eigenversorgung genutzt. Bei eigenerzeugter Wärme aus regenerativen Energiequellen und vollständiger thermischer Eigendeckung ist zusätzlich eine Überschusseinspeisung denkbar. Eine vollständige Einspeisung der erzeugten Wärme ist bei Energie[⊕]-Versorgungskonzepten nicht zulässig, da diese vorrangig immer selbst genutzt werden muss.



Vollständige elektrische Einspeisung lässt sich sehr leicht umsetzen, da die elektrische Energieversorgung der Verbraucher und die Einspeisung der erzeugten elektrischen Energie nicht in Verbindung stehen. Diese Variante bietet sich unter anderem für die Nachrüstung einer PV-Anlage, Windkraftanlage oder auch einem BHKW in bestehenden Konzepten an. Auf diese Weise kann ein bilanzieller Ausgleich des Energiebezugs durch die eingespeiste Energie erfolgen, ohne Änderungen an der bisherigen Anlagen- und Zählerstruktur vornehmen zu müssen. Die Kosten für die elektrische Erzeugungsanlage werden von allen Beteiligten anteilig getragen und die Erlöse auf dieselbe Art und Weise verteilt.

5.2.2 Vorrangige Eigennutzung mit Überschusseinspeisung

In diesem Fall wird die eigenerzeugte Energie primär selbst genutzt und in Spitzenerzeugungszeiten die elektrischen Überschüsse eingespeist. Der Energieüberschuss dient dem bilanziellen Ausgleich von Energiebezügen. Die Umsetzung von Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartieren mit teilweiser Eigennutzung der elektrischen Energie ist schwieriger als die vollständige Einspeisung der



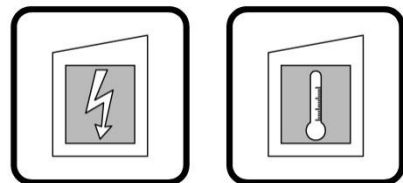
Überschüsse, da keine klare Trennung von Energiebezug, Eigennutzung und Überschusseinspeisung realisierbar ist. Einzig bei EFH bzw. einzelgenutzten Gebäuden ist dies möglich, da in diesem Fall der Nutzer der eigenerzeugten Energie, der Empfänger der Einspeisevergütung⁹ und der Träger der Kosten für den externen Energiebezug dieselbe Person ist.

Bei mehreren Parteien stellt sich dies komplexer dar, da eine Verteilung der Erträge und Verbräuche durchgeführt werden muss. Eine eindeutige Zuteilung der Verbräuche nach eigenerzeugter und aus dem öffentlichen Netz bezogener Energie für jede einzelne Partei lässt sich nur mit sehr hohem technischen Aufwand realisieren. Aus diesem Grund ist eine Umsetzung bei mehreren Beteiligten nur durch die Gründung einer Betreibergesellschaft möglich. In dieser Gesellschaft sind alle Nutzer verpflichtend Mitglied. Die Gesellschaft versorgt alle Einheiten nicht nur mit Wärme, sondern zusätzlich mit elektrischer Energie. Die Eigentümer verpflichten sich, Wärme und elektrische Energie ausschließlich aus der gemeinsamen Energiebereitstellung zu beziehen. Der Eigentümer verzichtet somit auf das Wahlrecht des Stromanbieters, das ihm durch die Liberalisierung¹⁰ der deutschen Strommärkte rechtlich zusteht. Um jedoch eine möglichst hohe Eigennutzung der erzeugten Energie zu erreichen ist dies unumgänglich. Die gemeinschaftliche Energieversorgung aller Parteien kann alternativ durch ein Energie-Contracting-Unternehmen (ECU) erfolgen.

Trotz der genannten Bedingungen ist dies eine sehr interessante Umsetzungsvariante. Die Einspeisevergütung, aber vor allem die vermiedenen Kosten für den Energiebezug machen die Variante interessant. Neben dem monetären Aspekt ist zusätzlich der positive Einfluss der Eigennutzung für das öffentliche Netz durch die mögliche Reduzierung der Einspeisespitzen zu nennen. [ISE 2013]

5.2.3 Vollständige Eigennutzung

Wird die erzeugte Energie vollständig selbst genutzt, stehen keine Überschüsse für die Einspeisung in öffentliche Netze oder zur Abgabe an bekannte Dritte zur Verfügung. Somit kann kein bilanzieller Ausgleich für den Energiebezug von außen erfolgen. Eine vollständige Eigennutzung der



erzeugten Energie ist dann möglich, wenn die Eigenerzeugung nur einen Teil des gesamten Energiebedarfs bereitstellt und zudem ausreichend große Speicher zur Verfügung stehen. Die eigenerzeugte Wärme wird vollständig selbst genutzt und deckt den thermischen Energiebedarf für den Gebäudebetrieb voll ab. Überschüsse sind die Ausnahme. Bei der erzeugten elektrischen Energie ist eine vollständige Eigennutzung bei gleichzeitig vollständiger Eigendeckung nur durch große Speicher möglich.

⁹ Eingespeiste elektrische Energie aus erneuerbaren Quellen wird nach dem erneuerbare Energien-Gesetz [EEG 2014] und aus KWK nach dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz [KWKG 2002] vergütet.

¹⁰ Die Liberalisierung der deutschen Strommärkte erfolgte das erste Mal im Energiewirtschaftsgesetz 1998. [EnWG 1998] Dieses wurde 2005 novelliert. [EnWG 2005] Die letzte Änderung datiert vom 21. Juli 2014.

5.3 Energiebezug

Der Energiebezug hängt zunächst vom benötigten elektrischen und thermischen Energiebedarf für den Gebäudebetrieb ab, der die thermischen Energiebedarfe für Heizung, TWW-Bereitung und Kälte sowie die elektrischen Energiebedarfe für Haushaltsstrom, Beleuchtung und die Hilfsenergie beinhaltet (siehe Diagramm 5-1). Die Reduzierung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb führt auch zur Verringerung des Energiebezugs.

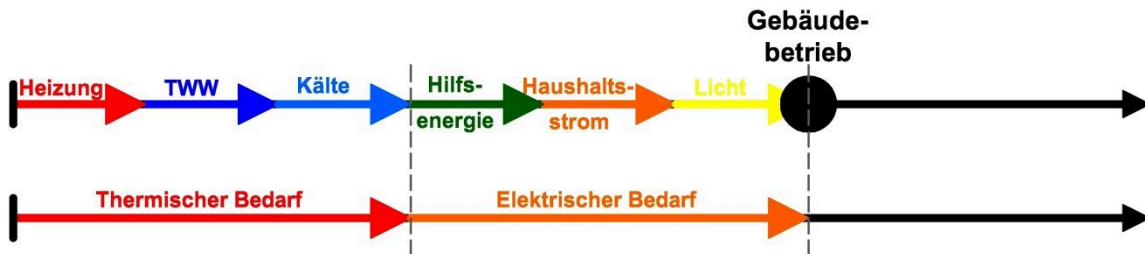


Diagramm 5-1: Thermische und elektrische Energiebedarfe für den Gebäudebetrieb

Bei Energie⁺-Versorgungskonzepten kann der externe Energiebezug von Brennstoffen, Fernwärme und elektrischer Energie noch auf eine weitere Art positiv beeinflusst werden. Durch die elektrische und thermische Eigendeckung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb aus erneuerbaren Energiequellen wird der externe Energiebezug reduziert: Je höher der Eigendeckungsgrad, umso geringer der Energiebezug aus externen Energiequellen. Somit ist der Eigendeckungsgrad, wie in Diagramm 5-2 zu sehen, auch ein Indikator für den Energiebezug. Energieautarke Konzepte decken ihren Energiebedarf für den Gebäudebetrieb vollständig aus eigenen Energiequellen und verzichten somit vollständig auf Energiebezug.

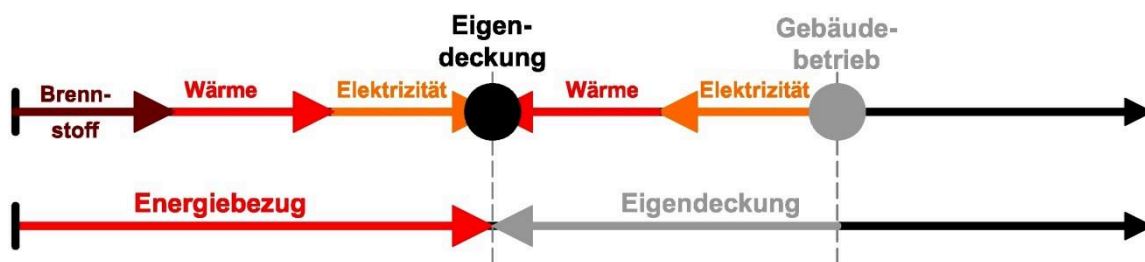


Diagramm 5-2: Interne und externe Energieströme zur Deckung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb

Aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht ist eine hohe Eigendeckung und somit ein geringer Bezug von externer Energie zielführend.

5.4 Energieabgabe

Bei Energie⁺-Versorgungskonzepten spielt neben dem Energiebezug auch die Energieabgabe von erzeugten elektrischen und thermischen Überschüssen eine entscheidende Rolle. Die möglichen Energieüberschüsse hängen von der eigenen Energiebereitstellung ab. Sie stellt aus fossilen Brennstoffen und erneuerbaren Energien, unabhängig vom Ort der Gewinnung,

unter Berücksichtigung der Erzeugungs- und Verteilverluste elektrische und thermische Energie bereit. Die relevanten Energieströme sind in Diagramm 5-3 dargestellt.

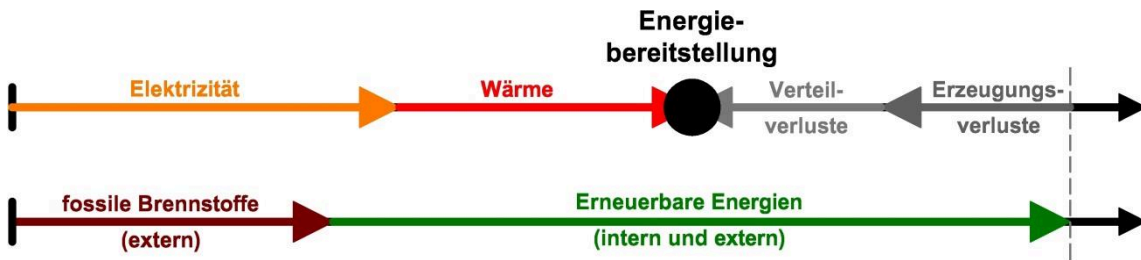


Diagramm 5-3: Zu berücksichtigende Energieströme zur Bereitstellung von elektrischer und thermischer Energie

Die bereitgestellten Energien werden, wie in Diagramm 5-4 gezeigt, entweder für den Gebäudebetrieb oder die eigene Elektromobilität selbst genutzt oder als Überschüsse nach außen abgegeben. Die Elektromobilität nimmt hierbei eine Sonderstellung ein. Die in eigenen Elektrofahrzeugen verbrauchte elektrische Energie erhöht den elektrischen Eigennutzungsgrad und wird gleichzeitig als Überschuss gewertet und somit dem Versorgungskonzept bilanziell als Energieabgabe angerechnet.

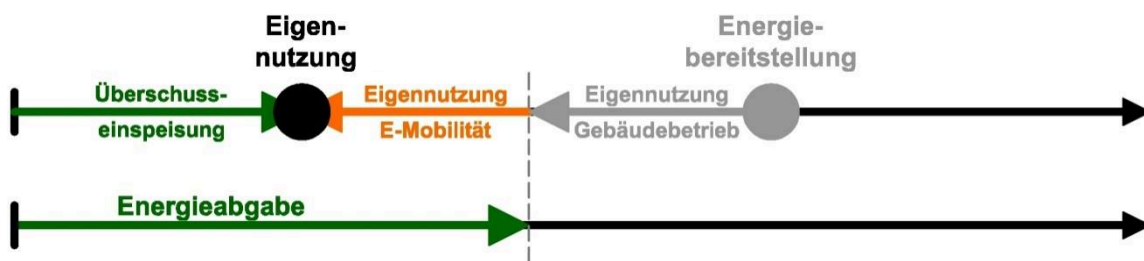


Diagramm 5-4: Energetischer Zusammenhang von Energiebereitstellung, Eigennutzung und Energieabgabe

5.5 Zusammenhang der Energieströme

Für die Bewertung des Gesamtsystems werden bei Energie[⊕]-Objekten die ein- und ausgehenden Energieströme verglichen. Das sind zum einen der Energiebezug in Form von fossilen und erneuerbaren Energieträgern für die Eigenerzeugung von thermischer und elektrischer Energie und zum anderen der direkte Bezug von Wärme und Elektrizität aus öffentlichen Versorgungsnetzen zur Deckung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb. Dem Energiebezug werden die abgegebenen beziehungsweise mit Hilfe eigener Elektromobilität genutzten elektrischen und thermischen Energieüberschüsse bilanziell gegenübergestellt. Diagramm 5-5 zeigt ein Korrelations-Diagramm, dass die Gegenüberstellung von Energiebezug und Energieabgabe ermöglicht (Voss 2010). Auf der Abszisse wird die Summe des Energiebezugs aufgetragen, während die Ordinate die abgegebenen Überschüsse darstellt.

Eine Reduzierung des elektrischen und thermischen Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb wirkt sich positiv auf die Gesamtbilanz des Energie \oplus -Objektes aus, da hiermit auch eine Reduzierung des benötigten Energiebezuges einhergeht. Zusätzlich kann der externe Energiebezug durch die Eigendeckung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb aus vor Ort vorhandenen erneuerbaren Energiequellen reduziert werden, was sich ebenfalls positiv auf die Bilanz des Gesamtsystems auswirkt.

Der Energiebezug und die Abgabe sind über die eigene Energiebereitstellung miteinander verknüpft. Je höher die Eigendeckung des Gesamtsystems aus lokalen erneuerbaren Energiequellen am Energiebedarf für den Gebäudebetrieb ist, umso weniger Energie muss von Extern bezogen werden. Natürlich reduzieren sich durch die Eigennutzung für den Gebäudebetrieb auch die eingespeisten Überschüsse. In Summe überwiegen die Vorteile bei Eigennutzung. Es sollten immer möglichst hohe Eigendeckungs- und Eigennutzungsgrade angestrebt werden. Der Einsatz von Speichern hilft hierbei.

Wird der Energiebezug, wie in Diagramm 5-5 gezeigt, von der abgegebenen Energie bilanziell ausgeglichen, spricht man von Null-Energie. Sie bildet den Übergang zur Plus-Energie, die erreicht ist, wenn die Abgabe bilanziell den Energiebezug übersteigt.

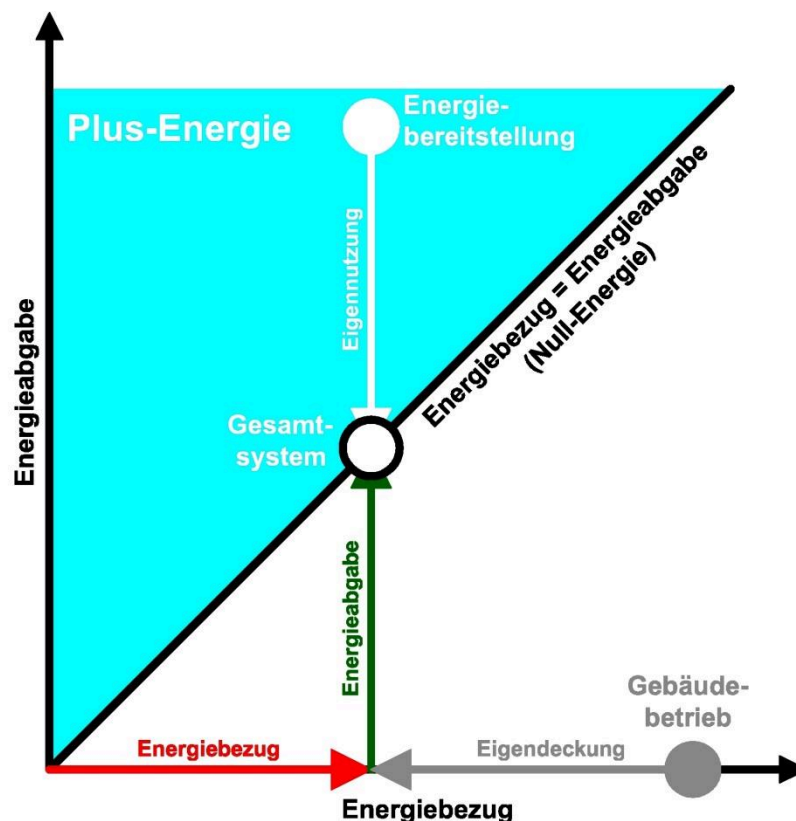


Diagramm 5-5: Grundaufbau des Effizienzklassendiagrammes. Auf der Abszisse wird der externe Energiebezug aufgetragen, während auf der Ordinate die abgegebene Energie angezeigt wird. Wird der Energiebezug durch die Einspeisung bilanziell ausgeglichen, spricht man von einem Null-Energie-Konzept. Ist die abgegebene Energiemenge größer als der Bezug liegt man im Plusenergiebereich. [Voss 2010]

6 NUTZERVERHALTEN

Das Nutzerverhalten hat elementaren Einfluss auf den Energieverbrauch von Gebäuden. Die in diesem Kapitel der Arbeit vorgestellten Ergebnisse wurden aus den Erkenntnissen abgeleitet, die im Rahmen des FV +Eins am Ludmilla-Wohnpark Landshut gewonnen wurden. Während durch die Gebäudedämmung ausschließlich der Heizenergiebedarf und durch die Gebäude- und Anlagentechnik primär die Erzeugungs- und Verteilverluste beeinflusst werden können, hat das Nutzerverhalten Auswirkungen auf alle Ressourcenverbräuche im Gebäude. Auch die Größe des betrachteten Versorgungskonzeptes muss Beachtung finden. Je weniger Einheiten beispielsweise ein Siedlungskonzept enthält, umso stärker wirken sich Nutzer mit energieverschwendendem oder -sparendem Verhalten auf das Gesamtvorhaben aus, was die verlässliche Vorhersage des Energieverbrauchs bereits in der Planungsphase erschwert. Um eine positive Beeinflussung des Nutzerverhaltens zu ermöglichen, muss zunächst ein grundlegendes Verständnis der Erwartungen und Einstellungen von Nutzern gegenüber energieeffizienten Gebäuden vorhanden sein und darauf abgestimmte Werkzeuge zur Nutzersensibilisierung zur Verfügung gestellt werden.

6.1 Nutzerverständnis

Bewohnern energieeffizienter Gebäude ist der Einfluss des eigenen Verhaltens auf den Energieverbrauch durchaus bewusst. Diese Tatsache zeigt sich aus den Befragungen¹¹ der Bewohner im LWP. Wie groß der Einfluss jedoch tatsächlich ist, wird stark unterschätzt. Beeinflussungspotentiale werden in erster Linie beim Haushaltsstrom gesehen. Das Bewusstsein, Heizwärme und thermische Energie für die TWW-Bereitung durch das eigene Verhalten einzusparen, ist nicht vorhanden. Der Komfort steht immer vor der Energieeinsparung. Auch liegt die Motivation für energieeffiziente Gebäude weniger im Ziel niedriger Energieverbräuche, sondern vielmehr in der Erwartung niedriger Energiekosten. Diese Tatsache ist speziell für Energie⁺-Objekte förderlich, da diese durch die eigene Energiebereitstellung aus erneuerbaren Quellen vor Ort die Kosten für den Energiebezug deutlich reduzieren und durch die Abgabe von Energieüberschüssen zusätzliche Einnahmen entstehen.

¹¹ Im Rahmen des FV +Eins wurden in Kooperation mit Frau Prof. Dr. Cordula Kropp und den Studentinnen Frau Sarah Baumann und Frau Sonja Gwinner der Fakultät für angewandte Sozialwissenschaften der Hochschule München zwei sozialwissenschaftliche Befragungen durchgeführt. Die Befragungen fanden kurz nach dem Erstbezug im Zeitraum Juni 2011 bis Februar 2012 (1. Befragung) und ca. ein Jahr nach Bezug im Zeitraum Januar bis März 2013 (2. Befragung) statt. An der 1. Befragung nahmen 43 der 64 (66 %) zu diesem Zeitpunkt bezogenen Wohneinheiten teil. Zum Zeitpunkt der 2. Befragung waren alle Wohneinheiten bezogen. Es beteiligten sich 30 der 68 Haushalte (44 %). Jeder Haushalt durfte nur einmal teilnehmen. Die dargestellten Antworten aus den Diagrammen 6-1, 6-2 und 6-5 resultieren aus offenen Fragen mit der Möglichkeit zur Mehrfachnennung von Antworten. Bei den Diagrammen 6-3 und 6-4 handelt es sich um vorgegebene Aussagen (geschlossene Fragen), denen die Teilnehmer voll, in gewissem Masse, weniger oder gar nicht zustimmen beziehungsweise „weiß nicht“ auswählen konnten. Es wurden nicht von allen teilnehmenden Haushalten alle Fragen beantwortet. Die Fragenform und die Anzahl der jeweils antwortenden Teilnehmer sind in den Diagramm nochmals explizit angegeben.

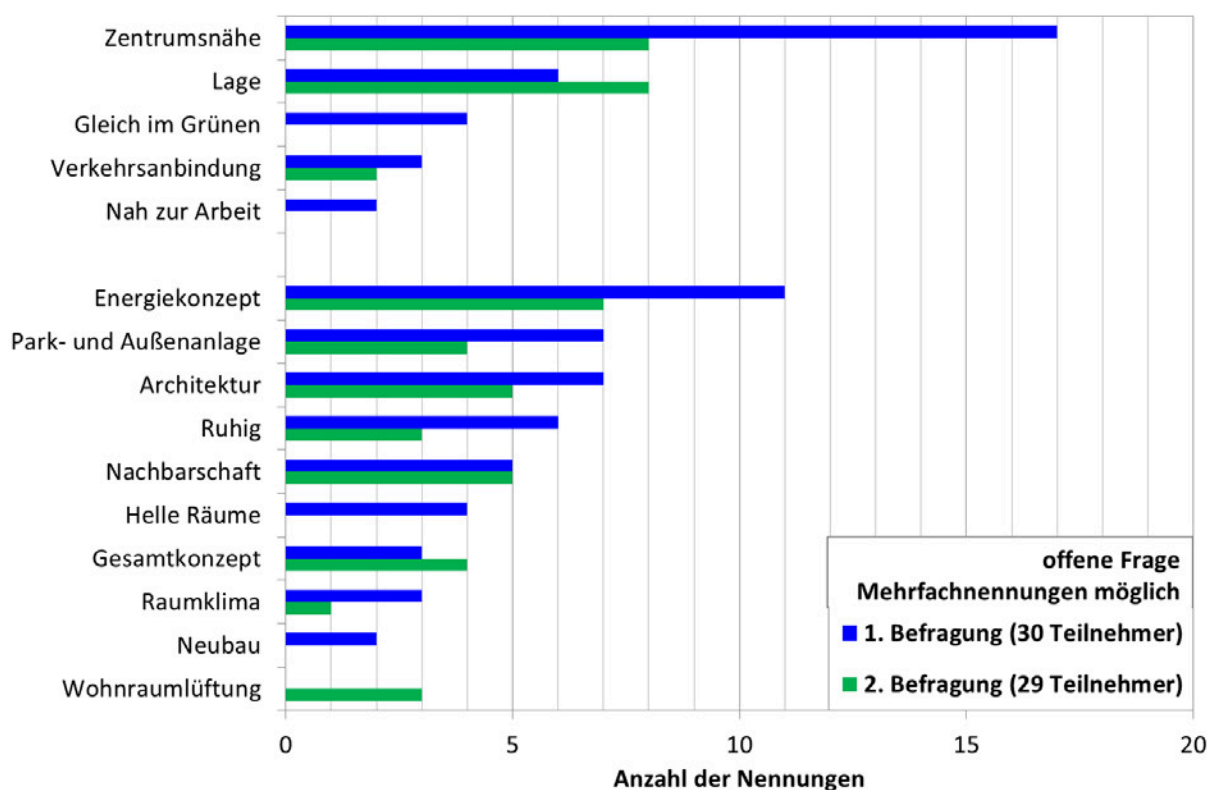


Diagramm 6-1: Antworten der Bewohner im LWP auf die offenen Fragen:

1. Befragung (30 Teilnehmer): „Was macht den Ludmilla-Wohnpark für Sie besonders?“

2. Befragung (29 Teilnehmer): „Was gefällt Ihnen am Ludmilla-Wohnpark besonders?“

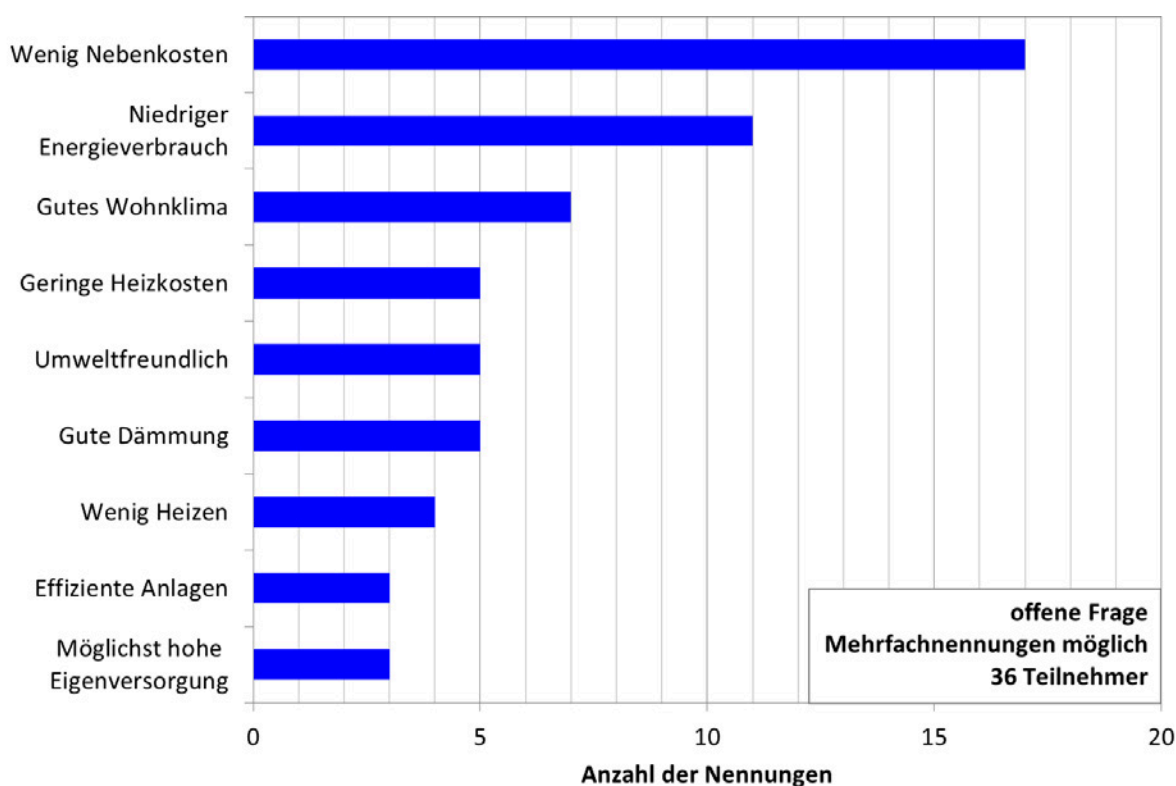


Diagramm 6-2: Antworten der 36 Teilnehmer auf die offene Frage „Was verstehen Sie persönlich unter einem energieeffizienten Gebäude?“ im Rahmen der 1. Bewohnerbefragung im LWP.

6.1.1 Entscheidungskriterien für energieeffiziente Gebäude

Um die Entscheidungskriterien für den Kauf eines energieeffizienten Gebäudes zu analysieren, wurden im Rahmen von zwei Befragungen im LWP die besonderen Vorzüge eines solchen Bauvorhabens ermittelt. Die Ergebnisse sind in Diagramm 6-1 dargestellt.

„Die Lage einer Immobilie ist und bleibt das Kriterium Nummer eins.“ [Kippes 2014: 42]

Diese Aussage hat sich auch bei der Befragung im LWP bestätigt. Die Lage und die damit verbundenen Eigenschaften wie die Zentrumsnähe, der kurze Weg ins Grüne und zur Arbeit sowie die Verkehrsanbindung haben sich als entscheidende Kriterien heraus gestellt. Zusätzlich zeigt sich, dass sowohl das Energie- als auch das Architekturkonzept als Besonderheit gesehen werden und Faktoren für die Wahl dieser Immobilie darstellten. Interessant ist auch die Nennung der Wohnraumlüftung in der zweiten Befragung, welche sich für einige Bewohner des LWP nach den gewonnenen Erfahrungen als besonders erwähnenswert gezeigt hat und offensichtlich einen besonderen Wert für Bewohner energieeffizienter Gebäude entwickeln kann.

6.1.2 Erwartungen an energieeffiziente Gebäude

Um die Erwartungen an energieeffiziente Gebäude zu ermitteln, wurde in einer Befragung im LWP gefragt, was Bewohner unter einem solchen Gebäude verstehen (Diagramm 6-2).

„Eine Studie der TAG Immobilien AG in Zusammenarbeit mit der TU Darmstadt zeigt, dass sich Mieter [...] um ihre Nebenkosten sorgen.“ [Kippes 2014: 31]

Der Wunsch nach niedrigen Nebenkosten hat sich auch im LWP als der dominierende Aspekt gezeigt, ohne auf die Form der Nebenkosten einzugehen. Niedrigen Energieverbrauch sehen, im Vergleich zu den Kosten, deutlich weniger mit energieeffizienten Gebäuden verbunden. Nur wenige Antworten nannten explizit die Heizkosten. Dies könnte bedeuten, dass entweder nicht zwischen Heiz- und Nebenkosten unterschieden wird, oder an ein energieeffizientes Gebäude nicht nur hohe Erwartungen bezüglich der Heizenergie gestellt werden, sondern auch in Bezug auf beispielsweise den Stromverbrauch, der jedoch nicht vom Gebäude, sondern vom Nutzerverhalten und der Effizienz der eingesetzten Elektrogeräte abhängig ist. Somit ist der Einsatz von hocheffizienten Geräten und Werkzeugen zur Sensibilisierung der Nutzer ebenso wichtig, wie das Gebäude und die Anlagentechnik selbst.

Gutes Wohnklima wird von einem energieeffizienten Gebäude ebenso erwartet wie gute Wärmedämmung und Umweltfreundlichkeit. Die Qualität der Gebäudekonstruktion und der eingesetzten Materialien stehen im Fokus, während der eingesetzten Technik eher eine untergeordnete Rolle zukommt.

6.1.3 Einstellung der Nutzer zum Thema Energiesparen

Die allgemeine Einstellung der Bewohner von energieeffizienten Gebäuden zum Thema Energiesparen konnte ebenfalls mit Hilfe einer Befragung im LWP analysiert werden. Die Ergebnisse sind nach Relevanz für die Befragten sortiert in Diagramm 6-3 dargestellt.

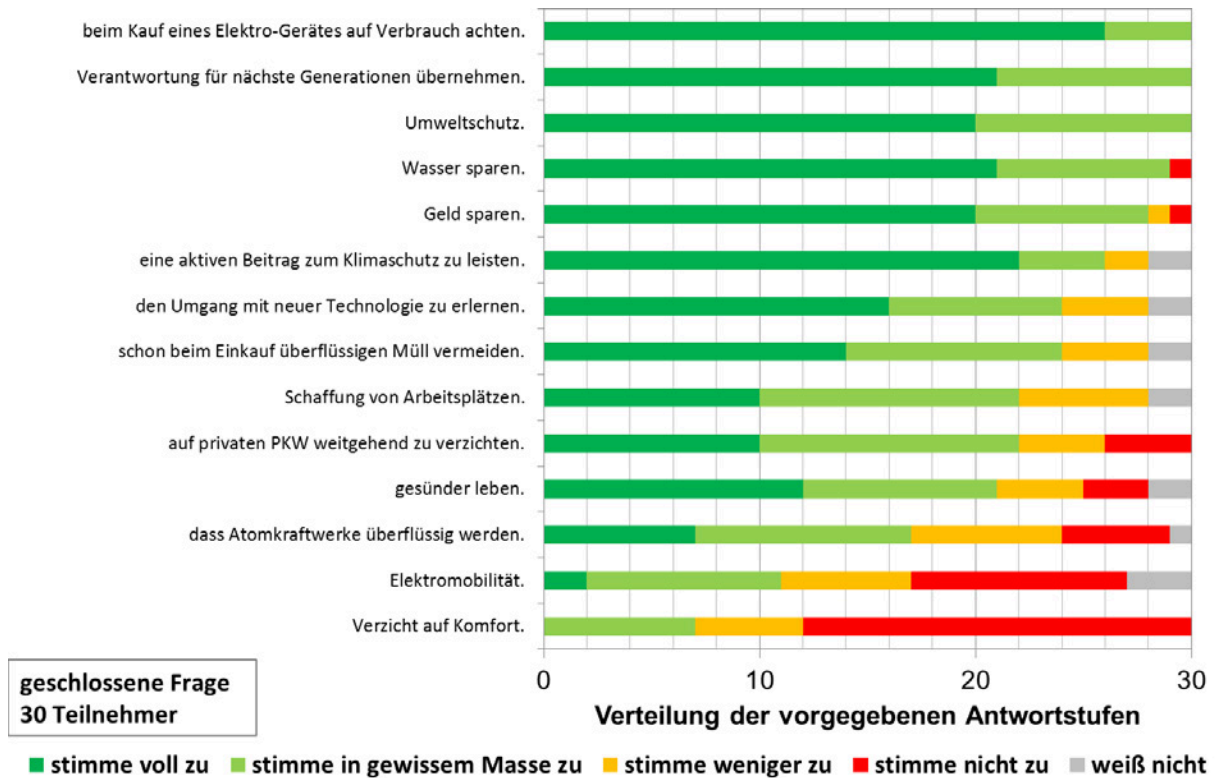


Diagramm 6-3: Verteilung der vorgegebenen Antwortstufen der 30 Teilnehmer auf die geschlossene Frage „Energiesparen bedeutet für mich...“ im Rahmen der 2. Bewohnerbefragung im LWP.

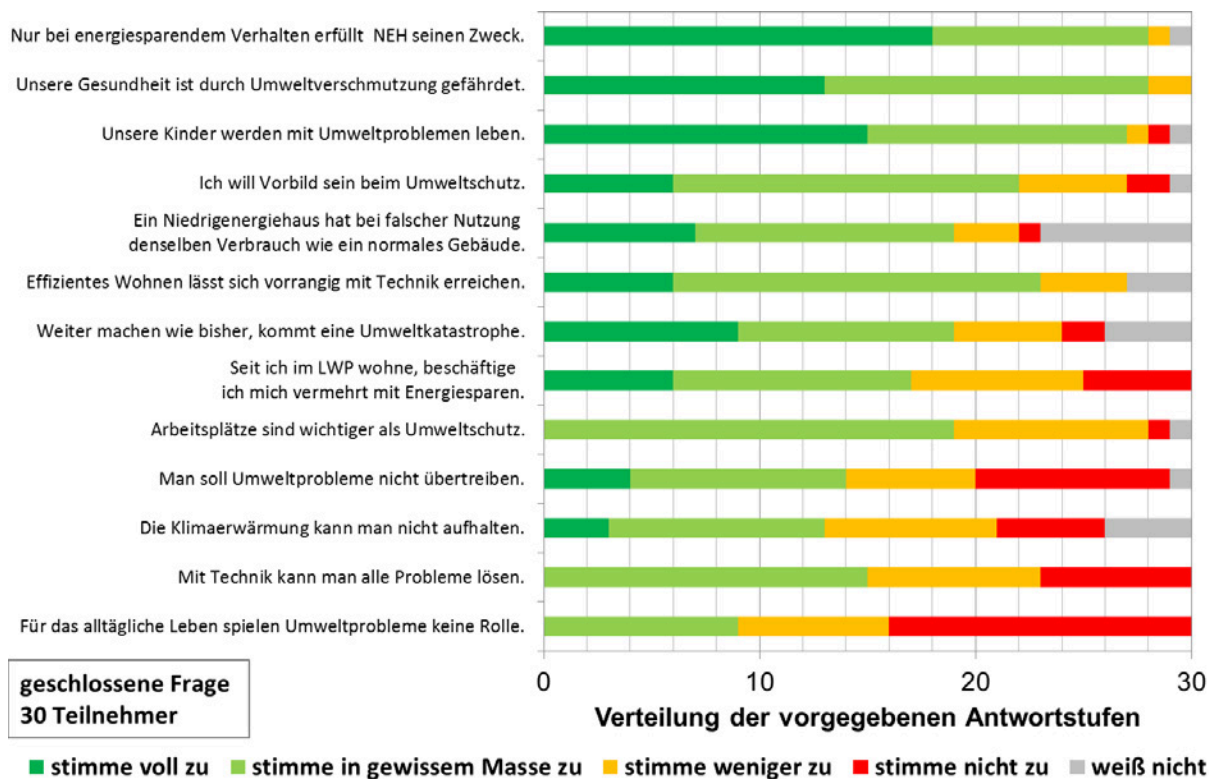


Diagramm 6-4: Verteilung der vorgegebenen Antwortstufen der 30 Teilnehmer auf die geschlossene Frage „Wie bewerten Sie folgende Aussagen?“ im Rahmen der 2. Bewohnerbefragung im LWP.

Bei den meisten Befragten ist das Verständnis vorhanden, dass ihr Handeln großen Einfluss auf den eigenen Energieverbrauch hat. Auch die Verknüpfung von Energieverbrauch und Umweltbeeinflussung ist vorhanden. Verzicht auf Komfort stellt jedoch keine Option dar.

Beim Neukauf von Elektro-Geräten auf den Verbrauch zu achten wurde, von annähernd allen Befragten als sehr sinnvoll erachtet. Aus den weiteren Antworten lässt sich deutlich ableiten, dass von den befragten Personen Energiesparen direkt mit Umwelt- und Klimaschutz in Verbindung gebracht wird und ihnen der Einfluss des eigenen Handelns auf zukünftige Generationen bewusst ist. Themen wie Wasser und Geld sparen werden von den meisten ebenfalls mit Energiesparen in Verbindung gebracht. Sehr interessante Rückschlüsse können auch aus den Thesen gezogen werden, die von den Befragten nicht direkt mit Energiesparen in Verbindung gebracht werden. Allem voran ist hier der Verzicht auf Komfort zu nennen. Es wird vermutet, dass diese Frage von den Teilnehmern weniger so gedeutet wurde, ob durch den Verzicht auf Komfort Energieeinsparung möglich ist, sondern ob die Befragten für Energieeinsparung auf Komfort verzichten würden. Das ist augenscheinlich nicht der Fall. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Mobilität. Elektromobilität wurde von den Antwortenden zur Zeit der Befragung Anfang 2013 noch nicht mit Energieeinsparung in Verbindung gebracht. Auch der Verzicht auf den privaten PKW stellt keine Option zur Energieeinsparung dar. Dies könnte an der Lage des LWP im ländlichen Raum liegen, in dem der öffentliche Nahverkehr nicht in dem Maß vorhanden ist wie in Großstädten und im Alltag häufig längere Wegstrecken zurück gelegt werden müssen. Es wird ungern auf die Flexibilität eines eigenen PKW verzichtet und oft die Reichweite elektrischer Automobile als nicht ausreichend erachtet. Um die Aussagekraft der Thesen aus Diagramm 6-3 in Bezug auf den Umweltschutz nochmals zu untermauern, wurden ergänzend vergleichbare Thesen in einem anderen textlichen Kontext zur Diskussion gestellt. Diese sind in Diagramm 6-4 zu sehen. Auch hier hat sich gezeigt, dass den Befragten die Konsequenzen des Handelns der Menschheit auf die Umwelt bewusst sind. Jedoch wird die Meinung, die Klimaerwärmung nicht mehr aufhalten zu können, meist nicht geteilt.

Sehr interessant ist auch das Bewusstsein der meisten Befragten dafür, dass energieeffiziente Gebäude nur bei energiesparendem Verhalten ihren Zweck erfüllen können. Die Antworten auf die Aussage, dass Niedrigenergiehäuser (NEH) bei falscher Nutzung den gleichen Verbrauch haben wie normale Gebäude, untermauern dies. Der Einsatz von Technik wird als wichtiger Aspekt gesehen. Im Vergleich zur Nutzung spielt Technik in den Augen der Befragten allerdings eine untergeordnete Rolle und ist nicht die Lösung für alle Probleme.

6.1.4 Einsparungsmöglichkeiten aus Sicht der Nutzer

Diagramm 6-5 zeigt die Antworten einer Befragung der Bewohner des LWP auf die Frage, was sie persönlich tun, um Energie zu sparen.

Energiesparen wird von den meisten Bewohnern mit Stromsparen gleichgesetzt. Das Bewusstsein, thermische Energie durch bewusstes Verhalten einzusparen, ist hingegen noch nicht so tief verankert.

Fast die Hälfte der Teilnehmenden gab an, auf die Vermeidung von Standby zu achten und effiziente Elektrogeräte einzusetzen. Weitere relevante Einsparmöglichkeiten werden von den Bewohnern im Einsatz von Energiesparlampen und in der Anpassung des eigenen Heizverhaltens gesehen.

Das thermische Einsparpotential durch energiesparendes Verhalten wird von den Befragten nicht so hoch eingeschätzt. Dies liegt zum einen vermutlich an der allgemeinen Meinung, dass hoch gedämmte Gebäude kaum Heizenergie benötigen. Ein weiterer Faktor sind die vergleichsweise niedrigen Kosten für Wärme im Vergleich zu elektrischer Energie. Interessant ist auch die Tatsache, dass Wasser sparen nur von einer vergleichsweise kleinen Gruppe mit Energieeinsparung verbunden wird.

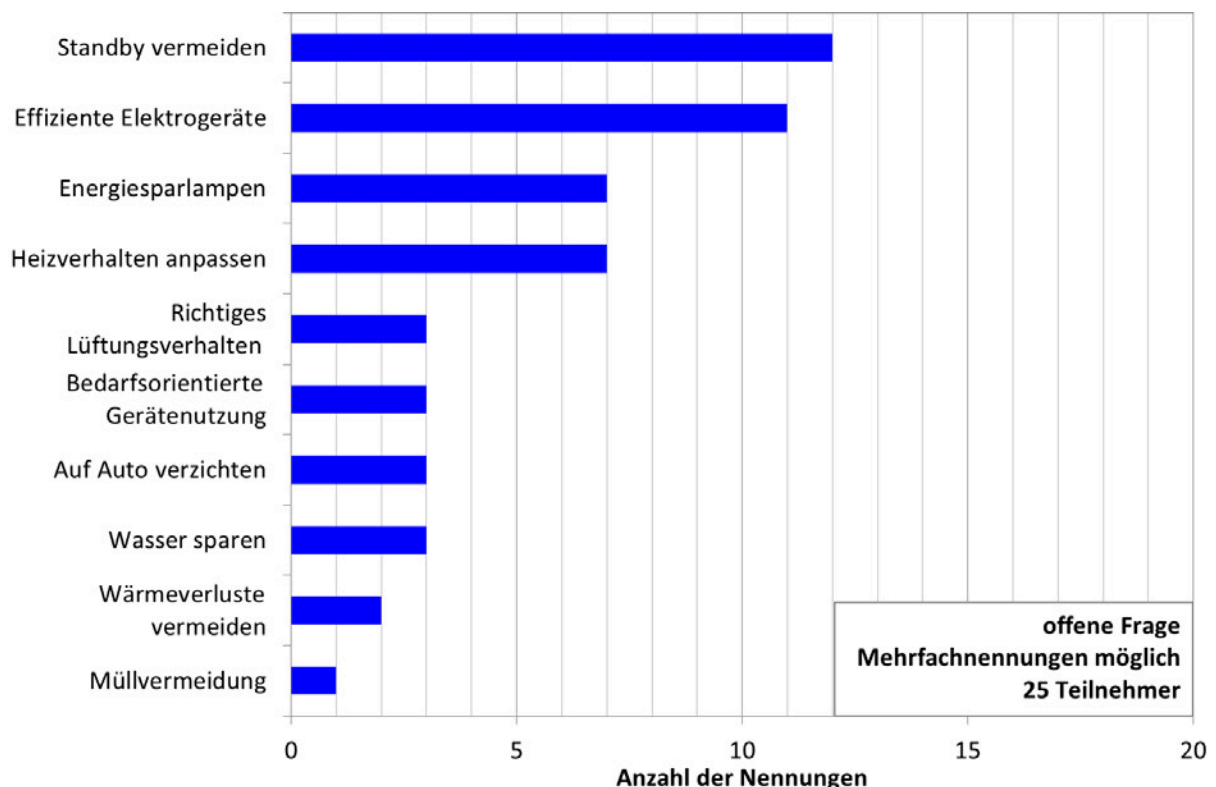


Diagramm 6-5: Antworten der 25 Teilnehmer auf die offene Frage „Was tun Sie persönlich, um Energie zu sparen?“ im Rahmen der 2. Bewohnerbefragung im LWP.

6.1.5 Erkenntnisse für Energie⁺-Konzepte

Nutzer erwarten sich durch die Entscheidung für ein energieeffizientes Gebäude niedrige Energiekosten. Die eingesetzte Energiemenge für den Gebäudebetrieb spielt hierbei nicht die entscheidende Rolle. Diese Tatsache ist für Energie⁺-Objekte von besonderer Bedeutung, da durch die elektrische und thermische Eigenerzeugung aus erneuerbaren Quellen der Einkauf von Energie reduziert und zusätzlich durch die Vergütung von möglichen eingespeisten Überschüssen nach dem erneuerbare Energiengesetz [EEG 2014] sogar Geld verdient werden kann.

Den meisten Nutzern ist der Einfluss ihres eigenen Handelns bewusst. Sie möchten jedoch aus Gründen der Energieeinsparung nicht auf Komfort verzichten, sondern sehen den hierfür notwendigen Energieeinsatz vielmehr als Luxus. Energie⁺-Objekte bieten die Möglichkeit, den benötigten Energiebedarf für die Bereitstellung des gewünschten Komforts aus erneuerbaren Energien selbst zu decken.

Den meisten Nutzern ist bewusst, dass Gebäude nur bei richtigem Verhalten die gesteckten Ziele erreichen können. Energieeinsparung wird von den meisten Bewohnern jedoch primär mit der Einsparung von elektrischer Energie gleichgesetzt. Die thermischen Einsparpotentiale werden von den Bewohnern vermutlich durch den hohen Dämmstandard und die vergleichsweise geringen Kosten als irrelevant eingeschätzt. Der Energieeinsatz für die TWW-Bereitung wird von kaum einem Bewohner als bedeutender oder durch das eigene Verhalten beeinflussbarer Energieverbrauch wahrgenommen. Um das Bewusstsein für den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch zu schärfen und die gesteckten energetischen Ziele nicht durch verschwendendes Verhalten zu gefährden, müssen bei Energie⁺-Objekten Werkzeuge zur Nutzersensibilisierung zum Einsatz kommen.

Um den tatsächlichen Einfluss und somit die Bedeutung des Nutzerverhaltens bei Energie⁺-Objekten abschätzen zu können, werden im folgenden Kapitel exemplarisch die Nutzerenergieverbräuche des LWP untersucht und daraus Aussagen über den Einfluss des Nutzerverhaltens abgeleitet.

6.2 Nutzereinfluss

Das Energieverhalten von Menschen ist so unterschiedlich wie die Menschen selbst. Im Normalfall bewegt sich der Energieverbrauch von energieeffizienten Gebäuden wegen des sehr guten Gebäude- und Anlagenstandards auf einem niedrigen Niveau. Doch effiziente Gebäude und Anlagen können ihr Potential nur bei richtiger Nutzung voll ausschöpfen.

6.2.1 Abweichung von Nutzenergieverbräuchen

Unsachgemäßes Verhalten führt dazu, dass deutlich mehr Energie verbraucht wird als erwartet. Energiebewusstes Verhalten wiederum beeinflusst das Ergebnis positiv.

Heizung

Zur Verdeutlichung der Einflussfaktoren auf den Heizenergieverbrauch zeigt Diagramm 6-6 exemplarisch die Nutzenergieverbräuche aus dem LWP für 2013.

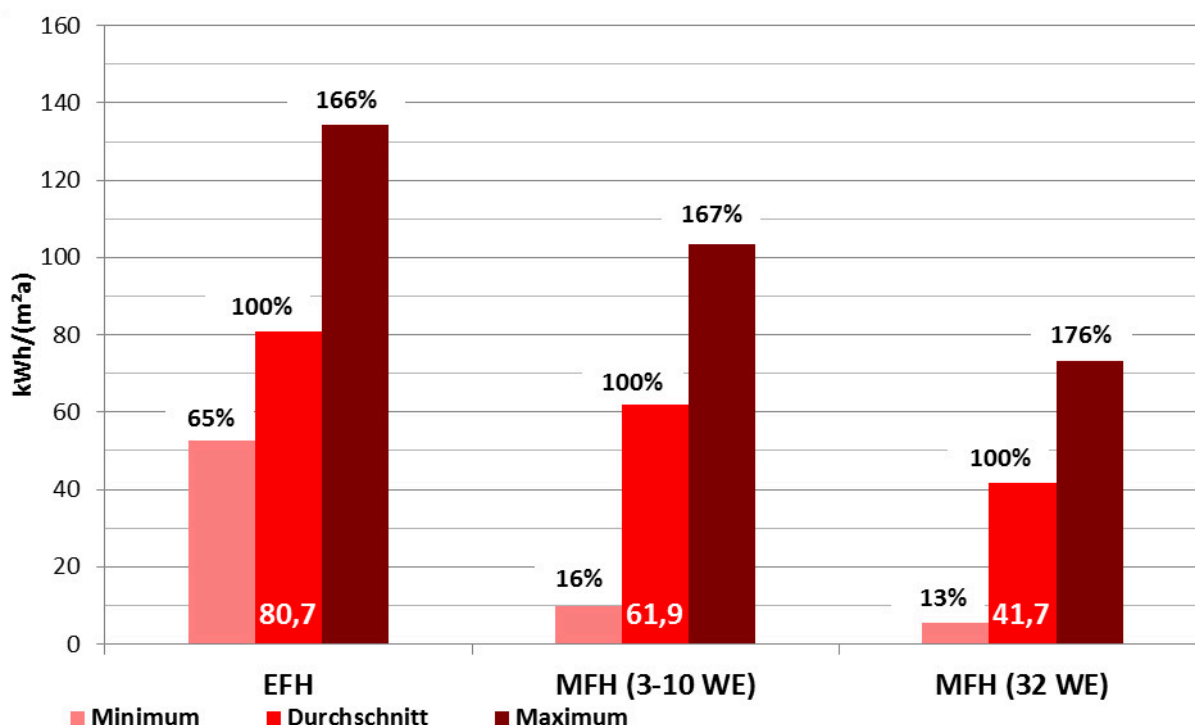


Diagramm 6-6: Jahressummen der durchschnittlichen, maximalen und minimalen Heizenergieverbräuche im LWP im Kalenderjahr 2013 und die Angabe der prozentualen Abweichungen der Extrema. Aufteilung in EFH, kleine MFH mit 3-10 Wohneinheiten sowie einer Zeilenbebauung mit 32 Wohnungen.

Die Gebäude verfügen alle über dieselben Außenbauteile und somit den gleichen energetischen Gebäudestandard. Sie unterscheiden sich jedoch in der Größe und Anzahl der Wohneinheiten. Zur besseren Veranschaulichung der verschiedenen Einflüsse werden der Durchschnitt sowie die minimalen und maximalen Verbräuche der einzelnen Wohneinheiten (WE) sowohl für die EFH, als auch die MFH mit 3-10 Wohnungen und einer Zeilenbebauung mit 32 Wohnungen vergleichend dargestellt. Die Varianz des thermischen Heizenergieverbrauchs ist aus dem Verhältnis des minimalen und maximalen Heizenergieverbrauchs vom Durchschnittswert ersichtlich, die sowohl vom Nutzerverhalten als auch den Gebäuden und der Lage der einzelnen Wohneinheiten in den Gebäuden

abhängig sind. Der Einfluss der Bauart ist deutlich an den unterschiedlichen Durchschnittswerten zu erkennen. Je kompakter das Gebäude ausgeführt ist, umso niedriger wird der durchschnittliche Heizenergieverbrauch. Doch noch ein weiterer Aspekt wird klar. Je niedriger der durchschnittliche Heizenergieverbrauch, umso größer wird die Abweichung der Extrema. Während sich die Verbräuche bei den EFH in einem Bereich von etwa 100 Prozent bewegen, sind es bei der Zeilenbebauung mehr als 150 Prozent.

Je kompakter die Bauweise und besser der Gebäudestandard, umso niedriger der Heizenergieverbrauch und höher der Einfluss des Nutzerverhaltens.

Zunächst liegt die Vermutung nahe, dass dies primär auf die Lage der Wohnung im Gebäude und somit den jeweiligen Außenflächenanteil zurück zu führen ist. Um den Anteil des Nutzerverhaltens an der Abweichung aufzuzeigen, werden in Diagramm 6-7 die gemessenen thermischen Nutzenergieverbräuche (rote Balken) für die Heizung der EFH im LWP den Sollwerten (graue Balken) für das jeweilige Gebäude gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Abweichungen bei reiner Betrachtung des Nutzereinflusses sogar noch zunehmen.

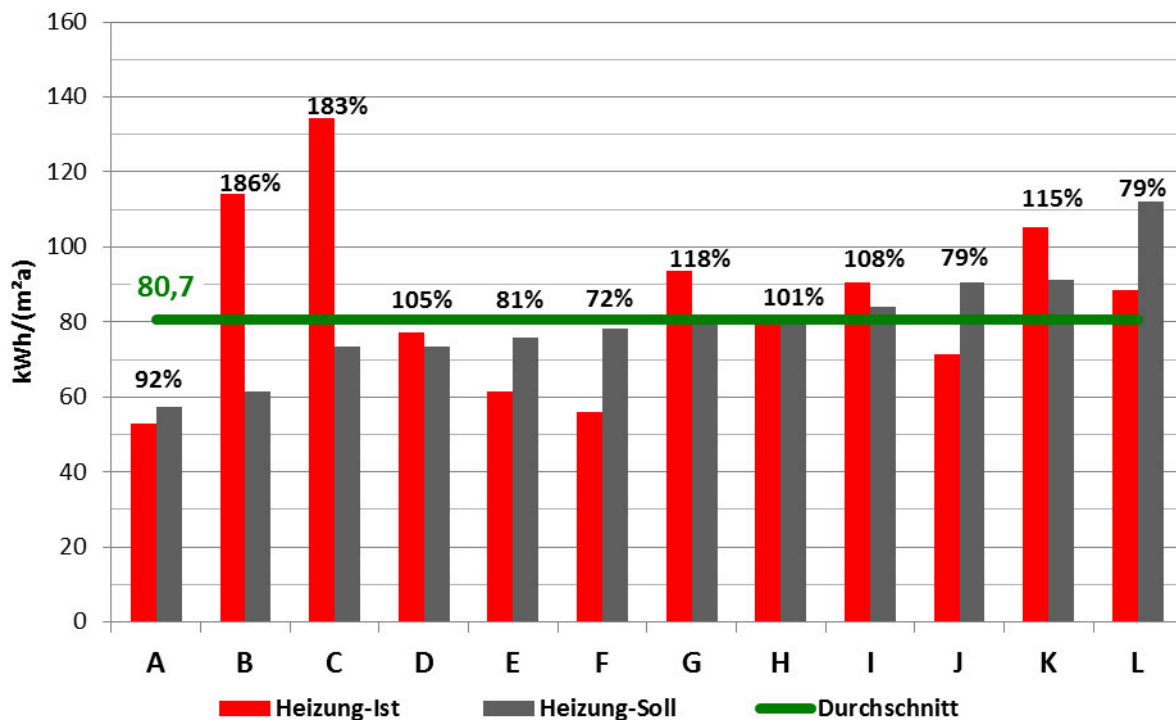


Diagramm 6-7: Vergleich der in 2013 für die EFH im LWP gemessenen (rot) Nutzenergieverbräuche für die Raumheizung mit simulierten (violett) Sollbedarfen und Angabe der relativen Abweichung von Soll und Ist.

Für die Sollwerte wurden mit Hilfe dynamischer Gebäudesimulation Umrechnungsfaktoren unter der Annahme gleicher Nutzung berechnet und diese mit dem gemessenen Durchschnittswert multipliziert. Es ist deutlich zu erkennen, dass die beiden größten Heizenergieverbräuche in Gebäuden vorliegen, welche aufgrund der Rahmenbedingungen sogar unter dem Durchschnitt liegen müssten. Der zweitniedrigste Heizenergieverbrauch herrscht in einem Gebäude, in dem ein Verbrauch nahe dem Durchschnitt zulässig wäre. Die untersuchten Messwerte zeigen den Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch für die Heizung deutlich auf. Der Nutzer hat ebenso großen Einfluss wie das Gebäude selbst.

Trinkwarmwasser

Der Nutzenergieverbrauch für die Erzeugung von Trinkwarmwasser (TWW) ist ausschließlich ein Ergebnis des Nutzerverhaltens und unabhängig vom energetischen Gebäudestandard. Diagramm 6-8 gibt beispielhaft den durchschnittlichen Nutzenergieverbrauch sowie den minimalen und maximalen Verbrauch für das Kalenderjahr (KJ) 2013 von 53 Wohnungen im LWP wieder. Da die TWW-Bereitung im LWP mit Hilfe von thermischen Frischwasserstationen erfolgt, sind in den gemessenen Werten keine Zirkulationsverluste, sondern nur der Nutzenergieverbrauch enthalten. Die Differenz zwischen dem größten und dem geringsten Energieverbrauch fällt im Vergleich zur Raumheizung nochmals deutlich größer aus und übersteigt im Extrem den Durchschnittsverbrauch um mehr als das Doppelte. Doch auch das Minimum liegt mit nur $\frac{1}{4}$ des Durchschnittswertes deutlich niedriger als bei der Heizung. In Ausnahmefällen kann der Energieverbrauch sogar noch um ein Vielfaches höher ausfallen. Die gezeigten Messwerte aus dem LWP unterstreichen den hohen Nutzereinfluss auf die TWW-Bereitung deutlich.

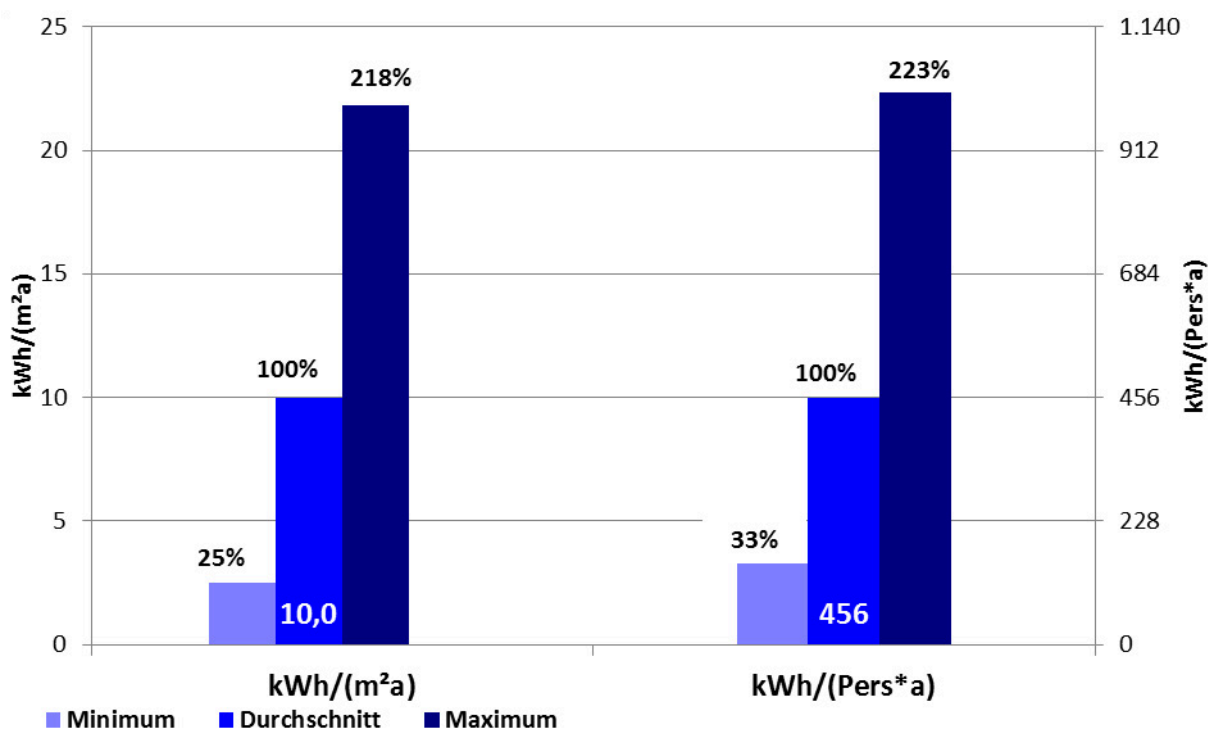


Diagramm 6-8: Flächen- und personenbezogene Jahressumme des durchschnittlichen Nutzenergieverbrauchs für TWW-Bereitung von 53 Wohnungen im LWP im KJ 2013 und die Angabe der prozentualen Abweichungen

Haushalts- und Allgemeinstrom

Diagramm 6-9 zeigt den durchschnittlichen Nutzenergieverbrauch an elektrischer Energie für Haushaltsgeräte, Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) sowie aller weiterer elektrischer Energieverbraucher innerhalb der jeweiligen Wohnungen im LWP für das KJ 2013. Die Angabe erfolgt sowohl flächen- als auch personenbezogen. Darüber hinaus werden die maximalen und minimalen elektrischen Energieverbräuche angezeigt und diese zum Durchschnitt ins Verhältnis gesetzt. Der elektrische Energieverbrauch resultiert wie der

Energieeinsatz für TWW-Bereitung ausschließlich aus dem Nutzerverhalten. Die Abweichungen fallen jedoch etwas geringer als bei der Nutzenergie TWW aus. Dies wird auf den Standby-Modus einiger elektrischer Geräte zurückgeführt, der einen elektrischen Grundverbrauch zur Folge hat. Die beispielhaften Messwerte der elektrischen Energie zeigen dennoch den hohen Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch deutlich auf. In Ausnahmefällen sind auch bei der elektrischen Energie überdurchschnittlich hohe Abweichungen möglich. Doch auch ungeachtet der Extremfälle variieren die elektrischen Nutzenergieverbräuche bereits signifikant.

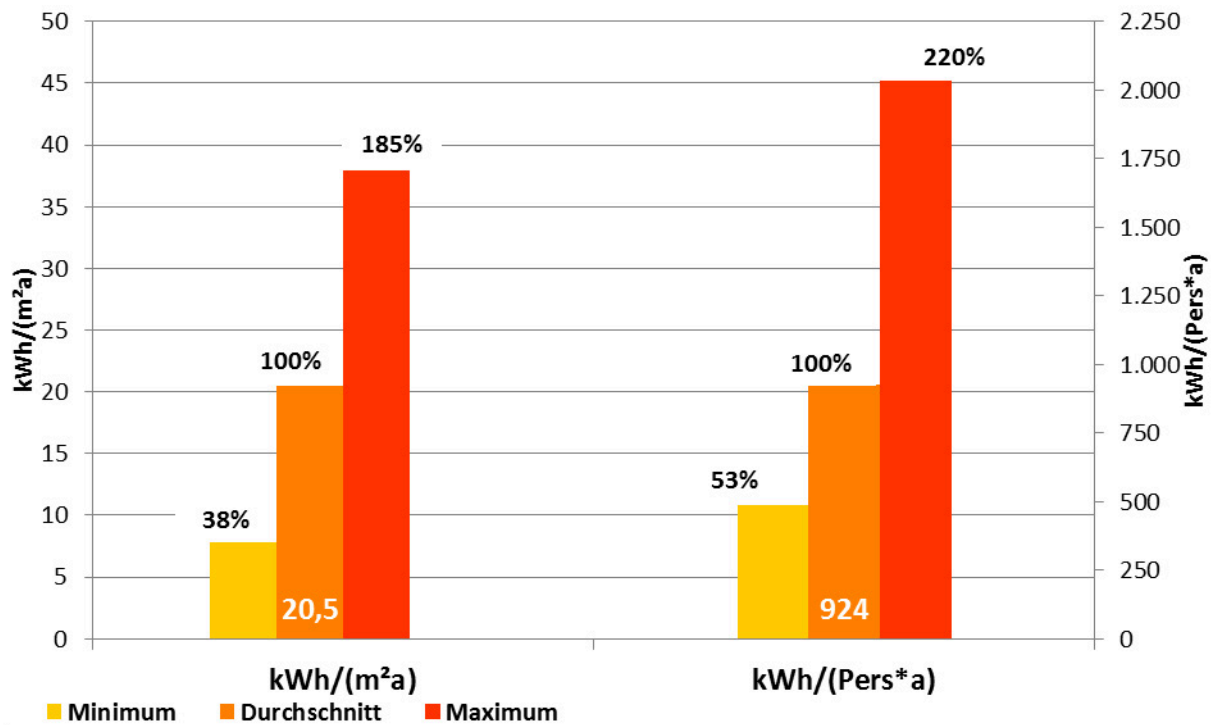


Diagramm 6-9: Flächen- und personenbezogene Jahressumme des durchschnittlichen Nutzenergieverbrauchs für Haushaltsstrom von 54 Wohnungen im LWP im KJ 2013 und die Angabe der prozentualen Abweichungen

Neben dem Haushaltsstromverbrauch verfügen Siedlungskonzepte auch über Allgemeinstromverbräuche. Dies sind z.B. Treppen-, Keller-, Park und Tiefgaragenbeleuchtungen sowie Aufzüge. Der Allgemeinstrom unterliegt, anders als der Haushaltsstrom, keinen merklichen saisonalen Schwankungen. Er ist weniger vom Nutzerverhalten und der Jahreszeit, sondern mehr vom technischen Ausstattungsgrad des Siedlungskonzeptes abhängig.

6.2.2 Statistische Analyse des Nutzerverhaltens

Um statistische Aussagen über die Nutzenergieverbräuche im LWP treffen zu können, werden die Messwerte für die Wohnungen im LWP analysiert. Hierfür wurden die prozentualen Abweichungen der gemessenen Nutzenergien vom Siedlungs-Durchschnitt mit Hilfe von Vortests auf eine mögliche Normalverteilung überprüft. Die Voruntersuchungen zeigten eine für die gewünschten Auswertungen ausreichend genaue Übereinstimmung zur Annahme einer Normalverteilung.

Verteilung von Nutzenergieverbräuchen in Siedlungskonzepten

Den Dichte- und Verteilungsfunktionen aus Diagramm 6-10 liegen die aus den Messwerten berechneten prozentualen Abweichungen der einzelnen Wohnungen zum Wohnpark-Durchschnitt zugrunde. Der Durchschnitt wurde aus der Gesamtheit aller verwendbaren gemessenen Nutzenergien ermittelt. Im Anschluss daran wurden die Abweichungen der Verbräuche der einzelnen Personen (TWW und Haushaltsstrom) beziehungsweise der flächengewichteten Heizwärmeverbräuche der einzelnen Wohneinheiten zum Durchschnitt ins Verhältnis gesetzt und daraus die prozentuale Abweichung vom Durchschnitt berechnet. Eine Abweichung <-100 Prozent ist nicht möglich, da eine Abweichung von -100 Prozent zum Durchschnitt einem Verbrauch von 0 kWh/a entspricht. Da in den folgenden Auswertungen die prozentualen Abweichungen vom Durchschnitt untersucht wurden, liegt der Erwartungswert μ immer bei 0 Prozent. Es kamen die Nutzenergie-Verbräuche für das Jahr 2013 zum Einsatz. Für die Heizung und den Haushaltsstrom konnten die Messwerte von 54, für TWW 53 der 55 Wohnungen genutzt werden. Die weiteren Messwerte sind aufgrund von Messfehlern für die vorliegende Auswertung nicht nutzbar.

Um die Normalverteilung zu erhalten, werden zunächst mit (1) und (2) der Median sowie die Standardabweichung aus den Messwerten ermittelt und mit (3) und (4) die Dichte- und Verteilungsfunktionen der Gaußschen Normalverteilungen berechnet. Die Ergebnisse aus den gemessenen Nutzenergien für Heizung, TWW und Haushaltsstrom für den LWP sind in Diagramm 6-10 dargestellt.

Median:

$$\mu = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

Standardabweichung:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2} \quad (2)$$

Dichtefunktion der Gaußschen Normalverteilung (Glockenkurve):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\} \quad (3)$$

Verteilungsfunktion der Gaußschen Normalverteilung:

$$y = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sqrt{2\sigma^2}} \right) \right] \quad (4)$$

μ = Median/Erwartungswert

σ = Standardabweichung

n = Anzahl der Messwerte

x_i = einzelner Messwert

Für den Vergleich der Messwerte mit der ermittelten Glockenkurve (Dichtefunktion) werden die Abweichungen vom Erwartungswert (0 Prozent) in 25 Prozent-Schritten zusammengefasst und als Balken aufgetragen. Die Anzahl der jeweiligen Nutzungseinheiten ist auf der Ordinate ablesbar. Die Abszisse zeigt die positive und negative Abweichung an. Für die Verteilungsfunktion werden die einzelnen Abweichungen aufsteigend sortiert und auf der Abszisse aufgetragen.

Zusätzlich erfolgt die Angabe der Standardabweichung (σ), Varianz (2σ) und der dreifachen Standardabweichung. Innerhalb einer Standardabweichung befinden sich 68,3 Prozent aller Messwerte. Die Varianz enthält mit 95,5 Prozent, bis auf wenige Extremwerte, annähernd alle ermittelten Abweichungen und innerhalb der dreifachen Standardabweichung sind 99,7 Prozent zu finden. Diese Regel gilt für alle Normalverteilungen, unabhängig von der Höhe der Standardabweichung und dem Median. Je weniger die Werte vom Mittelwert abweichen, umso kleiner ist die Standardabweichung und schmaler wird die Glockenkurve. In Tabelle 6-1 sind die berechneten Erwartungswerte, Standardabweichungen und Varianzen für die ermittelten prozentualen und absoluten Abweichungen zusammengefasst.

Tabelle 6-1: Berechnete Werte für die Normalverteilung der Nutzenergieverbräuche

	Median	Standardabweichung	Varianz
Heizung	0 % (48,9 kWh/(m ² a))	±49,1 % (±24,0 kWh/(m ² a))	±98,2 % (±48,0 kWh/(m ² a))
Trinkwarmwasser	0 % (456 kWh/(Pers*a))	±43,5 % (±198 kWh/(Pers*a))	±87,0 % (±396 kWh/(Pers*a))
Haushaltsstrom	0 % (924 kWh/(Pers*a))	±38,8 % (±359 kWh/(Pers*a))	±77,6 % (±718 kWh/(Pers*a))

Als Bezugsgröße wird für die Heizung die beheizte Fläche, sowie für TWW und Haushaltsstrom die Personenzahl genutzt. Ein Personenbezug wird bei Heizung als nicht zielführend erachtet, während er bei den vor allem personenabhängigen Nutzenergieverbräuchen TWW und Haushaltsstrom als sinnvoller erachtet wird als der Flächenbezug.

Für die gemessenen Heizenergieverbräuche wird durch den flächenspezifischen Bezug der Einfluss der Wohnungsgröße aus der Betrachtung eliminiert. Das Wetter hat auf die Abweichungen ebenfalls keinen Einfluss, da für alle Wohnungen die gleichen klimatischen Rahmenbedingungen herrschen. Jedoch hat neben dem Nutzerverhalten noch die Lage der Wohneinheit im jeweiligen Gebäude Einfluss auf die Abweichung. Um auch diesen Einfluss zu eliminieren, wurde mit Hilfe dynamischer Gebäudesimulation, unter der Annahme eines einheitlichen Nutzerverhaltens, ein Umrechnungsfaktor für die Heizenergieverbräuche der einzelnen Wohneinheiten ermittelt und die gemessenen Werte mit diesem umgerechnet. Somit sind die gezeigten Abweichungen nur dem Nutzerverhalten geschuldet.

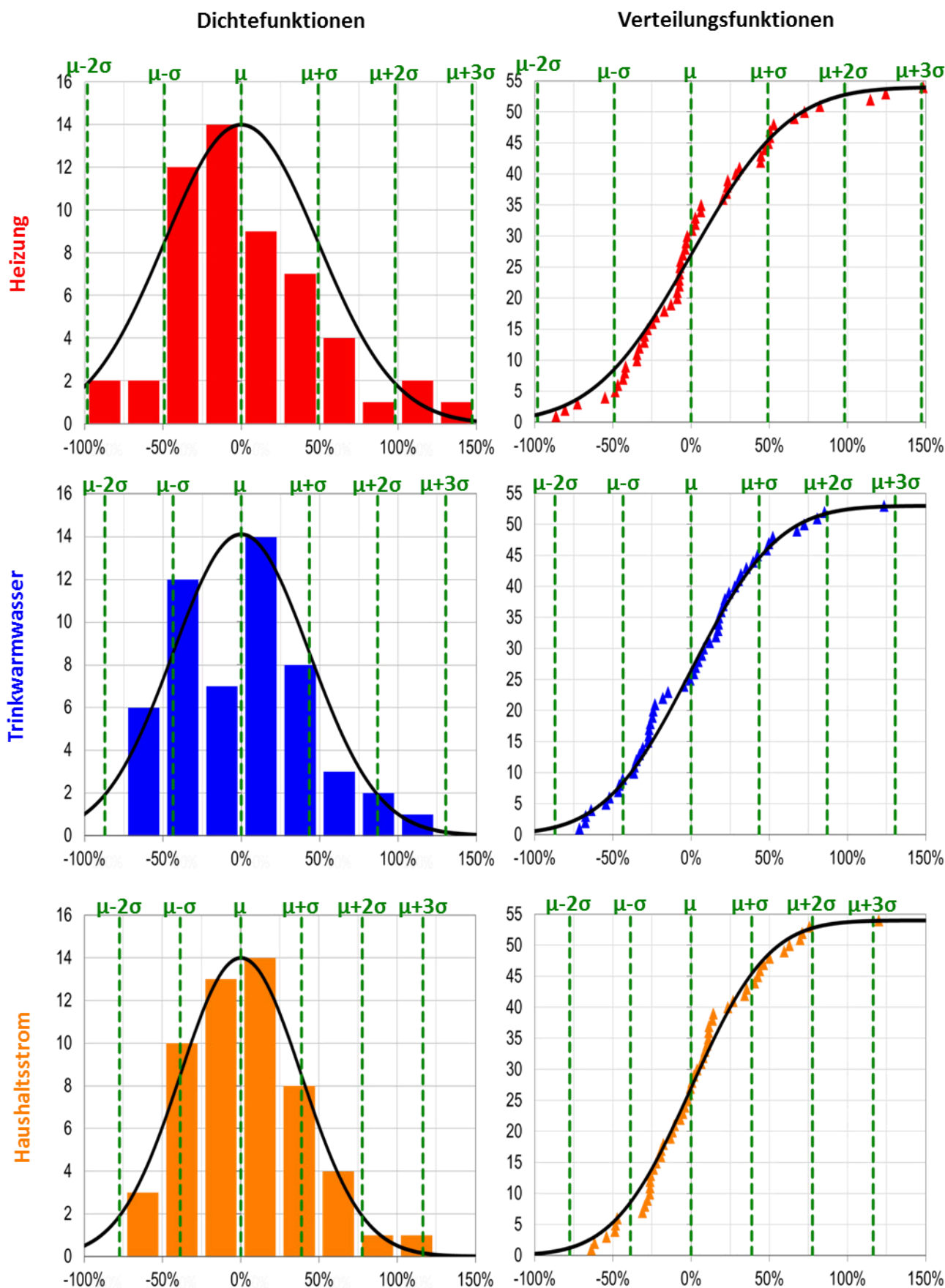


Diagramm 6-10: Dichte- und Verteilungsfunktionen der Gaußschen Normalverteilungen für die Nutzenergieverbräuche von Heizung, TWW und Haushaltsstrom der Wohnungen im LWP für das Jahr 2013

Im LWP ist es durch den Einsatz von Frischwasserstationen möglich, den tatsächlichen Nutzenergieverbrauch ohne Verteil- und Zirkulationsverluste zu erfassen. Durch den Bezug des Energieverbrauches auf Personen ist ausschließlich das Nutzerverhalten ausschlaggebend für die Differenzen der gemessenen Verbräuche. Da bei einer Wohneinheit mit zwei Bewohnern die personengenaue Zuordnung des jährlichen Energieverbrauchs nicht realisierbar ist, wird dieser zu gleichen Teilen auf die beiden Nutzer aufgeteilt. Daraus resultiert eine Unsicherheit in den Auswertungen, die bei der Betrachtung der Ergebnisse Berücksichtigung finden muss.

Die gemessenen Verbräuche für den Haushaltsstrom werden ebenfalls auf die Nutzer aufgeteilt. Die Grundlast, für beispielsweise einen Kühlschrank, wird in einem Zweipersonenhaushalt somit auf zwei Nutzer verteilt, während diese bei einer einzelnen genutzten Wohnung vollständig einer Person zugeordnet sind. Diese Tatsache wirkt sich auf die Abweichungsverteilung aus.

Alle drei Dichte- und Verteilungsfunktionen haben unterschiedliche Varianzen. Das ist nicht weiter verwunderlich, da beispielsweise beim Haushaltsstrom der Grundlastsockel zusätzlich Einfluss auf die Abweichungsverteilung hat.

Der Varianzbereich der Nutzenergieverbräuche in energieeffizienten Gebäuden ist sehr hoch. Eine verlässliche Voraussage des Nutzenergieverbrauches für eine einzelne Nutzereinheit ist somit nicht möglich.

Der Haushaltsstrom hat im LWP mit $\pm 38,8$ Prozent eine deutlich geringere Standardabweichung wie die beiden anderen Nutzenergien. Bis auf wenige Ausreiser bewegen sich 95,5 Prozent der personenbezogenen Elektroverbräuche in einem Varianzbereich von $\pm 77,6$ Prozent und somit leicht engeren Grenzen wie die Heizungs- und TWW-Nutzenergieverbräuche.

Die Größe des Streubereichs der Nutzenergieverbräuche unterstreicht nochmals deutlich den sehr hohen Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch. Für eine einzelne Nutzungseinheit sind Abweichungen von ± 100 Prozent und mehr vom gedachten Wert durch das Nutzerverhalten durchaus möglich.

Einfluss der Siedlungsgröße auf den Varianzbereich

Die Nutzenergieverbräuche haben elementaren Einfluss auf die energetische Gesamt-Bilanz von Siedlungen. Die Messergebnisse des LWP zeigen, dass Abweichungen einzelner Nutzungseinheiten von ± 100 Prozent vom Siedlungs-Durchschnitt ohne weiteres möglich sind. In Extremfällen erreichen die Abweichungen sogar 150 Prozent und mehr.

Mit zunehmender Anzahl an Wohneinheiten gleichen sich energieintensive und energiesparende Verbraucher aus, was den Varianzbereich für Bedarfsprognosen eines Quartiers deutlich verringert. Nimmt man beispielsweise die Verbräuche der 20 größten positiven Ausreiser und ermittelt die Abweichung des Durchschnitts aus den 20 Verbräuchen zum Durchschnitt der Gesamtsiedlung, ist die Abweichung deutlich geringer wie die des

extremsten Einzelverbrauchers. Finden alle Messwerte Berücksichtigung liegt die Abweichung bei 0 %.

Die in Diagramm 6-11 aufgetragenen Kurvenverläufe wurden nach dem gerade beschriebenen Prinzip aus den Messwerten der Wohnungen im LWP ermittelt. Auf der Abszisse ist die Anzahl der berücksichtigten Messwerte zur Berechnung der prozentualen Abweichung vom Durchschnittswert aufgetragen, während die Ordinate die ermittelte Abweichung zeigt.

Während sich bei einer Wohneinheit Abweichungen der Nutzenergieverbräuche von ± 100 Prozent und in Extremfällen sogar deutlich darüber ergeben, verringert sich für Siedlungskonzepte wie den LWP ab einer Anzahl von 40 Wohneinheiten (75 Prozent der Messwerte) die Abweichung auf ± 25 Prozent vom Erwartungswert. Dies ist durch die rote und grüne Trendlinie dargestellt. Die extremen Einzelfälle werden durch die rot gestrichelte Linie symbolisiert. Für Objekte mit vielen Wohneinheiten kann stark von einem Ausgleich energieintensiver Nutzer durch energiesparende Haushalte ausgegangen werden.

In der Planung von Siedlungskonzepten wird vorgeschlagen im ersten Ansatz von einem Varianzbereich für die Nutzenergieverbräuche von mindestens 25 Prozent auszugehen. Bei kleinen Objekten mit wenig Nutzeinheiten oder gar Einzelnutzern kann die Abweichung, wie gezeigt, sogar noch deutlich höher liegen.

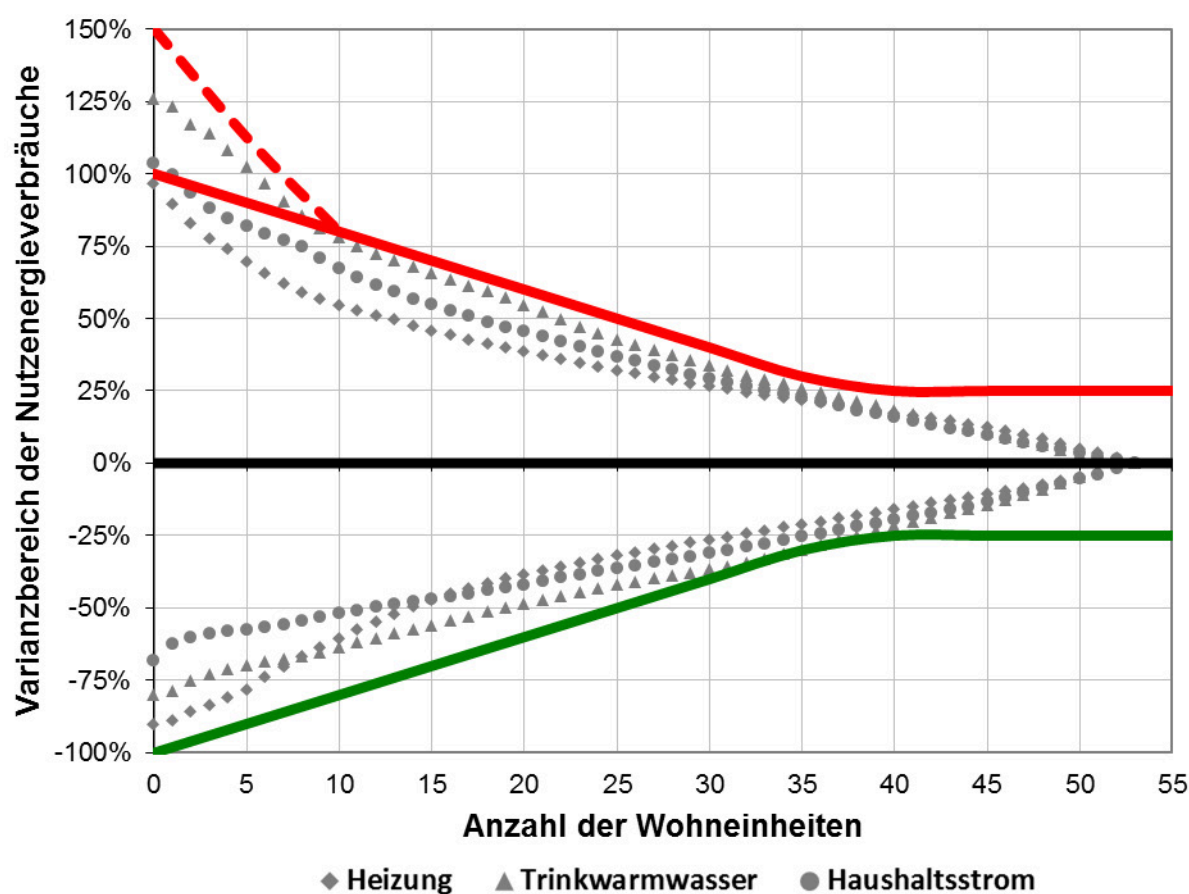


Diagramm 6-11: Varianzbereich der Nutzenergieverbräuche für Heizung, TWW und Haushaltsstrom für die Wohnungen im LWP nach der Anzahl der berücksichtigten Wohneinheiten

Konzept zur Ermittlung statistischer Wahrscheinlichkeiten von Nutzervariablen

Die Aussage von Diagramm 6-11 basiert auf den gemessenen Verbräuchen der Bewohner im LWP. Da es sich hierbei um ein einzelnes Bauvorhaben mit bestimmten örtlichen und technischen Rahmenbedingungen sowie Nutzerklientel handelt, können die Ergebnisse nur auf Bauvorhaben mit ähnlichen Bedingungen übertragen werden. Die Ergebnisse besitzen somit nicht den Anspruch auf Allgemeingültigkeit. Hierfür muss die Aussage durch die statistische Auswertung weiterer Bauvorhaben untermauert werden.

Für die Ermittlung der statistischen Wahrscheinlichkeit der Nutzervariablen muss zunächst ein Konzept entwickelt werden, nach dem die Auswertung einheitlich für weitere Bauvorhaben durchgeführt werden kann. Als erster Schritt wird immer die Auswertung der Monitoring-Daten unter den gegebenen Rahmenbedingungen stehen. Um eine Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Bauvorhaben zu erreichen, müssen die Monitoring-Daten in Abhängigkeit von nutzerabhängigen Variablen wie der Belegungsdichte, den gewünschten Raumtemperaturen oder dem Lüftungsverhalten untersucht und der Einfluss der einzelnen Parameter erarbeitet werden. Die nutzerabhängigen Variablen werden mit Hilfe von statistischen Analysen bestimmten Nutzergruppen zugeordnet und durch Clusterbildung generische Nutzerklassen entwickelt. Die Nutzerklassen wiederum dienen in der Planung als Datenmodell für die Ermittlung der generischen Varianzen für den späteren Betrieb.

6.2.3 Richtwerte für die Planung

Wie die Abweichungen zeigen, ist es schwer, verlässliche Aussagen über die späteren Nutzenergieverbräuche bereits in der Planung zu treffen. Dennoch sollen mit Hilfe der Messwerte aus dem LWP die in aktuellen Bewertungsverfahren definierten Vorgabewerte für Wohngebäude auf ihre Anwendbarkeit für Siedlungskonzepte überprüft werden.

Heizung

Für die Nutzenergie Heizung kann kein pauschaler Vorgabewert für die Planung definiert werden, da dieser neben dem Nutzerverhalten auch vom Gebäude und den örtlichen Rahmenbedingungen abhängig ist. Mit rechnergestützten Berechnungsprogrammen ist es jedoch möglich, den späteren Energieverbrauch in der Planungsphase für ein definiertes Nutzerverhalten vergleichsweise verlässlich vorherzusagen. Hierfür ist es jedoch zwingend notwendig, alle Einflussfaktoren in die Berechnungen einfließen zu lassen. Während es sich bei den Gebäudeparametern um feste Vorgaben handelt, müssen für das Klima mindestens die Werte der Testreferenzjahre für den jeweiligen Standort Anwendung finden. Das Nutzerverhalten ist sehr variabel und hat vor allem bei Gebäuden mit nur wenigen oder sogar nur einer Nutzungseinheit so großen Einfluss, dass der ermittelte Bedarfswert immer mit einem Varianzbereich angegeben werden sollte. Es wird kein fester Zielwert, sondern ein Zielbereich ermittelt. Dies ist auch für TWW und den Haushaltsstrom sinnvoll.

Trinkwarmwasser

In [DIN V 18599-10] sind für die TWW-Bereitung von EFH 11,0 kWh/(m²a) und MFH 15 kWh/(m²a) als Richtwert vorgegeben. Die gezeigten Messwerte aus dem LWP würden eine Verringerung des Wertes auf 10,0 kWh/(m²a) zulassen. Da es sich hierbei jedoch um ein Einzelbeispiel handelt und jederzeit große Abweichungen nach oben möglich sind, deren Einfluss bei sinkender Anzahl von Wohneinheiten zusätzlich steigt, wird von einer Anpassung abgeraten. Steht die Anzahl der Bewohner bereits in der Planung fest, kann die Kalkulation mit 500 kWh/(Pers*a) eine interessante Alternative sein.

Haushaltsstrom

Für Effizienzhaus PLUS-Gebäude sind als Richtwert für den Haushaltsstrom 20 kWh/(m²a), maximal jedoch 2.000 kWh/a je Wohneinheit definiert. [BMUB 2014] Dieser Wert wird nach den Erfahrungen aus dem LWP als sehr ambitioniert erachtet. Der gemessene durchschnittliche Haushaltsstrom der Wohnungen in dem MFH im LWP deckt sich annähernd mit dem Vorgabewert. Sobald jedoch der Allgemeinstrom für die Beleuchtung und Aufzüge Berücksichtigung finden muss, ist dieser Wert nur sehr schwer zu realisieren. In den MFH des LWP mit Aufzug wurde ein Allgemeinstromverbrauch von etwa 3,0 kWh/(m²a) gemessen. Bei Quartierskonzepten kommen noch die Parkbeleuchtung und weitere Verbräuche hinzu. Aus diesem Grund wird empfohlen, für den Allgemeinstrom 25 Prozent auf den Richtwert aufzuschlagen und mit einem elektrischen Energieverbrauch von 25 kWh/(m²a) zu rechnen. Sind Verbraucher mit außergewöhnlich hohem elektrischem Energiebedarf bereits in der Planungsphase bekannt, müssen diese zusätzlich Berücksichtigung finden.

6.3 Nutzersensibilisierung

Das vorangegangene Kapitel hat deutlich den elementaren Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch für den Gebäudebetrieb aufgezeigt. Eine Nutzersensibilisierung stellt somit eine sehr interessante Möglichkeit zur Reduzierung des Energieverbrauchs dar. Die Sensibilisierung des Nutzers hat einen besonders hohen Stellenwert, da durch energiesparendes Nutzerverhalten nicht nur Heizenergie, sondern zusätzlich auch thermische Energie für die energetisch aufwendige TWW-Bereitung und elektrische Energie in allen Bereichen eingespart werden kann. Durch die bewusste Anpassung des Verhaltens an die Bereitstellung der elektrischen Energie aus den Eigenerzeugungsanlagen kann der Eigendeckungs- und Eigennutzungsgrad gesteigert werden und das ohne Mehraufwand an Grauer Energie. Jede Kilowattstunde weniger Nutzenergie muss nicht erzeugt und verteilt werden. Somit führen Einsparungen an Nutzenergie gleichzeitig zur Reduzierung der Erzeugungs- und Verteilverluste.

Der Einfluss auf den Energieverbrauch ist für einen Nutzer jedoch erst begreifbar, wenn er die Auswirkungen einer Verhaltensänderung nachvollziehen kann und daraus lernt. Das ist nur durch den Einsatz von Visualisierungs-Werkzeugen realisierbar, was Verbrauchervisualisierung zu einem unverzichtbaren Werkzeug moderner Versorgungskonzepte macht.

6.3.1 Sensibilisierungswerkzeuge

Für die Nutzersensibilisierung können unterschiedlichste Werkzeuge zum Einsatz kommen. Sehr wichtig ist eine Einweisung der späteren Nutzer in die vorhandene Gebäude- und Anlagentechnik. Unterstützend können Informationsveranstaltungen, Nutzerhandbücher und Leitfäden zum Einsatz kommen. Ein weiteres wichtiges Sensibilisierungswerkzeug steht für moderne Versorgungskonzepte durch die Visualisierung der Energieverbräuche bereit.

Einweisung in die Gebäude- und Anlagentechnik

Ähnlich wie beim Kauf eines neuen PKW muss auch beim Erwerb eines neuen Gebäudes der Umgang erlernt werden. Natürlich kann davon ausgegangen werden, dass die Grundfunktionen von jedem Nutzer selbst erfassbar sind. Doch spezielle Funktionen, die einem Nutzer eventuell das erste Mal begegnen, bedürfen einer gründlichen Erläuterung.

Der Umgang mit der vorhandenen komplexen Anlagentechnik stellt für viele Nutzer eine völlig neue Herausforderung dar, was sich auch in der Bewohnerbefragung im LWP bestätigte. Ein signifikanter Anteil der Befragten wünschte sich eine weiterführende und vertiefte Einweisung in die Bedienung der haustechnischen Anlagen.

Es hat sich gezeigt, dass eine einmalige Einweisung in manchen Fällen nicht ausreichend ist, da ein Teil der Nutzer das Gezeigte bis zum nächsten Anwendungsfall wieder vergisst. Als Beispiel sei die Umschaltung der Heizungsanlage von Sommer- auf Winterbetrieb genannt. Einigen Bewohnern musste dieser Vorgang wiederholt vorgeführt werden. Dies liegt nicht zwingend am Unvermögen oder Desinteresse der Nutzer. Einige Bewohner sind schlichtweg

der Meinung, dass ihr Eingreifen in die Technik nicht mehr notwendig ist oder sich sogar negativ auf das Verhalten der gesamten Anlage auswirkt.

Andere vertreten die Meinung, dass hochpreisige Gebäudekonzepte in der Lage sein müssen, ohne das Mitwirken des Nutzers die gewünschten Ergebnisse zu ermöglichen. Die Bereitstellung von thermischer und elektrischer Energie muss von jedem Energiekonzept auch ohne das Eingreifen des Nutzers gewährleistet werden. Jedoch können falsch gewählte Sollwerte zu unerwünscht hohen Energieverbräuchen führen, die spätestens bei der Abrechnung zu erstaunten Reaktionen führen.

Die Einweisungen dürfen von den hierfür Verantwortlichen nicht als unangenehme Last, sondern sollten als Chancen gesehen werden. Idealerweise werden in einem persönlichen Gespräch Unsicherheiten abgebaut und Wissenslücken geschlossen. Den Nutzern wird nochmals die Besonderheit des von ihnen genutzten Wohnraumes aufgezeigt und dadurch die Akzeptanz für das Gesamtkonzept sichergestellt. Somit wird der Bewohner gleichzeitig gestärkt und parallel für die angestrebten energetischen Ziele sensibilisiert.

Nutzerhandbuch

Bestmögliche Ergebnisse werden erreicht, wenn die persönliche Einweisung durch ein Nutzerhandbuch ergänzt wird. Das Handbuch ist speziell auf die im jeweiligen Versorgungskonzept vorhandene Technik zugeschnitten. Dem Nutzer werden während der Einweisung alle wichtigen Punkte erklärt und gezeigt, wo die Informationen nochmals im Handbuch zu finden sind. Auf diese Weise kann der nachträgliche Betreuungsaufwand reduziert und das Sicherheitsgefühl des Nutzers im Umgang mit der vorhandenen Technik gestärkt werden. Ein Nutzerhandbuch kann die Einweisung unterstützen, sie allerdings nicht ersetzen. Jeder Bewohner ist ein Individuum mit speziellen Fragen, auf die nur im persönlichen Gespräch optimal eingegangen werden kann.

Leitfäden

Unter Leitfäden versteht man Ratgeber, in denen Tipps für energiesparendes Verhalten gegeben werden. Annähernd alle Hersteller, Energieversorger, Stadtwerke und weitere Institutionen stellen speziell auf ihren Themenbereich angepasste Informationsbroschüren für ihre Kunden zur Verfügung. Darüber hinaus gibt es Leitfäden wie (Stockinger 2012a), die das benötigte Wissen in gebündelter Form für alle betroffenen Bereiche der jeweiligen Nutzung zur Verfügung stellen. Aktuell sind keine Leitfäden speziell für Energie⁺-Objekte erhältlich. Doch auch allgemeingültige Leitfäden sind für Energie⁺-Objekte interessant. Eines haben Energie⁺-Objekte mit jedem anderen Gebäude gemeinsam: Sie verbrauchen elektrische und thermische Energie. Speziell für Energie⁺-Objekte müssen diese Leitfäden um die Themen elektrische Eigenversorgung und Speicherung ergänzt werden.

Informationsveranstaltungen

Informationsveranstaltungen können zur Schulung der Bewohner genutzt werden. Um den zeitlichen Aufwand und dadurch die Akzeptanz bei den Nutzern zu erhöhen, bieten sich bei

Siedlungskonzepten die regelmäßigen Eigentümerversammlungen an. In diesen Treffen können Themen wie die Umschaltung von Sommer- auf Winterbetrieb oder die intervallmäßige Überprüfung/Austausch der Abluftfilter angesprochen werden. Auf diese Weise wird der Zeitaufwand für die betroffenen Firmen deutlich reduziert. Für Informationsveranstaltungen gilt allerdings dasselbe wie für Nutzerhandbücher. Sie können das persönliche Einweisungsgespräch ergänzen, jedoch auf keinen Fall ersetzen.

Verbrauchsvisualisierung

Eine weitere Möglichkeit zur Nutzersensibilisierung stellt die Visualisierung der Nutzenergie-Verbräuche mit Hilfe von rechnergestützten Werkzeugen dar. Ein Beispiel hierfür ist die „Online-Visualisierung von Energieverbräuchen“ (O-ViVE)¹², die im LWP zum Einsatz kommt.

Verbrauchsvisualisierung hat das Ziel, Energieverbräuche leicht verständlich, visuell aufbereitet und jederzeit verfügbar in sinnvoller Auflösung bereit zu stellen um den Nutzern die Möglichkeit zu geben, die Einflüsse des eigenen Verhaltens auf den Energieverbrauch zu analysieren. Auf diese Weise erfolgt eine Sensibilisierung für energiesparendes Verhalten.

6.3.2 Anforderungen an eine Verbrauchsvisualisierung

Eine Verbrauchsvisualisierung muss bestimmte Anforderungen erfüllen, um tatsächlich positiven Einfluss auf den Nutzer und sein Verhalten nehmen zu können.

In erster Linie muss sie **leicht verständlich** und **selbsterklärend** sein. Nur dadurch ist sichergestellt, dass die Visualisierung akzeptiert und genutzt wird. Zur Verständlichkeit sollte die Visualisierung übersichtlich aufgebaut sein und über aussagekräftige Beschreibungen verfügen. Zur visuellen Darstellung sollten nur Elemente zum Einsatz kommen, die jedem Nutzer aus dem alltäglichen Leben bekannt sind. Als Beispiel sei hier die farbliche Untermuerung der Energieverbräuche nach dem Ampelprinzip mit den Farben rot, gelb und grün genannt. Die Akzeptanz wird weiter erhöht, wenn die Visualisierung **bedienungsfreundlich** ist und jederzeit die **aktuellen Werte** angezeigt werden. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die Angabe von Energieverbräuchen für die meisten Endnutzer zu abstrakt ist. Die Akzeptanz wird deutlich erhöht, wenn die Visualisierung statt Energiemengen die **Energiekosten darstellt**.

Damit die Visualisierung für den Nutzer **jederzeit verfügbar** ist, sollten die Daten für den Endnutzer auf mobilen Endgeräten und fest montierten Infoscreens bereitgestellt werden, die an stark frequentierten Orten anzuordnen sind. Eine weitere Möglichkeit stellt die Nutzung von modernen Fernsehgeräten als Informationsquelle dar. So könnte bei jedem Start zunächst die Visualisierung der eigenen Energieverbräuche angezeigt werden.

Um sein eigenes energetisches Verhalten und die Auswirkungen einer Veränderung des Verhaltens beurteilen zu können, ist es notwendig, dass die Verbrauchsvisualisierung einen

¹² O-ViVE wurde im Rahmen des FV +Eins vom Autor konzipiert und in Kooperation mit der GSG Geologie-Service GmbH am Ludmilla-Wohnpark in Landshut umgesetzt. Weitere Details siehe [GSG 2014]

Vergleich mit sich selbst ermöglicht. Um den Einfluss energieintensiver Einzelaktivitäten wie dem Einlassen eines Wannenbades aber auch länger anhaltender Verhaltensveränderungen, wie die konsequente Vermeidung von Standby-Verlusten, beurteilen zu können, benötigt der Nutzer die Energieverbräuche in unterschiedlicher zeitlicher Auflösung. Um einzelne Aktivitäten zu bewerten, wird der Tagesverlauf mit der Angabe der Verbräuche innerhalb jeder Stunde, besser noch alle 15 Minuten, erachtet. Für die Bewertung einer länger anhaltenden Veränderung sollten zusätzlich die Summenwerte für die letzten Tage, Wochen, Monate und Jahre zur Verfügung stehen.

Die Aussagekraft der Verbrauchsvisualisierung kann nochmals deutlich erhöht werden, wenn neben dem Vergleich mit sich selbst auch ein **Vergleich mit anderen Nutzern** möglich ist. Idealerweise kommen hierfür Vergleichswerte von Nutzungseinheiten zum Einsatz, die dieselben Rahmenbedingungen haben wie die visualisierte Nutzungseinheit. Bei einem Siedlungskonzept kann beispielsweise eine Nutzungseinheit mit dem Durchschnittswert aller anderen Einheiten verglichen und auf diese Weise eine bessere Einsortierung des eigenen Verhaltens realisiert werden. Eine weitere Möglichkeit zum Vergleich stellt die Gegenüberstellung mit dem bundesdeutschen Durchschnitt dar. Für den TWW-Verbrauch und den Haushaltsstrom ist dieser Vergleich interessant, da er vom Nutzerverhalten geprägt ist. Für den Heizenergieverbrauch wird er bei Energie[®]-Objekten allerdings als nicht sinnvoll erachtet, da es sich in der Regel um hochgedämmte Gebäude handelt, deren Heizenergieverbrauch selbst bei energieintensivem Heizverhalten in der Regel dennoch unter dem bundesdeutschen Durchschnitt liegen dürfte. Somit würde durch diesen Vergleich kein Anreiz zum energiesparenden Heizverhalten geschaffen, sondern eventuell sogar der gegenteilige Effekt bewirkt werden.

Beim Vergleich mit anderen Nutzern muss immer sichergestellt sein, dass kein Rückschluss auf das Verhalten einzelner Nutzer durch andere Personen erfolgen kann. Bei den gemessenen Verbräuchen handelt es sich um nutzerbezogene Daten, die dem **Datenschutz** unterliegen. Mit Hilfe eines Passwortschutzes und weiterer technischer Lösungen muss sichergestellt sein, dass die gemessenen Daten ausschließlich dem jeweiligen Nutzer und keinen unberechtigten Dritten zugänglich sind. Erfolgt ein Nutzerwechsel, werden die Verbrauchsdaten des vorherigen Nutzers aus der Visualisierung entfernt.

6.3.3 Ermittlung von Vergleichswerten

Die Ermittlung des jeweiligen Durchschnittswertes basiert für den Heizenergieverbrauch auf einem mit Hilfe von Gebäudesimulation ermittelten Umrechnungsfaktor. In diesem werden die Heizlast, die Lage, das Außenflächenverhältnis und weitere Kriterien der jeweiligen Wohneinheit berücksichtigt. Auf diese Weise ist es möglich, Wohnungen mit unterschiedlichen baulichen und örtlichen Rahmenbedingungen miteinander zu vergleichen. Bei den Strom- und Wasserverbräuchen ist die Anzahl der Bewohner die optimale Bezugsgröße, da diese Verbräuche ausschließlich vom Nutzerverhalten abhängig sind. Ist die Anzahl der Bewohner nicht bekannt, kann der Bezug auf die Wohnfläche erfolgen.

6.3.4 Benötigte Infrastruktur für eine Verbrauchsvisualisierung

Für Verbrauchsvisualisierung wird die Messtechnik genutzt, die bereits für die Abrechnung der Energiekosten notwendig ist. Somit entsteht hierfür im Idealfall kein zusätzlicher technischer Mehraufwand. Jedoch kann das Vorhandensein der Messtechnik nicht für jede Nutzereinheit vorausgesetzt werden. Bei Gebäuden mit sehr niedrigen Heizenergieverbräuchen wird teilweise auf die nutzerspezifische Erfassung der Heizwärme verzichtet. In diesem Fall könnte das Heizverhalten der einzelnen Einheiten nur durch die Nachrüstung entsprechender Zähler erfasst werden. Der Nutzenergieverbrauch an Trinkwarmwasser und elektrischer Energie ist ausschließlich vom Nutzerverhalten abhängig. Somit ist eine messtechnische Erfassung jeder einzelnen Einheit bereits für die ordnungsgemäße Abrechnung unabdingbar. Diese Messtechnik kann für die Bewertung des Nutzerverhaltens zum Einsatz kommen. Die Erfassung des Kaltwasserverbrauchs hat zwar keine Relevanz für die energetische Bewertung. Da Wasser jedoch eine wichtige Ressource ist, sollte auch der Kaltwasserverbrauch erfasst und in der Visualisierung Beachtung finden.

Es muss darauf geachtet werden, dass die Messeinrichtungen die benötigten Ausleseintervalle ermöglichen und über eine verlässliche Datenschnittstelle verfügen. Die Messwerte können über Kabel oder Funk übertragen werden. Eine störungsfreie Datenübertragung muss gewährleistet sein. Die Datenverarbeitung kann vor Ort mit Hilfe eines Rechners erfolgen oder alternativ auf einem zentralen Server, der für mehrere Bauvorhaben zuständig ist.

6.3.5 Visuelle Darstellung von Energieverbräuchen

Die visuelle Darstellung der Energieverbräuche muss mit Elementen erfolgen, die für jeden Nutzer leicht verständlich und selbsterklärend sind. Für Verlaufsgrafiken bieten sich Liniendiagramme an, während Summenwerte mit Balken dargestellt werden sollten. Zur Verdeutlichung des Verhältnisses vom eigenen Energieverbrauch zu einem Vergleichswert (z.B. Siedlungsdurchschnitt) werden die Summenbalken nach dem Ampelprinzip dargestellt. Liegt der Energieverbrauch über dem Durchschnitt wird der Balken **ROT**, in einem Bereich von beispielsweise ± 10 Prozent vom Durchschnitt **GELB** und unter dem Durchschnitt **GRÜN** eingefärbt. Abb. 6-1 zeigt exemplarisch für Verbrauchsvisualisierungen die Detailansicht von O-ViVE aus dem LWP. An diesem Beispiel werden die notwendigen Komponenten erläutert.

Die Visualisierung enthält zum einen Verlaufsgrafiken für die letzten sieben Tage und vier Wochen. Links oben werden die Tagesverläufe der Verbräuche in $\text{kWh}/15 \text{ min}$ dargestellt. Der Verlauf wird alle 15 Minuten aktualisiert. Im gezeigten Beispiel stellt die graue Linie den Verbrauchsverlauf des aktuellen Tages dar. Durch die fortlaufende Aktualisierung ermöglicht die Visualisierung eine direkte Rückkopplung des aktuellen Verhaltens auf den eigenen Energieverbrauch. Verbrauchsspitzen durch beispielsweise Kochen oder ein Wannenbad werden, wie im Tagesverlauf der hellblauen Linie zu sehen, als Verbrauchsspitze in der Grafik angezeigt. Die Darstellung der Verläufe der letzten sieben Tage ermöglicht es, das Verhalten rückwirkend zu analysieren. In der Mitte wird links der Verbrauchsverlauf der letzten vier

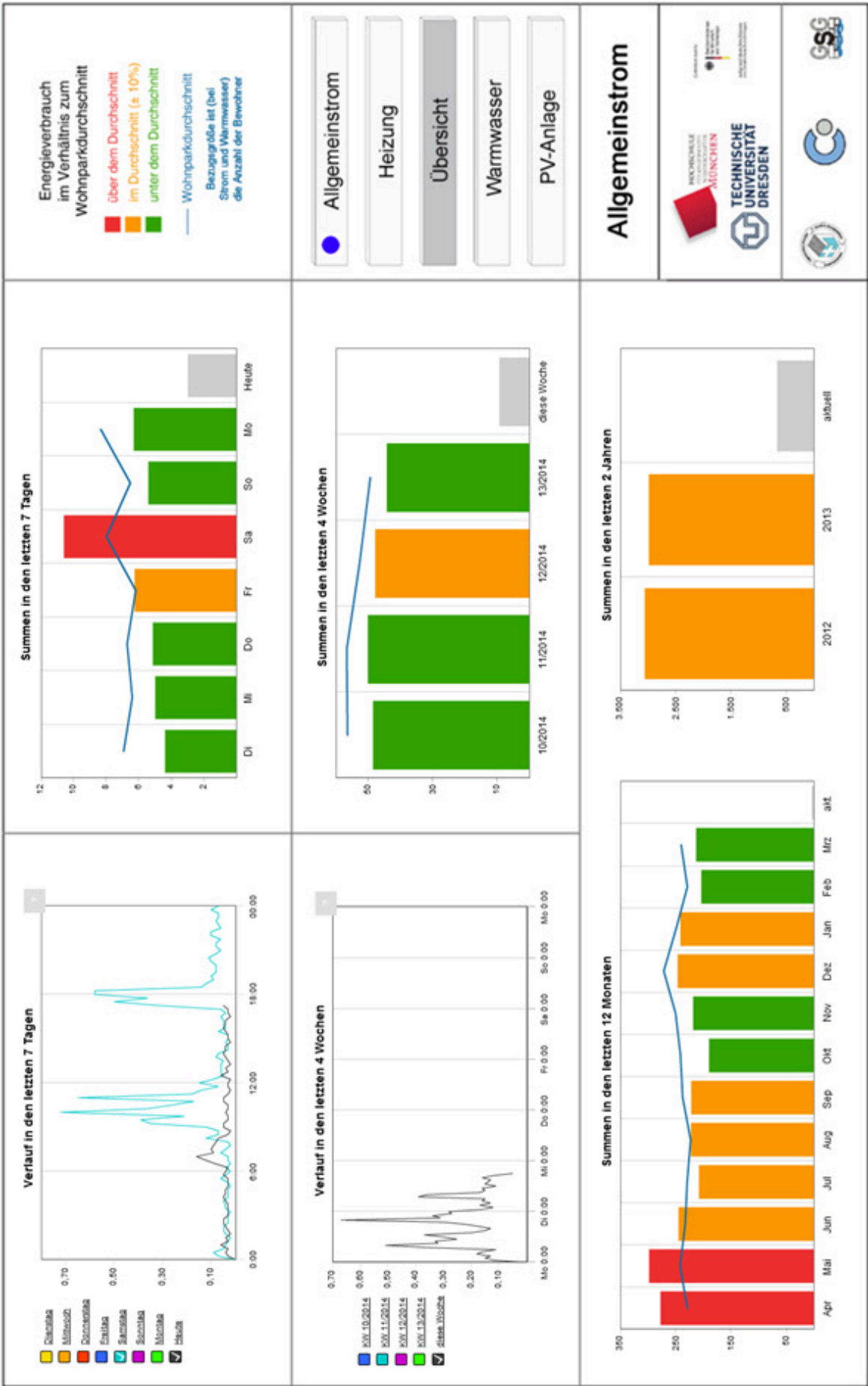


Abb. 6-1: Detailansicht der Verbrauchsvisualisierung im LWP für Nutzenergieverbräuche

Wochen sowie der aktuellen Woche angezeigt. Die grau dargestellte aktuelle Woche wird stündlich fortgeschrieben. Auch hier können, genau wie bei den Tagesverläufen, durch Aus- und Abwahl über die links angezeigte Legende Wochenverläufe entfernt oder hinzugenommen werden. Diese Grafik dient zur Veranschaulichung von wöchentlich wiederkehrenden Verhaltensmustern. Zusätzlich erweitert sie die Detailbetrachtungen über die letzten sieben Tage hinaus auf die letzten vier Wochen.

Neben den Liniendiagrammen kommen Balkendiagramme zur Verbrauchsvisualisierung zum Einsatz. Rechts oben werden die Tagessummen der letzten sieben Tage, sowie der aufgelaufene Verbrauch des aktuellen Tages in Kilowattstunden angezeigt. Der Verbrauch des aktuellen Tages wird 15-minütlich aktualisiert. Zusätzlich zu den eigenen Verbräuchen wird der Tages-Durchschnittswert mit Hilfe der blauen Linie angezeigt und die Summenbalken nach dem bereits vorgestellten Ampelprinzip eingefärbt. Dies ermöglicht einen schnellen Vergleich des eigenen Energieverhaltens der letzten sieben Tage mit dem Durchschnitt des Gesamtkonzeptes. Ergänzend hierzu werden rechts in der Mitte die Wochensummen der letzten vier Wochen sowie der aktuellen Woche angezeigt. Während die aktuelle Woche grau eingefärbt ist und sich stündlich fortschreibt, werden die letzten vier Wochen zum Wohnparkdurchschnitt (blaue Linie) gewertet und je nach Verhältnis farblich hervorgehoben. Die Anzeige der letzten zwölf und des aktuellen Monats sowie der letzten beiden Jahre und des aktuellen Jahres erfolgt nach demselben Prinzip.

Die beispielhaft vorgestellte Verbrauchsvisualisierung ermöglicht sowohl die Bewertung des aktuellen Energieverhaltens als auch die der vergangenen letzten sieben Tage, vier Wochen, zwölf Monaten und zwei Jahren. Durch den Vergleich der eigenen Verbräuche mit einem Durchschnittswert des Gesamtkonzeptes wird die Aussagekraft nochmals deutlich erhöht, da in diesem Fall für alle Nutzer dieselben Rahmenbedingungen vorherrschen.

Bei einer App-Lösung für mobile Endgeräte muss die Größe des Bildschirms in der Visualisierung Berücksichtigung finden. In diesem Fall wird jeder der sechs dargestellten Teilbereiche als eigener Screen zur Verfügung gestellt.

6.3.6 Einsparpotentiale durch Nutzersensibilisierung

Nutzersensibilisierung ist ein elementarer Baustein, um die gesteckten energetischen Ziele eines Versorgungskonzeptes erreichen zu können. Während durch die Gebäudedämmung lediglich Einfluss auf den Heizenergiebedarf und durch die Gebäudetechnik primär auf die Erzeugungs- und Verteilverluste genommen werden kann, ist es dem Nutzer möglich, in allen Bereichen Energie einzusparen. Dies schließt neben der Heizung den thermischen Energieverbrauch für die Bereitstellung von Trinkwarmwasser ebenso ein, wie den elektrischen Energieverbrauch für den täglichen Gebäudebetrieb. Vor allem die elektrischen Energieverbräuche für den Gebäudebetrieb gewinnen aufgrund der sinkenden Heizenergieverbräuche und steigender Kosten immer mehr an Bedeutung. Diese können nur vom Nutzer selbst durch energiebewusstes Verhalten reduziert werden. Die Auswertungen aus dem LWP zeigen, dass der Einfluss des Nutzerverhaltens mit steigender Gebäudequalität

zunimmt. Dadurch gewinnt das Nutzerverhalten besonders in hocheffizienten Gebäuden nochmals an Bedeutung.

Mehrere Untersuchungen kommen übereinstimmend zum Ergebnis, dass durch energiebewusstes Verhalten Einsparungen von 5 bis 25 Prozent möglich sind. [Felsmann 2013, Hacke 2009, Richter 2003, Wolfrum 2009]

Diese Aussage wird durch die Erkenntnisse aus dem LWP bestätigt. Energieeffiziente Gebäude können ihr Potential nur bei richtiger Nutzung voll ausschöpfen. Um ein Bewusstsein hierfür bei den Nutzern zu schaffen, sollten alle verfügbaren Werkzeuge zur Nutzersensibilisierung zum Einsatz kommen.

Die Erfahrungen aus dem LWP zeigen, dass mit Verbrauchsvisualisierung hohe Einsparpotentiale realisierbar sind. So wurden in einem EFH und einer Wohnung nach Inbetriebnahme der Visualisierung im Vergleich zum Vorjahr für Heizung, TWW und Haushaltsstrom um bis zu **30 Prozent** niedrigere Nutzenergieverbräuche gemessen. Die Messwerte sind in Diagramm 6-12 dargestellt.

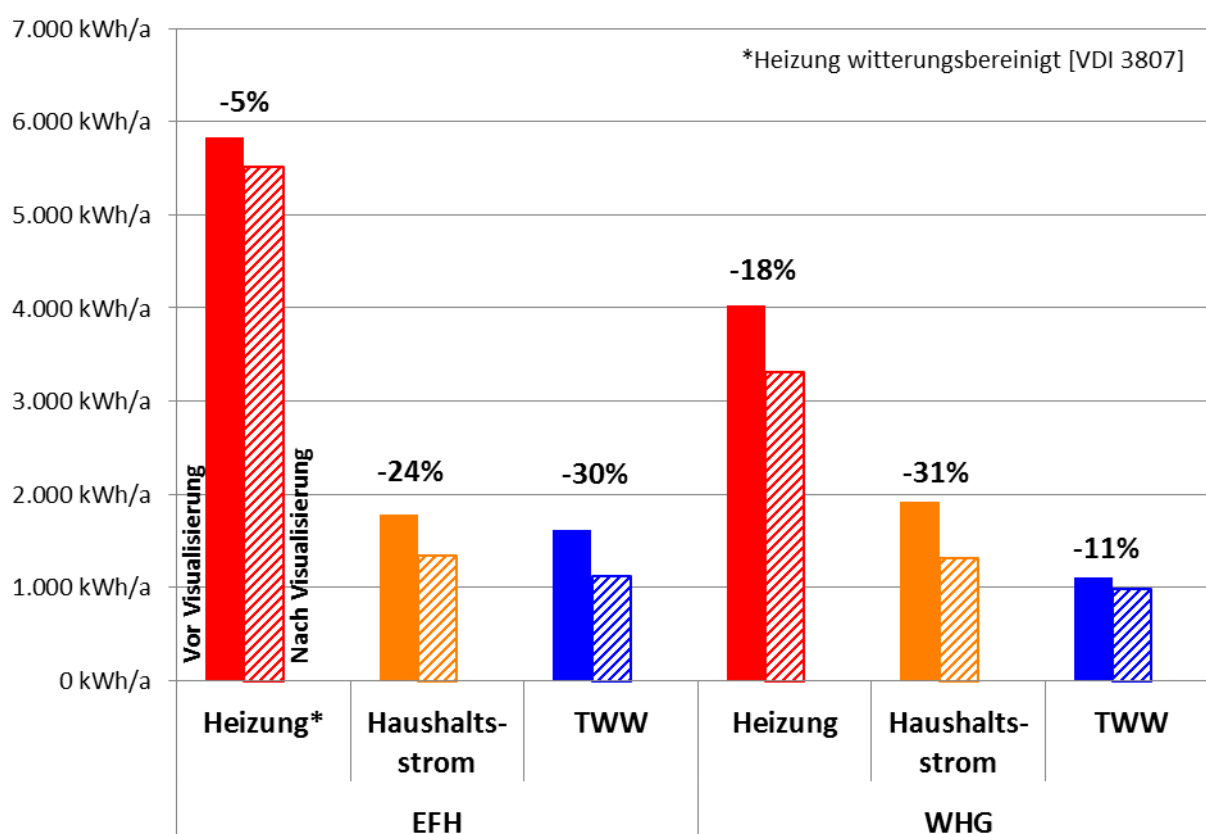


Diagramm 6-12: Ermittelte Nutzenergieverbräuche für zwei exemplarische Wohneinheiten im Ludmilla-Wohnpark Landshut für das Jahr vor und nach Inbetriebnahme der Verbrauchsvisualisierung

Für das gesamte Quartier konnte allerdings keine merkliche Verbesserung durch die Visualisierung festgestellt werden. Dies ist auf die geringe Inanspruchnahme durch die Bewohner zurückzuführen. Nur etwa zehn Prozent nutzen die Visualisierung in unregelmäßigen Abständen. Das **Einsparpotential** durch Verbrauchsvisualisierung wird bei **flächendeckendem Einsatz auf 15 bis 25 Prozent** geschätzt.

7 BILANZIERUNG UND BEWERTUNG VON ENERGIE⁺-OBJEKTEN

Im aktuellen Verfahren nach EnEV 2014 erfolgt die Bewertung ausschließlich für Einzelgebäude. Auch das Erreichen einer positiven Energiebilanz ist aktuell nicht möglich. Die Bewertung von Siedlungs- und Quartierskonzepten mit dem Ziel eines energetischen Überschusses ist somit aktuell nicht realisierbar.

Das in diesem Kapitel vorgestellte Verfahren macht es möglich, die Bilanzierung und Bewertung energieeffizienter Gebäudekonzepte über die bisherige thermische Bedarfsbetrachtung einzelner Gebäude hinaus auf die ganzheitliche Betrachtung von Siedlungs- und Quartierskonzepten zu erweitern.

7.1 Rahmenbedingungen für die Bilanzierung

Zur Bewertung von Siedlungs- und Quartierskonzepten müssen elementare Festlegungen getroffen werden. Das schließt die Bilanzgrenze ebenso ein wie den Betrachtungszeitraum und die zu bewertende Energieform.

7.1.1 Systemgrenze

Die Bilanzgrenze ist eine elementare Festlegung für Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere. Durch sie wird bestimmt, an welcher Stelle die ein- und ausgehenden Energieströme gegenüber gestellt werden. Für Energie⁺ wird die Festlegung aus [BMUB 2014] übernommen, die Energieerzeugung im Gebäude oder in direktem räumlichem Zusammenhang zu den Gebäuden zulässt. Würde man die Gebäudehülle als Bilanzgrenze wählen, müsste die Erzeugung von Energieüberschüssen zum bilanziellen Ausgleich von bezogener Energie innerhalb des Gebäudes erfolgen. Dies ist nicht zielführend, da die erzeugte Energie von Photovoltaik, Solarthermie und Kleinwindkraftanlagen als Energiebezug von außen gesehen werden müssten und somit nicht zum energetischen Ausgleich dienen können. Selbst die Festlegung, das Gebäude mit allen Außenflächen als Bilanzierungsgrenze zu sehen ist nicht sinnvoll, da in diesem Fall beispielsweise Wärme aus oberflächennaher Geothermie als Energiebezug von außen gilt. Ein Zukauf von elektrischer Energie aus beispielsweise Off-Shore Windkraftanlagen ist für die rein energetische Betrachtung nicht von Relevanz. Diese wird als normaler Energiebezug von außen gesehen.

Die Bilanzgrenze einer Siedlung oder eines Quartieres ist die Grundstücksgrenze des Gesamtkonzeptes. Dies ermöglicht eine zentrale Energiebereitstellung und -verteilung innerhalb des Gesamtsystems. Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere müssen nicht zwangsläufig ausschließlich aus Energie⁺-Gebäuden bestehen. Vielmehr muss das Versorgungskonzept die notwendigen Anforderungen für Energie⁺ erfüllen. Dies bietet zum einen die Möglichkeit, die Energieverbräuche von Gebäuden ohne eigene Erzeugung durch die Überschüsse anderer Gebäude auszugleichen. Andererseits ist damit allerdings auch die Verpflichtung verbunden, alle Gebäude innerhalb der Bilanzgrenzen zu berücksichtigen.

Neben allen Gebäuden innerhalb der Bilanzierungsgrenzen müssen auch alle weiteren Energieverbräuche in die energetische Betrachtung einfließen. Während bei Einzelgebäuden

neben dem Energiebedarf für den Gebäudebetrieb in der Regel keine weiteren Verbräuche anfallen, müssen bei Siedlungskonzepten auch die Allgemeinstromverbräuche für beispielsweise die Beleuchtungen der Treppenhäuser, Tiefgaragen, Verkehrswege und Parkanlagen sowie die elektrische Antriebsenergie für Aufzüge Berücksichtigung finden.

Besteht ein Siedlungskonzept aus vielen einzelnen Gebäuden, die weder thermisch noch elektrisch miteinander verbunden sind (siehe Abb. 7-1 links), wird jedes Gebäude einzeln bewertet. Eine Betrachtung im Verbund ist zwar denkbar, wird in diesem Fall allerdings als nicht zielführend gesehen, da die Gebäude nicht voneinander beeinflusst werden. Ein Vergleich der Gebäude untereinander ist jederzeit möglich und zu befürworten.

Wenn alle Gebäude, wie in Abb. 7-1 rechts dargestellt, über eine gemeinsame Wärme- und/oder Elektroversorgung verfügen, kann die Siedlung nur im Verbund bewertet werden. Die Einzelbetrachtung von Gebäuden ist bei geeigneter messtechnischer Erfassung zwar möglich, wird aber als nicht sinnvoll erachtet, da z.B. Verteil- und Erzeugungsverluste dem einzelnen Verursacher nicht zugewiesen werden können. Es wäre möglich, die am Hauszähler gemessene Wärme als Endenergie für das einzelne Gebäude anzunehmen. Jedoch würden hierbei die oben genannten Energien nicht berücksichtigt.

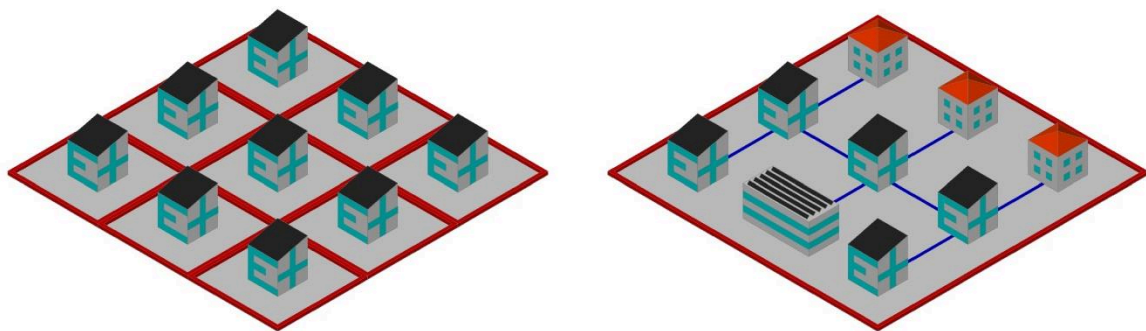


Abb. 7-1: Bilanzierungsgrenzen zur Bewertung von Energie⁺-Siedlungen in Rot dargestellt links: Energie⁺-Siedlung aus einzelnen Energie⁺-Gebäuden die energetisch nicht verbunden sind rechts: Energieverbund aus mehreren Gebäuden, die über eine gemeinsame Energiebereitstellung verfügen

Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Bilanzgrenze bei Einzelgebäuden ist die Grundstücksgrenze
- Bilanzgrenze bei Siedlungen ist die Siedlungsgrenze
- Alle Gebäude und sonstigen Verbraucher innerhalb der Bilanzgrenzen müssen berücksichtigt werden
- Stehen die Gebäude energetisch zueinander nicht in Verbindung, wird jedes Gebäude für sich betrachtet
- Stehen die Gebäude energetisch zueinander in Verbindung, erfolgt die Betrachtung für den Gesamtverbund

7.1.2 Betrachtungszeitraum

Die Festlegung des Betrachtungszeitraumes spielt eine ebenso entscheidende Rolle wie die Bilanzgrenze. Folgende Aspekte müssen hierbei Berücksichtigung finden:

- Eigendeckungs- und Eigennutzungsgrad der elektrischen Energie
- Saisonal bedingte Schwankungen von Energieerzeugung und -verbrauch
- Ganzheitliche energetische Betrachtung des Gebäudes

Bei Energie \oplus -Siedlungen und -Quartieren gibt es unterschiedliche Aspekte, die verschiedene Bilanzzeiträume sinnvoll erscheinen lassen. Diese erstrecken sich von Echtzeit bis zum Lebenszyklus.

Ein energieautarkes Gebäude beispielsweise muss zu jeder Zeit, ohne Energiebezug aus öffentlichen Versorgungsnetzen, eine vollständige Eigendeckung des benötigten Energieeinsatzes gewährleisten. Für diesen Gebäudetyp kann kein Bilanzzeitraum festgelegt werden, da dieser eine Betrachtung in Echtzeit voraussetzt. Energieautarke Versorgungskonzepte sind immer Energie \oplus -Versorgungskonzepte, aber Energie \oplus -Versorgungskonzepte werden nicht immer einen netzunabhängigen Gebäudebetrieb zum Ziel haben, da hierfür sehr große Energiespeicher bereitgestellt werden müssen. Dennoch wird durch die Angabe des Eigendeckungs- und Eigennutzungsgrades der erzeugten und verbrauchten elektrischen Energie die Betrachtung von Energie \oplus -Objekten in Echtzeit integriert, ohne 100 Prozent Eigendeckung zur Bedingung zu machen.

Die Bilanzierung über den Lebenszyklus ist eine weitere Herangehensweise. In diesem Fall können alle verursachten Energieströme, wie die Graue Energie und alle zu erwartenden Energiebedarfe für den Gebäudebetrieb, über die Gesamtnutzungszeit der Gebäude summiert werden. Da es sich hierbei um einen sehr langen und unvorhersehbaren Zeitraum handelt, der kaum realistisch abgeschätzt werden kann, wird eine Beurteilung mit den Lebenszyklussummen als nicht sinnvoll erachtet. Dennoch ist es wichtig, die Graue Energie aufgrund ihrer Relevanz für die Gesamtbilanz des Gebäudes in die Bewertung einzubeziehen. Dies erfolgt durch die Umrechnung der Grauen Energie auf einen Zeitraum von einem Jahr, welcher im aktuellen Bewertungsverfahren für Gebäude, der Energieeinsparverordnung, verankert und als Standard etabliert ist.

Die saisonalen Schwankungen der klimatischen Bedingungen in der Bundesrepublik Deutschland lassen einen Bilanzzeitraum von einem Jahr am sinnvollsten erscheinen, da innerhalb eines Jahres ein Ausgleich der witterungsbedingten Erzeugungs- und Verbrauchsspitzen möglich ist. Zusätzlich wird durch die Jahresbilanzierung eine wiederkehrende Bewertung und der Vergleich mehrerer Zyklen ermöglicht.

7.1.3 Energieform

Plusenergiehäuser® werden rein endenergetisch, Nullenergiehäuser und EnergiePLUS-Gebäude ausschließlich primärenergetisch bewertet. Da die Bewertung beider Energieformen ihre Berechtigung hat, werden Energie \oplus -Objekte sowohl endenergetisch als auch primärenergetisch beurteilt.

Die Bewertung der Endenergie ist zwingend notwendig, da alle Energieströme in ihrer endenergetischen Form gemessen werden. Somit sind diese für jedermann nachvollziehbar und transparent. Bei der endenergetischen Betrachtung werden alle Energieträger gleichgestellt. Somit hat eine Kilowattstunde (kWh) elektrische Energie dieselbe „Wertigkeit“ wie eine kWh thermische Energie oder Brennstoff mit einem Energieinhalt von einer kWh. Bei Gebäuden mit rein elektrischen Energieströmen, sogenannten „Nur-Strom-Häusern“, ist die endenergetische gleich der primärenergetischen Betrachtung, da die Energieströme aufgrund des gleichen Primärenergiefaktors (e_p) proportional sind.

Kommen verschiedene Energieträger zur Deckung des Energiebedarfs und die Überschuss-einspeisung zum Einsatz, ist eine zusätzliche Bilanzierung und Bewertung der Primärenergien sinnvoll. Durch die Gewichtung der unterschiedlichen Energieträger mit Hilfe der Primärenergiefaktoren zueinander wird der Tatsache Rechnung getragen, dass jeder Energieträger über unterschiedliche Verluste bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung verfügt. Dies macht es möglich, verschiedene Energieträger miteinander zu vergleichen. Die Primärenergiefaktoren sind länderspezifisch. Ein bestimmtes Energie \oplus -Versorgungskonzept kann in Deutschland sinnvoll sein, während es in einem anderen Land aus primärenergetischer Sicht nicht zu bevorzugen ist.

7.2 Benötigte Informationen

Für die Beurteilung jedes Bauvorhabens werden die allgemeinen Informationen über das Projekt benötigt. Zusätzlich ist es von Bedeutung, ob es sich um eine Betrachtung auf Basis von berechneten Planungswerten oder gemessenen Werten aus dem Betrieb handelt.

Für die Ermittlung der Werte in der Planungsphase ist der Einsatz dynamischer Simulationsprogramme möglich. Dies ist sinnvoll, da für die Abschätzung einiger Faktoren und die realitätsnahe Abbildung gegenseitiger Wechselwirkungen eine gekoppelte Simulation von Erzeugung und Bedarf notwendig ist.

In Nutzung und Betrieb erfolgt die Erfassung mittels Messtechnik. Je nach Detailgrad umfasst die Messtechnik im einfachsten Fall nur die Summenzähler für die Abrechnung mit dem Energieversorger. Zusätzlich können die Messeinrichtungen für die Abrechnung der Energie mit den Nutzern Bestandteil sein. Doch auch Messeinrichtungen, die für die Optimierung und Überwachung des Anlagenbetriebes genutzt werden, können die benötigten Informationen liefern.

7.2.1 Allgemeine Projektdaten

Zur eindeutigen Identifizierung des Projektes erfolgt die Angabe eines Projektnamens und der Projektadresse. Bei Quartierskonzepten sind dies der Quartiername (z.B. Solarsiedlung XY) und eine stellvertretende Adresse für das Gesamtkonzept.

Die Angabe der vorhandenen Gebäudenutzungen innerhalb des betrachteten Konzeptes ist eine der ersten wichtigen Angaben. Es erfolgt zunächst eine Unterscheidung in Wohnnutzung, Nichtwohnnutzung oder Mischnutzung. Bei reiner Wohnnutzung erfolgt die Angabe nur in der linken Spalte der Tabelle die in Abb. 7-2 dargestellt ist. Enthält das Konzept nur Nichtwohngebäude, erfolgen die Angaben in der rechten Spalte. Bei Mischnutzung werden die nötigen Angaben in beide Spalten eingetragen.

PROJEKTDATEN		
Projektname	Energie+-Quartier Musterstadt	
Projektadresse	Musterstraße 123, 00000 Musterstadt	
	Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung
Nutzungsarten	Wohnen	Schule, Hotel, Büro Schwimmhalle, Museum
Anzahl NE	0 Einheit(en) 0 Gebäude(n)	0 Einheit(en) 0 Gebäude(n)
Bezugsflächen	0 m ² klimatisierte Fläche	0 m ² klimatisierte Fläche
Datenbasis	<input type="checkbox"/> PLANUNG <input type="checkbox"/> BETRIEB	

Abb. 7-2: Benötigte Projektdaten für die Bewertung von Energie \oplus -Objekten

Weiterhin wird die Nutzungsart angegeben. In Quartierskonzepten können auch mehrere Nutzungen vorhanden sein. Weiterhin sind die Anzahl der Gebäude und die darin enthaltenen Nutzungseinheiten von Bedeutung.

Für die Umrechnung von absoluten auf spezifische Werte wird die Summe der Bezugsflächen für die Nutzungseinheiten benötigt. Erfolgt die Bilanzierung und Bewertung EnEV-konform, ist dies die Gebäudenutzfläche. Alternative Möglichkeiten stellen der Bezug auf die klimatisierte Fläche, die Nettogeschoss- sowie die Bruttogeschossfläche dar. Für die Betrachtung von Energie[⊕]-Objekten wird der Bezug auf die klimatisierte Fläche als am sinnvollsten angesehen.

Weiterhin ist den allgemeinen Projektdaten zu entnehmen, ob es sich um eine Betrachtung in der Planungsphase, im Betrieb oder einem Vergleich von Planung und Betrieb handelt.

7.2.2 Ermittlung der Energieströme in der Planung

In der Planung müssen vorausschauende Prognosen über das zu erwartende, energetische Verhalten des geplanten Systems im Zusammenspiel mit den Nutzern erstellt werden. Aufgrund der Komplexität und den Beeinflussungen der Energieströme untereinander kommen hierfür computergestützte Berechnungsprogramme zum Einsatz.

Für den Nachweis nach (EnEV 2014) werden in der Regel Monatsbilanzverfahren genutzt, die beim Vergleich eines einzelnen Gebäudes mit einem Referenzgebäude unter definierten klimatischen Rahmenbedingungen und einem Standardnutzungsprofil ohne Berücksichtigung der elektrischen Eigenerzeugung ohne weiteres anwendbar sind. Die berechneten Energiemengen haben in diesem Fall nicht den Anspruch, die im Betrieb zu erwartenden Energieverbräuche realitätsgetreu abzubilden. Ziel ist die energetische Bewertung eines geplanten Gebäudes im Verhältnis zum Referenzgebäude.

Die Betrachtung von Energie[⊕]-Objekten geht jedoch über die reine Gegenüberstellung der jährlichen Summenwerte für die Erzeugung und den Bedarf weit hinaus. Für die Abschätzung des Eigendeckungs- und Eigennutzungsgrades der eigenerzeugten elektrischen Energie, vor allem bei Nutzung elektrischer Speicher, ist die gekoppelte Berechnung von Bedarf und Erzeugung notwendig. Hierfür müssen die berechneten Planungswerte die später im Betrieb vorherrschenden Energieströme in Echtzeit so realitätsgetreu wie möglich abbilden. Dafür ist es nötig, fallbezogene Nutzer- und Anlagenprofile für die Berechnungen zu nutzen und diese in geeigneten Werkzeugen einzusetzen. Das spätere Verhalten in Nutzung und Betrieb ist jedoch von verschiedensten Faktoren abhängig und somit nur im Rahmen statistischer Wahrscheinlichkeiten vorhersehbar. Deshalb ist es in der Planung nicht möglich, einen exakten energetischen Zielwert für Energie[⊕]-Versorgungskonzepte zu berechnen. Aus diesem Grund wird die Herangehensweise verfolgt, einen energetischen Varianzbereich anzugeben, in dem sich das Energie[⊕]-Objekt im realen Betrieb nach statistischen Wahrscheinlichkeiten bewegen wird.

Aktuell verfügt der Markt über kein breitentaugliches Berechnungswerkzeug, mit dem alle relevanten Einflussfaktoren für Energie[⊕]-Objekte abgebildet werden können.
[van Treeck 2014]

Der Markt verfügt über eine Vielzahl dynamischer Berechnungswerkzeuge. Betrachtet man diese jedoch hinsichtlich der Modellverfügbarkeit und –effizienz, Nutzerfreundlichkeit und Tauglichkeit für den Einsatz im alltäglichen Planungsprozess, Vollständigkeit der benötigten Daten für die Eingabe, Anpassungsfähigkeit an die lokalen Anforderungen, Verständlichkeit der gelieferten Ergebnisse oder auch die Integration in Planungsprozesse, stellt man fest, dass aktuell keine geeigneten Werkzeuge für die gestellten Aufgaben zur Verfügung stehen. Die Entwicklung solcher Tools stellt eine Herausforderung dar, um die verlässliche Planung und somit Verbreitung von Energie \oplus -Objekten zu unterstützen. Diese Aufgabe ist nur durch die Organisation einer Entwicklungsplattform zu realisieren, in der sich sowohl die universitäre Forschung als auch Software-Firmen aus der freien Wirtschaft gleichermaßen einbringen.

7.2.3 Ermittlung der Energieströme in Nutzung und Betrieb

Im Betrieb können die erzeugten und verbrauchten Energien unter den örtlichen Rahmenbedingungen und dem realen Nutzerverhalten mit Hilfe von Messtechnik erfasst werden. Hierbei ist es nicht von Belang, aus welchen Quellen die Energieverbräuche gedeckt werden. Es wird nicht zwischen vor Ort genutzten erneuerbaren Energiequellen und externem Energiebezug von beispielsweise Brennstoff unterschieden. Bei Wärmepumpen zum Beispiel wird somit nicht nur die elektrische Antriebsenergie als Energieverbrauch erfasst, sondern auch die eingesetzte Umgebungswärme. Sollen die Energieverbräuche dem jeweiligen Verursacher exakt zugeordnet werden können, müssen die thermischen Energieverbräuche für Heizung, TWW-Bereitung und Kühlung, sowie die elektrischen Energieverbräuche für Hilfsenergie, Haushaltsstrom, Beleuchtung und Allgemeinstrom getrennt erfasst werden.

Nur bei Erfassung aller Verbräuche ist die Bilanzierung des Gebäudebetriebes möglich.

Für die energetische Beurteilung des Gesamtsystems werden die abgegebenen thermischen und elektrischen Energieüberschüsse messtechnisch erfasst und dem externen Energiebezug gegenübergestellt. Da es sich in diesem Fall bei allen Energieströmen um abrechnungsrelevante Werte mit dem Energieversorger handelt, kann eine messtechnische Erfassung vorausgesetzt werden. Für die Anrechenbarkeit des elektrischen Energieüberschusses ist es nicht von Bedeutung, ob die Elektrizität in das öffentliche Versorgungsnetz eingespeist oder mit Hilfe von Elektromobilität selbst genutzt wird.

7.3 Energie \oplus -Effizienzklassen

Die Einstufung von Energie \oplus -Siedlungen und -Quartieren erfolgt mit Hilfe von Energie \oplus -Effizienzklassen. Die Energie \oplus -Effizienzklassen ermöglichen sowohl die Einstufung des Gebäudebetriebes als auch der energetischen Bilanz des Gesamtsystems unter Berücksichtigung des bilanziellen Ausgleichs von Energiebezug durch elektrische und thermische Energieabgabe. Bei der Betrachtung des Gebäudebetriebs werden ausschließlich die Energiebedarfe bzw. Energieverbräuche berücksichtigt. Es erfolgt die Einstufung in die Energie \oplus -Effizienzklassen A-H. Für die Bewertung des Gesamtsystems kommt der bilanzielle Ausgleich durch Energieabgabe hinzu. Führt der abgegebene Energieüberschuss zu einer negativen Gesamtbilanz für das Gesamtsystem, handelt es sich um ein Konzept der Energie \oplus -Effizienzklasse A⁺. Übersteigt der Energieüberschuss die auf ein Jahr umgerechnete Graue Energie, wird das Konzept der Energie \oplus -Effizienzklasse A⁺⁺ zugeordnet.

7.3.1 Energie \oplus -Effizienzklassen A-H

Effizienzklassen sind aus dem alltäglichen Leben bekannt und werden als Bewertungseinheit akzeptiert und verstanden. Neben Elektrogeräten werden auch PKW seit 01. Dezember 2011 nach der Pkw-Energie-Verbrauchskennzeichnungs-Verordnung [Pkw-EnVKV 2004] mit Effizienzklassen gekennzeichnet. Die Idee der Effizienzklassen wurde vom Umweltausschuss der Bundesländer im Rahmen der Abstimmungsgespräche mit der Bundesregierung zur Novellierung der EnEV 2014 aufgegriffen und als Änderungswunsch in die Abstimmungsgespräche eingebracht. Dieser Vorschlag wurde, zusammen mit allen weiteren Änderungsvorschlägen des Bunderates, vom Bundestag in der Kabinettsitzung vom 16. Oktober 2013 angenommen und die EnEV 2014 verabschiedet. Effizienzklassen sind somit Bestandteil des aktuellen Bewertungsverfahrens. Die Bewertung begrenzt sich weiterhin auf den Gebäudebetrieb ohne den elektrischen Energiebedarf.

Alle Gebäude verbrauchen für Betrieb und Nutzung Energie. Zur Bewertung des Gebäudebetriebes werden an dieser Stelle die Energie \oplus -Effizienzklassen A-H definiert. Bei der Festlegung der endenergetischen und primärenergetischen Energie \oplus -Effizienzklassen wurden die Definitionen vom Institut für Wohnen und Umwelt Darmstadt (IWU) aus dem Jahr 2002 [Loga 2002] und der [EnEV 2014] (Anlage 10) herangezogen und die Einstufung aus Tabelle 7-1 abgeleitet.

Das IWU definiert für die Effizienzklasse A einen maximal zulässigen Endenergiebedarf für Heizzwecke von 20 kWh/(m²a). Warmwasserbereitung und elektrische Verbraucher werden nicht berücksichtigt. In der DIN V 18599 ist für die Warmwasserbereitung in EFH ein Vorgabewert von 11,0 kWh/(m²a) und für MFH von 15,0 kWh/(m²a) angegeben. Der Umweltausschuss sieht einen maximalen Energiebedarf für Heizung, TWW-Bereitung und Hilfsenergie für die beste Effizienzklasse von 30 kWh/(m²a) vor und definiert diese als Effizienzklasse A⁺.

Tabelle 7-1: Energie⁺-Effizienzklassen A-H im Vergleich zu den Effizienzklassen für Wohngebäude des IWU [Loga 2002] und der EnEV 2014, Anlage 10

Effizienz- klassen	Endenergie			Primärenergie	
	Energie ⁺ [kWh/(m²a)]	IWU [kWh/(m²a)]	EnEV 2014 [kWh/(m²a)]	Energie ⁺ [kWh/(m²a)]	IWU [kWh/(m²a)]
Anmerkungen		nur Heizung	ohne Elektro A = A ⁺		ohne Elektro
A	< 50	< 20	< 30	< 50	< 40
B	< 75	< 40	< 50	< 75	< 60
C	< 100	< 60	< 75	< 100	< 80
D	< 125	< 80	< 100	< 125	< 110
E	< 150	< 100	< 130	< 150	< 150
F	< 175	< 125	< 160	< 175	< 200
G	< 200	< 150	< 200	< 200	< 300
H	≥ 200	< 200	< 250	≥ 200	< 400

Anmerkungen: Endenergie nach IWU nur Heizenergie
 Endenergie EnEV 2014 ohne Haushaltsstrom (A entspricht A⁺ usw.)
 Primärenergie IWU ohne Haushaltsstrom

Die elektrischen Verbraucher bleiben in den bisherigen Festlegungen unberücksichtigt. Um jedoch eine Bewertung des gesamten Gebäudebetriebes zu ermöglichen, muss der Energiebedarf für die elektrischen Geräte, die Beleuchtung und eventueller Kühlung ebenfalls Berücksichtigung finden. In der Berechnung für das Effizienzhaus PLUS wird der elektrische Energiebedarf mit einem Richtwert von 20 kWh/(m²a) berücksichtigt. Unter Einbezug aller genannten Aspekte wird der endenergetische Maximalwert für die Energie⁺-Effizienzklasse A auf 50 kWh/(m²a) festgelegt. Für die weiteren Energie⁺-Effizienzklassen B-H wird endenergetisch eine lineare Erhöhung um jeweils 25 kWh/(m²a) vorgeschlagen. Alle Konzepte, deren Endenergiebedarf 200 kWh/(m²a) übersteigt, werden der Energie⁺-Effizienzklasse H zugeordnet.

Für die primärenergetische Bewertung von Energie⁺-Konzepten wird die Skala der Endenergie übernommen. Die gleichen Skalen setzen somit ein Verhältnis von Endenergie zu Primärenergie gleich eins als Voraussetzung an, um für beide Energieformen dieselbe Einstufung zu erhalten. Das Verhältnis von Endenergie zu Primärenergie wird durch die Primärenergiefaktoren (e_p) der eingesetzten Energieträger bestimmt. Verfügt das Energie⁺-Konzept über einen mittleren Primärenergiefaktor (e_{PM}) = 1, ist die endenergetische Einstufung gleich der primärenergetischen. Diese Festlegung wurde getroffen, um sowohl den Einsatz erneuerbarer Energien für die thermische Energieversorgung als auch die Eigendeckung der elektrischen Energiebedarfe zu stärken.

Während elektrische Energie aus dem öffentlichen Versorgungsnetz ($e_p = 2,4$) und fossile Brennstoffe ($e_p=1,1$) über Primärenergiefaktoren >1 verfügen und sich somit negativ auf die primärenergetische Einstufung auswirken, haben erneuerbare Energieträger Primärenergie-

faktoren <1 oder sogar null. Somit wirkt sich der Einsatz von solarthermischen Anlagen oder Biomasse für die Wärmebereitstellung im Vergleich zum Einsatz von fossilen Brennstoffen vorteilhaft auf die primärenergetische Einstufung aus.

Neben den eingesetzten Energieträgern für die Wärmebereitstellung ist jedoch vor allem der elektrische Energieeinsatz aufgrund des hohen Primärenergiefaktors für elektrische Energie von elementarer Bedeutung für die primärenergetische Einstufung von Energie \oplus -Objekten. Während elektrische Energie aus dem öffentlichen Versorgungsnetz primärenergetisch mit dem Faktor 2,4 multipliziert werden muss, hat elektrische Energie aus erneuerbaren Energiequellen für die Eigenversorgung einen Primärenergiefaktor von null. Somit wirkt sich die Eigendeckung des elektrischen Energiebedarfs positiv aus. Tabelle 7-2 zeigt den Einfluss des mittleren Primärenergiefaktors auf die Einstufungen nach End- und Primärenergie.

Tabelle 7-2: Auswirkung des mittleren Primärenergiefaktors auf die primärenergetische Einstufung

Mittlerer Primärenergiefaktor (e_{PM})	Einstufung Primär- zu Endenergie
= 1	gleich
< 1	besser
> 1	schlechter

Die Gegenüberstellung der endenergetischen und primärenergetischen Effizienzklasse stellt somit einen Indikator für die Eigendeckung und den Einsatz erneuerbaren Energiequellen in Energie \oplus -Objekten dar. Je besser die primärenergetische Energie \oplus -Effizienzklasse im Vergleich zur endenergetischen Einstufung ist, umso höher ist der Eigendeckungsgrad und erneuerbare Energien-Anteil. Die festgelegten Grenzwerte für die Primärenergie sind im Vergleich zu den vom IWU im Jahr 2002 festgelegten Grenzwerten zwar ambitioniert, aus den genannten Gründen jedoch vertretbar.

Bei der energetischen Bewertung des Gebäudebetriebes werden für Energie \oplus -Objekte alle thermischen und elektrischen Energiebedarfe bzw. -verbräuche berücksichtigt, die für den Betrieb der Gebäude aufgewendet werden müssen. Hierfür ist es irrelevant, ob es sich um regenerative oder fossile Energie handelt und ob diese aus der eigenen Energieerzeugung oder von Extern stammt. Die Eigendeckung aus erneuerbaren Energiequellen wirkt sich somit nur primärenergetisch, jedoch nicht endenergetisch positiv aus.

Für das Gesamtsystem werden die thermischen und elektrischen Energieabgaben dem Energiebezug gegenübergestellt. Wird der Energiebezug für den Gebäudebetrieb von der Energieabgabe bilanziell nicht vollständig ausgeglichen, erfolgt die Einstufung des Gesamtsystems auf Basis der restlichen Energiemenge in die Klassen A-H.

7.3.2 Energie⊕-Effizienzklasse A⁺

Die definierten Effizienzklassen sowohl des IWU als auch des Umweltausschusses adressieren ausschließlich die Bewertung des Gebäudebetriebs. Die Bewertung von Gesamtkonzepten, in denen die Energieabgabe den Energiebezug übersteigt und daraus ein Energieüberschuss resultiert, wird nicht betrachtet. Um dieser Thematik Rechnung zu tragen, und eine Einstufung von Plusenergiekonzepten zu ermöglichen, werden die Energie⊕-Effizienzklassen A⁺-A⁺⁺ definiert [Stockinger 2012b]. Die Bewertung erfolgt jeweils für Endenergie und Primärenergie.

Alle Versorgungskonzepte, in denen die Energieabgabe in Form von elektrischen und thermischen Energieüberschüssen den externen Energiebezug für den Gebäudebetrieb übersteigt, werden unabhängig von der Höhe des Energieüberschusses zunächst der Energie⊕-Effizienzklasse A⁺ zugeordnet. Nullenergiegebäude stellen somit die Grenze zwischen der Energie⊕-Effizienzklasse A und A⁺ dar. Ein Plusenergiehaus® muss endenergetisch die Energie⊕-Effizienzklasse A⁺ erreichen. [Disch 2014] Wird A⁺ sowohl primär- als auch endenergetisch erreicht, sind die Anforderungen für das „Effizienzhaus Plus“ erfüllt. [BMUB 2014] Für „GesamtenergiePLUS-Gebäude“ [Mahler 2012] müssen die Anforderungen der Energie⊕-Effizienzklasse A⁺ primärenergetisch nachgewiesen werden.

7.3.3 Energie⊕-Effizienzklasse A⁺⁺

Ein Versorgungskonzept wird in die Energie⊕-Effizienzklasse A⁺⁺ eingestuft, wenn die eingespeisten Energieüberschüsse über den Energiebezug für den Gebäudebetrieb hinaus noch zusätzlich die Graue Energie des Gebäudes ausgleicht. Für die Effizienzklasse A⁺⁺ gibt es in Deutschland bisher keine vergleichbare Definition. Das Energie-Cluster Schweiz hat einen Standard für Plusenergiehäuser mit der Bezeichnung „Plusenergiehaus 3“ definiert, [Viridén 2010] welcher wie die Effizienzklasse A⁺⁺ die Graue Energie in die Bewertung von Gebäuden integriert.

Die auf den Betrachtungszeitraum von einem Jahr umgerechnete Graue Energie bewegt sich, je nach berücksichtigten Materialien und Bilanzierungsform, in verschiedenen Untersuchungen in einem Bereich von 10-100 kWh/(m²a) Primärenergie. [Ramesh 2010, Sartori 2007, Weißenberger 2014a, Weißenberger 2014b] Die Berechnung und die damit verbundene Bewertung der Grauen Energie von Gebäuden sind in Deutschland noch nicht Stand der Technik. Die Möglichkeit zur Berechnung der Grauen Energie mit breitentauglichen Berechnungsprogrammen ist aktuell noch nicht gegeben. Die Nachverfolgung und Bilanzierung der Prozessketten für Baustoffe und Materialien ist sehr aufwändig und die benötigten Informationen stehen nur begrenzt zur Verfügung. Nur Hersteller, deren Materialien über niedrige Inhalte an Grauer Energie verfügen, haben ein nachvollziehbares Interesse daran, ihre Materialien bewerten zu lassen, was den Prozess zusätzlich hemmt. Bis ein geeignetes Verfahren zur Ermittlung der Grauen Energie zur Verfügung steht, wird für die Energie⊕-Effizienzklasse A⁺⁺ ein benötigter Energieüberschuss von 50 kWh/(m²a) festgelegt. Dieser wird vom Minergie-A®-Standard der Schweiz

übernommen. [Minergie® 2010] Graue Energie wird primärenergetisch bilanziert. Eine exakte Umrechnung der Grauen Energie in Endenergie wäre nur möglich, wenn alle verwendeten und beinhaltenen Materialien und deren Primärenergieinhalt bekannt sind. Die Bestimmung derer ist jedoch kaum realisierbar. Um die Graue Energie auch in der endenergetischen Bewertung berücksichtigen zu können, wird ein mittlerer Primärenergiefaktor von eins angenommen und somit die bereits aus den Energie \oplus -Effizienzklassen A-H bekannte gleichbleibende Skala für Endenergie und Primärenergie übernommen.

Um den Einsatz von Materialien mit wenig Grauer Energie in Zukunft zu fördern, ist eine Korrektur des Vorgabewertes durch den Nachweis nach einem geeigneten Verfahren sinnvoll. Eine Möglichkeit wäre ein Nachweisverfahren, in dem ähnlich dem Referenzgebäude der EnEV, Referenzbauteile definiert und die tatsächlichen Bauteilaufbauten für das geplante Energie \oplus -Objekt mit diesen verglichen werden. Ergibt sich daraus eine Einsparung an Grauer Energie, erfolgt eine Reduzierung des Vorgabewertes.

Die schnellste Verbreitung dürfte für die Berechnung von Grauer Energie gegeben sein, wenn diese in bereits vorhandene Berechnungs- und Simulationsprogramme integriert wird. Dies stellt sich als sinnvoll dar, da für die Energiebedarfsermittlung nach [EnEV 2014] oder Gebäudesimulationen bereits die meisten relevanten Bauteile eingegeben werden müssen und somit kein Mehraufwand durch die Berechnung der Grauen Energie entstehen würde.

7.3.4 Sonstige Energie \oplus -Effizienzklassen

Eine Effizienzklasse über A⁺⁺ hinaus, die beispielsweise den Energieeinsatz für die Mobilität oder Lebensgüter (Nahrungsmittel, Kleidung usw.) repräsentiert, wird zum aktuellen Zeitpunkt als nicht sinnvoll erachtet.

Grundsätzlich wäre eine Energie \oplus -Effizienzklasse für die oben genannten Faktoren denkbar. Je niedriger der Energiebedarf für den Gebäudebetrieb wird, umso wichtiger wird der Energieeinsatz für Mobilität und Lebensgüter. Da sich diese, vor allem bei einer Vielzahl von unterschiedlichen Nutzern, nur sehr schwer erfassen lassen und bei z. B. Mobilität nicht nur der motorisierte Individualverkehr, sondern auch die Nutzung von öffentlichen Verkehrsmitteln in die Betrachtung einfließen müsste, wird aktuell hiervon abgesehen.

Energie \oplus -Objekte können dennoch von Elektromobilität und umgekehrt profitieren. Konzepte der Effizienzklasse A⁺⁺ stellen in der Regel elektrische Überschüsse aus erneuerbaren Energiequellen bereit, welche mit Elektromobilität genutzt werden können. Somit erfolgt der Individualverkehr auf Basis erneuerbarer Energien. Im Gegenzug werden durch die Eigennutzung der elektrischen Überschüsse mit Hilfe von Elektromobilität die Einspeisungen in die öffentlichen Versorgungsnetze reduziert und zusätzliche Speicherkapazitäten für das Gesamtsystem bereitgestellt, was sich positiv auf die Netzstabilität auswirkt. Eine Effizienzklasse für Mobilität ist mit steigendem Anteil von Elektromobilität am Individualverkehr für die Zukunft denkbar.

7.3.5 Übersicht











Die Energie \oplus -Effizienzklassen ermöglichen sowohl die Bilanzierung und Bewertung des Gebäudebetriebes als auch des Gesamtsystems.

Für den Gebäudebetrieb werden alle elektrischen und thermischen Energieverbräuche bilanziert, unabhängig davon aus welcher Quelle diese stammen. Erneuerbare Energie aus Quellen vor Ort ist für den Gebäudebetrieb dem externen Energiebezug gleichgestellt. Somit wird beispielsweise bei einer WP der erneuerbare Wärmeanteil ebenso berücksichtigt wie der elektrische Energiebezug für die Antriebsenergie. Abgegebene Energien werden im Gebäudebetrieb nicht berücksichtigt. Somit ist eine Einstufung nur in die Energie \oplus -Effizienzklassen A-H möglich. Mit dieser Herangehensweise wird das Ziel verfolgt, eine vom energetischen Versorgungskonzept unabhängige Aussage über die bauphysikalische Gebäudequalität und das Nutzerverhalten zu ermöglichen.

Für das Gesamtsystem werden die bezogenen Energien der Energieabgabe gegenübergestellt. Somit wird nicht der gesamte Energieverbrauch für den Gebäudebetrieb bilanziert, sondern nur der Anteil, der von externen Quellen bezogen wird. Die Eigendeckung der Energieverbräuche wirkt sich positiv auf die Bilanz des Gesamtsystems aus. Zusätzlich kann ein bilanzieller Ausgleich – und darüber hinaus – des Energiebezugs durch elektrische und thermische Energieabgabe erfolgen. Führt die Energieabgabe zu einem negativen Energiebezug für das Gesamtsystem, wird das Konzept mindestens der Energie \oplus -Effizienzklassen A⁺ zugeordnet. Übersteigt der Energieüberschuss den definierten Pauschalwert für die Graue Energie von 50 kWh/(m²a), wird das Konzept in die Energie \oplus -Effizienzklasse A⁺⁺ eingeordnet. Der Wert für die Graue Energie kann zukünftig angepasst werden, wenn dieser mit geeigneten noch zu entwickelnden Berechnungswerkzeugen nachgewiesen wird. Handelt es sich beim abgegebenen Überschuss um elektrische Energie und wird diese mit Hilfe von Elektromobilität selbst genutzt, wirkt sich dies positiv auf den elektrischen Eigennutzungsgrad aus.

Eine weitere Effizienzklasse wird zum aktuellen Zeitpunkt als nicht sinnvoll erachtet. In Tabelle 7-3 sind die Energie \oplus -Effizienzklassen mit ihren Grenzwerten für Endenergie und Primärenergie dargestellt.

Tabelle 7-3: Energie \oplus -Effizienzklassen A⁺⁺-H

Energie \oplus -Effizienzklassen	Endenergie [kWh/(m ² a)]	Primärenergie [kWh/(m ² a)]
	< -50	< -50
	< 0	< 0
	< 50	< 50
	< 75	< 75
	< 100	< 100
	< 125	< 125
	< 150	< 150
	< 175	< 175
	< 200	< 200
	≥ 200	≥ 200

7.4 Bilanzierung und Bewertung Gebäudebetrieb

Bei der Bewertung des Gebäudebetriebes wird die elektrische und thermische Energieabgabe, die mit Elektromobilität entweder selbst genutzt oder in öffentliche Netze eingespeist wird, nicht berücksichtigt. Somit ist ein bilanzieller Energieüberschuss nicht möglich. Die Einstufung kann ausschließlich in die Energie \oplus -Effizienzklassen A-H erfolgen. Um eine gute Effizienzklasse für den Gebäudebetrieb zu erreichen ist der Einsatz passiver Maßnahmen wie Gebäudedämmung, eine hohe Anlageneffizienz und energiesparendes Nutzerverhalten notwendig. Primärenergetisch kann die Effizienzklasse durch den Einsatz regenerativer Energieträger verbessert werden.

Die Bilanzierung und Bewertung des Gebäudebetriebs kann sowohl in der Planung als auch im späteren Betrieb durchgeführt werden. Weiterhin muss der Vergleich der Planungswerte mit dem realen Betrieb erfolgen.

7.4.1 Berücksichtigte Energieströme

Bei der Beurteilung des Gebäudebetriebes werden alle thermischen und elektrischen Energieströme berücksichtigt, die für den Betrieb der Gebäude notwendig sind. Hierbei ist es irrelevant, ob diese aus externen Quellen bezogen werden oder aus der Eigenerzeugung stammen. Dies sind bei Wohnnutzung die bereits in der EnEV berücksichtigten Energien für die Bereitstellung der thermischen Energien für Heizung und Warmwasser sowie die für die Erzeugung und Verteilung der Wärme benötigte elektrische Hilfsenergie. Darüber hinaus kommt in Nutzung und Betrieb der Verbrauch, beziehungsweise in der Planungsphase der Bedarf, für alle elektrischen Geräte und die Beleuchtung hinzu. Bei Siedlungs- oder Quartierskonzepten muss auch der Allgemeinstrom für beispielsweise Aufzüge Berücksichtigung finden. Benötigt das Konzept Energie für Kühlungs Zwecke, muss dieser Energieeinsatz ebenfalls in die Bilanzierung für den Gebäudebetrieb einfließen. Da sowohl eine Einstufung nach End- als auch nach Primärenergie erfolgt, ist die Angabe der eingesetzten Energieträger notwendig. Die Umrechnung von Endenergie auf Primärenergie erfolgt mit den Primärenergiefaktoren (e_p) nach gültiger [EnEV 2014].

7.4.2 Datenblatt und Gesamtübersicht

Eine tabellarische Übersicht über die relevanten Energieströme und die endenergetische sowie primärenergetische Einstufung liefert Abb. 7-3.

Zunächst erfolgt die Angabe der relevanten Projektdaten. Eine detaillierte Beschreibung aller Punkte befindet sich in „7.2.1 Allgemeine Projektdaten“. Weiterhin ist rechts oben die Möglichkeit gegeben, eine Grafik des Bauvorhabens einzufügen.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Angabe der Datenbasis, auf der die Betrachtung basiert. Es ist möglich, Energie \oplus -Objekte auf der Grundlage von Berechnungswerten im Rahmen der Planung zu beurteilen. Da einige Faktoren wie das spätere Nutzerverhalten und die äußeren klimatischen Bedingungen nur sehr schwer abschätzbar sind, kann es sich bei berechneten

ENERGIEAUSWEIS[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und -Quartiere

PROJEKTDATEN

Projektname	Energie ⁺ -Siedlung	
Projektadresse	Sonnenstraße 1, 01234 Zukunftstadt	
	Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung
Nutzungsarten	Wohnen	
Anzahl NE	100 Einheit(en) 10 Gebäude(n)	
Bezugsflächen	8.000 m ² Beheizte Fläche	
Datenbasis	<input checked="" type="checkbox"/> PLANUNG <input checked="" type="checkbox"/> BETRIEB	

GEBÄUDEBETRIEB

Endenergie		PLANUNG	BETRIEB	Primärenergie		PLANUNG	BETRIEB
Energie [⊕] -Effizienzklassen	kWh/(m ² a)			Energie [⊕] -Effizienzklassen	kWh/(m ² a)		
A	0			A	0		
B	25			B	25		
C	50			C	50		
D	75			D	75		
E	100			E	100		
F	125			F	125		
G	150			G	150		
H	175			H	175		
	≥200				≥200		
		80,0 ±20,0	85,0			90,0 ±22,5	93,3

	Energieträger	e _p	PLANUNG				NUTZUNG UND BETRIEB			
			Endenergie		Primärenergie		Endenergie		Primärenergie	
			Sollwert kWh/(m ² a)	Varianz kWh/(m ² a)	Sollwert kWh/(m ² a)	Varianz kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)
GEBÄUDEBETRIEB			80,0	±20,0	90,0	±22,5	680	85,0	746	93,3
THERMISCHE ENERGIE			50,0	±12,5	18,0	±4,5	444	55,5	180	22,5
Heizung	Pellets	0,2	15,0	±3,8	3,0	±0,8	228	28,5	46	5,7
	Strom	2,4	5,0	±1,3	12,0	±3,0	56	7,0	134	16,8
	Umweltwärme	0,0	15,0	±3,8	0,0	±0,0	160	20,0	0	0,0
Trinkwarmwasser	Pellets	0,2	15,0	±3,8	3,0	±0,8	in Messwerten Heizung enthalten			
Kühlung										
ELEKTRISCHE ENERGIE			30,0	±7,5	72,0	±18,0	236	29,5	566	70,8
Hilfsenergie	elektrische Energie	2,4	5,0	±1,3	12,0	±3,0	In Allgemeinstrom enthalten			
Haushaltsstrom			20,0	±5,0	48,0	±12,0	172	21,5	413	51,6
Beleuchtung										
Allgemeinstrom			5,0	±1,3	12,0	±3,0	64	8,0	154	19,2

Anmerkungen:

Abb. 7-3: Datenblatt für die Bewertung des Gebäudebetriebes bei Energie[⊕]-Objekten

Werten immer nur um Schätzungen handeln. Aus diesem Grund wird der zukünftige Verbrauch mit der Angabe eines Varianzbereiches ergänzt und ein Zielbereich ausgewiesen.

Zur Bestimmung des Zielbereiches wird zunächst die Berechnung mit Hilfe eines definierten Standardnutzers für den jeweiligen Anwendungsfall und den Klimadaten des geplanten Standortes durchgeführt und daran anschließend eine Varianz für das jeweilige Konzept aufgeprägt, welche von der Größe des betrachteten Bauvorhabens abhängt. Auf diese Weise erfolgt die Ermittlung eines Zielwertes und Zielbereiches, in dem sich das Konzept im späteren Betrieb mit statistischer Wahrscheinlichkeit bewegen wird. Die Energie⁺-Effizienzklasse des Zielwertes sowie der Varianzbereich (graue Markierung) werden in das Datenblatt eingetragen. In Abb. 7-3 liegt der Zielbereich für die Endenergie beispielhaft zwischen 60-100 kWh/(m²a). Das Bauvorhaben kann die Klassen B-C erreichen.

Durch die Angabe der Varianz wird bereits in der Planungsphase nochmals der hohe Einfluss des Nutzerverhaltens und des Anlagenbetriebes hervorgehoben.

Zusätzlich erfolgt die Betrachtung des Energie⁺-Objektes mit Hilfe der gemessenen elektrischen und thermischen Energieverbräuche. Diese werden in der Tabelle im Bereich „Nutzung und Betrieb“ eingetragen und addiert. Können die Verbräuche den Verursachern zugeordnet werden, erfolgt eine detaillierte Auflistung. Sind nur die Summenwerte für die elektrischen und thermischen Verbräuche bekannt, werden diese direkt in die Spalten eingetragen. Mit Hilfe der Gesamtsumme der gemessenen Endenergien und den Primärenergiefaktoren werden daraus die Primärenergieverbräuche ermittelt und das Konzept in die Energie⁺-Effizienzklassen eingestuft. Im dargestellten Beispiel sind dies mit 85 kWh/(m²a) Endenergie die Energie⁺-Effizienzklasse C. Der primärenergetische Verbrauch von 93,3 kWh/(m²a) führt ebenfalls zur Eingruppierung in die Effizienzklasse C für den Gebäudebetrieb.

Durch die Angabe des berechneten Zielbereiches mit Hilfe der grau hinterlegten Fläche und des tatsächlich gemessenen Wertes durch den Pfeil ist ein Vergleich von Planung und Betrieb möglich. Es ist sofort ersichtlich, ob die geplanten energetischen Ziele in der Praxis erreicht wurden. Dies stellt eine Besonderheit für Bewertungsverfahren von Gebäudekonzepten dar.

Eine spätere Validierung der berechneten Energiebedarfe mit den tatsächlich gemessenen Energieverbräuchen sollte aus Sicht des Autors als eine Art Gebäude-TÜV gesetzlich verpflichtend sein, um die gesteckten Ziele im Rahmen der angestrebten Energiewende auch zu erreichen.

7.5 Bilanzierung und Bewertung Gesamtsystem

Die Bewertung des Gesamtsystems erfolgt durch die bilanzielle Gegenüberstellung von Energiebezug und Energieabgabe. Aus der Möglichkeit einer negativen Energiebilanz resultieren die Energie[⊕]-Effizienzklassen A⁺ und A⁺⁺. Zusätzlich erfolgt die Angabe des elektrischen Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrades der elektrischen Energie und der Grauen Energie des Konzeptes. Hohe Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrade stellen sowohl aus wirtschaftlicher als auch energetischer Sicht wesentliche Ziele für Energie[⊕]-Versorgungskonzepte dar und finden deshalb Berücksichtigung. Die Graue Energie muss Beachtung finden, da bei einer ausgeglichenen oder gar negativen Energiebilanz für den Gebäudebetrieb die Graue Energie als einziger Energieeinsatz für Gebäude übrig bleibt.

7.5.1 Berücksichtige Energieströme

Die Betrachtung des Gesamtsystems baut auf der des Gebäudebetriebes auf und erweitert diese. Neben den Energieverbräuchen bzw. Energiebedarfen werden die erzeugten Energieüberschüsse berücksichtigt. Der energetische Ausgleich des Energiebezugs durch die Abgabe von elektrischer und thermischer Energie kann einen energetischen Überschuss zur Folge haben. Aus diesem Grund wurden die Energie[⊕]-Effizienzklassen A-H um die Energie[⊕]-Effizienzklassen A⁺ und A⁺⁺ ergänzt.

Bei der Beurteilung der Gesamtbilanz eines Energie[⊕]-Objektes werden die Energieströme über die Bilanzgrenzen bilanziert. Eine Zuordnung der Energien zu den jeweiligen Verursachern ist hierfür nicht notwendig. Dem Energiebezug in Form von Brennstoffen, Elektrizität und Wärme aus externen Quellen werden die elektrische und thermische Überschusseinspeisung im Bilanzzeitraum von einem Jahr gegenübergestellt.

In §5 der EnEV 2014 ist definiert, dass elektrische Überschüsse unter bestimmten Voraussetzungen vom elektrischen Endenergiebedarf innerhalb des Gebäudes abgezogen werden dürfen, jedoch nur bis zum maximal ermittelten Eigenbedarf. Mit „Nur-Strom-Häusern“ wäre auf diese Weise theoretisch ein Nullenergiehaus realisierbar. Ein Überschuss an erzeugter Energie ist nach [EnEV 2014] nicht bilanzierbar und somit sind Energie[⊕]-Objekte mit negativer Energiebilanz nicht möglich.

Neben einer Überschusserzeugung auf Strombasis lässt das vorgestellte Bewertungsverfahren auch eine Überschussbereitstellung von Wärme zu. Die Wärme darf jedoch nur angerechnet werden, wenn diese entweder von einem bekannten Dritten nachweislich (Messung) genutzt wird oder die Einspeisung in ein öffentliches Fernwärmenetz unter den vom Netzbetreiber geforderten Bedingungen erfolgt. Die genaue Festlegung für die Möglichkeit zur Anrechnung der Wärme sind im Kapitel 3.1.8 „Eingespeiste Energieüberschüsse“ zu finden.

Eigenverbrauchte, selbst erzeugte Energie kann nicht als Überschuss angerechnet werden, da diese nicht nach außen abgegeben wird. Im Gegenzug muss kein Ausgleich für den eigengedeckten Energiebedarf erfolgen, da dieser nicht mit von außen bezogenen Energien

gedeckt wird. Der elektrischen Eigendeckung und Eigennutzung kommen bei Energie[⊕]-Objekten aus ökologischer und ökonomischer Sicht besondere Bedeutungen zu. Aus diesem Grund werden diese bei der Betrachtung des Gesamtsystems berücksichtigt.

Übersteigt die Einspeisung von elektrischen und thermischen Überschüssen bilanziell den Energieeinsatz für den Gebäudebetrieb, verfügt das Konzept über eine negative Energiebilanz. In diesem Fall erfolgt die Einstufung, abhängig vom erreichten Überschuss, in die Energie[⊕]-Effizienzklassen A⁺ und A⁺⁺. Ist das nicht der Fall, wird das Versorgungskonzept mit dem bilanziellen Restbedarf in die Energie[⊕]-Effizienzklassen A-H eingestuft.

7.5.2 Effizienzhaus[⊕]

Der Begriff Effizienzhaus wird von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) zur Einteilung der Förderstufen für den Erwerb und Bau energieeffizienter Wohngebäude verwendet. Die Vorgaben der [EnEV 2014] basieren auf einem Referenzgebäude im Neubau. Die Einteilung erfolgt beispielhaft in die Stufen KfW-Effizienzhaus 70, 55 und 40. Die Referenzzahl 100 steht für den berechneten Primärenergiebedarf eines Neubaus nach Referenzgebäudevorgaben. Ein KfW-Effizienzhaus 70 darf rechnerisch maximal 70 Prozent dieses Bedarfes benötigen.

Das „Effizienzhaus[⊕]“ übernimmt die prozentuale Betrachtungsweise der KfW-Effizienzhäuser. Das „[⊕]“ symbolisiert eine elektrische oder thermische Energieabgabe. Als Referenzwert gilt hierbei nicht das Referenzgebäude nach EnEV, sondern der gemessene Energiebezug für den Gebäudebetrieb. Bei einem Effizienzhaus[⊕] 100 entspricht die Energieabgabe exakt dem Energiebezug. Plusenergiegebäude müssen Werte >100 erreichen.

$$\text{Effizienzhaus}^{\oplus} = \frac{\text{Energieabgabe}}{\text{Energiebezug}}$$

Das Effizienzhaus[⊕] geht mit diesem Ansatz denselben Weg wie das „Aktivhaus EnergiePLUS“, das ebenfalls ein Verhältnis von Energiebezug zu Energieabgabe in Prozent angibt. [Fisch 2013]

7.5.3 Elektrischer Eigendeckungsgrad

Die elektrische Energie nimmt aufgrund ihrer energetischen Wertigkeit eine wichtige Rolle in Energie[⊕]-Objekten ein. Ein hoher elektrischer Eigendeckungsgrad sollte ein wesentliches Ziel sein. Der Eigendeckungsgrad gibt an, welcher Anteil des elektrischen Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb von der elektrischen Eigenerzeugung gedeckt wird. Von der Gesamterzeugung wird die eingespeiste und mit Hilfe von Elektromobilität genutzte Elektrizität abgezogen und zum elektrischen Energiebedarf für den Gebäudebetrieb ins Verhältnis gesetzt.

$$\text{elektrischer Eigendeckungsgrad} = \frac{(\text{Elektrische Erzeugung} - \text{Elektrische Energieabgabe} - \text{Elektromobilität})}{\text{Elektrischer Energiebedarf Gebäudebetrieb}}$$

Die Eigendeckung kann durch die Anpassung des Nutzerverhaltens oder auf technische Weise durch die Nachrüstung von Energiespeichern positiv beeinflusst werden. Den Extrem-

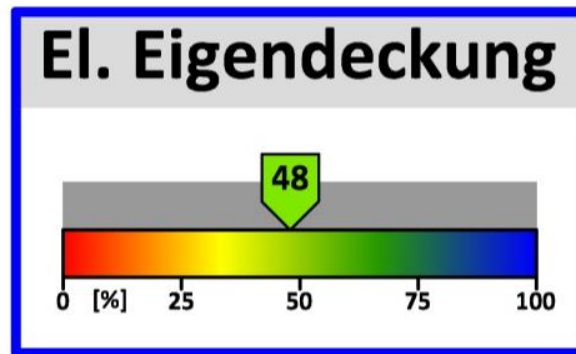


Abb. 7-4: Bandtacho für die Angabe des elektrischen Eigendeckungsgrades. Der in der Planung berechnete Varianzbereich (in diesem Beispiel 0-100 Prozent) wird grau markiert. Der gemessene Eigendeckungsgrad wird mit einem Pfeilsymbol visualisiert.

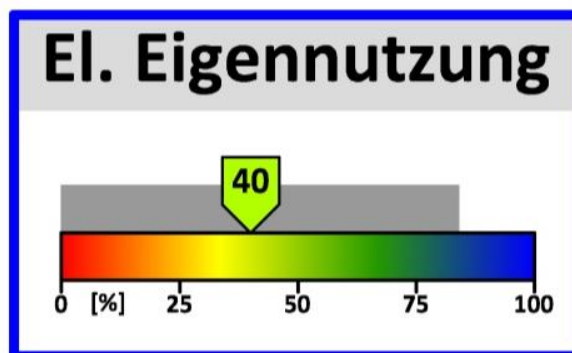


Abb. 7-5: Bandtacho für die Angabe des elektrischen Eigennutzungsgrades. Der in der Planung berechnete Varianzbereich (0-82 Prozent) wird grau markiert. Der praktisch erreichte Eigennutzungsgrad von in diesem Beispiel 40 Prozent wird per Pfeilsymbol dargestellt.

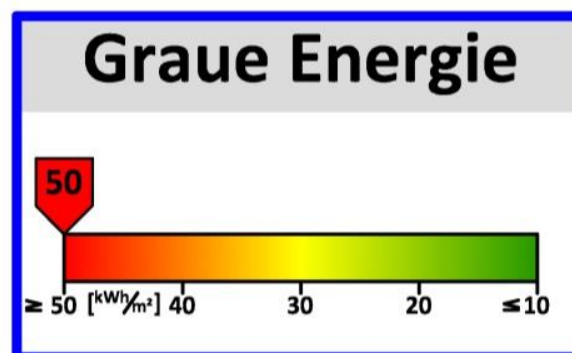


Abb. 7-6: Bandtacho für die Angabe der Grauen Energie. Wurde die Graue Energie rechnerisch nicht ermittelt, wird der Vorgabewert von 50 kWh/(m²a) verwendet.

fall stellen elektrisch autarke Konzepte dar. Diese müssen sich zu jederzeit selbst mit elektrischer Energie versorgen und haben somit einen Eigendeckungsgrad von 100 Prozent. Da bei energieautarken Konzepten der Bezug von elektrischer Energie nicht zulässig ist, sind elektrische Energiespeicher unumgänglich. Abb. 7-4 zeigt eine Möglichkeit zur Visualisierung des Eigendeckungsgrades.

7.5.4 Elektrischer Eigennutzungsgrad

Der elektrische Eigennutzungsgrad gibt an, wie viel Prozent der eigenerzeugten elektrischen Energie innerhalb des Konzeptes oder der eigenen Elektromobilität selbst verbraucht wurde. Hierfür wird von der erzeugten Energiemenge die Energieabgabe abgezogen und zur Gesamtsumme ins Verhältnis gesetzt. Mit Hilfe eigener Elektromobilität genutzte elektrische Energie gilt nicht als Energieabgabe und erhöht somit die elektrische Eigennutzung.

$$\text{elektrischer Eigennutzungsgrad} = \frac{(\text{Elektrische Erzeugung} - \text{Elektrische Energieabgabe})}{\text{Elektrische Erzeugung}}$$

Ein hoher Eigennutzungsgrad ist sowohl aus wirtschaftlicher als auch energetischer Sicht erstrebenswert. Energie[⊕]-Versorgungskonzepte verfolgen teilweise das Ziel, einen energetischen Überschuss durch elektrische Überschusseinspeisung zu erzeugen. In diesem Fall ist, wie in Abb. 7-5 beispielhaft dargestellt, eine 100 prozentige Eigennutzung durch den Gebäudebetrieb nicht realisierbar. Dennoch ist es möglich, dass ein solches Konzept über keine Energieabgabe verfügt, wenn der gesamte elektrische Energieüberschuss mit der eigenen Elektromobilität genutzt wird. Für die visuelle Darstellung des Eigennutzungsgrades (siehe Abb. 7-5) kommt bei Energie[⊕] ebenfalls ein Bandtacho zum Einsatz.

7.5.5 Graue Energie

Bei Siedlungskonzepten mit dem Ziel eines energetischen Überschusses gewinnt die Graue Energie stark an Bedeutung. Bei einer ausgeglichenen oder gar negativen Energiebilanz während dem Betrieb und der Nutzung ist die Graue Energie bilanziell der einzige verbleibende Energieeinsatz. Deshalb wird sie bei Energie[⊕] durch die Effizienzklasse A⁺⁺ berücksichtigt. Graue Energie kann nicht gemessen, sondern nur durch Bilanzierungsverfahren nachgewiesen werden. Aktuell ist die Berechnung der Grauen Energie trotz ihrer Wichtigkeit nicht standardmäßig in die Gebäudeplanung eingebunden. Ist die Graue Energie eines Gebäudes nicht bekannt wird ein Richtwert von 50 kWh/(m²a) festgesetzt. Dieser wird aus [Minergie® 2010] übernommen. Falls die Graue Energie mit Hilfe eines geeigneten Verfahrens nachgewiesen wurde, kann dieser Wert angepasst und korrigiert werden. Die Angabe erfolgt ebenfalls, wie in Abb. 7-6 zu sehen, mit Hilfe eines Bandtachos.

7.5.6 Weitere Bilanzierungsmöglichkeiten

Neben den bisher beschriebenen Energieströmen und Bilanzierungsgrößen sind weitere Bewertungsgrößen denkbar, die an dieser Stelle erwähnt, jedoch nicht weiter verfolgt werden sollen.

Anteil regenerativer Energien an der Energiebereitstellung

Grundsätzlich wäre es möglich, den Anteil an regenerativen Energieträgern an der Energiebereitstellung zu ermitteln. Dies könnte durch die Berechnung des mittleren Primärenergiefaktors (e_{PM}) für den Gebäudebetrieb erfolgen. Da jedoch die Beurteilung des Gebäudebetriebes und auch der Gesamtbilanz sowohl end- als auch primärenergetisch erfolgt, kann aus dem Vergleich der endenergetischen und primärenergetischen Energie[⊕]-Effizienzklasse auf den Anteil der erneuerbaren Energien am Gesamtenergieeinsatz geschlossen werden. Eine zusätzliche Bewertung wird somit für nicht notwendig erachtet.

Emissionsgrad

Einen weiteren Bewertungsansatz stellt der Emissionsgrad der innerhalb der Bilanzgrenzen erzeugten elektrischen und thermischen Energie dar. Bei einer 100 prozentigen emissionsfreien Energieversorgung sind Verbrennungsprozesse nicht zulässig. Dies schränkt die einsetzbaren Energieerzeugungssysteme stark ein, was als kontraproduktiv angesehen wird.

Elektrischer Autarkiegrad

Der elektrische Autarkiegrad wird als Größe definiert, welche angibt, wie viel Zeit innerhalb eines Jahres ein Energie[⊕]-Konzept ohne elektrische Fremdversorgung aus dem öffentlichen Versorgungsnetz auskommen kann. Wird es beispielsweise durch die elektrische Eigenerzeugung und Speicherung ermöglicht, drei Monate im Jahr ohne Energiebezug auszukommen, entspricht dies einem elektrischen Autarkiegrad von 25 Prozent. Dies wird für zukünftige Konzeptansätze als interessante Größe angesehen. Aufgrund des hohen messtechnischen Aufwandes für die Erfassung wird dieser Bewertungsansatz aktuell jedoch nicht weiter verfolgt.

Netzbeeinflussungsgrad

Der Netzbeeinflussungsgrad berücksichtigt, wie sehr das öffentliche Netz durch Einspeise- und Bezugsspitzen des Energie[⊕]-Versorgungskonzeptes beeinflusst wird. Durch den intelligenten Einsatz von Stromspeichersystemen und Nutzersensibilisierung können die elektrischen Spitzen sowohl der Erzeugung als auch des Verbrauches deutlich geglättet werden. Der Netzbeeinflussungsgrad gibt an, wie das Verhältnis der Erzeugungsspitzen und Einspeisespitzen mit elektrischem Speicher im Vergleich zum Betrieb ohne Speicher ist. Für den Netzbeeinflussungsgrad gilt dasselbe wie für den elektrischen Autarkiegrad. Aktuell ist die Bestimmung noch nicht mit im Verhältnis stehendem Aufwand realisierbar. In Zukunft kann und wird er jedoch deutlich an Bedeutung gewinnen.

7.5.7 Datenblatt und Gesamtübersicht

Eine Übersicht über die relevanten Größen für die Beurteilung des Gesamtsystems von Energie \oplus -Objekten ist in Abb. 7-7 dargestellt. Dieses baut auf dem Datenblatt für den Gebäudebetrieb auf. Es dient zur Gegenüberstellung der eingehenden und ausgehenden Energien über die Bilanzgrenzen und ist somit keine Alternative zur Betrachtung des Gebäudebetriebes sondern eine Ergänzung. Alle Energiebezüge und Energieabgaben werden erfasst und das Energie \oplus -Objekt auf Basis der resultierenden Differenz endenergetisch und primärenergetisch eingestuft.

Es werden die aktuellen Projektdaten erfasst. Weiterhin wird festgehalten, ob es sich um eine Betrachtung im Rahmen der Planung, des Betriebes oder eines Vergleiches von Planung und Betrieb handelt.

Rechts oben erfolgt im Fall der Einstufung auf Basis von Messwerten die Angabe des Effizienzhaus \oplus -Faktors. Dieser gibt an, wie viel Prozent des Energiebezugs für den Gebäudebetrieb von der Überschusseinspeisung ausgeglichen werden. Plusenergiegebäude müssen einen Wert >100 erreichen. Das dargestellte Beispiel hat somit primärenergetisch einen bilanziellen Energieüberschuss im Betrachtungszeitraum von einem Jahr.

Die endenergetische und primärenergetische Einstufung in die Energie \oplus -Effizienzklassen erfolgt im mittleren Bereich. Die Angabe des berechneten Varianzbereiches erfolgt durch die graue Hinterlegung des Zielbereiches in der Planungsspalte (für Endenergie 15-35 kWh/(m²a)). Die Differenz im Betrieb zwischen dem gemessenen Energiebezug und der gemessenen Energieabgabe wird, ebenso wie der berechnete Zielwert, mit Hilfe eines farbig hinterlegten Pfeiles dargestellt. Da durch die Berücksichtigung der Überschusseinspeisung eine negative Energiebilanz möglich ist, werden die Effizienzklassen A⁺ und A⁺⁺ im Vergleich zum Datenblatt für den Gebäudebetrieb ergänzt. Auch in diesem Fall ist es direkt ersichtlich, ob die gemessenen Werte der berechneten Prognose entsprechen.

Zusätzlich erfolgt die visuelle Darstellung des elektrischen Eigendeckungsgrades, Eigennutzungsgrades und der Grauen Energie entsprechend den Abb. 7-4 bis Abb. 7-6.

Erfolgt ein rechnerischer Nachweis der Grauen Energie, kann der Wert angepasst werden. Bei kleinerer Grauer Energie verschiebt sich die untere Grenze der Klasse A⁺⁺ nach unten und ist somit leichter erreichbar. Da die Graue Energie messtechnisch nicht nachweisbar ist, erfolgt in diesem Fall kein Vergleich von Planung und Betrieb.

ENERGIEAUSWEIS⁺ für Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

PROJEKTDATEN

Projektname	Energie ⁺ -Siedlung	
Projektadresse	Sonnenstraße 1, 01234 Zukunftsstadt	
	Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung
Nutzungsarten	Wohnen	
Anzahl NE	100 Einheit(en) 10 Gebäude(n)	
Bezugsflächen	8.000 m ² Beheizte Fläche	
Datenbasis	<input checked="" type="checkbox"/> PLANUNG <input checked="" type="checkbox"/> BETRIEB	

EFFIZIENZHAUS⁺

ENDENERGIE

PRIMÄRENERGIE

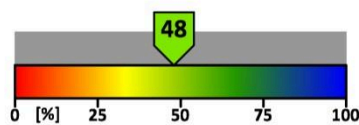
55

142

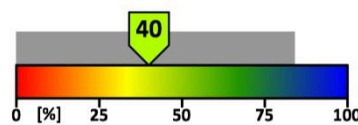
GESAMTSYSTEM

Endenergie		PLANUNG	BETRIEB	Primärenergie		PLANUNG	BETRIEB
Energie ⁺ -Effizienzklassen	kWh/(m ² a)			Energie ⁺ -Effizienzklassen	kWh/(m ² a)		
A ⁺⁺	≤ 50			A ⁺⁺	≤ 50		
A ⁺	25			A ⁺	25	A ⁺	A ⁺
A	0	A	A	A	0		
B	25			B	25		
C	50			C	50		
D	75			D	75		
E	100			E	100		
F	125			F	125		
G	150			G	150		
H	175			H	175		
	≥ 200				≥ 200		
		25,0 ±10,0	21,5			-16,0 ±6,5	-21,5

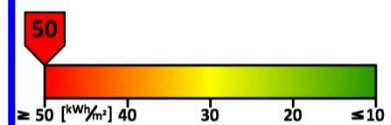
El. Eigendeckung



El. Eigennutzung



Graue Energie



	Energieträger	e _p	PLANUNG				NUTZUNG UND BETRIEB			
			Endenergie		Primärenergie		Endenergie		Primärenergie	
			Sollwert kWh/(m ² a)	Varianz kWh/(m ² a)	Sollwert kWh/(m ² a)	Varianz kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)	MWh/a	kWh/(m ² a)
GESAMTSYSTEM			25,0	±10,0	-16,0	±6,5	172	21,5	-172	-21,5
ENERGIEBEZUG			50,0	±12,5	54,0	±13,5	380	47,5	410	51,3
Brennstoffe	Pellets	0,2	30,0	±7,5	6,0	±1,5	228	28,5	46	5,7
Thermische Energie	Fernwärme									
Elektrische Energie	Strom	2,4	20,0	±5,0	48,0	±12,0	152	19,0	365	45,6
ENERGIEABGABE			25,0	±2,5	70,0	±7,0	208	26,0	582	72,8
Thermische Energie										
Elektrische Energie	Strom	2,8	25,0	±2,5	70,0	±7,0	208	26,0	582	72,8

Abb. 7-7: Datenblatt für die Bewertung des Gesamtsystems von Energie⁺-Objekten

7.6 Vergleich von Umsetzungsvarianten

Das Verfahren zum Variantenvergleich von Energie \oplus -Objekte macht es möglich, verschiedene Ansätze in der Planungsphase gegenüberzustellen und die beste Lösung in Bezug auf die endenergetische und primärenergetische Gesamtbilanz, elektrische Eigendeckung und Eigennutzung sowie dem benötigtem Einsatz an Grauer Energie auszuwählen. Hierfür kommt das Effizienzklassendiagramm zum Einsatz, welches den Vergleich von aktiven und passiven Maßnahmen ermöglicht.

7.6.1 Betrachtete Größen

Energie \oplus -Objekte bieten die Möglichkeit, auf verschiedenen Wegen die gesteckten energetischen Ziele zu erreichen. Um das Optimum für ein neu geplantes Bauvorhaben beziehungsweise eine Sanierung zu garantieren, müssen die verschiedenen Optionen miteinander verglichen werden.

Grundsätzlich kann eine Verbesserung durch die Minimierung des Energieeinsatzes für den Gebäudebetrieb erreicht werden. Hiermit geht auch die Verringerung des Energiebezugs von Brennstoffen für die elektrische und thermische Eigenerzeugung oder des direkten Bezugs von elektrischer und thermischer Energie aus externen Quellen einher.

Speziell Energie \oplus -Objekte bieten zusätzlich jedoch auch die Möglichkeit, eine energetische Verbesserung durch die Abgabe von Energieüberschüssen zu erreichen. Im Fall der reinen Einspeisung in öffentliche Netze erfolgt über den Bilanzzeitraum von einem Jahr ein bilanzieller Ausgleich des externen Energiebezuges durch die Energieabgabe. Allerdings hat bei Energie \oplus -Objekten nicht nur die Energiebilanz des Gesamtsystems für den Gebäudebetrieb Relevanz.

Besonders der elektrischen Energie muss aus energetischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten besondere Beachtung geschenkt werden. Hierbei spielt sowohl die Deckung des eigenen elektrischen Energieeinsatzes, als auch die Nutzung der eigenerzeugten Elektrizität eine entscheidende Rolle. Aus diesem Grund muss ein Vergleich der elektrischen Eigendeckungsgrade und Eigennutzungsgrade der verschiedenen Umsetzungsvarianten durchgeführt werden.

Energetische Optimierungen sind bei einer ganzheitlichen Betrachtung des Konzeptes über den Lebenszyklus nur sinnvoll, wenn durch die jeweilige Maßnahme in der Nutzungsphase mehr Energie eingespart beziehungsweise erzeugt wird, als für die Umsetzung selbst aufgewendet werden muss. Deshalb muss in die Betrachtung der Varianten neben den Energien für den laufenden Betrieb auch die Graue Energie in allen Überlegungen Berücksichtigung finden.

7.6.2 Effizienzklassen-Diagramm

Um Maßnahmen zur Bedarfsreduzierung anderen Maßnahmen gegenüberstellen zu können, die das Ziel einer erhöhten Energieerzeugung haben, wird ein neues Effizienzklassen-Diagramm eingeführt. Das Effizienzklassen-Diagramm für Energie[⊕]-Objekte verbindet, wie in Diagramm 7-1 zu sehen, das Korrelations-Diagramm für Null-Energie-Häuser [Voss 2010] mit den Energie[⊕]-Effizienzklassen. Die Effizienzklassen A-H werden auf die Abszisse übertragen. Alle Gebäude ohne elektrischer oder thermischer Energieabgabe befinden sich auf der Abszisse. Die weiße Null-Energie-Linie entspricht der unteren Grenze von Plusenergie. Darüber werden die Plusenergie-Effizienzklassen A⁺ und A⁺⁺ aufgetragen. Alle Energie[⊕]-Effizienzklassen verlaufen parallel zur Null-Energie-Linie und teilen das Diagramm in die verschiedenen Klassen ein. Die Breite der Effizienzklassen hängt von den definierten Vorgaben ab. Während die Bereiche für A-H konstant sind, kann sich die Breite der Effizienzklasse A⁺, abhängig von der Grauen Energie, für verschiedene Konzepte unterscheiden. Für Diagramm 7-1 wurde der Vorgabewerte von 50 kWh/(m²a) verwendet. Um mit dem Gesamtsystem die Effizienzklasse A⁺⁺ zu erreichen, muss der energetische Überschuss durch die Abgabe von elektrischer und thermischer Energie >50 kWh/(m²a) sein.

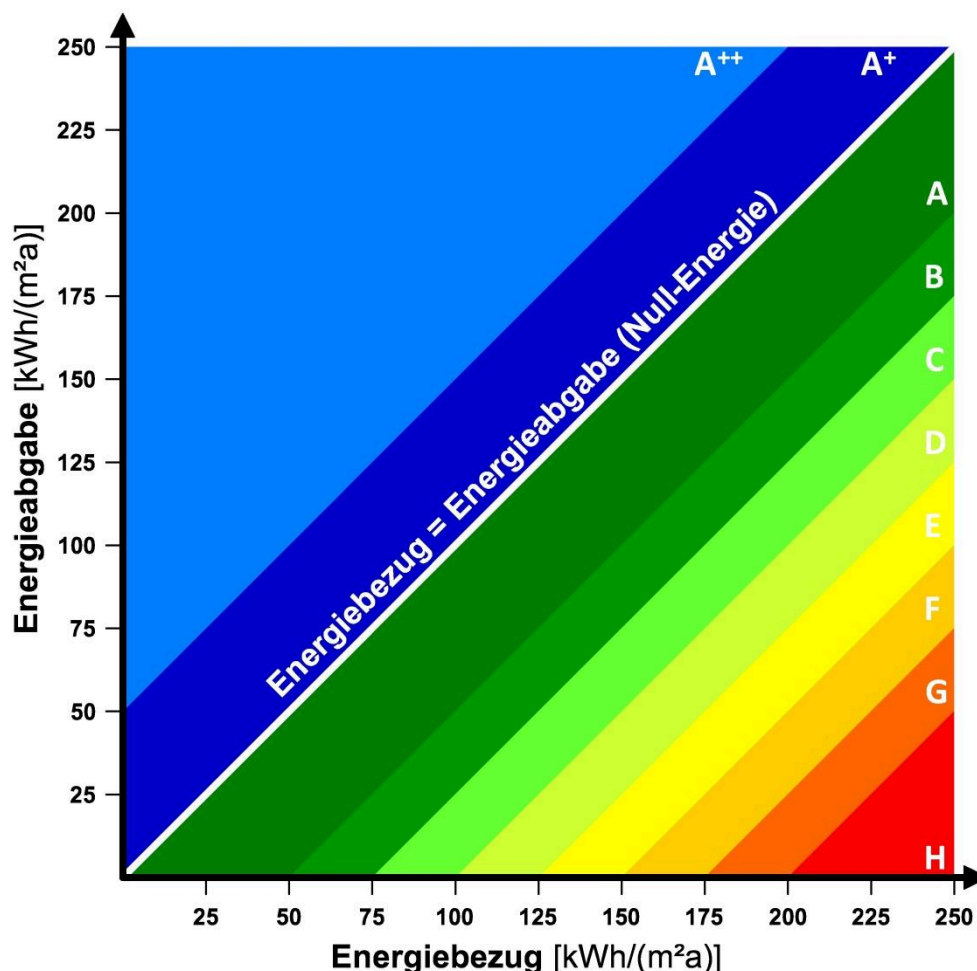


Diagramm 7-1: Effizienzklassen-Diagramm [Voss 2010] mit eingetragenen Energie[⊕]-Effizienzklassen. Eine Verbesserung der Effizienzklasse ist sowohl durch Reduzierung des externen Energiebezugs als auch die Abgabe von elektrischen und thermischen Energieüberschüssen realisierbar.

7.6.3 Datenblatt und Gesamtübersicht

Ein Vergleich von Umsetzungsvarianten kann sowohl in der Planungsphase eines Neubaus als auch im späteren Sanierungsfall erfolgen. Zur schnellen Vergleichbarkeit verschiedener Varianten kann die Gesamtübersicht aus Abb. 7-8 genutzt werden. Es wird exemplarisch ein Beispiel dargestellt mit einer Ausgangssituation (Variante „A“), einer Variante mit dem Ziel einer möglichst starken Reduzierung des Energiebezugs (Variante „1“), einer Variante die auf die Steigerung der Energieabgabe (Variante „2“) fokussiert sowie einer Version mit dem Ziel einer hohen elektrischen Eigendeckung bei gleichzeitiger Reduzierung der Grauen Energie.

Neben den aktuellen Projektdaten werden die Merkmale der Ausgangssituation und der Varianten in Bezug auf die Gebäude, die thermische und elektrische Erzeugung und sonstiger Besonderheiten vermerkt.

Für den endenergetischen und primärenergetischen Variantenvergleich kommt jeweils ein Effizienzklassendiagramm zum Einsatz, in dem der Energiebezug der Energieabgabe des jeweiligen Konzeptes gegenübergestellt und der Schnittpunkt dieser beiden Energieströme mit einem Punkt markiert wird. Zusätzlich werden die elektrischen Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrade sowie die Graue Energie der einzelnen Varianten angegeben.

Im Folgenden wird die Vorgehensweise für die Variantenvergleiche erläutert.

In Variante 1 wird, im Vergleich zur Ausgangssituation, durch die verbesserte Gebäudehülle (passive Maßnahmen), die effizientere Energieerzeugung sowie die Nutzersensibilisierung mit Hilfe einer Verbrauchsvisualisierung eine Reduzierung des Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb realisiert. Aus der Verringerung des Energiebezugs bei gleichbleibender Energieabgabe resultiert eine Verbesserung des Gesamtsystems. Die Eigennutzung und Eigendeckung bleiben hiervon unberührt, während die Graue Energie durch die erhöhten Dämmmaßnahmen merklich zunimmt.

In Variante 2 resultiert die Verbesserung aus der Erhöhung der Energieabgabe aus Erzeugungsanlagen, die erneuerbare Energiequellen nutzen. Der endenergetische Energiebezug bleibt gleich. Deshalb liegt Variante 2 vertikal über der Ausgangssituation, jedoch um die erhöhte Energieabgabe höher und somit ebenfalls in einer besseren Effizienzklasse wie die Ausgangssituation. Primärenergetisch erfolgt zusätzliche eine Reduzierung des Energiebezugs durch den Wechsel von Erdgas auf Biogas, was eine Verschiebung von Variante 2 nach links nach sich zieht. Die zusätzlichen Erzeugungsanlagen führen zu einer Erhöhung der Grauen Energie.

In Variante 3 wird der elektrische Eigenbedarf durch den Einsatz von Stromspeichern zu 90 Prozent selbst gedeckt. Dadurch wird der externe Energiebezug reduziert. Gleichzeitig reduziert sich die Energieabgabe im selben Maß, was zu einer parallelen Verschiebung von Variante 2 zu 3 entlang der Nullenergielinie führt. Die elektrische Eigendeckung führt auch zu einer Erhöhung der Eigennutzung. Durch den Einsatz von ökologischen Baustoffen wird die Graue Energie reduziert.

VARIANTENVERGLEICH für Energie⁺-Versorgungskonzepte

PROJEKTDATEN

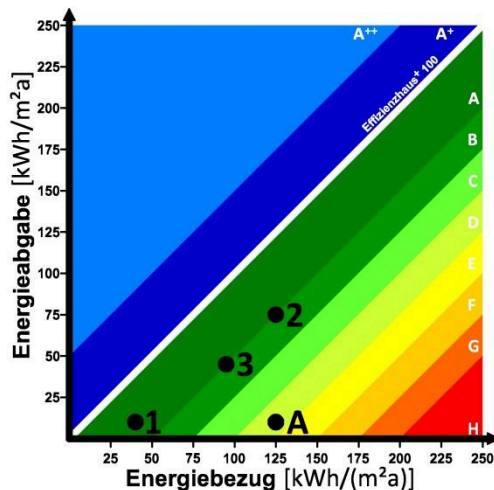
Projektname	Energie+-Quartier Musterstadt	
Projektadresse	Musterstraße 123, 00000 Musterstadt	
	Wohnnutzung	Nichtwohnnutzung
Nutzungsarten	Wohnen	Schule, Hotel, Büro Schwimmhalle, Museum
Anzahl NE	0 Einheit(en) 0 Gebäude(n)	0 Einheit(en) 0 Gebäude(n)
Bezugsflächen	0 m ² klimatisierte Fläche	0 m ² klimatisierte Fläche
Datenbasis	<input type="checkbox"/> PLANUNG <input type="checkbox"/> BETRIEB	

BESCHREIBUNG

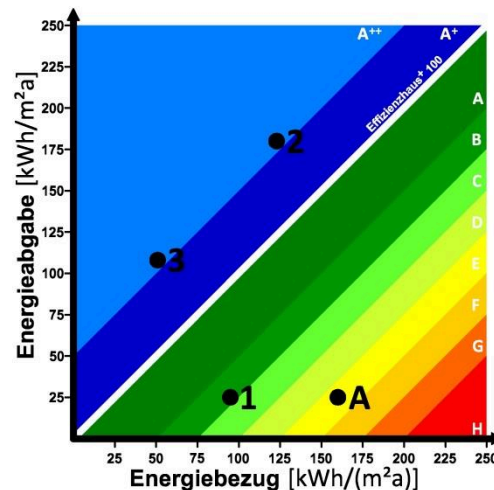
VAR	Gebäude	Thermische Erzeugung	Elektrische Erzeugung	Sonstiges
A	EnEV-Standard Ziegelbauweise	Brennwert Erdgas	PV-Anlage	
1	Passivhaus WDVS	Wärmepumpe Grundwasser	PV-Anlage	Verbrauchs- visualisierung
2	EnEV-Standard Ziegelbauweise	Brennwert Biogas	PV-Anlage Windkraft	
3	EnEV-Standard Holzständer	Brennwert Biogas	PV-Anlage Windkraft	Stromspeicher

VARIANTENVERGLEICH

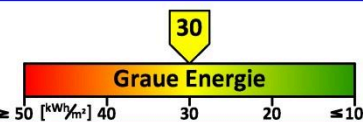
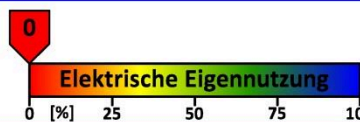
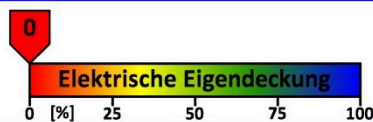
Endenergie



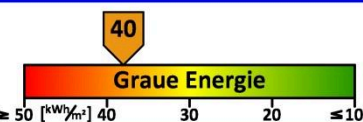
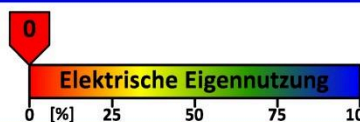
Primärenergie



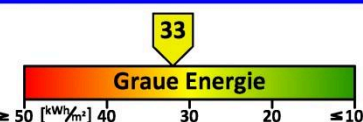
A



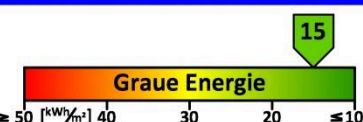
1



2



3

Abb. 7-8: Datenblatt für den Vergleich von Energie⁺-Umsetzungsvarianten

8 SCHLUSSBEMERKUNGEN

8.1 Zusammenfassung

Das energieeffiziente Bauen steht durch die geforderte länderspezifische Definition des Niedrigstenergiehaus-Standards bis 2016 und der europaweiten Verpflichtung, für alle Neubauten diesen ab 2021 erfüllen zu müssen, vor einer großen, wenn nicht sogar seiner bisher größten Herausforderung. [EPBD 2010] Die Definition beschäftigt aktuell sowohl die Forschung als auch die Gesetzgebung, da sich durch die vorgegebenen Ziele völlig neue Sichtweisen auf Gebäude ergeben. Dies hat zu einer Vielzahl von Lösungsvorschlägen geführt, die sich in unterschiedlichen Gebäudestandard-Definitionen und der Novellierung der Energieeinsparverordnungen manifestieren.

Gebäude werden aktuell hauptsächlich als thermische Energieverbraucher gesehen. Die sinkenden thermischen Energiebedarfe und die Forderung nach einer sehr hohen Gesamtenergieeffizienz machen es jedoch zukünftig unumgänglich, den elektrischen Energiebedarf zu berücksichtigen. Somit können elektrische und thermische Energie in Zukunft nicht mehr getrennt betrachtet werden. Doch nicht nur der Energiebedarf, sondern vor allem auch die geforderte Bereitstellung von Energie aus erneuerbaren Quellen bringen Herausforderungen mit sich. Während Gebäude bisher meist ausschließlich als Energieverbraucher in Erscheinung traten, werden sie in Zukunft immer häufiger zum Energielieferanten. Daraus ergeben sich neue Anforderungen an die umgebende Infrastruktur. Das Gebäude kann nicht mehr für sich allein, sondern muss im Zusammenspiel mit der Infrastruktur betrachtet werden. Somit kommen Siedlungs- und Quartierskonzepten zukünftig besondere Bedeutungen zu, da diese die Nutzung der Potentiale im energetischen Verbund von Erzeugern und Verbrauchern ermöglichen und gleichzeitig die energetische Infrastruktur entlasten.

Die aktuelle Entwicklung des energieeffizienten Bauens weg vom „reinen Energieverbraucher“ hin zum „Energieakteur“ macht es nötig, neue Ansätze zu verfolgen. Um dem gerecht zu werden, wird in dieser Arbeit der Begriff „Energie[⊕]“ eingeführt und definiert. Energie[⊕] hat nicht den Anspruch, ein neuer Gebäudestandard zu sein! Vielmehr verfolgt Energie[⊕] das Ziel, alle aktuellen Gebäudestandards in sich zu vereinen und die relevanten gesellschaftlichen und technischen Bereiche für Gebäude miteinander zu verknüpfen. Die Sichtweise wird über Einzelgebäude hinaus auf Siedlungen und Quartiere erweitert. Es finden alle elektrischen und thermischen Energieströme inklusive der Eigenerzeugung und dem hierfür notwendigen Energieträgereinsatz Berücksichtigung. Alle Versorgungskonzepte, mit Ausnahme von Heiz- und Kraftwerken, die sowohl über eigene thermische als auch elektrische Erzeugungsanlagen verfügen und aus vor Ort nutzbaren erneuerbaren Energiequellen Wärme und Elektrizität bereitstellen, sind Energie[⊕]-Versorgungskonzepte. Dabei begrenzt sich Energie[⊕] nicht auf den Neubau von Wohnsiedlungen. Auch die Umsetzung von Sanierungen und Nichtwohnen als Energie[⊕]-Objekte ist möglich und

empfehlenswert. Die Eigenerzeugung ermöglicht völlig neue Lösungsansätze für Versorgungskonzepte, da neben der reinen thermischen Bedarfsreduzierung durch passive Maßnahmen die Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems durch aktive Maßnahmen ermöglicht wird. Für Energie[⊕]-Objekte werden weder Einschränkungen in der Wahl des Energieträgers vorgenommen, noch Forderungen nach einem über die Mindestanforderung der EnEV hinausgehenden Dämmstandard gestellt. Durch die Integration der Grauen Energie und der Elektro-Mobilität wird erreicht, dass Gebäude nicht nur als Energieverbraucher im alltäglichen Betrieb wahrgenommen werden. Vielmehr wird ein erster Schritt in Richtung ganzheitlicher Betrachtung etabliert und die Chancen zur Nutzung gegenseitiger Synergien aufgezeigt. Während durch die Berücksichtigung der Grauen Energie die Betrachtung auf den Lebenszyklus erweitert wird, ermöglichen Energie[⊕]-Versorgungskonzepte und Elektro-Mobilität die Nutzung gegenseitiger Synergien.

Die vielfältigen Möglichkeiten zur Umsetzung von Energie[⊕]-Objekten fanden im Rahmen der Bearbeitung besondere Beachtung. So stellt die Reduzierung des Heizenergiebedarfs durch passive Maßnahmen für Energie[⊕]-Objekte eine wichtige, jedoch nicht die einzige Alternative dar. Vielmehr ermöglicht die Eigenerzeugung und Überschusseinspeisung eine vielfältigere Sichtweise. Ein höherer Energiebedarf für den Gebäudebetrieb und die damit verbundene Einsparung an Grauer Energie kann sinnvoll sein, wenn die hierfür notwendige Energie aus regenerativen Quellen selbst gedeckt oder durch die Abgabe von Überschüssen bilanziell ausgeglichen wird. Die Energiebereitstellung von und Versorgung mit thermischer und elektrischer Energie macht die Betrachtung aller relevanten Bereiche von der Erzeugung, über die Verteilung bis zum Einsatz von Energiespeichern und der Hilfsenergien notwendig. Hierbei müssen Einflussfaktoren wie Standort, Gebäude und allem voran das Nutzerverhalten Berücksichtigung finden. Während bei der Energieerzeugung die Bereitstellung von Wärme und Elektrizität mit Hilfe von Kraft-Wärme-Kopplung interessante Möglichkeiten bietet, müssen in der Energieverteilung vor allem den TWW-Verteilnetzen aufgrund der hohen Betriebstemperaturen und den damit verbundenen Wärmeverlusten besondere Beachtung geschenkt werden. Elektrischen und thermischen Energiespeichern kommen in Energie[⊕]-Versorgungskonzepten sowohl aus energetischer als auch ökonomischer Sicht eine wichtige Rolle zu. Da Angebot und Nachfrage vor allem bei der Nutzung von regenerativen Energiequellen oft nicht deckungsgleich sind, wird durch den Einsatz von Speichern die zeitliche Verschiebung von Energieströmen realisiert und somit hohe Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrade ermöglicht.

Doch nur bei richtigem Betriebsverhalten können komplexe Versorgungskonzepte ihre volle Effizienz erreichen und somit die Zielvorgaben erfüllen. Deshalb stellt Betriebsoptimierung ein nahezu unverzichtbares Werkzeug dar. Die Einsparpotentiale durch optimierten Betrieb sind enorm. Diese Tatsache wird durch die am Nahwärmenetz des Ludmilla-Wohnpark in Landshut gewonnenen Erkenntnisse unterstrichen. Durch Betriebsoptimierung konnten Energieeinsparung von 20 Prozent für die Wärmeversorgung sowie 50 Prozent an Hilfsenergie realisiert werden.

In Energie[⊕]-Objekten stehen verschiedenste Möglichkeiten zur Bedarfsdeckung und Energienutzung bereit. Die Deckung der Energiebedarfe kann ganz oder zum Teil aus der eigenen Energieerzeugung erfolgen. Alternativ kann die benötigte Energie vollständig oder teilweise aus öffentlichen Versorgungsnetzen stammen. Die technische Realisierung der Energiebedarfsdeckung für die thermische und elektrische Energie kann sich für verschiedene Konzepte stark unterscheiden. Dasselbe gilt für die Nutzung der eigenerzeugten Energie, die entweder vollständig oder zum Teil selbst genutzt oder zum bilanziellen Ausgleich für den Energiebezug in öffentliche Versorgungsnetze eingespeist, beziehungsweise an bekannte Dritte, abgegeben wird. Die Eigennutzung sollte jedoch immer Vorrang vor der Einspeisung haben. Möglichst hohe Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrade sollten das Ziel sein, um den externen Energiebezug auf das Nötigste zu reduzieren. Speicher haben hierauf positiven Einfluss. Durch die Abgabe von elektrischen und thermischen Erzeugungsüberschüssen kann ein bilanzieller Ausgleich für den Energiebezug erfolgen. Der vollständige Ausgleich des elektrischen Energiebedarfs für den Gebäudebetrieb ist nicht zwingend vorgeschrieben, sollte jedoch unter Berücksichtigung der gegebenen Rahmenbedingungen und ökonomischen Aspekten angestrebt werden.

Das Nutzerverhalten hat elementaren Einfluss auf die energetische Gesamt-Bilanz von Siedlungen. Doch das Energieverhalten von Menschen ist so unterschiedlich wie die Menschen selbst. Die im Rahmen der Arbeit untersuchten Messwerte aus dem Ludmilla-Wohnpark in Landshut zeigen, dass Abweichungen einzelner Nutzungseinheiten von ± 100 Prozent und in Extremfällen sogar +150 Prozent und mehr vom Durchschnittswert einer Wohnsiedlung ohne weiteres möglich sind. Der Einfluss des Nutzers nimmt mit steigender Gebäudequalität noch zu. Zudem haben Extremverbräuche auf das energetische Ergebnis mehr Einfluss, je weniger Nutzungseinheiten das Versorgungskonzept umfasst. Somit ist eine verlässliche Voraussage des Nutzenergiebedarfs nicht möglich. Um Aussagen im Rahmen statistischer Wahrscheinlichkeiten über den Nutzenergiebedarf treffen zu können, müssen generische Nutzerklassen erarbeitet werden, die in der Planung als Datenmodell für die Ermittlung der generischen Varianzen für den späteren Betrieb in Simulationsprogrammen Anwendung finden können. Energieeffiziente Gebäude und Anlagen können ihr Potential nur bei richtiger Nutzung voll ausschöpfen. Um eine positive Beeinflussung des Nutzerverhaltens zu ermöglichen, wurden zunächst das grundlegende Verständnis sowie die Erwartungen und Einstellungen von Nutzern gegenüber energieeffizienten Gebäuden im Rahmen von sozialwissenschaftlichen Studien erarbeitet. Bewohnern energieeffizienter Gebäude ist der eigene Einfluss auf den Energieverbrauch durchaus bewusst. Jedoch wird dieser stark unterschätzt. Potentiale werden primär im elektrischen und weniger im thermischen Energieverbrauch gesehen. Komfort geht grundsätzlich vor Energieeinsparung. Auch stehen die monetären Aspekte im Fokus, weniger die Energieeinsparung selbst. Diese Tatsache ist speziell für Energie[⊕]-Objekte von besonderer Bedeutung, da durch die Eigenversorgung die Kosten für den Energiebezug deutlich reduziert und durch die Abgabe von Energieüberschüssen zusätzlich Geld verdient

werden kann. Durch energiebewusstes Verhalten sind Einsparungen von 5 bis 25 Prozent möglich. Um diese Einsparpotentiale voll ausschöpfen zu können, kommt der Nutzersensibilisierung besondere Bedeutung zu. Es können unterschiedlichste Werkzeuge zum Einsatz kommen. Sehr wichtig ist die Ersteinweisung der Nutzer in die vorhandene Gebäudetechnik, unterstützt durch Informationsveranstaltungen, Nutzerhandbücher und Leitfäden. Der Einfluss des Verhaltens ist für einen Nutzer erst begreifbar, wenn die Auswirkungen einer Verhaltensänderung nachvollziehbar sind. Das ist durch den Einsatz von Visualisierungs-Werkzeugen realisierbar. Sie sind ein unverzichtbares Werkzeug moderner Versorgungskonzepte. Die im Rahmen der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass durch Verbrauchsvisualisierung bei flächendeckendem Einsatz abhängig vom Nutzer Einsparpotentiale von 15 bis 25 Prozent realisierbar sind.

Wie das energieeffiziente Bauen selbst, steht auch die energetische Gebäudebilanzierung und -bewertung vor einem Umbruch. Im Verfahren nach EnEV erfolgt ausschließlich die Betrachtung von Einzelgebäuden. Auch das Erreichen einer negativen Energiebilanz ist derzeit nicht möglich. Die Bilanzierung und Bewertung von Siedlungs- und Quartierskonzepten mit dem Ziel eines energetischen Überschusses ist aktuell nicht realisierbar. Das vorgestellte Verfahren für Energie[⊕]-Objekte macht in drei aufeinander aufbauenden Schritten die Betrachtung des Gebäudebetriebs, die Gegenüberstellung von Energiebezug und Energieabgabe für das Gesamtsystem sowie den Vergleich unterschiedlicher Umsetzungsvarianten für Energie[⊕]-Versorgungskonzepte mit Hilfe des „Energieausweis[⊕] für Energie[⊕]-Siedlungen und Quartiere“ in Planung und Betrieb möglich. Neben der Energiebilanz wird für das Gesamtsystem zusätzlich der elektrische Eigennutzungs- und Eigendeckungsgrad sowie die Graue Energie berücksichtigt. Weitere Bilanzierungsmöglichkeiten wurden auf ihre aktuelle und zukünftige Sinnhaftigkeit hin beleuchtet. Als Betrachtungszeitraum wird ein Jahr und als Systemgrenze die umschließende Grundstücksgrenze der Siedlung oder des Quartieres definiert. Die Betrachtung erfolgt sowohl end- als auch primärenergetisch. Zur Einstufung werden „Energie[⊕]-Effizienzklassen“ und das „Effizienzhaus[⊕]“ sowie zum Vergleich von Umsetzungsvarianten das „Effizienzklassen-Diagramm“ eingeführt. Um dem Nutzer den Einfluss seines Verhaltens vor Augen zu führen und die Planer zur Annahme realistischer Planungswerte zu animieren, wird vom Autor der verpflichtende Vergleich von Planungs- und Messwerten als eine Art Gebäude-TÜV vorgeschlagen. Hierdurch werden Bewohner zu einer nachhaltigen Nutzung motiviert und Rebound-Effekten entgegen gewirkt. Während die Messung mit geeigneten Monitoring-Konzepten bereits möglich ist, verfügt der Markt aktuell über kein breitentaugliches Berechnungswerkzeug, mit dem Energie[⊕]-Objekte abgebildet werden können. Hier sind weitere Forschungsansätze gegeben. Um dem großen Varianzbereich und Einfluss des Nutzerverhaltens in der Planung Rechnung zu tragen, wird zusätzlich zum Zielwert ein Varianzbereich für das bewertete Energie[⊕]-Objekt angegeben.

8.2 Ausblick und weitere Forschungsansätze

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse lassen die Aussage zu, dass Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere einen großen Beitrag für die zukünftige Energieversorgung in Deutschland und darüber hinaus liefern können. Da ab 2021 alle Neubauten den Niedrigstenergiehaus-Standard verpflichtend erfüllen müssen und dieser einen Nahe-Null liegenden Energiebedarf fordert, der nach Möglichkeit aus erneuerbaren Energiequellen auch direkt vor Ort gedeckt werden soll, muss die Umsetzung von Neubauprojekten mit Energie⁺-Versorgungskonzepten schon heute das erklärte Ziel sein.

Jedoch darf niemals die gesamtenergetische Situation in Deutschland und Europa außer Acht gelassen werden. Bei den Erzeugungsüberschüssen handelt es sich in der Regel um die Einspeisung von elektrischer Energie aus Solarstrahlung. Die Einspeisung findet saisonal- und tageszeitabhängig sehr ungleichmäßig statt. Weiterhin ist die Übereinstimmung von Verbrauch und Erzeugung selten deckungsgleich. Somit werden aktuell konventionelle Kraftwerke vorgehalten, die bei geringer regenerativer Erzeugung Regelenergie bereit- und somit die Stromversorgung sicherstellen. [dena 2014] Zeiten, in denen die Stromerzeugung den aktuellen Energieverbrauch deutlich übersteigt, führen ebenfalls zu Problemen. Aktuell werden die Überschüsse unter anderem durch den Export in die Netze der europäischen Nachbarn abgebaut. [ISE 2014] Dies ist auf lange Sicht jedoch keine Lösung, vor allem unter dem Gesichtspunkt der zukünftigen Zunahme von erneuerbaren Energien. Es müssen durch den Ausbau der Verteilnetze und Speicher die infrastrukturellen Möglichkeiten geschaffen werden, die regenerative Energieerzeugung an den Energieverbrauch anzupassen. [dena 2014] Doch auch die Nutzer können ihren Teil dazu beitragen, indem sie ihre Energienachfrage an die Bereitstellung aus den erneuerbaren Energiequellen anpassen.

In Gebieten, in denen bereits hohe Schwankungen im Netz herrschen, wird das Problem durch Überschüsse aus Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren noch verstärkt. Hierfür bieten Energie⁺-Versorgungskonzepte, durch die Möglichkeit der teilweisen oder gar vollständigen Stromautarkie, durch den Einsatz von Speichern und regelbarer Stromerzeugungssysteme wie KWK-Anlagen eine mögliche Lösung an. Durch die intelligente Nutzung der vorhandenen Speicher können die regenerativen Erzeugungsspitzen verringert oder sogar ganz verhindert werden. Theoretisch wäre sogar ein Bezug aus dem öffentlichen Netz zu Spitzenzeiten möglich. Dies könnte sogar ein Wirtschaftsmodell werden, da in Spitzenzeiten ein negativer Strompreis entsteht. [Götz 2014] Somit könnte es sinnvoll sein, die eigene Energieerzeugung nicht zu betreiben und stattdessen Energie zu beziehen. Weiterhin könnte eine Vereinbarung mit dem Energieversorger getroffen werden, die es diesem zugesteht, in Zeiten hoher Nachfrage die Siedlung oder das Quartier vom Netz zu trennen. Hierfür muss das Bauvorhaben in der Lage sein, eine autarke Energieversorgung für diese Zeit zu garantieren. Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere könnten als Energiespeicher Regelenergie bereitstellen und somit zum Ausgleich von Erzeugungs- und Verbrauchsspitzen beitragen. Eine Siedlung oder Quartier allein kann diese Funktion nicht übernehmen. Werden in

Zukunft jedoch alle Neubauten und Sanierungen mit Energie⁺-Versorgungskonzepten umgesetzt und eine Kommunikation untereinander ermöglicht (Smart-Grid), kann dieser Ansatz ein elementarer Baustein der Energiewende sein. Die Kosten für die Anpassung von Erzeugung und Verbrauch würden auf diese Weise auf viele Schultern verteilt.

Sollen Energie⁺-Versorgungskonzepte in Zukunft den Standard der Technik für die Versorgung von Siedlungen und Quartieren repräsentieren, müssen sie technisch ausgereift, unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus am energetischen Optimum und architektonisch ansprechend sein. Dafür darf integrale Planung nicht mehr nur eine leere Worthülse sein, sondern gelebte Realität. Neben den technischen und wirtschaftlichen müssen vor allem auch die sozialen Aspekte Beachtung finden.

Die vorliegende Arbeit bietet eine Vielzahl von Ansätzen für die weitere Forschung im Bereich des energieeffizienten Bauens. Zunächst ist die Umsetzung und Untersuchung von Energie⁺-Siedlungen und –Quartieren in Pilotprojekten von Bedeutung. Auf diese Weise werden Vorurteile abgebaut und mögliche „Nachahmer“ von Energie⁺-Objekten überzeugt. Das kann die Verbreitung unterstützen. Hierfür müssen die rechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Eigenversorgung Beachtung und mögliche Anpassungen an der Rechtsprechung erarbeitet werden.

Die Weiterentwicklung der Planungswerkzeuge bietet wichtige Ansätze. Für die Planung von Energie⁺-Objekten sind breittaugliche Berechnungswerkzeuge notwendig, mit denen die gekoppelte Simulation von Erzeugung und Verbrauch möglich ist und dies unter Berücksichtigung aller relevanten Einflüsse wie dem Nutzerverhalten, dem Standort und der Grauen Energie. Die genannte Aufgabe kann weder von der Forschung, noch von den Herstellern kommerzieller Software alleine bewerkstelligt werden. Die Gründung und Organisation einer Entwicklungsplattform würde einen ersten wichtigen Schritt darstellen.

Die Ausgabe der Ergebnisse muss in allgemeinverständlicher und vergleichbarer Form erfolgen. Hierfür liefert der Energieausweis⁺ einen ersten Lösungsansatz, der auf seine Tauglichkeit hin überprüft und bei Bedarf angepasst werden kann. Zudem muss für die Ermittlung der statistischen Wahrscheinlichkeit der Nutzervariablen ein Verfahren entwickelt werden, mit dessen Hilfe es möglich wird, generische Nutzerklassen für die Planung bereitzustellen. Auch die Integration der Grauen Energie stellt eine sehr große Aufgabe dar, die jedoch aufgrund der Entwicklung hin zur ausgeglichenen Energiebilanz in Zukunft elementar für die ganzheitliche Betrachtung von Anlagen und Gebäuden wird.

Für die Nutzung und den Betrieb ist, aufgrund der hohen Einsparpotentiale, die Entwicklung und Verbreitung von Sensibilisierungs- und Optimierungswerkzeugen elementar. Der Einsatz von Verbrauchsvisualisierung im Gebäudebestand und die Entwicklung der hierfür notwendigen Messkonzepte ist ein ebenso wichtiger Forschungsansatz, wie die Entwicklung von Betriebsoptimierungswerkzeugen für kleine Versorgungskonzepte.

VERZEICHNISSE

V.1 Literatur

- Baumann 2005 Baumann, Oliver. 2005. Abschlussbericht: Energetische Verbesserung der Bausubstanz – Teilprojekt 1: Optimierung der Automationsfunktionen betriebstechnischer Anlagen mit Hilfe der dynamischen Simulation als Energie-Management-System. Ebert Ingenieure, München, Deutschland. (unveröff.).
- BDEW 2014 Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). 2014. 7. Energieverbrauch in Deutschland. [Online] Verfügbar unter: <http://www.bdew.de/internet.nsf/id/DE_Energiedaten> [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].
- BDEW 2014b Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW). 2014. Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2014). BDEW, Berlin, Deutschland.
- Bedal 2012 Bedal, Anna. 2012. Eis macht heiss – Kristallisationsenergie von Wasser zum Heizen nutzen. In: Sonnenenergie, 2012(6), S. 22f.
- BMUB 2014 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). 2014. Wege zum Effizienzhaus Plus. BMUB, Berlin, Deutschland.
- BMVI 2014 Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). 2014. Modellvorhaben –Netzwerk: Modellhäuser im „Effizienzhaus Plus Standard“. [Online] Verfügbar unter <http://www.bmvi.de/DE/EffizienzhausPlus/Modellvorhaben/effizienzhaus-plus-modellvorhaben_node.html> [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].
- BMVIT 2009 Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT). 2009. Haus der Zukunft ^{PLUS}. BMVIT, Wien, Österreich.
- BMW i 2010 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU). 2010. Energiekonzept für eine umweltschonende und bezahlbare Energieversorgung. BMWi und BMU, Berlin, Deutschland.
- dena 2014 Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena). 2014. Endbericht: Dena-Studie Systemdienstleistungen 2030. Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien. dena, Berlin, Deutschland.
- DIN 1946-6 DIN 1946-6:2009-05. Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.
- DIN 4108-6 DIN 4108-6:2003-06. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- DIN 4108-2 DIN 4108-2:2013-02. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- DIN 4108 DIN 4108:1952-07. Wärmeschutz im Hochbau.
- DIN EN ISO 7730 DIN EN ISO 7730:2006-05. Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.
- DIN V 18599 DIN V 18599:2011-12. Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teile 1-11.
- Disch 2014 Disch, Rolf. 2014. Was ist Plusenergie?. [Online] Verfügbar unter: <<http://www.plusenergiehaus.de/index.php?p=home&pid=8&L=0&host=1#a1>> [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].

DVGW W551	DVGW Arbeitsblatt W551:2004-04. Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasserinstallationen.
EEG 2014	Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014) vom 21. Juli 2014 (BGBl. I, 1066), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 22. Juli 2014 (BGBl. I, 1218) geändert worden ist.
EnEG 1976	Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (Energieeinsparungs-gesetz – EnEG) vom 22. Juli 1976 (BGB I, 1873), geändert durch Erstes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes vom 20. Juni 1980 (BGB I, 701).
EnEV 2014	Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013.
EnEV 2009	Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 29. April 2009.
EnEV 2002	Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. November 2001.
EnWG 2005	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschafts-gesetz – EnWG) vom 7. Juli 2005 (BGBl. I, 1970, 3621), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 21. Juli 2014 (BGBl. I, 1066) geändert worden ist.
EnWG 1998	Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschafts-gesetz – EnWG) vom 24. April 1998 (BGBl. I, 730) (BGBl. III 752-2).
EPBD 2010	Richtlinie 2010/31/EU des europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung).
EPBD 2002	Richtlinie 2002/91/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
Erhorn-Kluttig 2011	Erhorn-Kluttig, Heike et al. 2011. Energetische Quartiersplanung – Methoden – Technologien – Praxisbeispiele. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
Felsmann 2013	Felsmann, Clemens; Schmidt, Juliane. 2013. Abschlussbericht: Auswirkungen der verbrauchsabhängigen Abrechnung in Abhängigkeit von der energetischen Gebäudequalität. Fakultät Maschinenwesen, Institut für Energietechnik, Technische Universität Dresden (TUD), Dresden, Deutschland. (unveröff.).
Fisch 2012	Fisch, M. Norbert; Wilken, Thomas; Stähr, Christina. 2012. EnergiePLUS – Gebäude und Quartiere als erneuerbare Energiequellen. Fisch, 1. Auflage, Leonberg, Deutschland.
Fisch 2013	Fisch, M. Norbert. 2013. EnergiePLUS – Gebäude als erneuerbare Energiequelle. Vortrag im Rahmen des 3. Symposiums Energie PLUS Gebäude, Clean Energy Building (CEB), Stuttgart, Deutschland, 08. Februar 2013.
GMSH 2013	Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AöR (GMSH). 2013. Energiebericht 2013 für die landesgenutzten Liegenschaften in Schleswig-Holstein. GMSH, Kiel, Deutschland.
Götz 2014	Götz, Philipp et al.. 2014. Analyse negative Strompreise: Ursachen und Wirkungen – Eine Analyse der aktuellen Entwicklungen und ein Vorschlag für ein Flexibilitätsgesetz. Agora Energiewende, Berlin, Deutschland. (unveröff.).
GSG 2014	GSG Geologie-Service GmbH. 2014. O-ViVE – Online-Visualisierung von Energieerzeugungen und Verbräuchen. [Online] Verfügbar unter: < http://www.ovive.de > [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].
Hacke 2009	Hacke, Ulrike. 2009. Thesenpapier: Nutzerverhalten im Mietwohnbereich. IWU, Darmstadt, Deutschland.
Hegger 2013	Hegger, Manfred et al. 2013. Aktivhaus – Das Grundlagenwerk – Vom Passivhaus zum Energieplushaus. Callwey Verlag, München, Deutschland.

Heinze 2009	Heinz, Mira; Voss, Karsten. 2009. Ziel Null Energie – Erfahrungen am Beispiel der Solarsiedlung Freiburg am Schlierberg. In: Deutsche Bauzeitschrift (DBZ), 2009(1), S. 72-74.
HeizAnIV 1998	Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnIV) Neufassung vom 04. Mai 1998 (BGBl. I 1998, 851).
HeizAnIV 1978	Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung – HeizAnIV) vom 22. September 1978.
Herkel 2014	Herkel, Sebastian et al. 2014. Netzreaktive Gebäude im Kontext der Energiewende. In: Energieinnovationen in Neubau und Sanierung, EnOB-Symposium 2014. Essen, 20.-21. März 2014. PtJ, Jülich, Deutschland. S. 93-98.
IFEU 2011	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH (ifeu). 2011. Wissenschaftlicher Grundlagenbericht: UMBReLA – Umweltbilanzen Elektromobilität. Ifeu, Heidelberg, Deutschland. (unveröff.).
IBP 2013	Erhorn, Hans et al. 2013. Messtechnische und energetische Validierung des BMVBS-Effizienzhaus Plus in Berlin – Messperiode März 2012 bis Februar 2013. IBP, Stuttgart, Deutschland.
ISE 2013	Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE). 2013. Speicherstudie 2013 – Kurzgutachten zur Abschätzung und Einordnung energiewirtschaftlicher, ökonomischer und anderer Effekte bei Förderung von objektgebundenen elektrochemischen Speichern. Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland. (unveröff.).
ISE 2014	Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme (ISE). 2014. Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland – Fassung vom 28. Juli 2014. Fraunhofer ISE, Freiburg, Deutschland. (unveröff.).
Jenni 2010	Jenni, Josef. 2010. Das Sonnenhaus. Jenni Energietechnik, 3. Auflage, Oberburg, Schweiz.
Jensch 2011	Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2011. +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe VDI – IDV: Programm Wintersemester 2011, VDI, München, Deutschland, 08. November 2011.
Kippes 2014	Kippes, Stephan. Marktmonitor Immobilien 2014. 2014. Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Geislingen, Deutschland. (unveröff.).
KIT 2014	Karlsruher Institut für Technologie (KIT). 2014. Forschungsaktivitäten des fbta. [Online] Verfügbar unter: < http://fbta.ieb.kit.edu/forschung.php > [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].
Kraus 2011	Kraus, Dietmar. 2011. Projektierung von Passivhäusern. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe VDI – IDV: Programm Sommersemester 2011, VDI, München, 05. April 2011.
KWKG 2002	Gesetz für die Erhaltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz) vom 19. März 2002 (BGBl. I, 1092), das zuletzt durch Artikel 13 des Gesetzes vom 21. Juli 2014 (BGBl. I, 1066) geändert worden ist.
Loga 2002	Loga, Tobias; Diefenbach, Nikolaus; Born, Rolf. 2002. Untersuchungsbericht: Konzept für einen Gebäudeenergiepass mit Energieeffizienz-Label. Institut für Wohnen und Umwelt (IWU), Stuttgart, Deutschland. (unveröff.).
Lücking 2012	Lücking, Rolf-Michael; Hauser, Gerd. 2012. Plusenergiehäuser – technische und ökonomische Grundlagen. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
Ludmilla 2014	Ludmilla-Wohnbau GmbH. 2014. Fotos: Bauabschnitt I+II. [Online] Verfügbar unter: < http://www.ludmilla-wohnpark-landshut.de/fotos-und-eindruecke/bauabschnitt-i-ii/index.html > [zuletzt abgerufen am 24. Oktober 2014].

- Mahler 2012 Mahler, Boris. 2012. Umsetzung EnergiePLUS für Mehrfamilienhäuser und Stadtquartiere. Vortrag im Rahmen der International Conference on Building Performance 2012 (icbp 2012), BMWi, Berlin, Deutschland, 29.-30. Oktober 2012.
- Minergie® 2010 Minergie® Agentur Bau. 2010. Minergie-A® - Definition des neuen Gebäude-Standards – Vernehmlassung. Minergie® Agentur Bau, Muttenz, Schweiz.
- ODPM 2006 Department for Communities and Local Government. 2006. Code for Sustainable Homes – A step-change in sustainable home building practice. Communities and Local Government Publications, London, Great Britain.
- Pkw-EnVKV 2004 Verordnung über Verbraucherinformationen zu Kraftstoffverbrauch, CO₂-Emissionen und Stromverbrauch neuer Personenkraftwagen (Pkw-Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung – EnVKV) vom 28. Mai 2004 (BGBl. I, 1037), die zuletzt durch Artikel 3 des Gesetzes vom 10. Mai 2020 (BGBl. I, 1070) geändert worden ist.
- Plesser 2010 Plesser, Stefan; Fisch, M. Norbert. 2010. Gebäude energieeffizient betreiben – Den Anspruch der Planung einlösen. BINE Informationsdienst, Karlsruhe, Deutschland.
- Ramesh 2010 Ramesh, Talakonukula; Prakash, Ravi; Shukla, Karunesh Kuma. 2010. Life cycle energy analysis of buildings: An overview. In: Energy and Buildings 42, 2010, S. 1592-1600.
- Reiß 2013 Reiß, Johann et al. 2013. Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Richter 2003 Richter, Wolfgang et al. 2003. Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern. Bauforschung für die Praxis, Band 63, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Sartori 2007 Sartori, Igor; Hestness, Anne Grete. 2007. Energy use in the life cycle of conventional an low-energy buildings: A review article. In: Energy and Building 39, S. 249-257.
- Schaefer 1980 Schaefer, Helmut et al. 1980. Struktur und Analyse des Energieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland. Technischer Verlag Resch, München, Deutschland.
- Schild 2011 Schild, Kai; Willems, Wolfgang. 2011. Wärmeschutz – Grundlagen – Berechnung – Bewertung. Vieweg + Teubner Verlag, 1. Auflage, Wiesbaden, Deutschland.
- SIA 2010 SIA 2032:2009-11. Graue Energie von Gebäuden.
- Statis 2014 Statistisches Bundesamt. 2014. Bautätigkeit und Wohnungen – Bestand an Wohnungen. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, Deutschland.
- Stockinger 2012a Stockinger, Volker. 2012. Energiesparen kostet nichts – Tipps für den richtigen Umgang mit Heizung, Lüftung, Wasser, Strom. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, Deutschland.
- Stockinger 2012b Stockinger, Volker; Grunewald, John; Jensch, Werner. 2012. Plus-Energie – Begriffsdefinition, Umsetzung, Bilanzierung und Klassifizierung. In: HLH, Band 63, 2012(3), S. 20-32.
- Synwoldt 2013 Synwoldt, Christian. 2013. Netzentlastung durch Speicher und Photovoltaik. Vortrag im Rahmen der 1. Speichertagung Rheinland-Pfalz, IfaS, Birkenfeld, Deutschland, 27.-28. Februar 2013.
- TAB 2008 Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB). 2008. Energiespeicher – Stand und Perspektiven. Sachstandsbericht, Arbeitsbericht Nr. 123, Berlin, Deutschland. (unveröff.).
- Taphorn 2013 Taphorn, Norbert. 2013. Solarstrom verheizen – Effiziente Nutzung von Solarstrom durch Batterie- und Wärmespeicher in der Quartierssiedlung Weinsberg. Vortrag im Rahmen der 1. Speichertagung Rheinland-Pfalz, IfaS, Birkenfeld, Deutschland, 27.-28. Februar 2013.
- Tichelmann 2014 Tichelmann, Karsten. 2014. Sanierung eines Wohnhauses zu einem Plusenergiehaus mit Elektromobilität. Vortrag im Rahmen der Berliner Energietage 2014, BMUB, Berlin, Deutschland, 19.-21. Mai 2014.

TrinkwV 2001	Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001) in der Fassung der Bekanntmachung vom 02. August 2013 (BGBl. I, 2977), die durch Artikel 4 Absatz 22 des Gesetzes vom 07. August 2013 (BGBl. I, 3154) geändert worden ist.
Van Treeck 2014	Van Treeck, Christoph et al. 2014. EnOB-geförderte internationale Forschungsaktivitäten und Software-Tools. In: Energieinnovationen in Neubau und Sanierung, EnOB-Symposium 2014. Essen, 20.-21. März 2014. PtJ, Jülich, Deutschland. S. 17-23.
VDI 3807	VDI 3807:2007:03. Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen
Viridén 2010	Viridén, Karl. 2010. Definition Plusenergiehaus – Potentiale und Chancen. Vortrag im Rahmen der Jahrestagung 2010 – Das Plusenergiehaus, energie-cluster.ch, Bern, Schweiz, 03. Mai 2010.
Voss 2010	Voss, Karsten; Musall, Eike; Lichtmeß, Markus. 2010. Vom Niedrigenergie- zum Nullenergiehaus: Standortbestimmung und Entwicklungsperspektiven. In: Bauphysik, Jahrgang 32, 2010 (6), S. 424-434.
Voss 2011	Voss, Karsten; Musall, Eike. 2011. Nullenergie Gebäude – Internationale Projekte zum klimaneutralen Wohnen und Arbeiten. Detail Verlag, 1. Auflage, München, Deutschland.
Weißberger 2014a	Weißberger, Markus; Jensch, Werner; Lang, Werner. 2014. The convergence of life cycle assessment and nearly zero-energy buildings: The case of Germany. In: Energy and Buildings 76, S. 551-557.
Weißberger 2014b	Weißberger, Markus; Jensch, Werner; Lang, Werner. 2014. A Review of the Life Cycle Assessment of Nearly Zero-Energy Residential Buildings. In: Abstract Book of the 11 th International Conference on EcoBalance (EcoBalance 2014), The Institute of Life Cycle Assessment (iLCAj), Japan, S. 92.
Wolfrum 2009	Wolfrum, Klaus; Jank, Reinhard. 2009. Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in energetisch sanierten Wohngebäuden. In: Forschung aktuell, Hochschule Karlsruhe, S. 43-47.
WSchV 1994	Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 16. August 1994.
WSchV 1977	Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – WärmeschutzV) vom 11. August 1977.

V.2 Abkürzungen

+Eins	Forschungsvorhaben Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut
a	Jahr
AöR	Anstalt des öffentlichen Rechts
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (Österreich).
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (bis 2013)
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BRD	Bundesrepublik Deutschland
bzw.	beziehungsweise
CCEG	Competence Center – Energieeffiziente Gebäude, Hochschule München
CO ₂	Kohlendioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
Dr.-Ing.	Doktor der Ingenieurwissenschaften
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
ECU	Energie-Contracting-Unternehmen
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EFH	Einfamilienhäuser
EnEff-Stadt	Förderschwerpunkt „Energieeffiziente Stadt“ des BMWi
EnEG	Energieeinsparungsgesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnVKV	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
e_p	Primärenergiefaktor
e_{PM}	mittlerer Primärenergiefaktor
e.V.	eingetragener Verein
EU	Europäische Union
EVU	Elektroversorgungsunternehmen
fbta	Fachgebiet für Bauphysik und technischer Ausbau
FV	Forschungsvorhaben
GMSH	Gebäudemanagement Schleswig-Holstein AöR
GSG	GSG Geologie-Service GmbH, Würzburg
g-Wert	Energiedurchlassgrad transparenter Bauteile
HeizAnlV	Heizungsanlagen-Verordnung
HLK	Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik
HM	Hochschule für angewandte Wissenschaften München
IBK	Institut für Bauklimatik, Technische Universität Dresden
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik
IfaS	Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, Fachhochschule Trier
IFEU	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH
IGS	Institut für Gebäude und Solartechnik, Technischen Universität Braunschweig
IKT	Information- und Kommunikationstechnologien
iLCAj	The Institute of Life Cycle Assessment, Japan
IRB	Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau
ISE	Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme

IWU	Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt
KEA	kumulierter Energieaufwand (Graue Energie)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KJ	Kalenderjahr
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LWP	Ludmilla-Wohnpark Landshut
MFH	Mehrfamilienhäuser
MSR	Mess-, Steuer- und Regelungstechnik
ODPM	Office of the Prime Minister (Großbritannien)
O-VIVE	Online-Visualisierung von Energieverbräuchen
Pers	Person
PKW	Personenkraftwagen
Prof.	Professor
PV	Photovoltaik
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Statis	Statistisches Bundesamt
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TUD	Technische Universität Dresden
TWW	Trinkwarmwasser
Univ.	Universität
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient in W/m ² K
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WHG	Wohnung
WPWE	Wohneinheit
WSchV	Wärmeschutzverordnung
WP	Wärmepumpe
z.B.	zum Beispiel

V.3 Abbildungen

Abb. 1-1: SÜD-ANSICHT DER ERSTEN BEIDEN BAUABSCHNITTE DES LUDMILLA-WOHN-PARK IN LANDSHUT	6
Abb. 3-1: ÜBERSICHT ÜBER DIE ZULÄSSIGEN ENERGIETRÄGER FÜR ENERGIE [⊕] -KONZEPTE	19
Abb. 3-2: ÜBERSICHT ÜBER DIE OPTIONALEN ENERGETISCHEN UND ÖKOLOGISCHEN ZIELE VON ENERGIE [⊕] -KONZEPTE.....	22
Abb. 3-3: ENERGIESTRÖME FÜR WOHN- UND NICHTWOHN-GEBÄUDE BEI ENERGIE [⊕] IM VERGLEICH ZUR ENEC 2014	29
Abb. 4-1: BENÖTIGTE MESSTECHNIK ZUR BEWERTUNG DES BETRIEBSVERHALTENS.....	59
Abb. 4-2: GESAMTÜBERSICHT ALLER RELEVANTEN KOMPONENTEN DER ENERGIEBEREITSTELLUNG FÜR ENERGIE [⊕] -KONZEPTE	63
Abb. 5-1: ELEKTRISCHE UND THERMISCHE ENERGIESTRÖME BEI UNTERSCHIEDLICHEN VERSORGUNGSKONZEPTE	65
Abb. 6-1: DETAILANSICHT DER VERBRAUCHSVISUALISIERUNG IM LWP FÜR NUTZENERGIEVERBRÄUCHE	95
Abb. 7-1: BILANZIERUNGSGRENZEN ZUR BEWERTUNG VON ENERGIE [⊕] -SIEDLUNGEN.....	99
Abb. 7-2: BENÖTIGTE PROJEKTDATEN FÜR DIE BEWERTUNG VON ENERGIE [⊕] -OBJEKTEN	102
Abb. 7-3: DATENBLATT FÜR DIE BEWERTUNG DES GEBÄUDEBETRIEBES BEI ENERGIE [⊕] -OBJEKTEN	113
Abb. 7-4: BANDTACHO FÜR DIE ANGABE DES ELEKTRISCHEN EIGENDECKUNGS-GRADEN.....	117
Abb. 7-5: BANDTACHO FÜR DIE ANGABE DES ELEKTRISCHEN EIGENNUTZUNGS-GRADEN.	117
Abb. 7-6: BANDTACHO FÜR DIE ANGABE DER GRAUEN ENERGIE.	117
Abb. 7-7: DATENBLATT FÜR DIE BEWERTUNG DES GESAMTSYSTEMS VON ENERGIE [⊕] -OBJEKTEN.....	121
Abb. 7-8: DATENBLATT FÜR DEN VERGLEICH VON ENERGIE [⊕] -UMSETZUNGS-VARIANTEN	125

V.4 Diagramme

DIAGRAMM 1-1: ENTWICKLUNG DES PRIMÄRENERGIEBEDARFS VON DOPPELHÄUSERN [BMUB 2014]	1
DIAGRAMM 3-1: ZU ERWARTENDE ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG DER ENDENERGIEVERBRÄUCHE [...]	25
DIAGRAMM 3-2: ANTEIL DER [...] VERBRAUCHER [...] ENDENERGIEVERBRAUCH DES BMVI EFFIZIENZHAUS PLUS IN BERLIN	26
DIAGRAMM 3-3: „BEDARF [...] PRIMÄRENERGIE FÜR WOHNGEBÄUDE UNTERSCHIEDLICHER ENERGETISCHER STANDARDS	30
DIAGRAMM 4-1: QUALITATIVE HEIZLEISTUNGSKURVEN FÜR VERSCHIEDENE GEBÄUDESTANDARDS [...]	37
DIAGRAMM 4-2: JAHRESVERLÄUFE UND TAGESGÄNGE DER NUTZENERGIEN HEIZUNG, TWW UND HAUSHALTSSTROM [...].	39
DIAGRAMM 4-3: JAHRESVERLÄUFE UND TAGESGÄNGE DER ELEKTRISCHEN UND THERMISCHEN NUTZENERGIEN [...]	41
DIAGRAMM 4-4: GEGENÜBERSTELLUNG VERSCHIEDENER THERMISCHER ENERGIEERZEUGUNGSMÖGLICHKEITEN [...]	43
DIAGRAMM 4-5: GEGENÜBERSTELLUNG VON SOLARENERGIE UND VERBRENNUNGSPROZESS ALS ELEKTRISCHE ERZEUGUNGSM.	45
DIAGRAMM 4-6: GEGENÜBERSTELLUNG VON WÄRME UND ELEKTRISCH GEFÜHRTEN KWK-BETRIEB	47
DIAGRAMM 4-7: GEGENÜBERSTELLUNG VON GETRENNTER UND GEKOPPELTER WÄRMEVERTEILUNG	49
DIAGRAMM 4-8: THERMISCHE TAGES- UND SAISONAL-SPEICHER BEI UNTERSCHIEDLICHEN WÄRMEERZEUGERN	53
DIAGRAMM 4-9: ELEKTRISCHE TAGES- UND SAISONAL-SPEICHER BEI UNTERSCHIEDLICHEN ENERGIEERZEUGERN	55
DIAGRAMM 4-10: [...] GEGENÜBERSTELLUNG DER BETRIEBSBEDINGTEN UND NUTZERABHÄNGIGEN ENERGIEVERBRÄUCHE [...]	61
DIAGRAMM 5-1: THERMISCHE UND ELEKTRISCHE ENERGIEBEDARFE FÜR DEN GEBÄUDEBETRIEB	69
DIAGRAMM 5-2: INTERNE UND EXTERNE ENERGIESTRÖME ZUR DECKUNG DES ENERGIEBEDARFS FÜR DEN GEBÄUDEBETRIEB	69
DIAGRAMM 5-3: ZU BERÜCKSICHTIGENDE ENERGIESTRÖME ZUR BEREITSTELLUNG VON ELEKTRISCHER UND THERMISCHER ENERGIE..	70
DIAGRAMM 5-4: ENERGETISCHER ZUSAMMENHANG VON ENERGIEBEREITSTELLUNG, EIGENNUTZUNG UND ENERGIEABGABE	70
DIAGRAMM 5-5: GRUNDAUFBAU DES EFFIZIENZKLASSENDIAGRAMMES. [...]	71
DIAGRAMM 6-1: [...] „WAS MACHT DEN LUDMILLA-WOHNPAK FÜR SIE BESONDERS?“ [...]	73
DIAGRAMM 6-2: [...] „WAS VERSTEHEN SIE PERSÖNLICH UNTER EINEM ENERGIEEFFIZIENTEN GEBÄUDE?“ [...]	73
DIAGRAMM 6-3: [...] „ENERGIESPAREN BEDEUTET FÜR MICH...“ [...]	75
DIAGRAMM 6-4: [...] „WIE BEWERTEN SIE FOLGENDE AUSSAGEN?“ [...]	75
DIAGRAMM 6-5: [...] „WAS TUN SIE PERSÖNLICH, UM ENERGIE ZU SPAREN?“ [...]	77
DIAGRAMM 6-6: JAHRESSUMMEN DER DURCHSCHNITTL., MAXIMALEN UND MINIMALEN HEIZENERGIEVERBRÄUCHE IM LWP [...]	79
DIAGRAMM 6-7: VERGLEICH [...] GEMESSENEN (ROT) NUTZENERGIEVERBRÄUCHE [...] MIT SIMULIERTEN SOLLBEDARFEN [...]	80
DIAGRAMM 6-8: FLÄCHEN- UND PERSONENBEZOGENE JAHRESSUMME DURCHSCHNITTL. NUTZENERGIE FÜR TWW [...]	81
DIAGRAMM 6-9: FLÄCHEN- UND PERSONENBEZOGENE JAHRESSUMME DURCHSCHNITTL. NUTZENERGIE FÜR HAUSHALTSSTROM [...]	82
DIAGRAMM 6-10: DICHT- UND VERTEILUNGSFUNKTIONEN DER GAUßSCHEN NORMALVERTEILUNGEN [...]	85
DIAGRAMM 6-11: VARIANZBEREICH DER NUTZENERGIEVERBRÄUCHE FÜR HEIZUNG, TWW UND HAUSHALTSSTROM [...]	87
DIAGRAMM 6-12: ERMITTELTE NUTZENERGIEVERBRÄUCHE FÜR ZWEI EXEMPLARISCHE WOHN-EINHEITEN IM LWP [...]	97
DIAGRAMM 7-1: EFFIZIENZKLASSEN-DIAGRAMM [VOSS 2010] MIT EINGETRAGENEN ENERGIE [®] -EFFIZIENZKLASSEN.	123

V.5 Tabellen

TABELLE 3-1: ENERGIE [®] IM VERGLEICH ZU AKTUELLEN GEBÄUDESTANDARDS	33
TABELLE 6-1: BERECHNETE WERTE FÜR DIE NORMALVERTEILUNG DER NUTZENERGIEVERBRÄUCHE	84
TABELLE 7-1: ENERGIE [®] -EFFIZIENZKLASSEN A-H IM VERGLEICH [...]	106
TABELLE 7-2: AUSWIRKUNG DES MITTLEREN PRIMÄRENERGIEFAKTORS AUF DIE PRIMÄRENERGETISCHE EINSTUFUNG	107
TABELLE 7-3: ENERGIE [®] -EFFIZIENZKLASSEN A ⁺⁺ -H	111

ANHANG

A.1 Tabellarischer Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Volker Stockinger
Geburtsdatum: 31.07.1981
Geburtsort: Hutthurm
Familienstand: eheähnliche Gemeinschaft, einen Sohn



Schulische Ausbildung

09/1993-08/1997 Staatliche Wirtschaftsschule Passau
09/1991-08/1993 Hauptschule Salzweg
09/1987-08/1991 Grundschule Straßkirchen

Berufliche Ausbildung

09/1997-05/2000 Ausbildung zum technischen Zeichner HLK an der staatlichen Berufsschule Landshut und dem IB Scholz, Zweigstelle Passau

Berufliche Weiterbildung

04/2001-04/2004 Berufsbegleitende Weiterbildung zum staatlich geprüften Techniker HLK am DAA Technikum, Standort Jena

Beruflicher Werdegang

seit 05/2015 Wissenschaftlicher Gruppenleiter am Competence Center – Energieeffiziente Gebäude der Hochschule München
seit 02/2012 Lehrbeauftragter am Rudolf-Diesel-Technikum Augsburg
seit 03/2009 Lehrbeauftragter an der Hochschule München
03/2008-04/2015 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Competence Center – Energieeffiziente Gebäude der Hochschule München
seit 10/2007 Freiberuflich tätig als Ingenieur der Energie- und Gebäudetechnik
10/2004-09/2007 Techniker HLK im Ingenieurbüro Scholz, Zweigstelle Passau (Teilzeit)
05/2004-09/2004 Techniker HLK im Ingenieurbüro Scholz, Zweigstelle Passau (Vollzeit)
05/2000-04/2004 Technischer Zeichner HLK im Ingenieurbüro Scholz, Zweigstelle Passau

Studium

01/2009-03/2015 Promotionsstudent an der TU Dresden am Institut für Bauklimatik
Thema der Dissertation: „Energie⁺-Siedlungen und –Quartiere“
10/2007-09/2008 Masterstudiengang Gebäudetechnik an der Hochschule München
10/2004-09/2007 Diplom-Studiengang Versorgungstechnik an der Georg-Simon-Ohm Fachhochschule Nürnberg

A.2 Verzeichnis der wissenschaftlichen Veröffentlichungen/Vorträge

Buch- und Ratgeber-Veröffentlichungen

Grunewald, John; Stockinger, Volker; Weiß, Dirk; Blaich, Lutz; Nicolai, Andreas; van Treeck, Christoph. 2015. Neue Anforderungen an Planungswerkzeuge für Energie⁺-Siedlungen und Quartiere. In Fouad, Nabil. Bauphysik-Kalender 2015 – Simulationen und Rechenverfahren in der Bauphysik. Wiley Verlag, Ernst & Sohn, 1. Auflage, Berlin, Deutschland, S. 521-541. (ISBN 978-3-433-03105-6)

Stockinger, Volker. 2012. Energiesparen kostet nichts. Fraunhofer IRB Verlag, 1. Auflage, Stuttgart, Deutschland. (ISBN 978-3-8167-8545-3)

Stockinger, Volker; Kraus, Roland. 2011. Begrenzung der Wärmeverluste von Gebäuden und Anlagen. In Burkhardt, Wolfgang; Kraus, Roland. Projektierung von Warmwasserheizungen. Oldenbourg Industrieverlag, 8. Auflage, München, Deutschland, S. 171-191.

Forschungsberichte

Stockinger, Volker; Jensch, Werner; Grunewald, John. 2015. Abschlussbericht: Forschungsvorhaben +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark in Landshut. Competence Center Energieeffiziente Gebäude (CCEG), Fakultät Versorgungs- und Gebäudetechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München (HM), München, Deutschland.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker; Wolf, Marco. 2012. Abschlussbericht: Forschungsvorhaben EduOp – Education Center Betriebsoptimierung versorgungstechnischer Anlagen. Competence Center Energieeffiziente Gebäude (CCEG), Fakultät Versorgungs- und Gebäudetechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München (HM), München, Deutschland.

Publikationen in Fachzeitschriften:

Stockinger, Volker. 2015. Quartiersdenken - Vom Energie⁺-Haus zum Energie⁺-Quartier. In: Passivhaus-Kompodium 2016, S. 54-56.

Grunewald, John; Stockinger, Volker. 2015. Nutzerverhalten in Energie⁺-Wohnsiedlungen. In: Tagungsband 2. AktivPLUS-Symposium, 21. Mai 2015, Stuttgart, S. 48-49.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2015. Planung und Betrieb von Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren. In: Tagungsband 2. AktivPLUS-Symposium, 21. Mai 2015, Stuttgart, S. 80-82.

Stockinger, Volker; Jensch, Werner. 2015. Gebäudeautomation und Verbrauchsvisualisierung in Energie⁺-Gebäuden. In: Ingenieur Spiegel, 2015(1), Seite 42-44.

Stockinger, Volker; Grunewald, John; Jensch, Werner. 2013. Energieausweis⁺ für Plusenergie-Wohngebäude mit zusätzlichen Informationen gemäß §17 Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV). In: Bauphysik, 35. Jahrgang, 2013(3), S. 212-219.

Stockinger, Volker; Grunewald, John; Jensch, Werner. 2012. Plus-Energie: Begriffsdefinition, Umsetzung, Bilanzierung und Klassifizierung. In: HLH, Band 63, 2012(3), S. 20–32.

Stockinger, Volker; Hilligweg, Arnd; Kuschka, Matthias. 2008. KWKK im Nutzenergie-Triagramm. In: TGA Fachplaner, 2008(10), S. 50-54.

Stockinger, Volker; Hilligweg, Arnd; Kuschka, Matthias. 2007. Ein Vorauswahlverfahren für Komponenten zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung. In: Tagungsband Deutsche Kälte-Klima-Tagung, 21.-23.11.2007, Hannover, Band AA.II.2.10.

Vorträge auf Tagungen / Symposien / Konferenzen:

Stockinger, Volker. 2015. Vom Energie⁺-Haus zur Energie⁺-Siedlung. Vortrag im Rahmen des Veranstaltungsprogramms im EffizienzhausPLUS mit Elektromobilität, Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH (ZEBAU), Berlin, Deutschland, 17. September 2015.

Grunewald, John; Stockinger, Volker. 2015. Nutzerverhalten in Energie⁺-Wohnsiedlungen. Vortrag im Rahmen des 2. AktivPLUS-Symposium, Reeco GmbH, Stuttgart, Deutschland, 21. Mai 2015.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2015. Planung und Betrieb von Energie⁺-Siedlungen und -Quartieren. Vortrag im Rahmen des 2. AktivPLUS-Symposium, Reeco GmbH, Stuttgart, Deutschland, 21. Mai 2015.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2014. +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark in Landshut, Vortrag im Rahmen der Bayerischen Energiekonferenz der Immobilienwirtschaft, Bundesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen e.V. (BFW), Augsburg, Deutschland, 04. November 2014.

Stockinger, Volker. 2014. Betriebsoptimierung Ludmilla-Wohnpark in Landshut. Vortrag im Rahmen des 7. EnEff-Stadt-Projektleitermeetings, EnEff-Stadt Begleitforschung, Hamburg, Deutschland, 02. Juli 2014.

Stockinger, Volker. 2014. Wärmeversorgung von Quartieren – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Vortrag im Rahmen der Intersolar 2014, Solar Promotion GmbH, München, Deutschland, 04. Juni 2014.

Stockinger, Volker; Jensch, Werner. 2014. Forschungsvorhaben Energie⁺-Siedlung - Vorstellung der Ergebnisse. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe VDI – IDV: Programm Sommersemester 2014, VDI, München, Deutschland, 03. Juni 2014.

Stockinger, Volker. 2014. Plus-Energie-Wohnsiedlung – Definition, Planung, Betrieb, Nutzung und Bilanzierung. Seminar im Rahmen der Planer- und Bauexpertentage 2014, Leipfinger und Bader, Vatersdorf, Deutschland, 27. Februar 2014.

Stockinger, Volker. 2013. Plusenergie – Definition, Werkzeuge und Bilanzierung am Beispiel des Ludmilla-Wohnparks Landshut. Vortrag im Rahmen der Bau Innovativ 2013, Bayern Innovativ GmbH, Fürstenfeldbruck, Deutschland, 14. November 2013.

Stockinger, Volker. 2013. Werkzeuge zur Verbrauchsoptimierung von Plus-Energie-Wohnungsbauten. Vortrag im Rahmen der Professorentagung 2013, Ziegel Zentrum Süd e.V., Düsseldorf, Deutschland, 21. Juni 2013.

Stockinger, Volker. 2013. Forschungsprojekt +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut“. Vortrag im Rahmen des Akademischen Mauerwerkstags, Ziegel Zentrum Süd e.V., Deggendorf, Deutschland, 20. Juni 2013.

Stockinger, Volker. 2013. Certification of Plus-Energy Buildings and Residential Areas. Lecture on the EnTOOL Symposium 2013, Institute of Building Climatology, TU Dresden, Dresden, Germany, 13. Juni 2013.

Stockinger, Volker. 2013. The Energy Concept & Monitoring of the Ludmilla Residential Area. Lecture on the EnTOOL Symposium 2013, Institute of Building Climatology, TU Dresden, Dresden, Germany, 13. Juni 2013.

Stockinger, Volker. 2013. Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark in Landshut. Vortrag im Rahmen des 3. Symposiums Energie-Plus-Gebäude, Reeco GmbH, Stuttgart, Deutschland, 08. Februar 2013.

Stockinger, Volker. 2012. Forschungsprojekt +Eins. Vortrag im Rahmen des Akademischen Mauerwerkstags, Ziegel Zentrum Süd e.V., Giessen, Deutschland, 14. Dezember 2012.

Stockinger, Volker. 2012. Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Vortrag im Rahmen des 1. Symposiums Energie-Plus-Gebäude, Reeco GmbH, Salzburg, Österreich, RenExpo, 29. November 2012.

Stockinger, Volker. 2012. Forschungsvorhaben Plus-Energie-Haus-Siedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Vortrag im Rahmen des Kongresses Energieoptimierte Bauleitplanung, ENERGIEregion Nürnberg e.V., Nürnberg, Deutschland, 24. Juli 2012.

Stockinger, Volker. 2012. Plusenergie, Energiekonzepte. Vortrag im Rahmen der 16. Fachtagung der Bausachverständigen, Wertermittler & Energieberater, Leipzig, Deutschland, 21. April 2012.

Stockinger, Volker; Jensch, Werner. 2012. Plus-Energie-Haus-Siedlungen. Vortrag im Rahmen des EnEff:Stadt-Kongresses 2012, BMWi, Hamburg, Deutschland, 18. Januar 2012.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2011. Plusenergiesiedlungen in der Praxis. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe Städtebau und Energie, Kurs 53/11-7, Institut für Städtebau Berlin, Berlin, Deutschland, 24. November 2011.

Jensch, Werner; Stockinger, Volker. 2011. +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut. Vortrag im Rahmen der Vortragsreihe VDI – IDV: Programm Wintersemester 2011, VDI, München, Deutschland, 08. November 2011.

Medienpräsenz

Kastner, Stephanie. 2015. Erste Promotion im Bereich Energie- und Gebäudetechnik. In: forschungs News, 2. Ausgabe 2015.

la. 2015. Intelligente Lösungen gesucht. In: Das Gelbe Blatt Penzberg, S. 4, 14. Oktober 2015.

Schörner, Wolfgang. 2015. Energiekonzept für Neubau: Wissenschaftler forschen, Bund zahlt eine Million. In: Penzberger Merkur, 13. Oktober 2015.

Schieder, Klaus. 2015. Ein Öko-Quartier mit intelligentem Stromverbrauch. In: Süddeutsche.de, 08. Oktober 2015.

Artner, Franz. 2014. [Interview] Plus-Energie – Am Plus Puls. In: Building Technologies Solutions, 2014(9), Mödling, Österreich, S. 12-15.

cw. 2013. [Interview] Tausende Messgeräte unter der Erde. Landshuter Zeitung, S. 34, 10. Oktober 2013.

Klaassen, Lars. 2012. Der richtige Dreh. Süddeutsche Zeitung, Nr. 271, 23. November 2012.

Dämmfieber – Die verpackte Republik. 2012. [Fernsehsendung] 3sat, Wissenschaftsdoku, 11. Oktober 2012, 20:15 Uhr.

rn. 2011. [Interview] Forschungsobjekt Wohnpark – Eine Idee, die Schule macht: Mehr Energie erzeugen als verbrauchen. Landshuter Zeitung, S. 85, 07. Mai 2011.

by. 2010. [Interview] Wo die Wärme aus der Erde kommt – Der Ludmilla-Wohnpark ist das ökologische Vorzeigebauwerk Landshuts. Landshuter Zeitung, S. 31, 01. Oktober 2010.

Forschungsprojekte

Projektname:	Forschungsfeld nachhaltige Energiesysteme für Gebäude und Quartiere (FoNEQ)
Akquise:	Stockinger, Volker; Jensch, Werner; Madjidi, Madjid, Schweigler, Christian
Bearbeiter HM:	N.N.
Fördermittelgeber:	Hochschule für angewandte Wissenschaften München
Projektstatus:	Bewilligt
Laufzeit:	01.01.2016 – 31.12.2018
Fördersumme:	300.000,- €
Projektname:	Netzneutrales Quartier: Netzneutrales Energie ⁺ -Quartier am Bahnhofsplatz in Penzberg (+EQ-Net)
Akquise:	Stockinger, Volker
Bearbeiter HM:	Stockinger, Volker; Lekel, Stefanie; Hahn, Jakob
Projektpartner:	Institut für Bauklimatik (IBK) an der TU Dresden
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Projektstatus:	In Bearbeitung
Laufzeit:	01.06.2015 – 31.05.2019
Fördersumme:	985.661,- €
Projektname:	Plusenergiesiedlung – Ludmilla Wohnpark Landshut (+Eins)
Akquise:	Stockinger, Volker
Bearbeiter HM:	Stockinger, Volker
Projektpartner:	Institut für Bauklimatik (IBK) an der TU Dresden
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Projektstatus:	Abgeschlossen
Laufzeit:	01.08.2010 – 31.12.2014
Fördersumme:	778.946,- €
Projektname:	Education Center – Betriebsoptimierung versorgungstechnischer Anlagen (EduOp)
Akquise:	Jensch, Werner
Bearbeiter HM:	Stockinger, Volker; Wolf, Marco
Fördermittelgeber:	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Projektstatus:	Abgeschlossen
Laufzeit:	01.10.2007 – 31.12.2011
Fördersumme:	271.092,- €



Volker Stockinger

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

Definition, Planung, Betrieb, Nutzung, Bilanzierung und Bewertung

Die Energiewende stellt das energieeffiziente Bauen vor eine große Herausforderung. Um der Entwicklung vom »reinen Energieverbraucher« zum »Energieakteur« Rechnung zu tragen und die energetische Betrachtung vom Einzelgebäude auf Siedlungen und Quartiere zu erweitern, wird in dieser Arbeit der Begriff »ENERGIE⁺« eingeführt und definiert.

Die vielfältigen Möglichkeiten der Umsetzung und des Betriebs von Energie⁺-Objekten werden beleuchtet. Als Grundlage dienen die Erkenntnisse aus dem Forschungsvorhaben »Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark Landshut (+Eins)«. Betriebsoptimierung hat sich aufgrund des enormen Einsparpotentials als ebenso unverzichtbar für Energie⁺-Objekte gezeigt wie die Sensibilisierung der Nutzer. Es haben sich Abweichungen von ± 100 Prozent und mehr im Nutzerverhalten vom Siedlungsdurchschnitt gezeigt. Dies macht die Voraussage des energetischen Ergebnisses in der späteren Nutzung im Planungsprozess nur im Rahmen statistischer Wahrscheinlichkeiten möglich.

Die Bilanzierung von Energie⁺-Objekten ist mit verfügbaren Verfahren nicht realisierbar. Um dies zu ermöglichen wurde der »ENERGIEAUSWEIS⁺ FÜR ENERGIE⁺-SIEDLUNGEN UND -QUARTIERE« entwickelt. Er hat den Vergleich von Planungswerten und gemessenen Energieströmen im späteren Betrieb zum Ziel. Die Einstufung erfolgt mit Hilfe von »ENERGIE⁺-EFFIZIENZKLASSEN«, dem »EFFIZIENZHAUS⁺« sowie dem »EFFIZIENZKLASSEN-DIAGRAMM«.

Die Erkenntnisse belegen, dass Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere einen großen Beitrag für die zukünftige Energieversorgung im In- und Ausland liefern können.

ISBN 978-3-8167-9653-4



9 783816 796534

