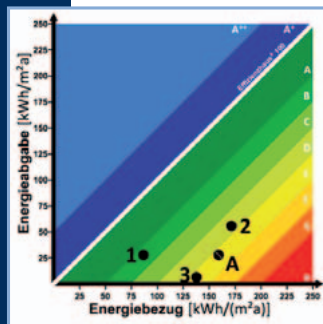
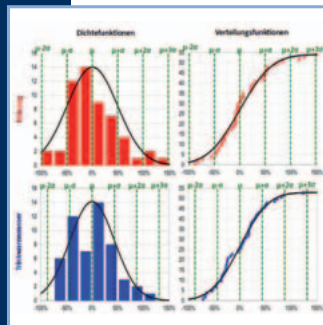


Volker Stockinger

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

Definition, Planung, Betrieb, Nutzung,
Bilanzierung und Bewertung





Volker Stockinger

Energie⁺-Siedlungen und -Quartiere

Definition, Planung, Betrieb, Nutzung,
Bilanzierung und Bewertung

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 Ver-
wertung, 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 Spei-
cherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berech-
tigt 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 Richt-
linien 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	 Energieneutral	 Bilanzieller Energieüberschuss
	 CO ₂ -neutral	 CO ₂ -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 GEBÄUEBETRIEB	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[⊕]-VERSORUNGSKONZEPTEN ..	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 LEBENS LAUF.....	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.

