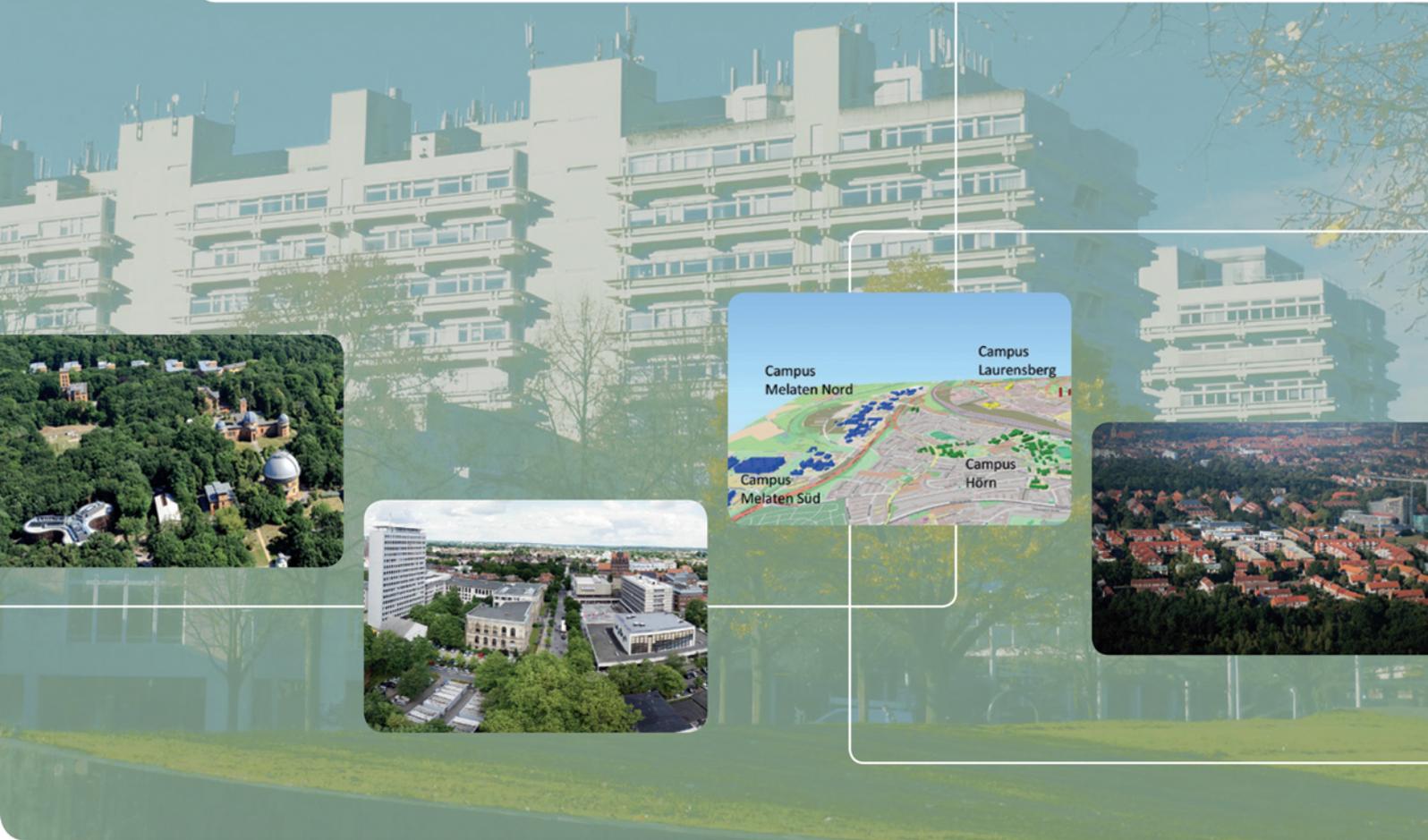


Heike Erhorn-Kluttig, Sarah Doster, Hans Erhorn (Hrsg.)

Der energieeffiziente Universitätscampus: Pilotprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt



Heike Erhorn-Kluttig, Sarah Doster, Hans Erhorn

**Der energieeffiziente Universitätscampus:
Pilotprojekte der Forschungsinitiative
EnEff:Stadt**



Heike Erhorn-Kluttig, Sarah Doster, Hans Erhorn

Der energieeffiziente Universitätscampus: Pilotprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Impressum

Herausgeber:

Begleitforschung EnEff:Stadt
c/o pro:21 GmbH
Dresdner Straße 1
D-10179 Berlin
Tel.: +49 30 3904222 · Fax: +49 30 3904231
Dr. Armand Dütz (V.i.S.d.P.), Jessica Löffler
E-Mail: a.duetz@pro-21.de

Die Inhalte basieren auf den Ergebnissen der wissenschaftlichen Begleitforschung zur Forschungsinitiative EnEff:Stadt (Förderkennzeichen 03ET1109A) und den vier innerhalb von EnEff:Stadt geförderten Universitäts-Demonstrationsvorhaben.

Mit Beiträgen von:

- Campusprojekt RWTH Aachen:
Jens Teichmann, Mark Alexander Brüntjen,
Franziska Misterek, Dirk Müller, Christoph van Treeck und Dirk Henning Braun
- Campusprojekt Universität Braunschweig:
Tanja Beier und Stephan Schulze
- Campusprojekt Leuphana Universität Lüneburg:
Oliver Opel, Karl F. Werner und Susanne Ohse
- Campusprojekt Universität Potsdam:
Hans Petzold, Jens Kaiser, John Grunewald,
Clemens Felsmann und Sven Arndt

Lektorat und Gestaltung:

löwenholz kommunikation GbR, Berlin
Rüdiger Buchholz, Claudia Oly

Titelbilder:

Lutz Hannemann, IGS, Leuphana Universität
Lüneburg, RWTH Aachen, Fraunhofer-Institut
für Bauphysik

Druckerei:

BELTZ, Bad Langensalza

Bonn, 2016

ISBN [Print]: 978-3-8167-9631-2
ISBN [E-Book]: 978-3-8167-9632-9

Verlag und Vertrieb:

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

Schriftenreihe EnEff:Stadt

Diese Publikation wird herausgegeben im Rahmen der Schriftenreihe EnEff:Stadt. In dieser werden fortlaufend die für Fachwelt und Praxis besonders relevanten Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) veröffentlicht.

Bislang erschienen:

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

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

Inhalt

Vorwort zur Schriftenreihe	7
1. Einleitung	9
2. Besonderheiten von Universitätskomplexen	10
2.1 Universitätsstatistik	10
2.2 Campusgeschichte	10
2.3 Gebäudetypen von Universitäten	12
2.4 Finanzierungshintergrund	14
2.5 Akteure und Prozesse in energieeffiziente Campusprojekten	15
2.6 Energieversorgung	18
2.7 Roadmaps zur Verbesserung der Energieeffizienz	19
3. Die Campusprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt	21
3.1 RoadMap RWTH Aachen	21
3.1.1 Projektsteckbrief	21
3.1.2 Projektbeschreibung	25
3.1.2.1 Der Campus vor dem Projekt	26
3.1.2.2 Die beteiligten Akteure	27
3.1.2.3 Projektinhalt	29
3.1.2.4 Projektergebnisse	34
3.1.2.5 Umsetzung in die Lehre	35
3.1.2.6 Lessons Learned	35
3.2 <i>blue</i> MAP TU Braunschweig	37
3.2.1 Projektsteckbrief	37
3.2.2 Projektbeschreibung	41
3.2.2.1 Der Campus vor dem Projekt	41
3.2.2.2 Die beteiligten Akteure	43
3.2.2.3 Der Projektinhalt	45
3.2.2.4 Projektergebnisse	47
3.2.2.5 Umsetzung in die Lehre	50
3.2.2.6 Lessons Learned	51
3.3 Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	54
3.3.1 Projektsteckbrief	54
3.3.2 Projektbeschreibung	57
3.3.2.1 Der Campus vor dem Projekt	57
3.3.2.2 Die beteiligten Akteure	58
3.3.2.3 Projektinhalt	59
3.3.2.4 Projektergebnisse	63
3.3.2.5 Umsetzung in die Lehre	64
3.3.2.6 Lessons Learned	64

3.4	Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam	68
3.4.1	Projektsteckbrief	68
3.4.2	Projektbeschreibung	72
3.4.2.1	Der Campus vor dem Projekt	72
3.4.2.2	Die beteiligten Akteure	73
3.4.2.3	Projekthalt	74
3.4.2.4	Projektergebnisse	77
3.4.2.5	Umsetzung in die Lehre	78
3.4.2.6	Lessons Learned	78
4.	Quervergleich der Campusprojekte	80
5.	Ausblick: Weitere vom BMWi geförderte Campusprojekte	88
5.1	Ludwig-Maximilians-Universität München: Die Hochschule auf dem Weg zu einem energieeffizienten Gebäudebetrieb	88
5.2	Hochschule Ruhr West: Gebäudeevaluierung und energetische Optimierung des Campusneubaus der Hochschule Ruhr West	88
5.3	Fachhochschule Erfurt: Hochschulgebäude mit innovativem Energiesystem	89
6.	Schlussfolgerungen	90
7.	Literatur	92

Vorwort zur Schriftenreihe

Die Energieeffizienz im Gebäudesektor ist ein zentrales Thema der Energiepolitik der Bundesregierung. Seit vielen Jahren flankiert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen seiner Energieforschung Anstrengungen in diesem Bereich und fördert gezielt Maßnahmen zur Entwicklung und Erprobung neuer Technologien und Verfahren für energieoptimierte Gebäude und Quartiere. In diesem Zeitraum wurden viele Innovationen entwickelt, deren breite Umsetzung am Markt wichtige Beiträge zur Erreichung der energiepolitischen Ziele leisten kann. Um die Effizienz der Forschungsförderung zu erhöhen und den Ergebnistransfer in die Praxis zu beschleunigen, hat das BMWi das Forschungsnetzwerk Energie in Gebäuden und Quartieren gegründet. Im Mittelpunkt steht die strategische Vernetzung der Akteure: Vertreter aus Wirtschaft und Wissenschaft sowie wichtige Multiplikatoren wirken mit, um den Austausch an den Schnittstellen der Forschung zur Praxis und zur Politik zu intensivieren. Neben Technologieunternehmen, Energie- und Wohnungswirtschaft spielen auch Städte und Kommunen eine wichtige Rolle auf der Anwenderseite. Sie entscheiden über Versorgungsstrukturen, Bebauungspläne und energetische Standards in öffentlichen Gebäuden und können Investitionsentscheidungen und Verbraucherverhalten positiv beeinflussen. Der Einsatz neuer Technologien und moderner Planungsinstrumente kann diesen Gestaltungsspielraum deutlich erweitern.

Die Forschungsinitiativen „EnEff:Stadt“ und „EnEff:Wärme“ der Energieforschung des BMWi sind integraler Bestandteil des Forschungsnetzwerks Energie in Gebäuden und Quartieren. Sie bündeln langjährige praxisnahe Forschungsaktivitäten für mehr Energieeffizienz und Integration erneuerbarer Energien im kommunalen Bereich und fördern die Vernetzung und integrale Zusammenführung der Bereiche „energetische Gebäudesanierung“ und „effiziente dezentrale Versorgungstechnologien“. Mit Blick auf die Ausweitung des Umsetzungspotenzials werden vor allem wirtschaftlich machbare Innovationen auf Quartiersebene in den Mittelpunkt gestellt. Beide Initiativen können inzwischen Erfolge in zahlreichen ambitionierten Projekten vorweisen. Die praktischen Erfahrungen zeigen aber auch Schwachstellen bzw. Felder auf, in denen noch Entwicklungsbedarf besteht. Es ist daher wichtig, diese Ergebnisse einer breiten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen. Dies ist ein großes Anliegen der öffentlich geförderten Energieforschung und eine der zentralen Aufgaben des Forschungsnetzwerks.

Die wichtigsten Ergebnisse werden in unregelmäßigen Abständen innerhalb der Schriftenreihe veröffentlicht. Initiator und Herausgeber ist die Begleitforschung der Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“, die sowohl Erfahrungsberichte ausgewählter Einzelprojekte als auch übergreifende Broschüren zu praxisrelevanten Themen publiziert. Praktiker aus Kommunen, Versorgungsunternehmen, Wohnungsunternehmen, aber auch Planer, Ingenieure, Handwerker

sowie Studierende der einschlägigen Fachrichtungen finden hier umfangreiche Hilfestellungen und Anregungen für ihre eigenen Vorhaben sowie besonders interessante Praxisbeispiele aus Einzelprojekten, die im Rahmen der Forschungsinitiativen EnEff:Stadt und EnEff:Wärme des BMWi entstanden sind.

Dr. Rodoula Tryfonidou
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

1. Einleitung

In der Initiative „Forschung für die energieeffiziente Stadt – EnEff:Stadt“ [1] fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) innovative Forschungsprojekte mit dem Ziel, den Energieverbrauch von Stadtquartieren zu verringern. In diesem Rahmen werden, neben der Entwicklung neuer Technologien und Planungsinstrumente, vor allem Pilotprojekte bei der integralen Planung, Umsetzung und messtechnischen Evaluierung von Stadtquartieren unterstützt. Diese Quartiere sind in ihrer Zusammensetzung unterschiedlich. Viele bestehen vorrangig aus Wohngebäuden, andere sind überwiegend von Nutzgebäuden geprägt, die im Rahmen der Pilotprojekte energetisch optimiert werden sollen.

Eine besondere Gruppe von Projekten sind die Campusvorhaben. Innerhalb der Forschungsinitiative gibt es derzeit vier laufende Vorhaben, die als Ziel haben, den Energieverbrauch eines Universitätscampus signifikant zu reduzieren. Sie werden in der vorliegenden Publikation beschrieben und vergleichend einander gegenübergestellt.

2. Besonderheiten von Universitätskomplexen

2.1 Universitätsstatistik

In der Bundesrepublik Deutschland gab es im Wintersemester 2014/2015 insgesamt 425 verschiedene Hochschulen, nämlich 107 Universitäten, 215 Fachhochschulen, 52 Kunsthochschulen, 29 Verwaltungsfachhochschulen, 16 theologische Hochschulen und 6 pädagogische Hochschulen [2].

Die Hochschulrektorenkonferenz [3] gibt eine Anzahl von 2.659.564 Studierenden in 399 Hochschulen an. Die Anzahl der Studierenden hat in den letzten zehn Jahren durchschnittlich um ca. 3 % pro Jahr zugenommen [4]. Die Studierendenzahl wird künftig weiter steigen, was auch politisch gewollt ist. Die Gründe dafür liegen in der weiter zunehmenden Anzahl von Abiturienten und der beständig ansteigenden Studienanfängerquote der Abiturjahrgänge [4]. Damit einhergehend ist von einem Anstieg des Flächenbedarfs der Hochschulen in den nächsten Jahren auszugehen.

Zur Anzahl der Hochschulgebäude und der darin enthaltenen Flächen gibt es leider keine zuverlässige Statistik. Hochrechnungen zum Flächenbestand von staatlichen Hochschulen auf Basis von Daten aus 78 Universitäten wurden von F. Stratmann und J. Stibbe durchgeführt [5]. Die Summe der Nutzflächen in staatlichen Hochschulen (ohne die Berücksichtigung von Universitätskliniken) ergibt danach 16,8 Millionen m² Nutzfläche, zu denen noch angemietete, nicht erfasste Flächen hinzukommen. Laut den beiden Autoren erfordern diese Flächen ein jährliches Instandsetzungsbudget von ca. 2,6 Milliarden Euro.

Im Jahr 2014 wurden in Deutschland 33 neue Hochschulgebäude fertiggestellt und 31 Bauanträge im Hochschulbereich genehmigt [6-7].

Zu den Finanzen der Hochschulen in Deutschland gibt es ein gesondertes Statista-Dossier, das den Einnahmen die Ausgaben gegenüberstellt [8]. Demzufolge belaufen sich die gesamten jährlichen Ausgaben auf 46,3 Milliarden Euro, wovon 4,1 Milliarden für den Unterhalt der Grundstücke und Gebäude und 1,9 Milliarden für den Erwerb von Grundstücken und Gebäuden bzw. Baumaßnahmen veranschlagt werden.

2.2 Campusgeschichte

Im Rahmen des EBC Annex 36 der Internationalen Energieagentur wurde von R. Jakobiak und I. Lütkemeyer eine internationale Universitätstypologie erarbeitet und in den Case Study Reports [9] veröffentlicht. Da Universitäten – anders als beispielsweise Schulen – in der Regel viele verschiedene Gebäude nutzen und diese aufgrund unterschiedlicher Nutzungsarten, Größen und Strukturen stark voneinander abweichen können, wurde eine Typologie

anhand von Gebäudecharakteristik, Funktionen und geometrischen und physikalischen Parametern entwickelt.

Historisch lehrten die ersten Universitäten ausschließlich die sogenannten freien Künste. Später wurden Naturwissenschaften und Ingenieurwissenschaften in den Lehrplan aufgenommen und beeinflussten die Strukturen und Entwürfe von Universitätsgebäuden. Bis etwa zum Jahr 1900 wurden meist Einzelgebäude oder Gebäudegruppen als Universitäten genutzt. Nach 1900 begann man damit, die Universitäten in viele Gebäude aufzuteilen und teilweise auch auf unterschiedliche Standorte zu verteilen. Große Bautätigkeiten für Universitäten gab es in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und nach 1950. Viele der Gebäude aus den Jahren nach 1950 müssen derzeit energetisch saniert werden.

Die Typologie von Jakobiak und Lütkemeyer teilt Universitätskomplexe auf der ganzen Welt folgendermaßen ein:

- **College-artige** Universitäten (ab ca. 1200): Die ersten Universitäten hatten als Vorbild Klöster aus dem Mittelalter. Die Gebäude wurden um einen offenen Innenhof herum angeordnet. Die Gebäudeanordnung drückte auch die Gemeinschaft von Studenten und Lehrern aus. Sie wurden ausschließlich für die freien Künste genutzt und lagen nicht immer in großen Städten.
- **Früher Universitätstyp** (bis ca. 1850): Im 19. Jahrhundert wurden in großen Städten Universitäten für Ingenieur- und andere technische Wissenschaften gegründet. Eine charakteristische Form dieser Universitäten entwickelte sich erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Ein typisches Element sind etwa die gleichartig angeordneten Fensterachsen, die auch weniger dekorative Elemente zeigen als andere Repräsentationsgebäude aus dieser Zeit.
- **Palastartiger Universitätstyp** (1850–1918): Das Gebäude hat einen zentralen Eingangsbereich und symmetrisch angeordnete Verbindungsflure um einen oder mehrere Innenhöfe. Versammlungsräume und Lehrsäle waren entweder im Gebäude konzentriert angeordnet oder dezentral in den einzelnen Fachbereichen untergebracht. Die anlagentechnischen Systeme repräsentierten den neuesten Stand der Zeit und standen somit etwas im Widerspruch zur äußeren Erscheinung der Gebäude.
- **Funktionaler Universitätstyp** (ab 1900): Im 20. Jahrhundert folgte das Design den funktionalen Anforderungen, und der Geist der Moderne drückte sich in den Fassaden aus. Statt alle Fakultäten in einem großen Gebäude unterzubringen, wurden jetzt unterschiedliche Gebäude gebaut. Skelettbauweise ersetzte das Mauerwerk. Die Anordnung der Räume, die durch lineare Verkehrswege (einfurig oder zweifurig) verbunden wurden, orientierte sich an Bürogebäuden. Aufgrund der Weltwirtschaftskrise wurden bis 1930 nur einige wenige Universitäten dieses Typs gebaut. Nach dem zweiten Weltkrieg jedoch entwickelte er sich als führender Baustil von Universitäten und wird auch heute noch eingesetzt.
- **Die Megastruktur-Universität** (ab 1960): Durch den großen Anstieg der Studentenzahlen nach 1950 mussten die Kapazitäten der Universitäten ausgebaut werden. So entstand eine Architektur, die durch Standardisierung und industrielle Konstruktionen charakterisiert ist. Dadurch sollten schnell Kapazitäten geschaffen sowie variable Raumgrößen und

-nutzungen und reduzierte Kosten erreicht werden. Das Tragwerk besteht aus Stützen, Trägern und Decken, während Fassaden und Innenwände keine Tragfunktion mehr haben. Ein modulares System bestimmt horizontale und vertikale Dimensionen. Die Wiederholung gleichartiger Designelemente ist das Leitmotiv und bestimmt das Erscheinungsbild der Megastruktur-Universität. Auf den Baustellen wurden Fabriken eingerichtet, um Bauelemente in großer Zahl vorfertigen zu können. Megastruktur-Universitäten haben meist große Gebäudevolumina.

- **Die Öko-Universität** (ab 1980): Nach den großen Bautätigkeiten zwischen 1960 und 1980 nahmen die Bauaktivitäten für Universitätsgebäude wieder ab. Die großvolumigen Universitäten standen als „inhuman“ in der Diskussion. Universitätsentwürfe arbeiteten mit ökologischen Ideen und es wurden eher kleinere Änderungen an bestehenden Gebäuden ausgeführt als große Neubauten oder Erweiterungen. Aufgrund neuer Gebäudestandards wurden Dämmungen an der Gebäudehülle angebracht, und weitere, energiebedingte Maßnahmen wurden eingeführt.
- **Der Wissenschaftspark** (ab 1980): Ein anderer Trend ab 1980 war die Einführung von Wissenschaftsparks und Innovationszentren. Die Gebäude sind im Stil von industriellen Lagerhallen gebaut und für die Nutzung als Labore optimiert. Die Labore können mit allen Arten von Versorgungsmedien verbunden werden. Die Gebäude sind nicht mehr repräsentativ, werden hauptsächlich für die Forschung genutzt und verfügen meistens nicht über eigene Hörsäle. Private und öffentliche Einrichtungen nutzen die Wissenschaftsparks oft gemeinsam.
- **Die Umwandlung von Industriegebäuden** (ab 1980): Im Zuge von Globalisierung und digitalem Wandel wurden viele zentrumsnahe Industriestandorte nach und nach aufgegeben. Die nun leerstehenden Gebäude – von großen Hallen bis zu mehrgeschossigen Gebäuden mit großzügigem Raumangebot – eigneten sich gut für die verschiedensten Anforderungen von Forschung und Lehre und wurden deshalb oft in Universitätsgebäude umgewandelt.

2.3 Gebäudetypen von Universitäten

Universitäten umfassen viele sehr unterschiedliche Gebäudearten für Lehre, Forschung und andere Aufgaben. In einer Arbeit von J. Stibbe und F. Stratmann [10] werden die Flächenstrukturen von 78 Hochschulen auf sogenannte Richtwertgruppen (Flächenstruktur für die Kostenrichtwerte für Hochschulgebäude) gemäß Bauministerkonferenz (BMK) aufgeteilt.

Richtwertgruppen BMK		Flächenanteil an Gesamtfläche
1.1	Geisteswissenschaften, Wirtschaftswissenschaften, Rechtswissenschaften, Sozialwissenschaften	14,2 %
1.2	Agrar- und Forstwissenschaften, Tierhaltung (ohne hochinstallierte Forschungsbereiche)	3,3 %
1.3	Erziehungswissenschaften, Kunst und Design	2,6 %
1.4	Ingenieurwissenschaften (z. B. Elektrotechnik, Bauwesen, Maschinenbau/Verfahrenstechnik), Informatik, Mathematik	17,8 %
1.5	Naturwissenschaften (z. B. Geowissenschaften, Ernährungswissenschaften), Sportwissenschaften	5,0 %
1.6	Medizin, nur vorklinische Fächer	2,3 %
1.7	Musikwissenschaften	0,3 %
1.8	Chemie, Physik, Biologie, Pharmazie	18,4 %
1.9	Medizinische Forschung	0,9 %
1.10	Physikforschung, Tierforschung/Biologieforschung, Materialforschung	3,2 %
2.1	Sporthallen	1,8 %
2.2	Verwaltungsgebäude	9,7 %
2.3	Bibliotheksgebäude	9,9 %
2.4	Seminargebäude	3,4 %
2.5	Mensen	2,5 %
2.6	Rechenzentren	1,4 %
2.7	Hörsaalgebäude	3,3 %

Hierbei wird unterschieden zwischen fakultätsbezogenen (1.1 bis 1.10) und zentral genutzten (2.1 bis 2.7) Gebäuden. I. Schröder hat in [11] mit Blick auf die Entwicklung weiterer Typgebäude für das Computerprogramm „Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere“ [12] untersucht, welche Nutzungsarten in Hochschulgebäuden oft kombiniert werden. Dabei kam sie u. a. auf folgende Ergebnisse:

- Zentrale Flächen werden oft mit fakultätsbezogenen Flächen kombiniert.
- Labore kommen fast ausschließlich in Kombination mit Büroräumen vor.
- Hörsaalgebäude enthalten überwiegend auch Seminarräume.

Aufgrund dieser Analyse wurden in der Arbeit die folgenden Typgebäude als Vertreter mit den größten Flächenanteilen empfohlen und entwickelt:

- Laborgebäude inkl. Büroflächen
- Hörsaal mit Seminarräumen
- Bibliothek
- Mensa
- Verwaltungsgebäude (bereits im Tool enthalten)

2.4 Finanzierungshintergrund

Abgesehen von den privaten Hochschulen, sind zumeist die Bundesländer Träger der Hochschulen und stellen deren Grundfinanzierung sicher. Die Finanzmittel der Hochschulen bestreitet zu fast 90 % die öffentliche Hand [13]. Ca. 80 % der Mittel kommen dabei von den Ländern. Der Bund finanziert weitere 10 % über Sonderprogramme (Exzellenzinitiative, Hochschulpakt, Professorinnenprogramm) und Forschungsbauten. Die übrigen 10 % stammen aus privaten Quellen; dies sind beispielsweise Gelder aus der Auftragsforschung oder als Wirtschaftsförderung von privaten Spendern (Mäzenatentum), von Alumni-Initiativen, aus dem Sponsoring für Hochschulaktivitäten oder aus Studienbeiträgen.

Vor diesem Hintergrund entscheiden meistens die Bundesländer über eine mögliche Finanzierung von Sanierungs- und Neubaumaßnahmen. Die Verantwortlichen der Hochschulen verhandeln dazu mit dem jeweiligen Finanz- und Wissenschaftsministerium über die benötigten Mittel. Universitäten bekommen häufig feste Budgets von den Landesministerien zugewiesen und haben daraus Instandhaltung und Sanierungen eigenständig zu begleichen. Daneben gibt es teilweise spezielle Hochschulmodernisierungsprogramme (HMOP), um den Sanierungsstau an den Gebäuden zu beheben. Weitere finanzielle Zuschüsse vom Bund sind möglich, so wurden beispielsweise Gelder aus dem Konjunkturpaket II (2009–2011) für Baumaßnahmen auf verschiedenen Campus eingesetzt [14].

Einige Universitäten können Baumaßnahmen durch einen Eigenanteil mitfinanzieren (z. B. Hörsaalzentrum der Uni Essen [15]). Dieser Eigenanteil wird teilweise aus Studiengebühren gedeckt, z. B. bei Sanierungsmaßnahmen der Universität Dortmund [16].

In Pilotprojekten, z. B. innerhalb von Programmen der Deutschen Energie Agentur dena, können auch ergänzend Mittel der KfW Bank eingesetzt werden, wie am Campus der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz [17].

Durch Kooperationen mit der Industrie und anderen Sponsoren können weitere Gelder für Baumaßnahmen, oft im Neubaubereich, gewonnen werden. Die Universität Würzburg rief z. B. eine Sponsoring-Aktion ins Leben, bei der Stühle im sanierten Audimax für 1.000 €/Stuhl „verkauft“ wurden. So kamen insgesamt 300.000 € für die Renovierung des zentralen Hörsaals zusammen [18].

Wie vielschichtig die Finanzierungsmöglichkeiten für Baumaßnahmen sein können, zeigt die Leuphana Universität Lüneburg. Dort wurde der Neubau des Zentralgebäudes durch folgende Institutionen finanziert: das Land Niedersachsen, die Europäische Union, Stadt und Landkreis Lüneburg, den Bund, die katholische und die evangelische Kirche, die Jüdischen Gemeinden Niedersachsen und die Klosterkammer [19].

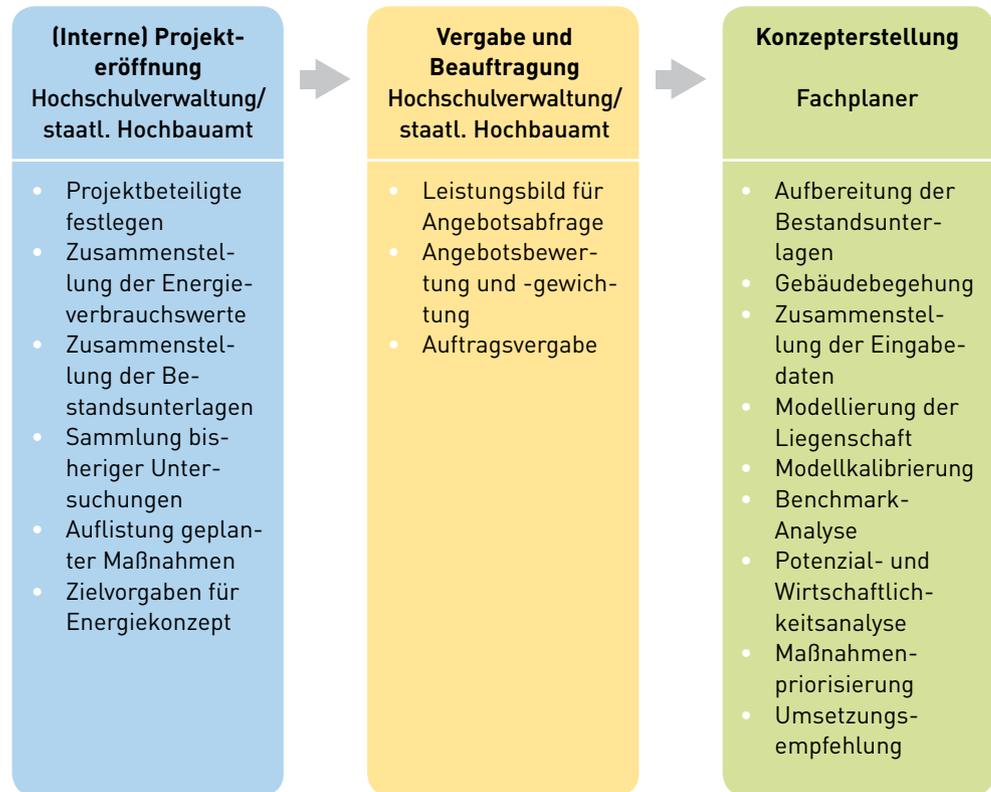
2.5 Akteure und Prozesse in energieeffiziente Campusprojekten

In die Prozesse auf einem Campus sind viele Entscheidungsträger eingebunden. Neben den Landesministerien und dem Rektor und Kanzler einer Hochschule und etwaigem Präsidium gibt es oft eine Strategiekommission oder eine Stabsstelle zur Campuserwicklung, die u. a. auch den Mittelbedarf für Sanierungen und Erweiterungen festlegt und ggf. auch verwaltet. Größere Liegenschaften und Standorte verfügen über eigene Universitätsbauämter, bei den kleineren agieren in der Regel die staatlichen Hochbauämter. In diesen Institutionen wird auch entschieden, ob spezielle Energieberater und -manager oder Energienutzungskoordinatoren eingesetzt werden.

Die betroffenen Fachinstitute bringen eigene Anforderungen in die Entscheidungsprozesse ein. Oft werden sie auch mit ihrer Fachkompetenz in den Planungsprozess eingebunden. Wird ein Campus nicht nur von einer Hochschule, sondern von mehreren Institutionen genutzt, sind diese oftmals in einer Nutzergemeinschaft organisiert. Entscheidungen, die alle oder mehrere Institutionen betreffen, sind in diesem Fall häufig schwer zu erreichen, denn ähnlich wie bei Wohnungseigentümergeinschaften müssen hier natürlich die Interessen aller Beteiligten berücksichtigt werden.

Für eine erfolgreiche und zielgerichtete Projektbearbeitung ist es essenziell, alle Arbeitsprozesse klar zu strukturieren, die Rollen der Projektbeteiligten zu definieren sowie deren Aufgabenfelder untereinander sauber abzugrenzen, ebenso wie zu parallel stattfindenden Projekten auf dem Campus. Bild 2.5.1 veranschaulicht die drei Hauptprozesse, die zur Erstellung eines Energiekonzepts durchlaufen werden sollten, und benennt die Verantwortlichkeiten im Falle einer externen Beauftragung für die Erstellung eines Energiekonzepts.

Bild 2.5.1: Zeitliche Abfolge und inhaltliche Definition der Arbeitsschritte zur Erstellung eines Energiekonzepts für einen Campus [20]



Der Grundstein für ein erfolgreiches Energiekonzept wird bereits bei der verwaltungsinternen Projektvorbereitung gelegt, die die Grundlage für das Vergabeverfahren ist und damit die Angebotsqualität und das einzukalkulierende Kostenrisiko maßgeblich beeinflusst. In diesem Arbeitsschritt sollten Zielvorstellungen für das Energiekonzept formuliert, der Bestand an Daten und Unterlagen gesichtet und bisherige Untersuchungen und bereits geplante Umsetzungen zusammengestellt werden. Die Dokumentation der Daten erfolgt möglichst in standardisierter Form. Sie sollte mindestens Folgendes enthalten:

- Planungsunterlagen zu Gebäuden und Gebäudetechnik mit Hinweisen zu verfügbaren Formaten (Architektenpläne, Revisionspläne, EnEV-/Wärmeschutz-Nachweise, Dimensionierungen),
- Informationen zu Flächen und Nutzungsarten in Gebäuden (Raumbuch),
- Funktionsschemata und Beschreibungen zur Anlagentechnik sowie Wartungsberichte und Prüfprotokolle,
- Energieverbrauchswerte mit Angaben zur Auflösung (global, gebäudescharf oder detaillierte Messung) und Lastgänge für Strom und Wärme sowie

- eine Zusammenstellung von bisherigen Untersuchungen, bereits geplanten Maßnahmen, anstehenden Nutzungsänderungen und Informationen zur Entwicklung der Liegenschaft.

Aufstellung und qualitative Beschreibung der gesammelten Informationen sollten Bestandteile der Ausschreibungsunterlagen sein. Die Ausschreibung selbst sollte auf einem standardisierten Leistungsbild für die Erstellung von Energiekonzepten basieren. Dieses Leistungsbild umreißt z. B. den Umfang der ausgeschriebenen Arbeiten und zeigt die erwarteten Arbeitspakete und deren Detailschärfe auf. Neben der Dokumentation der Datenlage und der Liegenschaftsentwicklung sollten auch etwaige Leitfäden, Hilfstabellen und Arbeitshilfen Bestandteile der Ausschreibungsunterlagen sein. Die Auswahl eines Anbieters für die Erstellung des Energiekonzepts sollte auf Grundlage eines Kriterienkatalogs erfolgen, der die einzelnen Bereiche Projektteam, Referenzen, Arbeitsmethodik, fachspezifische Kenntnis und Honorarvorstellung anteilig gewichtet.

Das Konzept erstellen üblicherweise externe Fachplaner. Im Regelfall und soweit nicht ausdrücklich anders vereinbart, sollten die Arbeiten mindestens folgende Arbeitspakete umfassen:

- Datenerfassung und Datenaufbereitung,
- energetische Bewertung der Liegenschaft im Ist-Zustand,
- Untersuchung und wirtschaftliche Bewertung von Optimierungspotenzialen sowie
- Dokumentation und Präsentation der Untersuchungsergebnisse.

Für die Erstellung eines Energiekonzepts müssen Informationen aus unterschiedlichsten Fachbereichen zusammengetragen und aufbereitet werden. Diese umfassen die Disziplinen Architektur (Form und Gestalt), Bauphysik (bautechnische Lösungen) und technische Gebäudeausrüstung (TGA, also anlagentechnische Lösungen). Die genannten Daten fallen häufig in die Verantwortungsbereiche verschiedener Abteilungen innerhalb der Verwaltung.

Das Universitätsbauamt verwaltet Planunterlagen wie Grundrisse, Schnitte, Detailpläne und Ansichten sowie Wärmeschutz- und EnEV-Nachweise und ggf. bereits vorhandene Energieausweise für die einzelnen Gebäude der Liegenschaft. Ergänzend sind hier auch Baubeschreibungen und Leistungsverzeichnisse früherer Ausschreibungen bzw. Dokumentationen vorangegangener Untersuchungen verfügbar. Planungsunterlagen zur TGA sind in der Technikabteilung des Universitätsbauamts erhältlich, in der Regel Beschreibungen der Anlagentechnik, Funktionsschemata und Revisionspläne. Zudem liegen teilweise Bedienungs- und Wartungsanweisungen, Inspektionsprotokolle einzelner Wärme- und Kälteerzeuger und RLT-Anlagen sowie Ersatzteillisten und technische Dokumentationen zu Bauteilen der Anlagentechnik vor. Heiz- und Kühllastberechnungen sind ebenfalls dem Verantwortungsbereich der Technikabteilung zugeordnet. Bei kleineren Hochschulen sind die entsprechenden Ansprechpartner im staatlichen Hochbauamt zu finden.

Der technische Betrieb innerhalb einer Organisation – auch "Facility Management" genannt – ist ein wichtiger Ansprechpartner vor Ort. Er verfügt zum einen über die notwendige Kenntnis zur Betriebsführung von Anlagen der Gebäudetechnik, zum anderen aber auch über die

erforderliche Schließberechtigung für eine Begehung der Liegenschaft. Der technische Betrieb ist auch verantwortlich für das Energiemanagementsystem zur Überwachung und Steuerung der Anlagen und ermöglicht ggf. Messungen von Energieströmen etc., die bisher noch nicht in aufgeschlüsselter Form bekannt sind. Speziell zu den Themen Nutzerverhalten, Betrieb von Gebäuden und technischen Anlagen, Regelungsstrategien, Grundeinstellungen und Regelabweichungen sind Facility Manager bzw. Hausmeister die richtigen Informationsquellen. Das gilt auch für die Analyse von Schwachstellen und die Beschreibung von institutionellen Besonderheiten (Sonderverbraucher, Nutzerkultur usw.).

Mit dem Baumanagement müssen die baulichen Maßnahmen des Energiekonzepts detailliert diskutiert und abgestimmt werden. Dieser Bereich überwacht auch die Umsetzung der Maßnahmen auf der Baustelle.

Diverse Fachplaner arbeiten die Details der Sanierungs- bzw. Neubaumaßnahmen aus und müssen miteinander und mit den anderen Beteiligten eine integrale Planung durchführen. Um das Datenmanagement zu unterstützen, werden oft gemeinsame Planungsplattformen oder auch Cloud-basierte Lösungen eingesetzt. Trotzdem sind auch persönliche Abstimmungstreffen in relativ hoher Frequenz nötig.

Änderungen am Energieverbrauch müssen, ggf. auch bei einem laufenden oder geplanten Energieliefer-Contracting, mit dem jeweiligen vertraglichen Energieversorger abgestimmt werden.

Wie bei allen öffentlichen Bauprojekten ist es auch bei der Sanierung bzw. Erweiterung von Universitätsgebäuden äußerst wichtig, die Nutzerinnen und Nutzer frühzeitig einzubeziehen. Dies umfasst Nutzerbefragungen und die allgemeine Kommunikation der Projektziele und -inhalte sowie des Projektstands. Das hat u. a. den Vorteil, dass über eine funktionierende Kommunikation auch nichtinvestive Maßnahmen erschlossen werden können. Nichtinvestive Maßnahmen sind im Allgemeinen energetisch wirksame Anpassungen des Nutzerverhaltens, die mit geringem bzw. ganz ohne Kosteneinsatz realisierbar sind. Durch Kombination von nichtinvestiven mit investiven Maßnahmen können Optimierungspotenziale erreicht werden, die deutlich weiter gehen als investive Maßnahmen allein.

Je nach Art der Finanzierung müssen die Projektinhalte auch mit weiteren Akteuren abgestimmt werden, sei es auf Seiten der öffentlichen Hand oder im Bereich privater Investoren (siehe Kapitel 2.4).

2.6 Energieversorgung

Die Energieversorgung auf großen Campusarealen erfolgt oft zentral über Fern- oder Nahwärme. Im ersten Fall muss die Fernwärmeversorgung in Abhängigkeit von der Höhe des kumulierten Energieverbrauchs periodenweise über ein Energieliefer-Contracting EU-weit

ausgeschrieben werden, so wie bei den in Kapitel 3 beschriebenen Fallbeispielen der Technischen Universität Braunschweig und der Leuphana Universität Lüneburg. Gleiches gilt für die externe Stromversorgung. Bei der Bewertung der Angebote kann auch der erneuerbare Energieanteil mit in Betracht gezogen werden.

Viele Hochschulen besitzen eine eigene Nahwärmeversorgung, für deren Betrieb häufig Eigenbetriebe eingerichtet wurden. Alle oder zumindest viele der Gebäude sind dann an diese Nahwärme angeschlossen. Damit können die Hochschulen auch selbst im Rahmen ihrer finanziellen Möglichkeiten über Optimierungen der Energieeffizienz an Erzeugung, Verteilung und Übergabe der Nahwärme entscheiden. Die primärenergetische Effizienz bestehender Nahwärmeversorgungseinheiten konnte in den letzten Jahren und Jahrzehnten durch Blockheizkraftwerke, aber auch durch die Nutzung erneuerbarer Energien wie Biomasse oder Biogas häufig gesteigert werden. Erste Projekte beginnen heute damit, solarthermische Einspeisungen in das Nahwärmenetz zu planen und umzusetzen. Aber auch die Energieträger, die zur Nahwärmeerzeugung genutzt werden (mehrheitlich Erdgas), müssen über Energieliefer-Contracting ausgeschrieben werden.

Bei kleineren Campusarealen und auch stark verstreut liegenden Universitätsgebäuden ist die Wärmeversorgung meist dezentral und erfolgt über Heizkessel oder Blockheizkraftwerke (BHKWs) in Kombination mit Spitzenlastkesseln. Da Universitätsgebäude oft einen hohen Stromverbrauch aufweisen, ergeben sich gute Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb der BHKWs.

Seit der Änderung der Einspeisevergütung für photovoltaisch erzeugten Strom mit der letzten EEG-Novelle ist es sinnvoller, diesen auf dem Campusareal selbst zu nutzen. Das wird in einigen Universitäten bereits durchgeführt und ist in mehreren der in dieser Publikation vorgestellten Projekte geplant.

2.7 Roadmaps zur Verbesserung der Energieeffizienz

Aufgrund der hohen Anzahl von Gebäuden mit zumeist großen Hüllflächen und aufwendiger Anlagentechnik zum Heizen, Be- und Entlüften und teilweise auch Kühlen kann ein Universitätscampus im Grunde niemals komplett in kurzer Zeit saniert werden. Die Gebäude werden einzeln saniert, oft auch bedingt durch grundlegende Defekte, die eine Renovierung unabdingbar machen. Die Hüllflächen sind dabei weniger im Fokus als die Gebäudesysteme. Vor allem im Lüftungs- und Regelungsbereich sind hohe Energie- und Betriebskosteneinsparungen mit kürzerer Rückzahldauer zu erwarten. Weitere Investitionen gehen in die Nahwärmeerzeugung.

Hier ist es wichtig, dass diese getrennt voneinander ablaufenden Maßnahmen gut aufeinander abgestimmt und in einer sinnvollen Reihenfolge ablaufen, damit sie sich nicht gegenseitig behindern, sondern im Gegenteil möglichst Synergieeffekte genutzt werden können

und keine nachfolgenden Maßnahmen verhindert werden. Auch die weitere Entwicklung der Universität bzgl. der Studentenzahlen, der geplanten Studienfächer und Forschungsschwerpunkte muss dabei berücksichtigt werden.

Deshalb entwickeln fast alle Universitäten Roadmaps für die nächsten fünf bis zehn Jahre, viele aber auch bereits für eine längere Phase wie z. B. bis 2050 (siehe TU Braunschweig, Kapitel 3.2). Der Startpunkt einer energetischen Roadmap ist der derzeitige Zustand der Universität mit

- Art der Energieversorgung,
- Energieverbrauch,
- Betriebskosten,
- Gebäudezahl, Nutzung der Gebäude und Gebäudequalität,
- Anzahl der Studierenden,
- Forschungsschwerpunkten und
- vorhandenen Defekten an Gebäuden und Energieversorgung.

Die geplanten Änderungen müssen dann für unterschiedliche Zeitphasen analysiert und die dafür nötigen Maßnahmen und Kosten detailliert ermittelt werden:

- Reparatur der Defekte,
- Sanierung der Gebäude,
- Entwicklung der Studentenzahlen,
- Entwicklung der Forschungsschwerpunkte,
- benötigte Neubauten,
- Optimierung der Anlagentechnik,
- Optimierung der Energieversorgung (wenn möglich und sinnvoll unter Einbeziehung erneuerbarer Energien),
- Entwicklung des Energieverbrauchs und
- Entwicklung der Energie- und anderen Betriebskosten.

Eine integrale Planung unter Teilnahme aller Verantwortlichen und mit einem kompetenten Planungsteam muss die daraus entstehenden Maßnahmen zeitlich einordnen und zu einer schlüssigen Roadmap kombinieren. Dabei muss eine große Menge von Daten zunächst zusammengestellt und dem gesamten Team zur Verfügung gestellt werden, damit sie für Simulationen etc. genutzt werden können.

Ein wichtiger weiterer paralleler Schritt ist die Analyse von Finanzierungsmöglichkeiten (siehe auch 2.4).

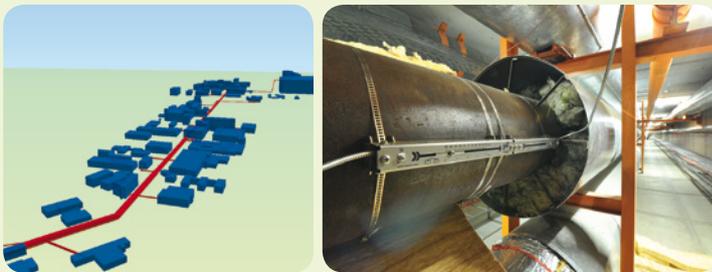
3. Die Campusprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt

Im Folgenden werden die derzeit vier laufenden Campusprojekte vorgestellt, die im Rahmen der Forschungsinitiative EnEff:Stadt gefördert werden. Um den direkten Vergleich der einzelnen Projekte zu vereinfachen, folgen die Projektbeschreibungen einem einheitlichen Raster.

3.1 RoadMap RWTH Aachen

Autoren: Jens Teichmann, Mark Alexander Brüntjen, Franziska Misterek, Dirk Müller, Christoph van Treeck, Dirk Henning Braun

3.1.1 Projektsteckbrief

Projektname	RoadMap RWTH Aachen		
Projektbild	 <p>[Quelle: RWTH Aachen]</p>		
Universität	RWTH Aachen University Templergraben 55 52062 Aachen		
Projektbeteiligte	Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (E3D)	RWTH Aachen Facility Management	Lehrstuhl für Gebäudetechnologie (GBT)
	Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC)		

Anzahl und Art der beinhalteten Gebäude	<p>Energetisch relevante Gebäude: 321 Energetisch irrelevante Gebäude (z. B. Garagen): ca. 100 Aufteilung energetisch relevante Gebäude: Verwaltungsgebäude 6,5 %, Rechenzentren 1,1 %, Hörsaalgebäude 4,2 %, Institutsgebäude I 11,8 %, Institutsgebäude II 5,0 %, Institutsgebäude III 24,8%, Institutsgebäude V 10,3 %, Forschung und Untersuchung 14,9 %, Sportbauten 2,7 %, Beherbergungsstätten 2,7 %, Werkstätten 5,7 %, Lager 5,7 %, Technikbauten 2,7 %</p>
Neubauten im Projekt	<p>Derzeit befinden sich zahlreiche Objekte im Bau, die von der RWTH Aachen genutzt werden sollen. Als Beispiele sind „Center for Next Generation Processes and Products“ (NGP²) und „Center for Biohybrid Medical Systems“ (CBMS) zu nennen. Auch in den folgenden Jahren sind diverse Neubauten geplant. Die versorgte Nettogrundfläche ist seit 2013 um fast 10 % gestiegen.</p>
Baujahr der Gebäude	<p>Die Gebäude wurden zwischen 1861 und 2015 errichtet. Eine genaue Aufteilung nach Baujahr findet sich in 3.2.1.</p>
Bauqualität vor dem Projekt	<p>An der RWTH Aachen wurden bereits einige Sanierungen durchgeführt. Eine detaillierte Aufführung ist hier aufgrund der hohen Anzahl der Gebäude nicht möglich.</p>
Energieversorgung im Bestand	<p>Die von der RWTH Aachen bewirtschafteten Gebäude werden mit Heizenergie, Prozesswärme, Strom, Kälte und Druckluft versorgt. Die Bereitstellung erfolgt sowohl über zentrale Netze als auch über dezentrale Versorgungseinrichtungen.</p> <p>Wärmeversorgung: Im Bereich Melaten wird der Heizenergiebedarf der Hochschulgebäude, des Universitätsklinikums sowie weiterer, nicht von der RWTH genutzten Gebäuden über die 3-Kessel-Anlage im Heizkraftwerk Nord gedeckt. Die gesamte Nettowärmeleistung der Kesselanlage beträgt 87,45 MW. Zusätzlich werden im Erweiterungsgebiet des Campus Gebäude über ein Low-Ex-Wärmenetz des örtlichen Energieversorgers versorgt. Im Altbereich und Bereich Hörn existieren neben einer zentralen Fernwärmeeinspeisung in das RWTH-eigene Wärmenetz, das über Wärmeübertrager durch den örtlichen Energieversorger größtenteils mit Fernwärme aus dem Braunkohle-großkraftwerk Weisweiler versorgt wird, noch vier weitere Stellen, an denen Gebäudekomplexe direkt an das Fernwärmenetz des örtlichen Energieversorgers angeschlossen sind. Zusätzlich werden 14 Gebäude über Kessel durch dezentrale Erdgaseinspeisungen versorgt. Einzelne Gebäude werden durch Wärmepumpen oder Ölheizungen versorgt.</p> <p>Kälteversorgung: Die Kälteversorgung der RWTH Aachen wird zum einen durch zahlreiche dezentrale Anlagen in einzelnen Gebäuden und zum anderen über drei Kältenetze sichergestellt. Zur Erzeugung von Kaltwasser werden für das Kältenetz Melaten vier Absorptionskältemaschinen (AKM) eingesetzt, die größtenteils über das BHKW mit einer elektrischen Leistung von 2 MW versorgt werden, sowie zwei elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen (KKM) mit einer</p>

	<p>Gesamtkälteleistung von 8 MW. Davon sind 4 MWh Absorptions- und 4 MWh Kompressionskälte. Das Kältenetz Hörn wird über zwei Absorptions- und zwei Kompressionskältemaschinen mit jeweils 1 MW Kälteleistung versorgt. Zusätzlich gibt es ein Kältenetz in der Innenstadt, das primär über Kompressionskältemaschinen versorgt wird.</p> <p>Stromversorgung: Der Stromverbrauch der Liegenschaften der RWTH Aachen wird durch externe Stromversorger und umweltfreundlich lokal durch zwei hocheffiziente erdgasbetriebene BHKWs (28 % des Gesamtverbrauchs 2014) in Hörn und Melaten gedeckt. Der Strom wird in zwei universitätseigene Mittelspannungsnetze eingespeist und an die Verbraucher verteilt. Zusätzlich werden 38 Gebäude über dezentrale Einspeisestellen durch das öffentliche Stromnetz versorgt.</p>			
Energiepreise	Energieträger	Gesamtkosten [€/a]	Arbeitspreis [€/kWh]	
	Strombezug	13.700.000	0,17545*	
	Fernwärmebezug	3.540.000	0,06992*	
	Heizölbezug	20.000	0,07382*	
	Erdgasbezug	6.360.000	0,04625*	
	* Eine Veröffentlichung der spezifischen Energiekosten ist aus vertragsrechtlichen Gründen nicht möglich. Im Arbeitspreis sind daher auch die Fixkosten enthalten.			
Projektlaufzeit	10/2014 – 09/2016			
Art des Projekts	Planung	Simulation	Umsetzung	Messung
	● ●	● ●		
Projekthalt	<p>Für die Liegenschaft der RWTH Aachen soll ein ganzheitliches und innovatives Gesamtkonzept für die energetische Sanierung entwickelt werden. Ziel ist eine Reduktion des nutzflächenbezogenen Primärenergieverbrauchs um 50 % bis 2025 im Vergleich zu den gemessenen Verbrauchsdaten von 2013/2014. Zu Beginn des Projekts werden die relevanten Daten gesammelt und zusammengeführt. Dazu wird das Konzept des Building Information Modeling (BIM) auf das ganze Quartier ausgeweitet („City District Information Model“). Mit Hilfe der Daten wird eine dynamische Simulation der gesamten Energieversorgungskette aufgebaut. Aus Messdaten und Simulationsergebnissen werden einzelne Verbesserungsmaßnahmen abgeleitet. Nach der Bewertung möglicher Einzelmaßnahmen werden daraus schlüssige Optimierungsstrategien erarbeitet. Im begleitenden Monitoring werden die Verbrauchsdaten und Energieströme aufbereitet. Die Messwerte werden dazu den Beteiligten über eine Web-Nutzerschnittstelle zugänglich gemacht und übersichtlich dargestellt. Als Grundlage soll ein auf einem Geoinformationssystem (GIS) basierendes dreidimensionales grafisches Modell des Campus entwickelt werden, das die</p>			

	dynamischen Energieströme und ihre Emittenten rückblickend und vorausschauend simulierend darstellt. Die Erfahrungen des Projekts und die entwickelte Methodik werden nach Projektabschluss zu einem Leitfaden zusammengefasst.				
Projektkosten	Insgesamt: 834.610 € davon Umsetzungsmaßnahmen (KG 300-400): 0 €				
Maßnahmen an den Gebäuden	Da es sich bei dem Projekt um ein Simulations- und Planungsprojekt handelt, finden keine Maßnahmen an Gebäuden und der Energieversorgung im Rahmen des Projekts statt.				
Maßnahmen an der Energieversorgung					
Beheizte Netto- grundfläche	Vor dem Projekt		Nach dem Projekt		
	457.600 m ² elektrisch versorgt: 638.000 m ²		Derzeit noch nicht absehbar.		
Energieverbrauch vor dem Projekt (gemessen 2014)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	108.461	237	100.440**	216
	Kälte***	33.380	Nicht sinnvoll bestimmbar	23.940 ohne PE für Strom	Nicht sinnvoll bestimmbar
	Strom	109.000	171	247.620	388
	Summe	238.700		372.000	
** Annahmen: PE-Faktor BHKW-Wärme: 0,7; PE für Kälte bereits in Strom enthalten, daher nur Wärme für AKM aufgeführt *** Fernkälte (Melaten und Hörn), Messwerte für den Innenstadtbereich nicht verfügbar					
Energieverbrauch nach dem Projekt (berechnet)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	Die Simulation der vollständigen Liegenschaft ist noch nicht abgeschlossen.			
	Kälte				
	Strom				
Summe					
Bereits vorliegende Projektergebnisse	Derzeit sind vom Projekt noch keine Ergebnisse erhältlich.				

3.1.2 Projektbeschreibung

Die 1870 gegründete RWTH Aachen gehört mit ihren 260 Instituten in neun Fakultäten zu den führenden europäischen Wissenschafts- und Forschungseinrichtungen. Die Liegenschaften der RWTH erstrecken sich in Aachen hauptsächlich über die drei Campus Melaten, Mitte und Hörn, wie in Bild 3.1.1 zu sehen ist. Des Weiteren gibt es einige Gebäude, die im Aachener Stadtgebiet verteilt sind.

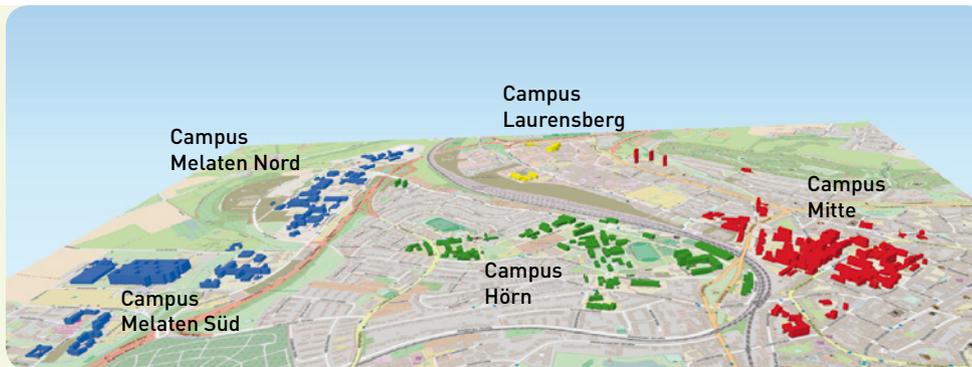


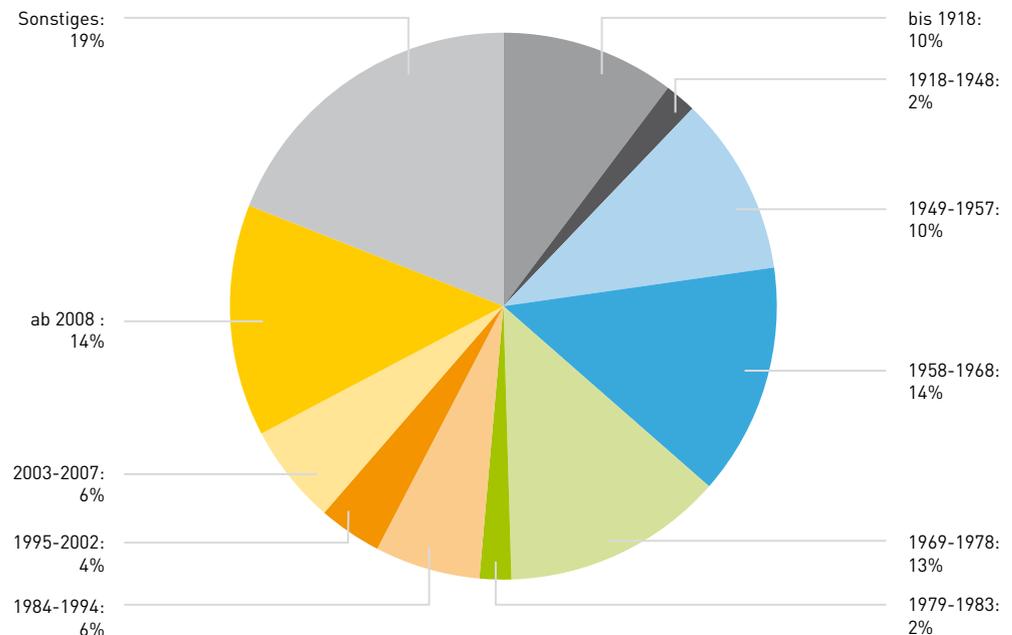
Bild 3.1.1: Lageplan der RWTH
(Quelle: RWTH Aachen)

Zusätzlich befindet sich ein Erweiterungsgebiet mit einer Gesamtfläche von 0,8 km² am Campus Melaten als Low-Ex-Cluster im Aufbau. Die Energieerzeugungs-, Verbrauchs- und Verteilungsstrukturen variieren von Campus zu Campus und werden im Projekt „EnEff:Campus – RoadMap RWTH Aachen“ näher betrachtet. Ziel ist, den nutzflächenbezogenen Primärenergieverbrauch der Liegenschaften der RWTH Aachen bis 2025 um 50 % im Vergleich zu den 2013/14 gemessenen Werten zu reduzieren. Dieses Ziel soll für den Gebäudebestand über ein ganzheitliches und innovatives Gesamtkonzept bei minimalem finanziellen Aufwand erreicht werden. Um den Primärenergieverbrauch bei den bestehenden Gebäuden zu verringern, kann es neben der oft unwirtschaftlichen Dämmung einzelner Gebäude eine wirtschaftlich sinnvolle Maßnahme sein, die Versorgungssysteme unter Ausnutzung der Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Energieformen (Strom, Wärme, Kälte) zu verbessern. Das betrifft sowohl die Erzeugung als auch die Verteilung der einzelnen Energieträger. Daher soll im Rahmen des Projekts ein interdisziplinärer und integraler Ansatz entwickelt werden, der sowohl Änderung der Nutzung, Sanierung und Neubau von Gebäuden als auch die Potenziale der verschiedenen Erzeugungs- und Verteilsysteme für Strom, Wärme und Kälte berücksichtigt.

3.1.2.1 Der Campus vor dem Projekt

Die Liegenschaften der RWTH Aachen umfassen eine Vielzahl von Gebäuden und Gebäudetypen. Darunter fallen zum Beispiel Verwaltungsgebäude, Hörsaalgebäude, Institutsgebäude, Werkstätten, Sportbauten und Beherbergungsstätten. Neben den von der RWTH genutzten Gebäuden zählen das Universitätsklinikum Aachen und zahlreiche An-Institute wie das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik zu den Campusstrukturen. Die Anzahl der von der RWTH genutzten energetisch relevanten Gebäude beläuft sich auf 321. Die Baujahre erstrecken sich über einen Zeitraum von 1861 bis 2015, eine prozentuale Übersicht der Gebäudealtersverteilung ist in Bild 3.1.2 zu sehen.

Bild 3.1.2: Prozentuale Aufteilung der Gebäudealtersstruktur der RWTH Aachen
(Quelle: RWTH Aachen)



Anhand der Verteilung der Baujahre auf die jeweiligen Campus Mitte, Hörn und Melaten wird deutlich, dass die Gebäude auf dem Campus Mitte die ältesten Gebäude sind. Sie wurden teilweise um 1900 errichtet und durch einige Neubauten ergänzt. Der Campus Hörn sowie der Campus Melaten sind mit Gebäuden der Baujahre 1970 bis heute bebaut. Aufgrund dieser Vielfalt variieren die Baustandards der Gebäude der RWTH Aachen sehr stark. Der durchschnittliche spezifische Heizenergieverbrauch der letzten fünf Jahre beträgt 253 kWh/m²a

[21], woraus ein erheblicher Sanierungsbedarf vieler Gebäude dieser Liegenschaften abzuleiten ist. Die für die Wärme- und Kältebereitstellung eingesetzten Energieträger sind gebäudeabhängig Gas, Fernwärme, Heizöl EL und Strom. So bezog die RWTH im Jahr 2014 137,4 GWh Erdgas, 49,7 GWh Fernwärme, 0,3 GWh Erdöl und 78,0 GWh Strom. Das Erdgas wurde nicht nur zur Bereitstellung von Wärme, sondern in einer Anlage mit umweltfreundlicher Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) genutzt. Durch diese wurden 31 GWh Strom erzeugt, welcher zum Teil für die Kompressionskältemaschinen eingesetzt wurde, um die mit der dabei abfallenden Abwärme betriebenen Absorptionskältemaschinen bei der Erzeugung von 33,38 GWh Kälte zu unterstützen. Die hier erwähnten Energiemengen betreffen mit Ausnahme der Kälte nur die RWTH-eigenen Gebäude. An-Institute und das Universitätsklinikum Aachen, die ebenfalls über die Versorgungsstrukturen der RWTH versorgt werden, sind nicht berücksichtigt.

Die RWTH Aachen verfügt über mehrere, teilweise nicht miteinander verbundene Nahwärmenetze zur Versorgung mit Heiz- und Prozesswärme sowie über Kältenetze, die für Kühl- und Entfeuchtungsaufgaben eingesetzt werden. Die Wärme wird über das universitätseigene Heizwerk mit Fernwärme aus dem Braunkohlekraftwerk Weisweiler durch das örtliche Energieversorgungsunternehmen oder durch lokale Wärmeerzeugung versorgt, beispielsweise aus Heizkesseln. Der zum Teil in KWKK-Anlagen selbst produzierte Strom wird über eigene Mittel- und Niederspannungsstromnetze zu den RWTH-internen Endverbrauchern transportiert.

Ein Großteil der Gebäude im Campus Mitte wird über das eigene RWTH-Wärmenetz versorgt, das über Wärmeübertrager mit Fernwärme vom örtlichen Energieversorgungsunternehmen gespeist wird. Gleiches gilt für den Campus Hörn, auf dem zusätzlich eine RWTH-eigene Kältezentrale mit angeschlossenem Kältenetz installiert ist, wobei die Kälte zum großen Teil mit umweltfreundlicher KWKK erzeugt wird. Zur Versorgung des Campus Melaten, dessen Gebäude eine ähnliche Altersstruktur wie die des Campus Hörn aufweisen, verfügt die RWTH Aachen über je ein eigenes Nahwärme-, Kälte- und Stromnetz. Das Wärmenetz ist als Dreileitersystem ausgeführt und versorgt über eine 1,5 km lange Hauptleitung sowohl die Gebäude mit Heizwärme als auch das Universitätsklinikum und zwei Institute mit Prozesswärme (180 °C). Zurzeit wird die Wärme durch Heizkessel bereitgestellt. Parallel zum Nahwärmenetz ist auf dem Campus Melaten ein Kältenetz installiert, das ebenfalls durch KWKK und Kompressionskältemaschinen versorgt wird.

3.1.2.2 Die beteiligten Akteure

a) Prozesse der Universität

Die RWTH Aachen ist Nutzer, aber nicht Eigentümer der Gebäude der Liegenschaften und mietet diese vom Bundesliegenschaftsbetrieb (BLB) an. Die Verwaltung des Betriebs der Gebäude und der energetischen Strukturen sowie die Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen an diesen müssen von der RWTH Aachen in Absprache mit dem BLB durchgeführt werden. Hierfür ist die Abteilung Facility Management zuständig, die sich in sechs Unterabtei-

lungen mit speziellen Aufgabengebieten aufgliedert. Im Rahmen des Projekts sind vor allem die Abteilungen Kaufmännisches Gebäudemanagement, Baumanagement, Elektrotechnik und Maschinentechnik von Bedeutung, letztgenannte als direkter Projektpartner. Energetische Verbesserungsmaßnahmen sowie Neubauten werden in einem abteilungsübergreifenden Prozess durchgeführt.

Die Abteilung Maschinentechnik beschäftigt sich mit allen Gewerken der thermischen Energieversorgung und mit dem Energiemanagement. Somit ist sie die direkte Schnittstelle zu den im Projekt benötigten Informationen über Prozessabläufe, Gebäude- und Anlagenschemata sowie Verbrauchsdaten. Insbesondere stellt sie den Kontakt zu den anderen Abteilungen des Facility Management her und beschafft benötigte Daten und Unterlagen, die nicht in der Abteilung Maschinentechnik vorliegen.

Die Finanzierung von größeren Bau- und Modernisierungsprojekten aus eigenen und Landesmitteln muss vom Rektorat genehmigt werden. Nicht zuletzt deshalb wird das Rektorat durch Vorstellung der Projekt(zwischen)ergebnisse aktiv in das Projekt einbezogen.

Auch die Nutzerinnen und Nutzer der Gebäude werden im Rahmen des Projekts angesprochen und wurden beispielsweise über die Homepage der RWTH informiert und zur Nutzerbefragung eingeladen. Auf diesem Wege konnten auch verschiedene Institute für die freiwillige Beteiligung am Projekt gewonnen werden. Diese sind an einer energieeffizienteren Versorgung ihrer Gebäude interessiert und die betroffenen Gebäude werden fortan im Rahmen dieses Projektes detaillierter untersucht.

b) Projekt

Das interdisziplinäre Projektteam setzt sich aus Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern verschiedenster Einrichtungen zusammen. Dies sind zum einen die Fakultäten Maschinenwesen, Bauingenieurwesen und Architektur sowie die Abteilung Maschinentechnik des Facility Management der RWTH Aachen. Zum anderen gehören dazu das Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC), das im Rahmen des Projekts für die technische Gebäudeausrüstung (TGA) verantwortlich ist – zum Beispiel die Anlagentechnik, thermische Netze und Simulationsmodelle für Anlagenkomponenten –, der Lehrstuhl für Energieeffizientes Bauen (e3d), der zum Beispiel die Abbildung bauphysikalischer Vorgänge und die Gebäudemodelle realisiert, und der Lehrstuhl für Gebäudetechnologie (GBT), der die Aufgaben mit Bezug auf Architektur und Gebäudetechnologie sowie die Visualisierung im Geoinformationssystem (GIS) bearbeitet. Das Facility Management stellt unter anderem aufbereitete Daten zur Verfügung und führt die Kostenschätzung der entwickelten Maßnahmen durch. Simulationen, Auswertungen und zu erarbeitende Sanierungskonzepte werden gemeinsam von allen Projektteilnehmern bearbeitet.

3.1.2.3 Projektinhalt

a) Projektziele

Als zentrales Ziel des Projekts „EnEff:Campus – RoadMap RWTH Aachen“ soll der nutzflächenbezogene Primärenergieverbrauch der Liegenschaften der RWTH Aachen bis 2025 um 50 % im Vergleich zu den 2013/14 gemessenen Werten reduziert werden. Dieses Ziel soll für den Gebäudebestand über ein ganzheitliches und innovatives Gesamtkonzept bei minimalem finanziellen Aufwand erreicht werden. Dafür wird im Projekt ein Konzept entwickelt, die Umsetzung ist nicht Teil des Projekts.

Im Rahmen des Projekts werden bestehende Ansätze an der Hochschule – sowohl in der Liegenschaftsverwaltung als auch in der wissenschaftlichen Konzeptentwicklung – kombiniert und deren Akteure zu einer interdisziplinären Projektarbeitsgruppe zusammengeführt. Es soll eine umfassende, übertragbare Methodik zur energetischen Optimierung von universitären Campusliegenschaften entwickelt und angewandt werden. Der Ist-Zustand wird dabei in einer Datenbank systematisch erfasst und in einer dynamischen Quartierssimulation abgebildet. Gemeinsam mit einem integralen Datenmanagement schafft dies die Grundlage dafür, die effizientesten und wirtschaftlichsten Optimierungsmaßnahmen und Maßnahmenpakete abzuleiten. Aus diesen Maßnahmenpaketen werden drei Sanierungsvarianten für die Campus der RWTH Aachen entwickelt, die als Entscheidungsgrundlage dienen und das angestrebte Ziel der Primärenergieeinsparung ermöglichen sollen.

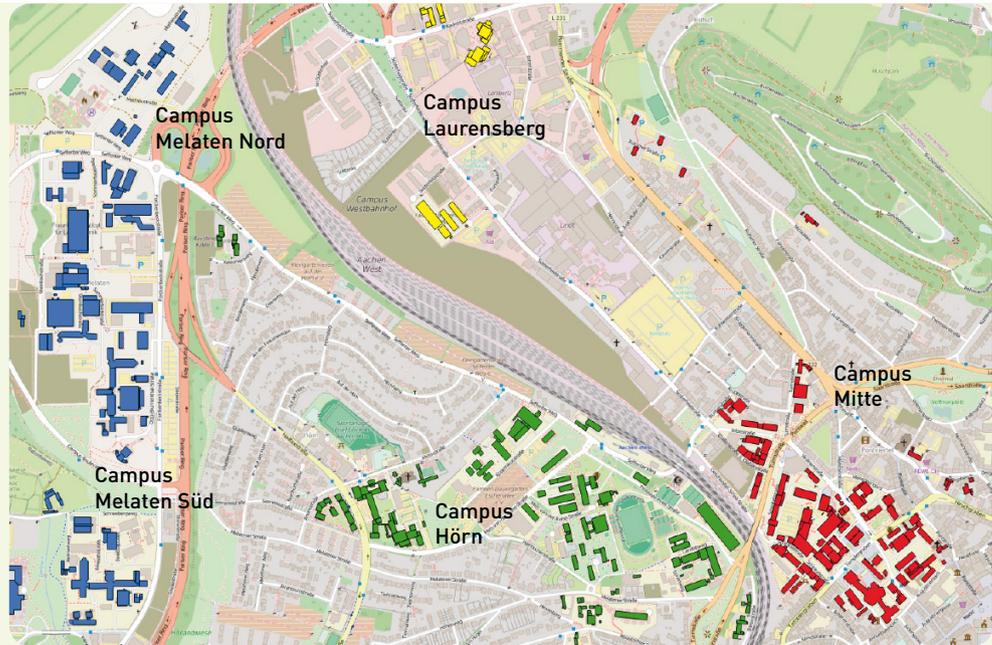
Das Projekt „RoadMap RWTH Aachen“ schließt an das bereits abgeschlossene Projekt „Energetische Systemoptimierung campusartiger Liegenschaften – RWTH Aachen und Forschungszentrum Jülich“ an, das u. a. die Werkzeuge entwickelt hat, die nun im großen Maßstab angewendet werden.

b) Projektarbeiten

Die Projektarbeiten lassen sich grob in folgende Bereiche aufteilen: Modellbildung, Maßnahmen und Maßnahmenpakete, Sanierungsvarianten, begleitendes Monitoring sowie Dokumentation. Im Folgenden werden die Arbeitspakete detailliert erläutert.

Zu Beginn des Projekts werden alle relevanten Daten gesammelt, die zur Beschreibung des thermisch-energetischen Verhaltens der Campus dienen. Darunter fallen geografische Daten, geometrische Daten, bauphysikalische Daten, Nutzungsart usw. Außerdem wird das energetische Verhalten von Gebäuden und thermischen Netzwerken einem Monitoring unterzogen. Alle gesammelten Liegenschaftsdaten der RWTH Aachen werden in einer Datenbank gespeichert. Dafür ist es notwendig, eine geeignete, umfangreiche Datenbankstruktur zu erstellen. Anhand der gesammelten und in einer Datenbank strukturierten Daten ist es möglich, den Ist-Zustand der RWTH-Campus in einem Geoinformationssystem (GIS) zu visualisieren (hier QGIS Wien, siehe Bild 3.1.3).

Bild 3.1.3: In QGIS visualisierte LOD2-Daten der RWTH Aachen basierend unter anderem auf OpenStreetMap (Quelle: RWTH Aachen)



Weiterhin werden auf Basis dieser Daten mehrere thermische, dynamische Simulationsmodelle erstellt, um den Ist-Zustand der Energieversorgungssysteme abzubilden. Zu den Simulationsmodellen gehören die Gebäude mit ihrer Gebäudetechnik, die Verteilnetze und die Erzeugeranlagen, die alle durch eine vereinfachte Modellierung beschrieben werden. Diese Gebäude- und Anlagenmodelle werden anschließend mit Netzmodellen und diese wiederum mit den Erzeugermodellen gekoppelt. So kann das gesamte Energiesystem mit seinen gegenseitigen Wechselwirkungen erfasst und simuliert werden. Mithilfe dieser gekoppelten Modelle werden alle Optimierungsmaßnahmen bewertet und die Sanierungsvarianten entwickelt.

Beim begleitenden Monitoring wird darauf geachtet, dass die wichtigsten Messgrößen aufgezeichnet werden, etwa die Verbrauchsdaten der Gebäude sowie die erzeugten und in den Netzen übertragenen Energieströme und Energiemengen. Sollten bestehende Messpunkte nicht ausreichend sein, werden weitere eingerichtet. Diese Daten werden in der entwickelten Datenbank abgelegt und dienen dazu, die Simulationsergebnisse zu kalibrieren und die Auswirkungen von Verbesserungsmaßnahmen zu überprüfen. Einen weiteren Anwendungsfall stellt die routinemäßige Überwachung der Energiesysteme dar, durch die im täglichen Betrieb Unregelmäßigkeiten und Verbesserungspotenziale erkannt werden können.

Auf Basis der Analyse von Monitoringdaten und Simulationsergebnissen werden Verbesserungsmaßnahmen, durch die der Primärenergiebedarf sowie die Treibhausgasemissionen gesenkt werden können, einzeln abgeleitet und iterativ verifiziert. Dabei werden neben Maßnahmen an der Gebäudesubstanz, der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) bzw. der Netzstrategie/-typologie – also der Versorgung mit Wärme – auch Einsparpotenziale im Nutzerverhalten, durch veränderte Nutzung von Bestandsgebäuden und durch „strategischen Neubau“ untersucht. Dazu soll die bauliche Eignung der Bestandsgebäude für eine oder mehrere veränderte Nutzungsarten mit Klimadaten vom Standort und den Nutzungsanforderungen der RWTH in Bezug gesetzt und ggf. mit der Errichtung von Neubauten an gleicher oder anderer Stelle verglichen werden. Alle diese Optimierungsansätze werden hinsichtlich ihrer Auswirkungen, Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit bewertet. Dazu wird eine Kostenschätzung durchgeführt.

Nach der Bewertung möglicher Einzelmaßnahmen werden daraus schlüssige Sanierungsvarianten erarbeitet. Dabei werden verschiedene Maßnahmen und Maßnahmenpakete unter Berücksichtigung von Wechselwirkungen kombiniert, simuliert und bewertet. Durch die Simulation mehrerer Szenarien können Sanierungsvarianten unter verschiedenen Bedingungen getestet und auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft werden. Auf diese Weise können unerwünschte Konsequenzen ausgeschlossen und nachteilige Effekte minimiert werden. Die zu entwickelnden Sanierungsvarianten beziehen sich dabei nicht nur auf gebäudetechnische Maßnahmen beim geplanten Ausbau des Campus, sondern berücksichtigen auch aktuelle energietechnische Konzepte und Entwicklungen. Aus diesen entwickelten Szenarien werden die dynamischen Energieströme und ihre Emittenten rückblickend und vorausschauend simuliert und mit einem dreidimensionalen, auf einem Geoinformationssystem (GIS) basierenden grafischen Modell des Campus dargestellt.

Für die Formulierung der Sanierungsansätze werden alle bereits vorhandenen Ressourcen berücksichtigt. Besonders die Energieerzeugung aus eigenen Anlagen spielt eine bedeutende Rolle und dient als Grundlage für die Sanierungsansätze. Darüber hinaus sollen geplante bzw. besprochene Erweiterungen integriert werden, falls diese einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen und Emissionen einzusparen.

Um die gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf die energetische Optimierung eines Campus übertragbar und für andere Universitäten und öffentlichen Liegenschaften in Deutschland nutzbar zu machen, soll eine Online-Plattform geschaffen werden, auf der die Ergebnisse dokumentiert und erläutert werden können. Nach Projektende soll ein Leitfaden veröffentlicht werden.

c) Projektkosten

Die beantragten Fördermittel belaufen sich auf 834.610 €. Die Kosten entstehen hauptsächlich durch den hohen Personaleinsatz, der sowohl für Datenerfassung, Monitoring, Modellbildung und Auswertungen als auch für die Erarbeitung der Sanierungsmaßnahmen notwendig ist. Die Umsetzungsmaßnahmen zu finanzieren, ist nicht Teil dieses Projekts. Es sollen aber möglichst viele Maßnahmen erarbeitet werden, die sich aufgrund ihrer Wirtschaftlichkeit selbst tragen können.

d) Projektstand

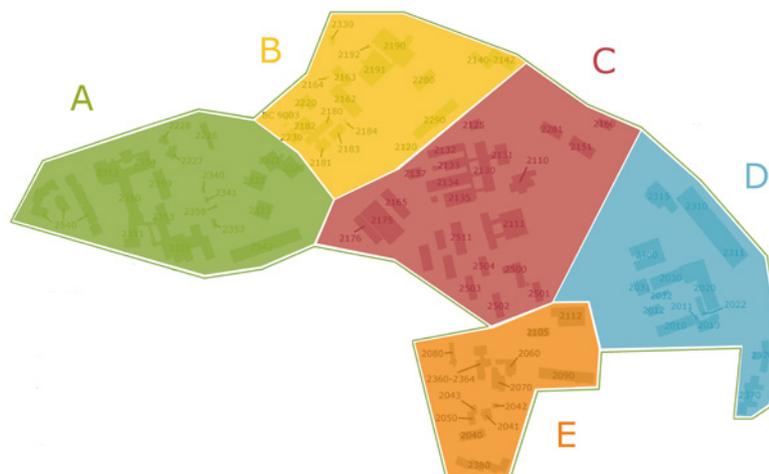
Die ersten Arbeiten im Projekt beschäftigten sich mit der Erfassung des Ist-Standes der Energiesysteme aller Liegenschaften der RWTH Aachen. Dies umfasst die Energieerzeuger, Verteiler und Abnehmer in Form von Gebäuden. Da es auf einer Liegenschaft mit Hunderten von Gebäuden und kilometerlangen thermischen Netzen nicht mit vertretbarem Aufwand möglich ist, alle Parameter detailliert aufzunehmen, wurden jeweils Lastenhefte mit Minimalanforderungen verfasst. Die Minimalanforderungen umfassen beispielsweise für Gebäude folgende Daten:

- Baujahr,
- Geschosshöhe,
- Anzahl der Geschosse,
- Nettogrundfläche und
- Gebäudetyp.

Zusätzlich wurden, um einzelne Energiesysteme detaillierter analysieren zu können, Maximalanforderungen definiert, die beispielsweise zur Erstellung eines Energieausweises oder der detaillierten Untersuchung von Gebäuden mit hohem Energieverbrauch genutzt werden könnten.

Um durch Begehungen und die Auswertung von Plandaten den Ist-Zustand erfassen zu können, ist es neben der Formulierung von Lastenheften notwendig, die Datenerfassung im Vorfeld systematisch vorzubereiten. Dazu wurden die einzelnen Bereiche der Campus in Unterbereiche gegliedert. Beispielsweise wurde so der Campus Hörn in fünf Bereiche von A bis E unterteilt (siehe Bild 3.1.4).

Bild 3.1.4: Bereiche des Campus Hörn (Quelle: RWTH Aachen)



Alle im Projekt relevanten Gebäude der Liegenschaften wurden fotodokumentiert. Weiterhin wurden die bestehenden Gebäudeinformationen, die vom Facility Management zur Verfügung gestellt wurden, durch Aufmaße bzw. Fotoaufmaße erweitert und zusammengestellt. Basierend auf dem minimalen Datensatz sind damit alle gebäudebeschreibenden Informationen vollständig erfasst. Zusätzlich wurden Gebäude für eine detailliertere energetische Betrachtung ausgewählt und im Bereich Hörn bereits zum größten Teil erfasst. Die Auswahl der Gebäude, die detaillierter betrachtet werden, basiert auf zwei Kriterien: Ihr spezifischer Heizenergieverbrauch beträgt über 150 kWh/m² im Jahr und ihr absoluter Heizenergieverbrauch ist im Vergleich zu den anderen Campusgebäuden hoch. Neben den Gebäuden sind grundlegende Informationen zu den thermischen Netzen sowie den wichtigsten Energieerzeugern erfasst. Bei Insellösungen wurden zur technischen Beschreibung der Energieerzeuger Schornsteinfegerprotokolle herangezogen. Die Informationen zu den thermischen Netzen des Campus Melaten können direkt aus dem Vorgängerprojekt übernommen werden.

Um eine übersichtliche und einfache Verwaltung dieser heterogenen Campusdaten in verschiedenen Detailstufen zu ermöglichen, wurde ein komplexes Datenbankschema aufgebaut, das auf dem international anerkannten Austauschformat CityGML [22] für 3-D-Städtedaten basiert. Hierfür wird das von TU München und TU Berlin [23] entwickelte Datenbankschema „3D City Database“ als Basis verwendet, das über eine Software bereits den Import und Export von CityGML-Daten erlaubt. Das Schema wurde im Rahmen des Projekts um fast alle Informationen aus den CityGML-Erweiterungen EnergyADE (Erweiterung für energetische Aspekte) und UtilityNetworksADE (Erweiterung für die Modellierung von Versorgungsnetzen) ergänzt. Somit können alle Daten, die für eine Erfassung der Campus nötig sind, sinnvoll ablegt und über ein Geoinformationssystem (GIS) visualisiert werden. Die CityGML-Daten der Liegenschaften der RWTH Aachen konnten bereits von der Bezirksregierung Köln angefordert und in die Datenbank eingelesen sowie mit der Oberfläche des Geoinformationssystems (GIS) übersichtlich visualisiert werden, so dass keine umfassende manuelle Erfassung der Gebäudegeometrien erforderlich war. RWTH-Gebäude, die nicht in dem CityGML-Datensatz vorhanden sind, werden nachgezeichnet und die erzeugte Geometrie anschließend in die Datenbank importiert.

Parallel wird an der Weiterentwicklung der Simulationsmodelle für Gebäude sowie der thermischen Netze und Schnittstellen gearbeitet. Derzeit werden Möglichkeiten entwickelt, thermische Netze mit mehreren Vorläufen simulieren zu können. Ferner werden Schnittstellen von der neuen Datenbank zu den Simulationsmodellen entwickelt.

Neben der Zusammenarbeit mit dem Facility Management wird direkt mit dem Rechenzentrum und dem Institut für Organische Chemie zusammengearbeitet – beides sehr energieintensive Einrichtungen mit hohem Optimierungspotenzial. Es wurden bereits alle Gebäude des Campus Hörn thermisch simuliert und mit Monitoringdaten des RWTH-Fernwärmenetzes in der Innenstadt verglichen, um das Potenzial einer Nutzung der Abwärme des Rechenzentrums abzuschätzen. Außerdem läuft in den Gebäuden des Instituts für Organische Chemie ein Monitoring, bei dem ausgewählte Parameter des Raumklimas erfasst und die technische Gebäudeausrüstung (TGA) auf Optimierungspotenziale hin untersucht werden.

Das Fernwärmenetz Melaten wird weiterhin durch die im Vorgängerprojekt installierte Messtechnik überwacht und die Monitoringdaten regelmäßig ausgelesen. Zusätzlich liegen Messwerte der Innenstadtnetze und einzelner Gebäude bereits vor, müssen aber noch mit redundanten Messungen verglichen werden.

Um eine entsprechende Öffentlichkeitsarbeit im weiteren Verlauf zu unterstützen, existiert eine Website (www.eneff-campus.rwth-aachen.de) mit den wichtigsten Informationen über das Projekt und mit den Kontaktdaten der Projektbearbeiter.

Um mögliche Umnutzungen der RWTH-Gebäude im Konzept berücksichtigen zu können, wird die Nutzergebundenheit an jedes Gebäude unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen, bautechnischen und baurechtlichen Möglichkeiten klassifiziert. Zu diesem Zweck wurde eine Literaturrecherche zu charakteristischen Kennzahlen durchgeführt, die kontinuierlich mit den zur Verfügung stehenden Daten verglichen werden.

3.1.2.4 Projektergebnisse

a) Geplante Ergebnisse

Als Kernergebnis sollen in diesem Projekt drei Sanierungsvarianten entwickelt werden, die es jeweils ermöglichen, den flächenspezifischen Primärenergieverbrauch der RWTH-Liegenschaften bis 2025 im Vergleich zu den 2013/14 gemessenen Werten um 50 % zu reduzieren. Die einzelnen Maßnahmen dieser Konzepte sind aufeinander abgestimmt und nach Wirtschaftlichkeit geordnet.

Die entwickelten Methoden und die konzeptionelle Ausarbeitung zur energetischen Aufwertung eines Campusareals können auf ähnliche Strukturen übertragen werden. Um die Vielfaltigkeit des Campus der RWTH Aachen abzubilden, wird in den Simulationen und Konzepten eine differenzierte Auswahl an Eigenschaften berücksichtigt. Dadurch wird die reibungslose Übertragbarkeit auf ähnliche Campus bzw. Stadtviertel gewährleistet. Die erarbeiteten Methoden und Berechnungsverfahren können an anderen Hochschulen und Quartiersstrukturen zum Einsatz kommen. Dafür werden Erfahrungen und Ergebnisse sowohl während des Projekts als auch nach Projektende in die entsprechenden Netzwerke eingebracht.

Die beteiligten Einrichtungen der RWTH werden im Rahmen des Projekts die in Vorarbeiten erarbeiteten Kompetenzen zur energetischen Optimierung campusartiger Liegenschaften einbringen und neues Fachwissen im Bereich der Simulation und ganzheitlichen Konzeptentwicklung aufbauen. Dieses Know-how soll durch Fachbeiträge in Zeitschriften sowie den geplanten Leitfadern in die Fachwelt weitergegeben werden.

Neben den veröffentlichten Erfahrungen im energetischen Bereich kann die entwickelte Datenbankstruktur zur systematischen Ablage und Analyse von energetischen dreidimensionalen Stadtquartiersdaten in anderen Projekten genutzt werden. Die Kompatibilität mit

CityGML-Daten erlaubt es, verfügbare Gebäudegeometriedaten einfach und ohne großen Aufwand zu nutzen. Eine dreidimensionale Visualisierung der Gebäude und Energieströme für unterschiedliche Sanierungsvarianten ist dadurch möglich.

b) Bereits vorliegende Ergebnisse

Derzeit stehen aufgrund des frühen Projektstatus noch keine Ergebnisse zur Veröffentlichung zur Verfügung. Bereits veröffentlicht sind die im Rahmen des Vorgängerprojekts entwickelten Modelle und Methoden. Diese sind im Abschlussbericht des Projekts „EnEff:Campus: Entwicklung eines integralen Planungshilfsmittels“ [24] beschrieben. Hier wurden bereits die Gebäude und thermischen Netze des RWTH-Campus Melaten sowie des Forschungszentrums Jülich dynamisch simuliert und erste Maßnahmen ermittelt und bewertet.

Auch die im Vorgängerprojekt entwickelten Gebäudemodelle sind bereits auf <https://github.com/RWTH-EBC/AixLib/blob/master/README.md> veröffentlicht und somit frei verfügbar.

3.1.2.5 Umsetzung in die Lehre

Das Projekt wird im Rahmen der Veranstaltung „Anwendungswerkstatt“ in den Studiengang „Umweltingenieurwissenschaften (M.Sc.)“ eingebunden. Die Studenten erlernen die Methodik, einen Energieausweis für Nichtwohngebäude nach der DIN V 18599 zu erstellen. Ziel ist, den Studenten mit Hilfe des Programms SOLAR-COMPUTER und dem Programmpaket „Energie“ die Herangehensweise zu vermitteln, nach der eine Erarbeitung von Parametern erfolgt, die relevant für die energetische Betrachtung von Gebäuden nach DIN V 18599 sind. Dazu erfassen fünf Gruppen à vier Studenten jeweils die Geometrie und Bauphysik sowie die Nutzung des Gebäudes anhand von Plänen und Begehungen der Gebäude. Zu erwähnen ist, dass im Rahmen der Veranstaltung die Anlagentechnik aufgrund ihrer Komplexität nur sehr rudimentär erfasst werden kann. Weiterhin bietet das Projekt in allen drei beteiligten Fakultäten ausgezeichnete Möglichkeiten, studentische Abschlussarbeiten anzufertigen. Derzeit laufen sowohl Bachelor- als auch Master-Arbeiten in den Bereichen der Datenerfassung, der Modellbildung und der Konzeptentwicklung. Diverse weitere Arbeiten insbesondere auch im Bereich des Monitoring und der Umnutzung sind geplant.

3.1.2.6 Lessons Learned

An diesem Projekt arbeitet ein interdisziplinäres Team verschiedener Fachrichtungen und Hintergründe zusammen. Um ein gemeinsames Verständnis der relevanten Begriffe und Zielsetzungen zu erlangen, wurden diese bereits zum Projektstart gemeinsam besprochen und festgelegt. Dieses Verfahren hat sich bewährt, auch um mögliche Missverständnisse von vornherein auszuräumen.

Daneben haben sich regelmäßige Treffen zur Kontrolle des Projektfortschritts und zur Absprache der anstehenden Arbeiten bewährt. Auf diese Weise konnten alle Aufgaben klar gegliedert sowie auch Stärken und Schwächen der Teammitglieder erkannt und deren Potenziale in der Zusammenarbeit optimal genutzt werden.

a) Erfahrungen mit Entscheidungsprozessen

Keine Angaben

b) Hemmnisse und deren Überwindung

Die teilweise unzureichende bzw. widersprüchliche Datenlage – insbesondere bezüglich dynamischer Messdaten und statischer Campusdaten – stellte ein größeres Hemmnis für den Projektverlauf dar. Häufig konnten die fehlenden Daten aber manuell vor Ort erfasst bzw. validiert werden. Auch zusätzlich installierte oder auf die Gebäudeleittechnik aufgeschaltete Sensoren halfen dabei, den Mangel an Messdaten zu verringern.

c) Energetische Benchmarks

Es ist geplant, im Laufe des Projekts energetische Benchmarks aufzustellen. Derzeit ist die Datenlage dafür noch nicht hinreichend.

d) Erfahrungen mit Technologien

Das Arbeiten mit einer Cloud-basierten Lösung und einer Versionierungssoftware hat sich als hilfreich erwiesen, um redundante Daten zu vermeiden und den Zugriff unterschiedlicher Institutionen auf den aktuellen Datenbestand zu ermöglichen.

e) Erfahrungen mit Planungshilfsmitteln

Das im Vorgängerprojekt entwickelte integrale Planungshilfsmittel hat sich im Einsatz bewährt und trägt zum Projektfortschritt bei.

3.2 blueMAP TU Braunschweig

Autoren: Tanja Beier, Stephan Schulze

3.2.1 Projektsteckbrief

Projektname	blueMAP TU Braunschweig Integraler energetischer Masterplan TU BS 2020/2050		
Projektbild	 <p>Zentralcampus TU Braunschweig (Quelle: IGS)</p>		
Universität	TU Braunschweig Mühlenpfordtstraße 23 38106 Braunschweig		
Projektbeteiligte	Institut für Gebäude- und Solartechnik (IGS)	Institut für Städtebau und Entwurfsmethodik (ISE)	Institut für Psychologie (IfP)
	Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia)	Gebäudemanagement der TU Braunschweig (GB3)	Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für Bildende Künste (HBK)
	HIS – HE GmbH Hochschulentwicklung	synavision GmbH Aachen	BS I Energy, Braunschweiger Versorgungs-AG & Co. KG

Anzahl und Art der beinhalteten Gebäude	<p>Einteilung der Gebäude nach Hauptnutzungsart (Nutzungszuweisung nach DIN 277-2):</p> <p>Nicht genutzte Flächen (NF 0): 4 Gebäude Wohnen und Aufenthalt (NF 1): 4 Gebäude Büroarbeit (NF 2): 39 Gebäude Experimente und Forschung (NF 3): 46 Gebäude Lagern, Verteilen etc. (NF 4): 14 Gebäude Kultur, Unterricht etc. (NF 5): 19 Gebäude Sonstige (NF 7): 7 Gebäude Technikfläche: 3 Gebäude In Summe: 136 Gebäude</p>
Neubauten im Projekt	<p>Im Zeitraum des aktuellen Forschungsprojekts werden einige Neubauvorhaben der TU Braunschweig umgesetzt, die aber nicht im direkten Zusammenhang mit diesem Projekt stehen. So entstanden in der Zeit von 2012 bis 2014 am Campus der Forschungsflughafen, der im Projekt <i>blueMAP</i> TU Braunschweig keine intensive Betrachtung findet, das Niedersächsische Forschungszentrum für Fahrzeugtechnik (NFF) sowie das Niedersächsische Forschungszentrum für Luftfahrt (NFL). Im innerstädtischen Campusbereich werden derzeit drei weitere Forschungszentren eingerichtet. Der Neubau des Braunschweiger Zentrums für Systembiologie (BRICS) wird auf dem Areal des Zentralcampus errichtet, das Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik (PVZ) sowie das Laboratory for Emerging Nanometrology and Analytics (LENA) im Bereich des Campus Ost.</p>
Baujahr der Gebäude	<p>bis 1918: 23 Gebäude, davon 7 unter Denkmalschutz 1919-1948: 23 Gebäude, davon 4 unter Denkmalschutz 1949-1957: 7 Gebäude, davon 3 unter Denkmalschutz 1958-1968: 37 Gebäude, davon 5 unter Denkmalschutz 1969-1978: 20 Gebäude, davon 4 unter Denkmalschutz 1979-1983: 5 Gebäude 1984-1994: 8 Gebäude 1995-2002: 6 Gebäude 2003-2007: 3 Gebäude ab 2008: 4 Gebäude im Bau: 3 Gebäude</p>
Bauqualität vor dem Projekt	<p>Viele typische Universitätsgebäude: Vortragsräume, Bibliothek, Mensa, Büro, Labor, Hallenbauten, Verwaltung etc. Unterschiedliche Baualtersklassen: 18./19. Jahrhundert, Gründerzeit, Moderne der 1950er Jahre, 1960er und 1970er Jahre und Neubauten. Ein Großteil der Gebäude stammt aus der Phase erhöhter Bautätigkeit zwischen 1950 und 1980. Viele der Gebäudekomponenten wie Gebäude-</p>

	hülle und Anlagentechnik haben das Ende ihrer Lebensdauer erreicht und entsprechen nicht mehr dem heutigen Stand der Technik. Darüber hinaus treten altersbedingte Mängel und Schäden sowie Ermüdungserscheinungen am Tragwerk auf.			
Energieversorgung im Bestand	Die TU Braunschweig schreibt ihre Strom- und Gasversorgung regelmäßig für zwei Jahre öffentlich aus. Die Wärmeversorgung erfolgt mit Erdgas und Fernwärme. Ca. 99 % des Campus der TU Braunschweig werden über das Fernwärmenetz der Stadt Braunschweig mit Wärme versorgt. Das Erdgas wird neben der Verwendung in Laboren vereinzelt in Gaskesseln zu Heizzwecken, zur Warmwasseraufbereitung und zur Dampferzeugung, vor allem jedoch für ein Blockheizkraftwerk im Chemiezentrum genutzt.			
Energiepreise	Energieträger	Fixkosten [€/a]	Arbeitspreis [€/kWh]	
	Fernwärme	-	0,115	
	Strom	-	0,185	
Projektlaufzeit	01.04.2012 – 30.09.2014 (kostenneutrale Verlängerung bis 31.03.2015)			
Art des Projekts	Planung	Simulation	Umsetzung	Messung
	● ●	●	● (Betriebs- optimierung und Beleuchtung)	
Projekthalt	Am Beispiel des innerstädtischen Campus der TU Braunschweig wurden im Forschungsprojekt „EnEff Campus:blueMAP TU Braunschweig“ beispielhaft Planungs- und Optimierungsmethoden zur Verbesserung der Energieeffizienz von Stadtquartieren entwickelt und erprobt. Aufbauend auf der evaluierten Ausgangssituation (Flächen-, Energie-, Kostenkennzahlen etc.) wurden Szenarien zur Reduzierung des Energieverbrauchs auf Gebäudeebene, zum rationellen Energieeinsatz und zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen auf dem Hochschulcampus unter ökologischen und ökonomischen Randbedingungen untersucht. Ziele waren die mittelfristige Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 40 % und die langfristige Versorgung des Campus mit ausschließlich regenerativer Energie			
Projektkosten	Im Projekt „EnEff Campus:blueMAP TU Braunschweig“ wurde ein integraler energetischer Masterplan entwickelt. Die Umsetzung der Einzelmaßnahmen im Bereich Gebäudehülle, Anlagentechnik, technischer Ausstattung, Nutzerverhalten, Integration von BHKWs usw. ist noch nicht erfolgt.			

	Mit dem Start des Folgeprojekts „EnEff Campus 2020“ (Projektstart: 09/2015) geht die TU Braunschweig in die Umsetzungsphase des Masterplans 2020.				
Maßnahmen an den Gebäuden	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Gebäudehülle (Dachflächen, Fassade) • Beleuchtungsaustausch (Verkehrsflächen, Laborräume, Büroräume) • Austausch technischer Ausstattung (Kühl- und Gefrierschränke) • Betriebsoptimierung von raumluftechnischen Bestandsanlagen (RLT-Anlagen) • Erhöhung der Flächeneffizienz je Gebäude durch Verdichtung der Büroraumflächen 				
Beheizte Nettogrundfläche	Vor dem Projekt		Nach dem Projekt		
	Ca. 330.000 m ²		Ca. 345.000 m ²		
Energieverbrauch vor dem Projekt (2001 gemessen, witterungsbereinigt)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	42.167	105,4	22.770	56,9
	Kälte	-	-	-	-
	Strom	35.505	88,7	92.313	230,8
	Summe	77.672	-	115.083	-
Energieverbrauch nach dem Projekt (bereits durchgeführte Betriebsoptimierungen, gemessen)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	39.101	97,8	21.115	52,8
	Kälte	-	-	-	-
	Strom	32.621	81,6	84.814	212,0
	Summe	71.722	-	105.929	-
Energieverbrauch nach dem Projekt (Planung für 2020, gerechnet)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	24.879	62,2	13.435	33,6
	Kälte	-	-	-	-
	Strom	20.948	52,4	54.465	136,2
	Summe	45.827	114,6	67.900	169,8
Bereits vorliegende Projektergebnisse	-				

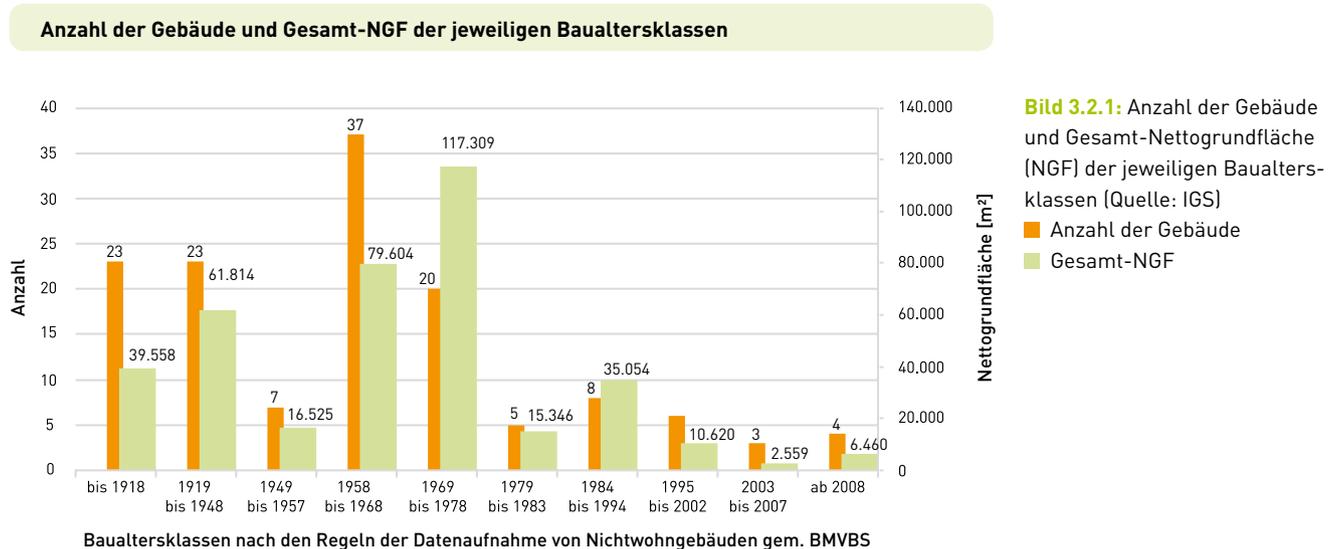
3.2.2 Projektbeschreibung

3.2.2.1 Der Campus vor dem Projekt

Die Technische Universität Braunschweig (TU BS) wurde als Collegium Carolinum im Jahre 1745 gegründet und gehört heute dem TU9-Verband führender Technischer Universitäten Deutschlands an. Der Campus befindet sich im innerstädtischen Bereich und besteht aus vier Arealen: Zentralcampus, Campus Ost (Langer Kamp), Campus Ost Beethovenstraße und Campus Nord. Die insgesamt ca. 200 Gebäude nehmen eine Gesamt-Nettogrundfläche von ca. 400.000 m² ein. Der größte Anteil dieser Gebäude und Flächen beherbergt Verwaltungs- und Büroräume sowie Laboreinrichtungen. Das ergänzende Campusareal am Flughafen, nördlich von Braunschweig, findet in diesem Projekt aufgrund der standortspezifischen Besonderheiten keine Berücksichtigung.

Energetische Ausgangssituation

Auf dem Hochschulgelände befindet sich eine Vielzahl typischer Universitätsgebäude, die unterschiedlich genutzt werden: Vortragsräume, Bibliothek, Mensa, Büro, Labor, Hallenbauten, Verwaltung etc. Die Gebäude entstammen den unterschiedlichsten Epochen. So gibt es historische Gebäude aus dem 18. und 19. Jahrhundert, aus der Gründerzeit und der Moderne der 1950er Jahre, Funktionsbauten der 1960er und 1970er Jahre sowie Neubauten. Ein Großteil der Gebäude stammt aus der Phase erhöhter Bautätigkeit zwischen 1950 und 1980. Insgesamt wurden 82 % des Gebäudebestands vor 1980 bzw. vor dem Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung von 1977 errichtet.

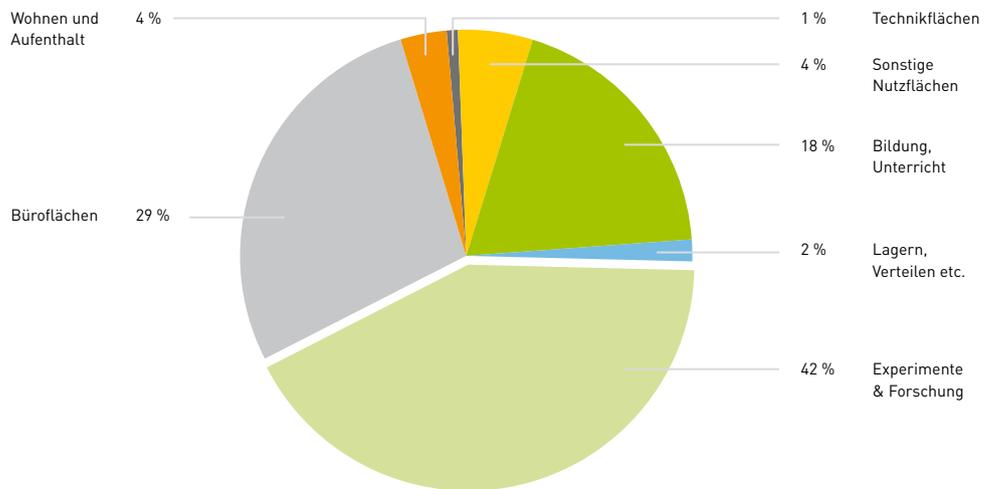


Nutzungsgruppen nach DIN 277

Nach Flächenverteilung der Nutzungsgruppen gemäß DIN 277 liegt der Schwerpunkt der TU Braunschweig mit ca. 40 % der Gesamtfläche im Bereich Forschung. Eine weitere Aufschlüsselung dieser Fläche von insgesamt 259.554 m² nach den Nutzflächenarten NF 1-6 zeigt, dass davon 91.968 m² bzw. 35,4 % auf Laborflächen entfallen. Diese Zahlen verdeutlichen anschaulich die räumlichen Besonderheiten einer technischen Universität.

Weitere ca. 30 % verteilen sich auf Büroflächen, die restlichen Nutzungsgruppen liegen zusammen ebenfalls bei insgesamt ca. 30 %.

Bild 3.2.2: Verteilung der Nutzungsgruppen nach DIN 277-2 (Quelle: IGS)



Energieversorgung

Die TU Braunschweig zählt zu den landeseigenen öffentlichen Liegenschaften Niedersachsens, deren Strom- und Gasversorgung öffentlich ausgeschrieben werden müssen. Die Oberfinanzdirektion (OFD) eines Bundeslandes ist für die Auswahl des jeweils wirtschaftlichsten Strom- bzw. Gasanbieters in Form einer Pool-Ausschreibung zuständig. Der jeweils ausgewählte Versorger wird für die Vertragslaufzeit von zwei Jahren bestimmt.

Die thermische Energieversorgung erfolgt mit Erdgas und Fernwärme. Ca. 99 % des Campus der TU Braunschweig werden über das Fernwärmenetz der Stadt Braunschweig mit Wärme versorgt. Das Erdgas wird neben der Verwendung in Laboren vereinzelt in Gaskesseln zu Heizzwecken, zur Warmwasseraufbereitung und zur Dampferzeugung, vor allem jedoch für ein Blockheizkraftwerk im Chemiezentrum genutzt.

Energieverbrauch

Der jährliche Wärmeenergieverbrauch summiert sich im Basisjahr 2011 auf ca. 42,2 GWh, der jährliche Stromverbrauch auf ca. 35,5 GWh. Die Energiekosten liegen insgesamt bei ca. 11,5 Mio. Euro. Zur Deckung der Energiekosten wendet die TU Braunschweig 5 % ihres Gesamtbudgets auf, dabei macht der Hauptkostenpunkt Strom 50 % der Gesamtkosten aus. Da die Landeszuschüsse für die Energiekosten auf dem Niveau von 2009 bei 6 Mio. Euro stagnieren, müssen die Universitäten die Kostensteigerungen der letzten Jahre allein zu Lasten der eigenen Haushalte finanzieren.

3.2.2.2 Die beteiligten Akteure

a) Prozesse der Universität

Akzeptanzbewertung TU Braunschweig

Das Präsidium der TU Braunschweig identifiziert sich in besonderer Weise mit dem Campusprojekt *blue*MAP und engagiert sich bereits im Vorfeld für das Folge- und Pilotprojekt „Energieeffizienter Campus 2020“, damit die vorbereitete energetische Masterplanung für die Standortentwicklung des Campus in diesem Schritt zielgerichtet weiter vorangetrieben werden kann. Aus diesem Grund beteiligt sich die TU Braunschweig auch weiterhin inhaltlich und personell am Projekt „Energieeffizienter Campus 2020“. Im Projektteam wird ausdrücklich die interdisziplinäre Ausrichtung der Institute der TU Braunschweig begrüßt.

Datenbasis

Die TU Braunschweig verfügt dank ihrem Gebäudemanagement (GB3) über eine umfassende, zeitlich hochaufgelöste Erfassung der Gebäude-Energieverbräuche auf Basis von über 500 Messstellen. Die gemessenen Verbräuche sind Flächen (gem. DIN 277) und Nutzungen zugeordnet und werden für die zukünftige Bedarfsentwicklung genutzt. Zudem ist ein Großteil der Gebäude-Bestandspläne der TU Braunschweig durch das GB3 digital archiviert und kann bei Bedarf jederzeit zur Verfügung gestellt werden. Ein zentral eingerichtetes Energiemanagementsystem ermöglicht es, die gebäudetechnischen Anlagen zu überwachen und zu steuern, die zum Großteil mit Hilfe von Gebäudeleittechnik in das System integriert sind. Durch die Montage von Zähl- und Messeinrichtungen ließen sich deshalb schnell und einfach Teilenergiekennwerte in den Gebäuden ermitteln. Diese Daten bilden eine wichtige Grundlage für die Optimierung der Energieverbräuche. Sie werden im Rahmen der Forschungsinitiative „Energieeffiziente Betriebsoptimierung“ (EnBop) von verschiedenen Forschergruppen in einer Datenbank zentral erfasst und können somit auch in Campusprojekten genutzt werden.

Aufbauend auf der Datenlage des Gebäudemanagements werden zudem Strukturen geschaffen, um die entwickelten Maßnahmen im Folgeprojekt „EnEff Campus 2020“ gezielt umsetzen zu können sowie den stetig ansteigenden Energieverbräuchen und damit verbundenen Kosten entgegenzuwirken. So wurde von der Strategiekommission der TU Braunschweig eine Arbeitsgruppe zum Thema Energiekostenbudgetierung einberufen. Diese Arbeitsgruppe hat

u. a. Einsparpotenziale identifiziert, eine transparente, zeitnahe Darstellung der Verbräuche und Kosten für die Nutzer gefordert und eine „Erfolgsbeteiligung“ der Nutzer an den von ihnen in Zukunft generierten Einsparungen empfohlen.

Seit Einführung der Energiekostenbudgetierung an der TU Braunschweig werden Energiekosten differenziert auf die Fakultäten und Institute umgelegt. Jede Kostenstelle mit Flächennutzung hat einen verantwortlichen Energienutzungskordinator (EnKo) benannt, der als Schnittstelle zwischen dem Gebäudemanagement und der eigenen Einrichtung fungiert. Zudem wurden Anfang 2014 zwei Energieberater (EB) eingestellt, die die Energienutzungskordinatoren in allen Fragen zum Thema Energie beraten und bei der Durchführung ihrer Aufgaben unterstützen.

Zur transparenten Darstellung stellt die TU Braunschweig seit März 2014 ein Informationssystem zur Verfügung, das die Strom- und Heizwärmeverbräuche monatlich aufschlüsselt: das Energie-Web-Portal „conject“. Damit einhergehend erhalten alle Institute und Einrichtungen die Kostenverantwortung für den Energieverbrauch und können direkt von Einsparungen profitieren, die sie durch energiebewusstes Handeln oder die Förderung von Effizienzmaßnahmen erreicht haben.

b) Projekt

Die fachliche Bearbeitung übernimmt ein interdisziplinäres Forschungsteam aus Instituten der TU Braunschweig und externen Projektpartnern, beispielsweise dem lokalen Energieversorger, um die gesamte Bandbreite der relevanten Themenstellungen für die Entwicklung eines ganzheitlichen energetischen Masterplans abdecken zu können. Für die Projektleitung und -koordination ist das Institut für Gebäude- und Solartechnik unter der Leitung von Univ. Prof. Dr.-Ing. M. N. Fisch zuständig.

Eine enge Abstimmung der Arbeitspakete wird durch regelmäßige Projekttreffen gewährleistet. Darüber hinaus wird der inhaltliche Austausch durch Fachdiskussionen in flexibel organisierten Kleingruppen vertieft. Die Einbindung in eine hochschulübergreifende Perspektive wird durch die Hochschulentwicklung (HIS-HE) hergestellt.

Im Rahmen des Projekts werden vom interdisziplinären Forschungsteam fünf verschiedene Schwerpunktthemen bearbeitet:

- Städtebau
- Gebäude: Architektur, Bauphysik, Gebäudetechnik
- Energieversorgung, -erzeugung, -speicherung
- Verkehr und Mobilität
- Nutzerverhalten

Dabei widmet sich das Institut für Städtebau und Entwurfsmethodik (ISE) dem Schwerpunkt Städtebau, das Institut für Gebäude und Solartechnik (IGS) bearbeitet die Konzepte auf Gebäudeebene in den Bereichen Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik. Das Thema der

Energieversorgung bildet den Arbeitsbereich des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia). Beim Schwerpunkt Verkehr und Mobilität werden vom Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für Bildende Künste Mobilitäts- und Verkehrskonzepte erstellt. Das fünfte Schwerpunktthema Nutzerverhalten wird vom Institut für Psychologie (IfP) untersucht.

3.2.2.3 Der Projektinhalt

a) Projektziele

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich hohe Klimaschutzziele gesteckt und im Energiekonzept der Bundesregierung verankert. Dabei werden konkrete Teilziele für den ersten Schritt bis 2020 benannt und der Maßstab bis 2050 definiert. Die Treibhausgasemissionen um 40 % zu senken, den Primärenergieverbrauch um 20 % zu reduzieren und gleichzeitig den Anteil erneuerbarer Energien bis 2020 auf 20 % zu steigern – dieser Dreiklang stellt eine umfassende gesamtgesellschaftliche Aufgabe dar. Um diese Klimaschutzziele zu realisieren, ist es eine zentrale Aufgabe, weitreichende und effektive Schritte zur Verringerung des Energieverbrauchs im Gebäudebestand zu identifizieren. Im Bereich der Nicht-Wohngebäude bieten die deutschen Hochschulen ein besonders großes Innovations- und Vorbildpotenzial. Ihnen kommt deshalb eine Schlüsselrolle zur Erreichung der Klimaschutzziele zu. Sie sind nicht nur für Innovationen in Lehre und Forschung verantwortlich, sondern mit ihrem umfangreichen und heterogenen Gebäudebestand sowie ihren Neubauten auch selbst dazu prädestiniert, ein Lernlabor für „Energieoptimiertes Bauen und Betreiben“ zu bilden. Unter diesem Aspekt sind vorbildliche Entwicklungskonzepte für Hochschulcampus ideale Katalysatoren und Multiplikatoren für Innovationen.

Im Projekt wird für den Campus der TU Braunschweig ein „Integraler Energetischer Masterplan“ entwickelt. Dabei werden auf Basis einer Bestandsaufnahme (Stand 2011) Methoden und Werkzeuge erarbeitet, um den Primärenergieverbrauch mittelfristig um 40 % zu reduzieren (Konzept 2020) und den Campus auf lange Sicht ausschließlich mit regenerativen Energien zu versorgen (Vision 2050). Die Verdopplung der Vorgaben, die die Bundesregierung für den gesamten Gebäudebestand getroffen hat, wirkt als Wegweiser in Richtung des Umbaus der Energieversorgung bis 2050 und kann validiert auf andere Demonstrationsprojekte übertragen werden.

Als Projektpartner ist der lokale Energieversorger in die konzeptionelle Planung eingebunden. Die interdisziplinären Methoden und Werkzeuge werden im Zuge des Projekts und der Umsetzung des Masterplans (Folgeprojekte Umsetzung und Monitoring) in der Lehre eingesetzt und an andere Hochschulen weitergegeben.

Das interdisziplinär aufgestellte Forschungsteam der TU Braunschweig verfolgt in der Projektbearbeitung drei Hauptziele:

1. Erstellung eines Masterplans mit einem konkreten Umsetzungskonzept bis 2020 für den Campus TU Braunschweig als Pilotprojekt

2. Einstieg in eine umsetzungsorientierte Planungsphase 2020, Vision 2050
3. Erarbeitung von Verwertungsgrundlagen

Das Projekt verknüpft dabei die inhaltliche Breite der beteiligten Forschungsbereiche einschließlich sozial- und wirtschaftswissenschaftlicher Aspekte mit den konkreten Umsetzungszielen, die das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) für Projekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt vorgibt. Eng vernetzt mit regionalen und überregionalen Aktivitäten, platziert sich der Campus der TU Braunschweig mit seinen Forschungseinrichtungen und Standortvorteilen sowie den vorhandenen Kontakten zur Wirtschaft als idealer Ort für Innovationen. Damit entspricht das Projekt den Zielsetzungen des Programms EnEff:Stadt in besonderer Weise.

b) Projektarbeiten

Der Arbeitsplan des Projekts umfasst drei Arbeitspakete, die mit den Teilzielen korrespondieren, sowie eines zur wissenschaftlichen Begleitung und Koordination. Die drei erstgenannten werden im Folgenden näher beschrieben.

1. Integraler energetischer Masterplan

- Status 2010: Der Gebäudebestand des Campus TU Braunschweig wird in Bezug auf Energiebedarf und -verbrauch, Städtebau und Mobilität dokumentiert und in einem Energiekataster als Baseline für die weitere Bearbeitung abgebildet.
- Konzept 2020: Das Energiekataster wird in ein interdisziplinäres Berechnungsmodell für die Campuserweiterung übertragen, mit dem multiple Parameterstudien für verschiedene Szenarien der Campuserweiterung erstellt werden.

2. Umsetzungsorientierte Planungsphase 2020, Vision 2050

Die Ergebnisse sind in einen detaillierten Entwicklungsplan für den Campus der TU Braunschweig bis 2020 eingeflossen. Dieser wird mit der Hochschulleitung und den weiteren verantwortlichen Institutionen zu einem konkreten Umsetzungsplan weiterentwickelt, unter Berücksichtigung technischer, finanzieller und administrativer Aspekte. Darüber hinaus werden Szenarien für die langfristige Perspektive 2050 dargestellt. Die Vision 2050 bildet die Grundlage für ein dauerhaftes „Commitment“ der Hochschule zur nachhaltigen Campuserweiterung.

3. Verwertungsgrundlage

Im Rahmen der Erstellung des integralen Masterplans werden vom interdisziplinären Team Werkzeuge und Methoden zur Bearbeitung der komplexen Themen und Aufgabenstellungen entwickelt und evaluiert. Die erarbeiteten Konzepte und Szenarien bilden die Grundlagen für die Planungs- und Umsetzungsphase und sind Bestandteil zukünftiger Forschungs- und Lehraktivitäten im Bereich des energieoptimierten Bauens und Betriebs.

c) Projektkosten

Im Projekt „EnEff Campus:blueMAP TU Braunschweig“ wurde ein integraler energetischer Masterplan entwickelt. Die generierten Einzelmaßnahmen in den Bereichen Gebäudehülle,

Anlagentechnik, technische Ausstattung, Nutzerverhalten, Integration von BHKW usw. sind noch nicht umgesetzt.

d) Projektstand

Nachdem in der ersten Projektphase der integrale energetische Masterplan entwickelt worden war, konnten im Jahr 2015 die ersten Maßnahmen auf dem Campus der TU Braunschweig umgesetzt werden. So werden in einem Gebäude des Fachbereichs Chemie im Zuge der Betriebsoptimierung der RLT-Anlagen der Volumenstrom sowie die Zulufttemperatur ausgewählter Anlagen in der Nacht abgesenkt. Diese Maßnahme reduzierte die Primärenergieverbräuche für Wärme und Strom um jährlich ca. 1.890 MWh. Gleichzeitig konnten die Energiekosten um ca. 180.000 Euro pro Jahr gesenkt werden.

In einem anderen Gebäude wurde die vorhandene Beleuchtung durch 310 LED-Leuchten und 110 Bewegungsmelder ersetzt. Diese Beleuchtungserneuerung reduziert den Primärenergieverbrauch für Strom um ca. 208 MWh pro Jahr und die jährlichen Betriebskosten in diesem Fall um ca. 15.300 Euro.

Angesichts einer Vielzahl veralteter und stark energieverbrauchender Kühl- und Gefrierschränke wurde den Instituten eine „Abwrackprämie“ angeboten, um einen Anreiz für den Austausch durch energieeffiziente Geräte zu schaffen. Im Zuge dieser Maßnahme konnten bisher 139 Geräte ausgetauscht und der Primärenergieverbrauch an Strom um ca. 95 MWh jährlich reduziert werden.

Vom Institut für Psychologie wurden zudem im Rahmen von ersten Pilotstudien Energie-Coachings mit über 100 Nutzerinnen und Nutzern unterschiedlicher Institute und Gebäude durchgeführt, um ihr Energie- und Umweltverhalten zu verbessern.

Im Zusammenwirken der vorgenannten Teilmaßnahmen und der im Jahr 2014 eingeführten Energiekostenbudgetierung konnte der Gesamt-Primärenergieverbrauch der TU Braunschweig von 2011 bis 2014 bereits um 8 % reduziert werden.

3.2.2.4 Projektergebnisse

a) Geplante Ergebnisse

Die Grundlage für die im Anschluss folgende, umsetzungsorientierte Phase II bilden die in den verschiedenen Schwerpunktthemen – Gebäudehülle, Integration von BHKWs, Photovoltaik, Flächeneffizienz, Gebäudetechnik, Beleuchtung, technische Ausstattung, Nutzerverhalten und Mobilität – entwickelten Einzelmaßnahmen. In der nachstehenden Tabelle sind die Einzelmaßnahmen einschließlich einer Beschreibung, Angaben zu Energieeinsparpotenzialen sowie der Investitionskosten und Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 3.2.1: Einzelmaßnahmen der Schwerpunktthemen

Maßnahme	Kurzbeschreibung	Kosten/Energiebilanz
Gebäudehülle 	Energetische Sanierung der Gebäudehülle nach EnEV 2009 für alle relevanten Gebäude auf dem Campus der TU BS	Investitionskosten: 120 Mio. € Kosteneinsparung: 1,6 Mio. €/a Amortisation: 20 a Primärenergie: -9 % CO ₂ -Emission: -12 %
BHKW 	Installation eines großen BHKWs mit einer Feuerungsleistung von 526 kW zur Versorgung des Ost-Campus sowie eines kleineren BHKWs mit 148 kW für den Nord-Campus	Investitionskosten: 590 T € Kosteneinsparung: 320 T €/a Amortisation: 2 bzw. 6 Jahre Primärenergie: -3 % CO ₂ -Emission: -10 %
Photovoltaik 	Eignungsanalyse aller Bestandsdachflächen der TU BS für PV-Integration unter Berücksichtigung von Dachaufbauten sowie der Verschattung durch Nachbargebäude und Baumbestände. Nicht berücksichtigt wurden der Zustand und die Tragfähigkeit der Dächer sowie der Denkmalschutz einzelner Gebäude.	Investitionskosten: 2.500 €/kWp Einsparung Strom: 2.590 MWh/a Kosteneinsparung: 480 T €/a Amortisation: 10-12 a Primärenergie: -6 % CO ₂ -Emission: -5 %
Flächeneffizienz 	Reduzierung der vorhandenen Büroarbeitsflächen von ca. 60.000 m ² bzw. 15 m ² /Person (Bewertung gem. DIN V 18599-10 als geringe bis mittlere Belegung) auf ca. 10 m ² /Person (hohe Belegung). Dies entspricht einer Büroflächenreduzierung von ca. 20.000 m ² .	Investitionskosten: n. n. Einsparung Wärme: 2.680 MWh/a Einsparung Strom: 670 MWh/a Kosteneinsparung: 436 T €/a Primärenergie: -3 % CO ₂ -Emission: -3 %
Gebäudetechnik 	Energetische Optimierung aller vorhandenen raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) > 1.000 m ³ /h	Investitionskosten: 4 Mio. € Einsparung Strom: 5.950 MWh/a Kosteneinsparung: 1,1 Mio. €/a Amortisation: 2,5 a Primärenergie: -14 % CO ₂ -Emission: -12 %

Maßnahme	Kurzbeschreibung	Kosten/Energiebilanz
 Beleuchtung	Austausch der installierten Beleuchtung in allen Verkehrsflächen (Flure und Treppenhäuser), Büroflächen und Laborflächen, Einsatz von LED-Beleuchtung	Investitionskosten: 2,57 Mio. € Einsparung Strom: 3.050 MWh/a Kosteneinsparung: 570 T €/a Amortisation: 3 a Primärenergie: -8 % CO ₂ -Emission: -6 %
 Technische Ausstattung	Austausch sämtlicher Altgeräte an Kühl- und Gefrierschränken. Hochrechnung auf Basis der im Bestand aufgenommenen und dokumentierten Geräte (ca. 70 % Geräte in Energieeffizienzklasse D und „schlechter“).	Investitionskosten: 1 Mio. € Einsparung Strom: 950 MWh/a Kosteneinsparung: 175 T €/a Amortisation: 5 a Primärenergie: -3 % CO ₂ -Emission: -2 %
 Nutzerverhalten	Energieeinsparungen durch verschiedene Maßnahmenarten: Partizipation/Interaktion mit den Nutzern, Information (Kampagnen) und Feedback (z. B. über den Energieverbrauch)	Investitionskosten: 120 T € Kosteneinsparung: 900 T €/a Primärenergie: -8 % CO ₂ -Emission: -7 %
 Mobilität	Einführung eines Mobilitätsmanagements durch systemisch integrierte Maßnahmen zur Reduzierung, Bündelung oder Verlagerung von Verkehrsaufkommen	Investitionskosten: 267 T €/a Kosteneinsparung: 655 T €/a Primärenergie: -25 %

Mit dem Start des Folgeprojekts „EnEff Campus 2020“ im September 2015 geht die TU Braunschweig in die Umsetzungsphase des Masterplans 2020 über. In enger Abstimmung zwischen Hochschulleitung, Landesebene, beteiligten Fachinstituten und dem örtlichen Energieversorger wird in den kommenden drei Jahren ein für die deutsche Hochschullandschaft zukunftsweisendes Maßnahmenpaket zur energetischen Optimierung des Campus als Stadtquartier vorbereitet und schrittweise umgesetzt.



Umsetzung von Baumaßnahmen zur energetischen Optimierung

- Bereits umgesetzte Maßnahmen (2010 bis 2014): 28 Mio. €
- Neubauvorhaben: 146 Mio. €
- Einzelmaßnahmen 60 Mio. €



Betriebsmonitoring und -optimierung

- Einfaches Monitoring: 200 Gebäude
- Detailliertes Monitoring: 10 Gebäude



Solarisierung des Campusareals

- Installation von 1 MW_p PV-Anlagen



BHKWs

- Dezentrale Versorgung mit mehr als 650 kW_{th} KWK
- Ergänzung der Kraftwerkskapazitäten des lokalen Energieversorgers
- Einbindung der Netzinfrastruktur angrenzender Stadtquartiere



Energiekostenbudgetierung

- Dezentrale Energiekostenrechnung in der Hochschulverwaltung mit direkter Energiekostenverantwortung für alle Institute



Flächeneffizienz

- Städtebauliche Nachverdichtung
- Zentralisierung mit Schwerpunkt Hauptcampus



Nutzerverhalten

- Kommunikationstrainings zur Nutzermotivation
- Ausbildung von 160 Energie-Coaches

b) Bereits vorliegende Ergebnisse

- Berichte für den Fördergeber und die Begleitforschung zu EnEff: Stadt
- Broschüre „EnEff Campus:blueMAP“ der TU Braunschweig (Inhalt: Projektübersicht, Ziele, Forschungsteam, Schwerpunktthemen, Ergebnisse, Ausblick)
- Diverse Veröffentlichungen (siehe [25] bis [32] im Literaturverzeichnis)

3.2.2.5 Umsetzung in die Lehre

Alle Arbeitspakete wurden von Beginn an in die Lehre integriert. Die dabei entstandenen Entwürfe sowie Seminar-, Bachelor- und Master-Arbeiten wurden mit direktem Bezug zum Forschungsprojekt erstellt.

Auf Seiten des Instituts für Gebäude- und Solartechnik wurden bei einer Vielzahl von Arbeiten Photovoltaik-Dachflächen- und Thermographieanalysen durchgeführt. Für die verschiedenen Standorte der Universität erfolgten Analysen der Freiflächenentwässerung. Zudem wurden für ausgewählte Gebäude ganzheitliche Energiekonzepte unter den Aspekten Sanierung vs. Abriss und Neubau entwickelt.

Am Institut für Städtebau und Entwurfsmethodik (ISE) beschäftigten sich Studierende im Rahmen von Entwürfen, Seminaren und Stegreifskizzen beispielsweise mit dem Thema „Guerilla Parking“, dem Campus als Stadtraum und dem Campusleben der Zukunft.

Das Institut für Psychologie, das sich im Rahmen des Projekts mit dem Schwerpunktthema Nutzerverhalten beschäftigt, betreute eine Vielzahl von Arbeiten zur motivierenden Gesprächsführung („motivational interviewing“). Zudem wurde das Thema Energieeffizienz in mehrere Lehrveranstaltungen integriert, um mit Studierenden im Rahmen ihrer fachlichen bzw. überfachlichen Vertiefung und Profilbildung psychologische Maßnahmen zum Energiesparen zu entwickeln und sie für das Thema zu sensibilisieren.

Studierende am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) untersuchten beispielsweise Konzepte zur Energieversorgung des Campus und entwickelten ein Gleichstromsystem zur effizienten Integration erneuerbarer Energiequellen.

Am Institut für Transportation Design (ITD) der Hochschule für Bildende Künste wurden u. a. das Mobilitätsverhalten von Studierenden an der TU Braunschweig sowie Ansätze zur Förderung des Einsatzes von Fahrrädern am Beispiel der Stadt und der TU Braunschweig untersucht.

3.2.2.6 Lessons Learned

a) Erfahrungen mit Entscheidungsprozessen

Keine Angabe

b) Hemmnisse und deren Überwindung

Im Rahmen des Arbeitspakets „Verkehr und Mobilität“ des Instituts für Transportation Design (ITD) wurde für den Herbst des Jahres 2012 eine Online-Umfrage geplant. Darin sollte das Mobilitätsverhalten aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter und Studierenden der TU Braunschweig abgefragt werden, um Optimierungspotenziale im Bereich Mobilität rund um die TU Braunschweig zu entdecken. Mit Hilfe dieses Basiswissens können für diese Gebiete Optimierungspotenziale für innovative energieeffiziente Mobilitätskonzepte identifiziert werden. Für Personal und Studierende bedeutet das beispielsweise Verbesserungen ihres Arbeitsweges durch intelligente Konzepte für den ÖPNV oder für fahrrad- und fußgängerfreundlichen Verkehr.

Im Zuge der Bearbeitung gab es erhebliche Verzögerungen bei der Vorbereitung für die Online-Umfrage und somit auch für die Beschaffung der erforderlichen Daten, die wichtiger Bestandteil zur Bearbeitung des Arbeitspakets sind. Dafür gab es mehrere Gründe:

- die zeitaufwendige Abstimmung mit dem Datenschutzbeauftragten der TU Braunschweig und dem Gesamtpersonalrat,
- ein allgemeines Unverständnis gegenüber dem Projekt und der Notwendigkeit einer Umfrage,
- die Inhalte der Online-Umfrage, die kombiniert den personenbezogenen Datenschutz hätten gefährden können, sowie
- Unklarheiten über die Rechtsgrundlage für den Vertrag zur Auftragsdatenverarbeitung, die nach niedersächsischem Datenschutzgesetz (NDSG) oder nach Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) bestanden.

In einer gemeinsamen Sitzung mit den Datenschutzbeauftragten der Hochschule für Bildende Künste und der TU Braunschweig, zwei Vertretern des Gesamtpersonalrats, dem Institut für Gebäude und Solartechnik und dem Institut für Transportation Design am 05.06.2013 stellte sich letztendlich heraus, dass der kritische Punkt die Übermittlung der Gesamtdaten seitens der TU-Mitarbeiter zur statistischen Hochrechnung war. Die freiwillige Umfrage an sich wurde als eher unproblematisch angesehen. In der Konsequenz wurden die Mitarbeiterdaten der TU systematisch von den Daten aus der Umfrage getrennt. Nach diesem modifizierten Verfahren konnte das Vorgehen genehmigt werden. Die personenbezogenen Daten der TU Braunschweig wurden über den Dienstweg angefragt und die Umfrage konnte unabhängig davon im September 2013 gestartet werden.

c) Energetische Benchmarks

Keine Angaben

d) Erfahrungen mit Technologien

Keine Angaben

e) Erfahrungen mit Planungshilfsmitteln

Städtebauliches Konzept

Als Grundlage für den zu erstellenden Masterplan für den Gesamtcampus bzw. die Einzelbereiche der TU Braunschweig wurden CAD-Unterlagen der universitären Anlagen (Stand 2011) beim Gebäudemanagement der TU, beim Institut für Geodäsie und Photogrammetrie und bei der Stadt Braunschweig (Stand 2002) abgefragt. Die erhaltenen Daten wurden in verschiedenen Maßstäben und Dateiformaten aufbereitet und ein einheitliches Layout zur Nutzung für alle Projektbeteiligten entwickelt, so dass der Informationsaustausch zwischen den Projektpartnern erleichtert wird.

Energetische Gebäudebewertung

Im Forschungsprojekt EnEff Campus wurde das Berechnungsprogramm „Solar-Computer“ als am besten geeignet bewertet, um den Gebäudebestand abzubilden und die Sanie-

ungsmaßnahmen nach DIN V 18599 zu berechnen. Die Software konnte sowohl hinsichtlich Anwendbarkeit als auch hinsichtlich Vergleichbarkeit der Ergebnisse überzeugen. Darüber hinaus wurden eigene Berechnungsprogramme und -methoden auf Basis von MS Excel entwickelt und angewendet.

In einer projektbegleitenden Recherche und Zusammenstellung von Programmen zur Berechnung, Modellierung und Planung von Quartieren sollten die Anwendbarkeit und der Nutzen für das vorliegende Forschungsprojekt überprüft werden. Ein Hauptaugenmerk lag darin auf den Planungsinstrumenten, die im Rahmen des Forschungsprogramms EnEff:Stadt entwickelt wurden und werden. Untersucht werden sollten dabei unter anderem die Handhabbarkeit der Programme und die Anwendung speziell auf universitäre Gebäude wie Laborgebäude, Forschungseinrichtungen, Hörsäle und Bibliotheken. Zudem sollte bewertet werden, welche Berechnungs- und Umsetzungsmöglichkeiten die Programme im Einzelnen bieten.

Leider konnte zum Zeitpunkt der Recherchen lediglich das Programm „Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere (Quartiers ECA)“ tatsächlich angewendet werden. Bei diesem Tool, das im April 2013 vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik zur kostenfreien Nutzung herausgegeben wurde, ist die vereinfachte Modellierung eines Stadtquartiers mit Hilfe vorgefertigter Gebäudenutzungstypen und Energieversorgungsvarianten möglich. Als Ergebnis werden Jahres-Energiebedarfswerte für die entsprechenden betrachteten Quartiersvarianten ausgegeben, die miteinander verglichen werden können. Für die detaillierten Berechnungen und Konzeptentwicklungen im vorliegenden Forschungsprojekt, z. B. die Betriebsoptimierung von RLT-Anlagen oder die detaillierte Planung und Auslegung von BHKWs und PV-Anlagen, ist dieses Programm jedoch aufgrund der vereinfachten Berechnungen von Gebäudeenergiebedarfswerten auf Grundlage der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) nicht geeignet.

Weitere betrachtete Programme für die Quartiersplanung befinden sich zum Zeitpunkt dieser Publikation noch in der Entwicklungsphase und können zurzeit noch nicht eingesetzt werden.

Energieversorgung

Um die Energieversorgung zu analysieren und zu bewerten, kamen verschiedene, eigens in MS Excel erstellte Simulationsmodelle zum Einsatz, z. B. für die Dimensionierung und Bewertung von BHKWs oder zur Auslegung einer Ladesäuleninfrastruktur für den Ausbau der E-Mobilität. Um die Photovoltaik-Dachflächen des Campus der TU Braunschweig zu analysieren, wurden die Programme „SunArea“ (Solarpotenzial-Kataster) und „PV-Sol“ verwendet.

3.3 Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg

Autoren: Oliver Opel, Karl F. Werner, Susanne Ohse

3.3.1 Projektsteckbrief

Projektname	Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg		
Projektbild	 <p>Ostteil des Campus mit BHKW-Zentrale und Neubau (Quelle: Leuphana Universität Lüneburg)</p>		
Universität	Leuphana Universität Lüneburg Scharnhorststraße 1 21335 Lüneburg		
Projektbeteiligte	Leuphana Universität Lüneburg	GFZ Potsdam	GTN Neubrandenburg
	RWTH Aachen	EPA Aachen	SIZ energie+
	Emutec GmbH	Arup GmbH	rw+ Architekten

Anzahl und Art der beinhalteten Gebäude	3 Verwaltungsgebäude, 1 Bibliothek, 5 Hörsaalgebäude, 1 Mensa (inkl. Büros), 10 Institutsgebäude (Seminarräume, Büros, Labore und Medienzentrum), 1 Ateliergebäude, 1 Zentralgebäude (Seminarräume, Büros, Labore, Mensa, Hörsaal), 1 Büro- und Cafégebäude, 1 Sporthalle, 1 Fitness- und Gymnastikzentrum Gesamt: 25 Gebäude			
Neubauten im Projekt	Zentralgebäude			
Baujahr der Gebäude	Altgebäude 1936, Mensasaal 1990, Bibliothek und Hörsäle 1996, Zentralgebäude 2016			
Bauqualität vor dem Projekt	Dem Baualter entsprechend wurden in den Gebäuden aus dem Jahr 1936 Dach- und Heizungssanierungen durchgeführt. 2010 wurde das Nahwärmesystem saniert.			
Energieversorgung im Bestand	Das Gelände wird aus einer Energiezentrale des Versorgers Avacon mit Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung versorgt (2 BHKWs + 2 Kessel mit insgesamt 525 kW _{el} und 10 MW _{th} , 50 m ³ Speicher). Der Energieträger ist Erdgas.			
Energiepreise	Energieträger	Fixkosten [€/a]	Arbeitspreis [€/kWh]	
	Nahwärme (3,6 MW)	112.140	0,060	
	Strom (834 kW Mittelspannung)	82.500	0,149	
	Kälte (350 kW), nur für den Neubau	35.000*	0,045*	
	* vorläufige Annahme			
Projektlaufzeit	10/2010 – 12/2016			
Art des Projekts	Planung	Simulation	Umsetzung	Messung
	● ●	● ●	●	
Projekthalt	<ul style="list-style-type: none"> • Klimaneutrale Energieversorgung (Null- oder negative Treibhausgas-Bilanz) • Einsparung im Bestand (30 % Endenergie, 50 % Primärenergie) • Effizienter Neubau (< 100 kWh/m²a Endenergie) • Nutzereinbindung (Ambient Computing) 			
Projektkosten	Insgesamt: 4.308.433 € davon Umsetzungsmaßnahmen (KG 300-400): 2.833.848 €			

Maßnahmen an den Gebäuden	<p>Bestand (Energieeinspar-Contracting):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Optimierung Heizkreise, Abschaltung Nahwärme im Sommer • Neue Zähler und Effizienzpumpen • LED-Beleuchtung und Einzelraumregelung • Deckenstrahlplatten in der Turnhalle • Schnelldampferzeuger in der Mensa <p>Neubau:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Wärmenutzung auf zwei Temperaturniveaus und interne Kaskadierung • LED-Tages- und Kunstlichtsystem • Schaltbare Verglasung in der Südost- und Südwestfassade • Aktivierte PCM-Kühldecken • Vakuumisolationspaneele (Terrasse) • Intelligente Gebäudetechnik zur Nutzereinbindung • Monitoringkonzept und Modellräume 				
Maßnahmen an der Energieversorgung	<p>EU-weite Ausschreibung für Energieliefer-Contracting mit Bewertung von Exergieeffizienz (30 %), erneuerbarer Energie-Nutzung (30 %) und Preis (40 %). Umgesetztes Konzept: Modernisierung der BHKWs und Umstellung auf Biomethan, Option auf Errichtung eines Aquiferspeichers. Energieeinspar-Contracting mit Installation von 650 kW_p Photovoltaik, damit insgesamt 720 kW_p inkl. Bestandsanlagen, und diversen Einsparmaßnahmen.</p>				
Beheizte Nettogrundfläche	Vor dem Projekt		Nach dem Projekt		
	56.148 m ²		80.581 m ²		
Energieverbrauch vor dem Projekt (gemessen)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
Wärme	5.928	107	2.512	44,7	
Kälte	-	-	-	-	-
Strom	2.307	41	5.829	104,0	
Summe	8.235	147	8.341	149,0	

Energieverbrauch nach dem Projekt (berechnet)	Endenergie		Primärenergie	
	MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
Wärme	5.326	66,0	569 5.475**	7,1 -53,7**
Kälte	228 66*	12,9 3,7*	88	4,3
Strom	2.175	27,0	3.469	45,0
Summe	7.501	93,1	4.126 -1.918**	51,2 -23,8**
berechnet gemäß DIN V 18599 * Kältebedarf nur für Neubau, berechnet mit der Simulationssoftware DOE.2E ** primärenergetische Bewertung bei Anrechnung von Biomethan als erneuerbare Energie (Primärenergiefaktor 0,5)				
Bereits vorliegende Projektergebnisse	Diverse Abschlussarbeiten und Konferenzbeiträge. Weitere Forschungsergebnisse werden in Kürze veröffentlicht.			

3.3.2 Projektbeschreibung

3.3.2.1 Der Campus vor dem Projekt

Der nördliche Teil der alten Kaserne an der Scharnhorststraße, 1936 errichtet, wurde in den 1990er Jahren unter Nutzung der alten Kasernengebäude in Universitätsgelände umgewandelt. Im südlichen Teil befindet sich heute das Wohngebiet Bockelsberg mit 504 Wohneinheiten, diversen Geschäften und Gewerbebetrieben.

Bereits im Zuge der Umwandlung (Konversion) wurde für die Energieversorgung des Bockelsbergs auf Kraft-Wärme-Kopplung gesetzt. Im Bereich der Universität wurde das noch aus den 1930er Jahren stammende Dampfnetz als Wärmenetz verwendet, das 2010 vor Beginn des Projekts saniert wurde. Außerdem gibt es ein universitätseigenes Niederspannungsnetz für die Stromversorgung.

Neben den 14 von der Universität genutzten alten Kasernengebäuden in Vollziegelbauweise werden zwei ehemalige Gebäude in privater Trägerschaft als Studentenwohnheim verwendet, die bereits über isolierverglaste Fenster verfügen, während die von der Universität genutzten Gebäude überwiegend noch Einscheiben-Doppel-Kastenfenster besitzen. Die in den 90er Jahren vorgenommenen Erweiterungen (Speisesaal, Hörsäle, Bibliothek) sowie ausgebauten Hallen (Ladenzelle, Fitnessstudio) verfügen über Isolierverglasung und dem damaligen Baustandard entsprechende Dämmung. Die Dachgeschosse der Universitätsgebäude wurden von

2007 bis 2013 sukzessive nach jeweils gültiger EnEV ausgebaut (seit Projektstart 6.713 m²) und verfügen über Isolierverglasung bzw. Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung. Die Mensa, der Speisesaal, die Hörsäle und die Bibliothek verfügen über mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung.

Die in der Ladenzeile untergebrachten Drittnutzer auf dem Campus (Sparkassenfiliale, Techniker Krankenkasse, Unibuch, Campus Copy) sowie das Fitnesszentrum werden ebenso wie ein Kindergarten über das Wärmenetz mitversorgt.

Die bauliche Entwicklung des Campus Scharnhorststraße basiert auf einer Flächenplanung, die im Zuge einer profilbildenden Neuausrichtung der Universität mit den Säulen Humanismus, Nachhaltigkeit und Handlungsorientierung entstand. Sie folgte zeitlich auf die Fusion der Universität Lüneburg mit der Fachhochschule Nordostniedersachsen und die Umwandlung in eine Stiftungsuniversität. Basis ist die Zusammenführung der drei Lüneburger Standorte auf dem Campus Scharnhorststraße, um Pendelverkehre zu vermeiden und die Vorteile eines Universitätscampus vollständig nutzen zu können. Das von Daniel Libeskind entworfene und in studentischen Seminaren optimierte neue Zentralgebäude mit 17.720 m² Nettogrundfläche stellt ein international sichtbares Zeichen der Bologna-Modelluniversität dar und repräsentiert ihr inhaltlich konsequent an inter- und transdisziplinärer Forschung und Lehre ausgerichtetes Profil. Zeitgleich mit der Aufnahme der Planungen für die bauliche Campuserweiterung wurde die „klimaneutrale Universität“ als Ziel festgelegt. Zu diesem Zeitpunkt emittierte die Universität jährlich ca. 8.000 t CO₂, zwei Drittel davon aus Pendelverkehren und Dienstreisen.

Es fehlte ein großer Hörsaal, um fächerübergreifende Veranstaltungen im Leuphana-Semester (Studium Generale) und Komplementärstudium sowie Gastvorlesungen, akademische Feiern und sonstige große Veranstaltungen durchführen zu können. Weiterhin sollten eine Cafeteria, Seminarräume, Arbeitsräume für Forscher, Gruppenräume und flexibel zu nutzende Flächen für Studierende geschaffen werden. Zudem sollte das Gebäude als Stadthalle bzw. für Musikveranstaltungen, öffentliche Lesungen, Messen und Ausstellungen genutzt werden können, um eine hohe Auslastung zu gewährleisten.

3.3.2.2 Die beteiligten Akteure

a) Prozesse der Universität

- Bauherr: Stiftung Universität Lüneburg
- Projektleitung: Susanne Ohse, Leiterin Stabsstelle Campuserweiterung
- Mitarbeiter Stabsstelle: Frank Sudfeld (Hochbau), Oliver Günther (Hochbau), Simone Endler (Hochbau), Daniela Wöbken (Assistenz)
- Projektsteuerung: Schmitz Reichard (Aachen)
- Forschungsteam Leuphana: Prof. Wolfgang Ruck (Projektleiter), Dr. Oliver Opel (Projektkoordinator), Dipl.-Ing. (FH) Karl F. Werner M. Eng. (Bautechnik), Dipl.-Ing. Nikolai Strodel

(Energietechnik), M. A. Andreea Tribel (Kommunikationswissenschaft), M. Sc. Jan Geffken (Nutzereinbindung)

b) Projekt

- Entwurfsverfasser: Prof. Daniel Libeskind (Leuphana Universität/New York)
- Ausführender Architekt: Büro rw+ (Berlin)
- Statik: Boll und Partner GmbH (Stuttgart)
- Fachplaner Gebäudetechnik: emutec GmbH (Norderstedt)
- Fassadenplanung: Arup GmbH (Berlin)
- EnEV-Berechnung: Arup GmbH (Berlin)
- Außenanlagen: Karres en Brands (Niederlande)
- Energieliefer-Contracting: Avacon Natur GmbH
- Energieeinspar-Contracting: Cofely Deutschland GmbH
- Forschung extern: GeoForschungsZentrum GFZ, Helmholtz-Zentrum Potsdam (Energiesystemmodellierung und Speicher), Geothermie Neubrandenburg (geologisch-technische und wirtschaftliche Machbarkeitsanalyse und Speichermodellierung), EPA Aachen (dynamische Energiesystemmodellierung), RWTH Aachen (dynamische Energiesystemmodellierung), SIZ Innovationszentrum energie+, energydesign Braunschweig (Monitoringkonzept)
- Forschungsteam Leuphana: Prof. Wolfgang Ruck (Projektleiter), Dr. Oliver Opel (Projektkoordinator), Dipl.-Ing. (FH) Karl F. Werner M. Eng. (Bautechnik), Dipl.-Ing. Nikolai Strodel (Energietechnik), M. A. Andreea Tribel (Kommunikationswissenschaft), M. Sc. Jan Geffken (Nutzereinbindung)

3.3.2.3 Projektinhalt

a) Projektziele

Für den Neubau sollte die vorhandene, exergetisch bereits recht günstige Infrastruktur genutzt und optimiert werden. Um Speicher besser integrieren zu können, sollte niedrig-exergetische Wärmeenergie zur Auskühlung des Rücklaufs im Campusnetz genutzt werden. Die Energiebereitstellung für den Campus sollte auf erneuerbare Energien umgestellt und dabei klimaneutral gestaltet werden.

Da für den Neubau von niedrigem Primärenergiebedarf für die Wärmeversorgung ausgegangen werden konnte, lag der Fokus auf dem sparsamen Umgang mit Kälte und elektrischer Energie. Der Endenergiebedarf sollte dabei 100 kWh/m²a nicht überschreiten. Um dies zu erreichen, sollten innovative Technologien eingesetzt werden.

Das unter Einbindung von Studierenden der Kultur- und Umweltwissenschaften erarbeitete Gebäudekonzept sah zur Einsparung elektrischer Energie bereits eine freie Lüftung der fassadenseitigen Büros im zentralen Forschungszentrum sowie Nachtauskühlung vor. Kubatur, Fassadenausrichtung und Fensterflächen wurden ebenfalls zur Kältelastreduktion sowie auf ein günstiges Außenfläche-zu-Volumen-Verhältnis optimiert.

Energieeinsparungen im Bestand sollten (wie die Energieversorgung) durch Energieeinspar-Contracting umgesetzt werden. Eine Vorstudie ergab Potenziale im Bereich von 30 % Endenergie.

Im Projekt erforschte innovative Technologien und Konzepte sind folgende:

- effizienter Neubau,
- exergieoptimierte Energienutzung,
- Wärmespeicherung und Regelenergieeinbindung sowie
- intelligente Gebäudetechnik und Nutzereinbindung.

b) Projektarbeiten und Projektstand

Neubau

- **Energetische Konzeption und Fachplanungsleistungen:** Planerisch wurden die Einbindung des Gebäudes in das Campusnetz sowie der Einsatz von Vakuumisolierverglasung, schaltbarer Verglasung, PCM-Klimadecken, Vakuumisolierpaneelen sowie nutzungsabhängiger, effizienter Lüftungstechnik und Luftführung und das LED-Tages- und Kunstlichtsystem bearbeitet. Zudem wurde eine Verschattungsstudie erstellt.
- **Dynamische Modellierung:** Modelliert wurden der Wärme- und Kältebedarf sowie der Bedarf an elektrischer Energie für Beleuchtung und Geräte mit Hilfe von DOE.2E. Der modellierte Kältelastgang wurde der Kälteanlagenplanung zugrunde gelegt.
- **Beratung des Bauherrn und Umsetzungsbegleitung Energiekonzept:** Der Bauherr wurde während der Planung und Bauzeit in regelmäßigen Steuerungsrounds sowie in Planungssitzungen, Workshops, Besprechungen zu bestimmten Themen und Teamsitzungen bei der Umsetzung des energetischen Konzepts von den beauftragten Fachplanern beraten und unterstützt.
- **Planung und Umsetzung Monitoringkonzept und Nutzereinbindung:** Ein gebäudetechnisches Konzept für die Nutzereinbindung sowie ein Monitoringkonzept wurden erstellt und in der Umsetzung begleitet.
- **Projektkommunikation:** Das Projekt wurde regelmäßig interessierten Besuchergruppen sowie auf Veranstaltungen durch Vorträge und Führungen erläutert.

Campus

- **Ausschreibung und Vergabe Energieeinspar- und Energieliefer-Contracting:** Das Forschungsteam setzte die Ausschreibungskriterien fest und begleitete das zweistufige Verhandlungsverfahren, in dem insbesondere auf die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den beiden Vorhaben eingegangen werden musste. Ausschreibungskriterien waren die Einsparung von Primärenergie in Prozent des damaligen Bedarfs und der damals vorhandenen Versorgungsstruktur sowie die Reduktionskosten in €/kWh.
- **Dynamische Modellierung:** Der Campus wurde bautechnisch und energietechnisch erfasst und mit Hilfe von DOE.2E modelliert.
- **Begleitung der Umsetzung:** Das Energieeinspar-Contracting wurde inhaltlich und organisatorisch vom Forschungsteam und der Betriebstechnik unterstützt.

- **Projektkommunikation und Nutzereinbindung:** Während der Konzeption und Planung der Einsparmaßnahmen wurde insbesondere die Betriebstechnik eingebunden. Bei der Umsetzung gab es Gespräche mit den Nutzerinnen und Nutzern, Informationsveranstaltungen und Informationen auf Info-Screens in der Mensa und im Hörsaalgang. Die Umsetzung der Einzelraumregelung und der Nutzereinbindung über die Haustechnik wurden, ebenso wie die Arbeiten und die Einregulierung der Heizungssysteme, in einer Arbeitsgruppe des Personalrats begleitet, um Fragen des Datenschutzes und des gewünschten thermischen Komforts zu begleiten.

Energiesystem

- **Exergiebasierte Variantenbetrachtung:** Der Ausschreibung vorausgehend wurde ein Benchmark-Szenario auf der Basis von Kraft-Wärme-Kopplung festgelegt und exergetisch bilanziert. Zudem wurden zwei Speicherkonzepte (Kurzzeitspeicherung für stromgeführten Betrieb mit 200 m³ Wasserspeicher und Langzeitspeicherung für hohe KWK-Anteile und Einsparung exergetisch ineffizienter Spitzenlastkesselnutzung) einander gegenübergestellt. In diesem Vergleich schnitt die Langzeitspeicherung mit geringem Effizienzvorsprung (durch höhere saisonale Speicherverluste, angenommen wurden 60 % Wirkungsgrad) besser ab.
- **Ausschreibung/Vergabe Energiesystem:** Die Ausschreibung der Energieversorgung mit Wärme und Kälte erfolgte für den gesamten Campus. Bewertet wurden in einem Punktesystem der Preis (40 %), der Einsatz erneuerbarer Energien (30 %) sowie qualitativ auf der Basis der Benchmark-Szenarien die exergetische Qualität der Angebote (30 %). Die Vergabe wurde ebenfalls in einem zweistufigen Verfahren durchgeführt, um die Abhängigkeiten zwischen wirtschaftlicher Energieeinsparung (abhängig von den zukünftigen Energiepreisen) und Energiebezug (abhängig vom sich zukünftig ergebenden Bedarf) bearbeiten und zusammenführen zu können.
- **Geologisch-technische Machbarkeitsanalyse Aquiferspeicher:** Bestandteil der Ausschreibung war auch die optionale Errichtung eines Aquiferspeichers, dessen geologische Machbarkeit parallel zum Vergabeverfahren untersucht und in das Verfahren eingebracht wurde. Es ergab sich, dass in Lüneburg geologisch eine günstige Situation vorliegt. Außerdem wurden die Höhe der Investitionen (ca. 4 Mio. € für 150.000 m³ Wasseräquivalent) und die Betriebskosten (ca. 40.000 €/a) einer solchen Lösung ermittelt.
- **Wasserchemische Modellierung:** Bestandteil der Machbarkeitsanalyse war ebenso die wasserchemische Modellierung mit dem Gleichgewichtsmodell PHREEQ, um die maximal mögliche Einspeichertemperatur in Abhängigkeit von Lösungs- und Fällungsprozessen zu bestimmen. Mit 90 °C möglicher Einspeichertemperatur stellte sich die zu erwartende Wasserchemie als für Hochtemperaturspeicherung geeignet dar.
- **Dynamische Modellierung mit Kopplung Finite-Elemente-Modell mit dem Simulationsprogramm FeFlow:** Im weiteren Verlauf wurde der Speicher für das Abnehmersystem Bockelsberg mit dem Finite-Elemente-Modell FeFlow sowie mit TRNSYS unter Variation verschiedener Parameter modelliert, um bestmögliche Speichereinbindung und Potenziale für dieses Abnehmersystem zu erhalten. Dabei wurden die Niedrigexergieheizsysteme

me des Zentralgebäudes einbezogen, die eine Nutzung der gespeicherten Wärme bis unter 30 °C (fast auf dem Niveau der natürlichen Temperatur des Speicherhorizonts in 450 bis 500 m Tiefe) und damit hohe Rückgewinnungsgrade ermöglichen. In der numerischen Simulation wurde zudem eine neuartige Speichervariante erarbeitet, in der die warme und die kalte Seite hydraulisch beeinflusst werden können. Das senkt die Kosten und erhöhte in der Simulation den Speicherwirkungsgrad.

- **Wirtschaftlichkeitsuntersuchung:** Basierend auf dem energetischen Modell wurde die saisonale Speicherung von Wärme aus Biomethan-Kraft-Wärme-Kopplung im Netz Bockelsberg auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Unter Annahme eines Zeitraums von 15 Jahren – das entspricht in etwa der verbleibenden Laufzeit der noch bestehenden Erzeugungsanlagen in der EEG-Förderung – stellte sich für dieses Abnehmersystem zunächst keine ausreichende Wirtschaftlichkeit heraus: Es würden 80 % Investitionsförderung benötigt. Ursache dafür ist die geringe Ausnutzung des Systems: Es wären im Netz Bockelsberg nur ca. 3,25 GWh Wärme zur saisonalen Einspeicherung vorhanden, der Speicher könnte bei gleichen Errichtungskosten jedoch mindestens 10 GWh speichern.
- **Nachhaltigkeitsbewertung Biomethan:** Da laut Vorgabe der Stiftung Biomethan als Brennstoff eingesetzt werden sollte, wurden die Nachhaltigkeitseffekte dieses Brennstoffs (Treibhausgasausstoß, Flächenverbrauch) untersucht und bewertet. Der spezifische Treibhausgasausstoß für auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas beträgt nach dem Stand der Technik je nach Eingangsstoff inklusive aller Vorketten ca. 50-80 g/kWh [33-36]. Allerdings ist für diesen Brennstoff als negativ zu bewerten, dass der vermehrte Anbau von Biogassubstraten einen Flächendruck auf andere Feldfrüchte und die Erhöhung der Pachtpreise für Ackerflächen bewirkt. Der Anbau war dabei mitunter auch auf umgebrochenem Grünland rentabel, das von der EU nicht als Ackerland subventioniert wird. In Bezug auf diese Problematik kann also durch die Änderungen im EEG eine Entspannung erwartet werden. Eine Perspektive ist vor allem die vermehrte Nutzung in KWK als wichtiger Treiber der noch kaum vollzogenen Wärmewende. Die Aufbereitung und Einspeisung von Biomethan bietet dafür eine Möglichkeit.
- **Untersuchung Erweiterungsmöglichkeiten Netz Bockelsberg:** Um einen wirtschaftlichen Einsatz des Speichers zu erreichen, wurden gemeinsam mit dem Versorger und der Stadt und weiteren Akteuren Varianten zur Erweiterung des Wärmenetzes Bockelsberg bzw. einer Zusammenlegung der Netze Bockelsberg und Lüneburg-Mitte diskutiert und auf der Basis bereitgestellter Ist-Daten modelliert. Hierbei stellte sich ein bei 50 % Förderung wirtschaftliches Potenzial von 13 GWh eingespeicherter Wärme und 9 GWh (~70 %) wieder nutzbarer Wärme (bei 10 GWh höherer Stromproduktion und > 3.000 t CO₂/a Reduktionspotenzial) heraus. Zusätzliche Einnahmequellen könnten die Einbindung von Regelenergienutzung (Power-to-Heat), Abwärme und ggf. solarer Wärme sein.
- **Projektkommunikation und Vorbereitung Umsetzung Aquiferspeicher:** Basierend auf den positiven Ergebnissen eines Speichers für ein größeres Abnehmersystem, der als Baustein einer effizienten und klimafreundlichen Wärmeversorgung in den Altstadtgebieten von Lüneburg mit hoher Wärmebedarfsdichte eingesetzt werden könnte, wurden diese Pläne der Öffentlichkeit vorgestellt sowie im Lüneburger Nachhaltigkeitsrat und

im Umweltausschuss beraten. Das Umweltdezernat der Hansestadt Lüneburg wird dazu runde Tische mit den relevanten Akteuren einberufen, um eine Struktur für das Umsetzungsprojekt zu finden.

Nutzereinbindung:

- **Konzeption GA und GLT-Konzept für den Neubau:** Für die technische Umsetzung wurden Sensor- und Aktorsysteme festgelegt sowie ein Konzept für den Datenexport aus der Gebäudeleittechnik und Nutzereingriffe in die Sollwertsteller erarbeitet.
- **Semiotische Fundierung und Konzeption:** Um eine möglichst hohe Akzeptanz und Nutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, wurde das Konzept kommunikationswissenschaftlich untersetzt, um Designprinzipien und Funktionalitäten für die Benutzeroberfläche ableiten zu können.
- **Planung und Umsetzung in Campus und Neubau:** Um den Komfort für die Nutzerinnen und Nutzer zu erhöhen und Energieeinsparpotenziale aufzudecken, wurden 14 Modellräume mit einem erweiterten Sensor-Aktor-System ausgestattet. Dieses wird hinsichtlich der Auswirkungen unterschiedlicher Steuerungsoptionen auf Energieeinsparung gegenüber Betriebskosten und Komfort evaluiert.

c) Projektkosten

	Dachausbau	Contracting	Zentralgebäude	Förderung
KG 300	6.500.000 €	–	40.000.000 €	1.000.000 €
KG 400	3.500.000 €	3.100.000 €	15.000.000 €	1.834.000 €

3.3.2.4 Projektergebnisse

Neubau (Berichte werden mit Abschlussbericht veröffentlicht)

- EnEV-Berechnung
- dynamische Modellierung Wärme-, Kälte- und Strombedarf
- Verschattungsstudie
- Planungsunterlage Vakuumverglasung
- Planungsunterlage E-Control
- Planungsunterlage PCM-Klimadecken

Campus

- Contracting 1. Jahr (noch in der Einregulierungsphase) [37]

Energiesystem

- Speichereinbindung [38-40]

Nutzereinbindung

- Konzept und semiotische Fundierung [41-43]

3.3.2.5 Umsetzung in die Lehre

Die Thematisierung erfolgt hauptsächlich

- im Leuphana-Semester (Studium Generale 1, Semester mit Abschlusskonferenz, neues Projekt Lüneburg 2030+: fächerübergreifende, geförderte Veranstaltungsreihe in Kooperation mit der Stadt zum Envisioning; Ziel: Lüneburger Zukunftsatlas mit Maßnahmen in etlichen Nachhaltigkeitsbereichen),
- im Komplementärstudium (studiengangunabhängige Wahlpflichtveranstaltungen) sowie
- im Master Nachhaltigkeitswissenschaften (transdisziplinäre Projektseminare, erneuerbare Energien und Bachelor-/Master-Arbeiten).

3.3.2.6 Lessons Learned

a) Erfahrungen mit Entscheidungsprozessen

- Entscheidungsprozesse erfordern ein hohes Maß an Kommunikation – je größer die Anzahl der Stakeholder, desto wichtiger und zeitraubender die Abstimmungsprozesse.
- Vor allem im Neubau sind regelmäßige gemeinsame Steuerungsrunden der verschiedenen Teilprojektleiter eine Voraussetzung für integrale, baubegleitende Prozesse.
- Verbindliche Ziele – zum Beispiel vom Fördergeber vorgegebene – sind im Widerstreit der Interessen wichtige und notwendige Durchsetzungsinstrumente für Ansprüche, die über gesetzliche Anforderungen hinausgehen. Anderenfalls sind Energieeffizienz und Nachhaltigkeit unter Kostendruck in der Regel kein Muss, weil die Energiepreise weiterhin verhältnismäßig niedrig und Betriebskosten oft über gesonderte Finanzierungen, Umlagen oder spezifische Zuwendungen abgedeckt sind.
- Infrastrukturprojekte (bspw. Groß-Wärmespeicher, Netzausbau) sind ebenfalls stark von der Kommunikation und richtigen Ansprache der Akteure abhängig.
- Contracting ist eine für öffentliche Liegenschaften gut geeignete Art, um Energieeinsparmaßnahmen umzusetzen und Energie bereitzustellen.
- Bei umfangreichen Maßnahmen sind die internen Personalkapazitäten und Baumittel schnell limitierend, insbesondere wenn Kredite als Finanzierungsoption ausscheiden.
- Insbesondere beim Einspar-Contracting bestehen Herausforderungen in der Vereinbarkeit von Wirtschaftlichkeit, Nutzerwünschen (insbesondere durch die sehr variablen und individuellen Nutzungsarten und -zeiten) und organisatorischen Prozessen.
- Die Schnittstelle Betrieb der energierelevanten Anlagen und Instandhaltung der Liegenschaft (durch den Nutzer) und Wartung/Reparatur der im Rahmen des Contracting installierten Anlagen (durch den Contractor) muss individuell ausgestaltet werden.

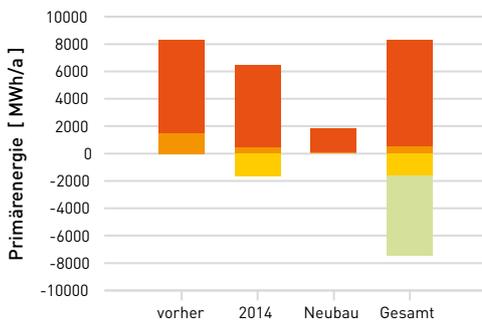
b) Hemmnisse und deren Überwindung

- Energieeinsparmaßnahmen können von einem Teil der Nutzer als Einschränkung und vom technischen Personal als Zusatzbelastung empfunden werden.
- Nützlich sind verbindliche, von den relevanten Entscheidern festgelegte bzw. mitgetragene und kommunizierte Ziele, die frühzeitige Einbindung der Nutzer und des technischen Personals bereits in der Projektkonzeption und -strukturierung („Wer macht was“ am besten genauso früh klären wie die Finanzierung!) und kommunizierbare (Teil-)Erfolge.

c) Energetische Benchmarks

- In der dynamischen Modellierung wurde der Strombedarf verschiedener Geräte wie PC, Drucker, Kopierer, Dimmer-Raum oder Veranstaltungstechnik mit erfasst, da diese den Wärme- und Kältebedarf beeinflussen.
- Für den Campus liegen bereits Messdaten aus einem Jahr nach Umsetzung des Contracting vor. Beachtet werden muss außerdem die in der Projektlaufzeit gestiegene Studierendenzahl (von ca. 6.500 auf über 9.000).
- Bei Anrechnung von Biomethan als Biogas ergibt sich mit den Messwerten von 2014 und dem modellierten Energiebedarf des Neubaus bereits eine fast ausgeglichene Primärenergiebilanz (Bild 3.3.1, links) unter Einbeziehung des Nutzerstroms. Bild 3.3.1, rechts zeigt die Endenergieflüsse.

Primärenergie



Endenergie

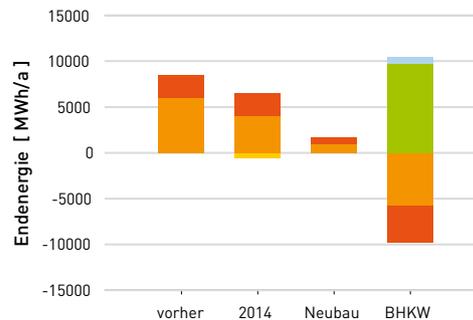


Bild 3.3.1: Primärenergie inkl. Nutzerstrom (links), Endenergiebedarfe und Erzeugung (rechts) (Quelle: Leuphana Universität Lüneburg)

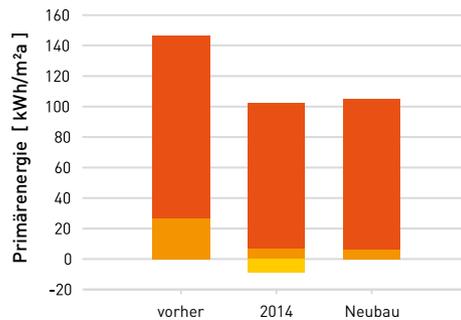
- Wärme inkl. WW
- Strom (inkl. Nutzer)
- PV
- Differenz Biomethan
- Biomethan
- Erdgas

- Der gemessene spezifische Primärenergieverbrauch des Campus liegt erheblich unter dem errechneten Bedarf und ist vergleichbar mit dem berechneten Bedarf des bautechnisch deutlich anspruchsvolleren Neubaus (Bild 3.3.2).

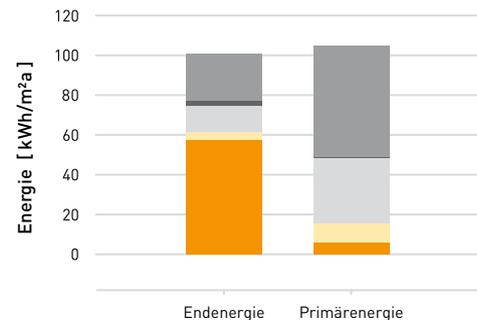
Bild 3.3.2: Spezifischer Primärenergiebedarf (links), Spezifischer End- und Primärenergiebedarf Neubau (rechts) (Quelle: Leuphana Universität Lüneburg)

- Wärme inkl. WW
- Strom (inkl. Nutzer)
- PV
- Beleuchtung
- Lüftung
- Kühlung
- Nutzer/Geräte

Spezifische Primärenergie



Spezifische Energie Neubau



- Auslastung und Nutzerverhalten (inkl. Öffnen der Fenster) sind die größten Unsicherheits- bzw. Einflussfaktoren.
- Dynamische Modellierung und EnEV-Berechnung sind sehr ähnlich, Unterschiede können durch Annahmen in der dynamischen Modellierung erklärt werden.
- Nutzungsabhängig sind 6-15 % Einsparung bei Wärme bzw. Strom durch Interaktion zu erwarten.
- Nutzen der schaltbaren Verglasung (E-Control): Wärme ca. 60 MWh, Kälte ca. 4 MWh (da hauptsächlich in ungekühlten Flächen verwendet) und Begrenzung der Temperatur auf angenehme Werte (max. 26 °C laut dynamischer Simulation) ohne Energieverbrauch. Der Schaltvorgang benötigt nur 1 W/m², die maximale Schaltdauer beträgt 10 min.

d) Erfahrungen mit Technologien

- Im Neubau lässt sich ein geringer Strombedarf für Kälte und Beleuchtung ohne großen gebäudetechnischen Aufwand verhältnismäßig leicht realisieren.
- Durch die freie Lüftung der fassadenseitigen Büros des Forschungszentrums und die vermiedene Kühlung durch die schaltbare Verglasung werden ca. 100 MWh Strom pro Jahr eingespart. Trotzdem befindet sich der gemäß Berechnung größte Primärenergieverbraucher im Neubau: die Lüftung (neben dem Nutzerstrom bzw. Geräten).
- Photovoltaik ist im Eigenverbrauch auch bei Ost- und Westausrichtung eine der interessantesten Erzeugungsvarianten und trägt effektiv dazu bei, die Kosten für Netzstrom zu verringern.
- Bei effizienter und klimafreundlicher Wärmeversorgung ergeben sich geringere Gesamtprimärenergiebedarfe, auch bei Fensterlüftung und entsprechend höheren Wärmebedarfen.
- Kraft-Wärme-Kopplung eignet sich für Altbauten hervorragend und ist energiesystemisch komplementär zur dezentralen Energieerzeugung in effizienten, teilautarken und Energieplus-Neubauten.

- Die CO₂-reduzierenden Effekte bei Nutzung von Biomethan-Kraft-Wärme-Kopplung sind bedingt durch die energiesystemischen Effekte (Verdrängung von Kohlestrom) und die geringen spezifischen Emissionen dieses Brennstoffs (< 100 g CO₂-Äquivalent/kWh) sehr hoch (ca. -500 g CO₂-Äquivalent/kWh_{th}).
- Zur Versorgung von 0,25 km² Mischgebiet mittlerer Dichte mit Wärme aus Biomethan-Kraft-Wärme-Kopplung wird eine Anbaufläche von ca. 1 km² benötigt. Der erzeugte grundlast- und regelenergiefähige Strom kann jedoch zwei- bis sechsmal so viele Gewerbebetriebe und Haushalte (je nach Eigenerzeugungsgrad und Effizienz) mit Grundlaststrom versorgen.
- Die Maßnahmen am Standort Campus Scharnhorststraße-Bockelsberg führen zu einer ausgeglichenen Treibhausgasbilanz für Strom, Wärme und Dienstreisen sowie Dienstfahrzeuge der gesamten Universität sowie Strom und Wärme des Gebiets Bockelsberg. Die jährliche Einsparung beträgt ca. 7.400 t CO₂-Äquivalent/a gegenüber der Versorgung mit Kessel.
- Methan aus erneuerbaren Energien sollte bei Nutzung in Kraft-Wärme-Kopplung entsprechend seiner ökologischen Wirkung (hier am Beispiel Biomethan dargestellt) primärenergetisch der direkten Biogasnutzung gleichgestellt werden (Primärenergiefaktor 0,5).

e) Erfahrungen mit Planungshilfsmitteln

- Dynamische Modellierung bedeutet noch immer einen recht hohen Aufwand. Sie ist insbesondere in der Speicherauslegung und für die Planung der Kältebereitstellung bei variablen und vergleichsweise hohen Nutzungserfordernissen jedoch fast unerlässlich.
- Ein mit Finite-Elemente-Methodik simuliertes System lässt sich parametrisiert gut in eine dynamische Modellumgebung übertragen und für die Auslegung innovativer Energiesystemtechnik nutzen.
- Insgesamt ist für die Erarbeitung der Annahmen ein hoher Aufwand zu treiben, um realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten. Insbesondere Nutzungsszenarien und die korrekte Übertragung der geplanten oder installierten Haustechnik in das Berechnungstool oder Modell beeinflussen die Ergebnisse stark, während die Eingabe der Gebäudehülle recht eindeutig und wenig anfällig für Fehler ist.
- Konsequenterweise steigt das Risiko von Fehleinschätzungen mit dem Grad der Komplexität der abzubildenden Technik und Nutzungsarten und dem gleichzeitig steigenden Informationsdefizit auf Seiten der Planenden.

3.4 Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam

Autoren: Hans Petzold, Jens Kaiser, John Grunewald, Clemens Felsmann, Sven Arndt

3.4.1 Projektsteckbrief

<p>Projektname</p>	<p>Ein Campusenergiekonzept der Zukunft für den Wissenschaftspark „Albert Einstein“ in Potsdam Teilvorhaben 1: Ganzheitliche energetische Bewertung und Optimierung des Forschungsneubaus für das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung sowie Erarbeitung einer Lösung für die Abwärmenutzung des Rechenzentrums</p>
<p>Projektbild</p>	<div data-bbox="730 608 1445 991"> </div> <p>Luftbild des Wissenschaftsparks Campus Telegrafenberg (Quelle: Lutz Hannemann)</p> <div data-bbox="804 1070 1374 1410"> </div> <p>3-D-Bild des Wissenschaftsparks Campus Telegrafenberg (Quelle: TU Dresden)</p>

Campusanlieger	<ul style="list-style-type: none"> • Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) • Deutsches GeoForschungszentrum (GFZ) • Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI) • Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP) • Deutscher Wetterdienst DWD Telegrafenberg 14473 Potsdam			
Projektbeteiligte	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK)	Technische Universität Dresden (TUD)		
Anzahl und Art der beinhalteten Gebäude	Der Campus Telegrafenberg umfasst 56 Gebäude: Instituts- und Lehrgebäude, Labore, Mensa/Kantine, Beobachtungsgebäude/Observatorien, Kindergarten, Gästehaus und Nebengebäude.			
Neubauten im Projekt	Forschungsneubau für 191 Beschäftigte mit Hochleistungsrechner			
Baujahr der Gebäude	1832 – 2015			
Bauqualität vor dem Projekt	<ul style="list-style-type: none"> • historische Gebäude größtenteils unter Denkmalschutz in sehr gutem Zustand, aufgrund des Denkmalschutzes nur teilweise energetisch saniert • Neubauten (GFZ) dem Baujahr entsprechend, z. T. mit erhöhten Anforderungen durch Labore 			
Energieversorgung im Bestand	ca. 25 dezentrale Gas-Brennwertheizungen (gesamt 3,3 MW), BHKW (2 x 293 kW _{th} , 2 x 200 kW _{el}), Wärmepumpen (150 kW), Strom aus dem allgemeinen Stromnetz			
Energiepreise	Energieträger	Gesamtkosten [€/a]	Arbeitspreis [€/kWh]	
	Gas	334.000 €	0,042 €/kWh netto	
	Strom	1.643.000 €	0,169 €/kWh netto	
Projektlaufzeit	07/2011 – 12/2015			
Art des Projekts	Planung	Simulation	Umsetzung	Messung
	●	● ●	● ●	● (Installation Monitoring und Vorbereitung der Messung)

Projekthalt	<p>Für das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung wird auf dem Potsdamer Telegrafenberg ein neues Forschungsgebäude für ca. 190 Mitarbeiter errichtet, in dessen Untergeschoss ein Hochleistungsrechner eingebaut wird. Ein Teil der Abwärme des Rechners wird zur Gebäudeheizung genutzt. Für die verbleibende Abwärme sollen ein Nutzungskonzept im Rahmen der Campusenergieversorgung entwickelt und bewertet sowie ggf. dessen Umsetzung vorbereitet werden. Im Neubau werden neben Energieeffizienzmaßnahmen, mit deren Hilfe das Ziel EnEV -50 %* erreicht werden soll, auch eine energetische Optimierung des Rechenzentrums durchgeführt sowie Vorhaltungen zum Anschluss an ein Nahwärmenetz auf dem Campus geschaffen und ein Gebäudemonitoring installiert.</p> <p>* Unterschreitung der Mindestanforderungen zur Energieeffizienz von Gebäuden aus der Energieeinsparverordnung (EnEV)</p>	
Projektkosten	<p>Förderung BMWi insgesamt: 1.999.786 € (PIK) + 1.264.638 € (TUD) davon Umsetzungsmaßnahmen (KG 300-400): 1.933.300 €</p>	
Maßnahmen an den Gebäuden	<p>Neubau:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fenster mit Vakuumverglasung • Vakuumdämmung (aus Brandschutzgründen gegenüber Antrag stark reduziert) • raumklimaaktive Wandmaterialien in ausgewählten Räumen • Warmwasserkühlung für einen Teil der Platinen des Hochleistungsrechners • Vorhaltung für Anschluss der Warmwasserkühlung • Kaltgangeinhausung im Rechenzentrum • Installation Gebäudemonitoring 	
Maßnahmen an der Energieversorgung	<p>Heizungsanbindung Neubau und Nachbargebäude A26 Wärmepumpe zur Abwärmenutzung aus dem Rechenzentrum zur Gebäudebeheizung PIK-Neubau und Nachbargebäude A26, Backup-Gaskessel</p>	
Beheizte Nettogrundfläche	Vor dem Projekt	Nach dem Projekt
	45.225 m ² Geschossfläche 28.005 m ² Hauptnutzfläche	50.670 m ²

Energieverbrauch vor dem Projekt (gemessen)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	4.956	110	k. A.	k. A.
	Kälte	52	1	k. A.	k. A.
	Strom*	12.066	267	k. A.	k. A.
	Summe	17.074	378	k. A.	k. A.
* für Gebäude, Großrechner, Kälte					
Energieverbrauch nach dem Projekt (berechnet)		Endenergie		Primärenergie	
		MWh/a	kWh/m ² a	MWh/a	kWh/m ² a
	Wärme	Bereits berechnete Werte müssen aufgrund geringerer Abwärme durch den Großrechner noch überarbeitet werden.			
	Kälte				
	Strom				
Summe					
Bereits vorliegende Projektergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Planung und Bau des Forschungsneubaus, Eröffnung September 2015 • Fenster mit Vakuumverglasung • LED-Beleuchtung • Hochleistungsrechner mit Warmwasserkühlung (Direct Water Cooling) • Heizungsanbindung Nachbargebäude A26 • Vorhaltung für Anschluss an Campus-Nahwärmenetz • Veröffentlichungen [44] bis [52] 				

3.4.2 Projektbeschreibung

3.4.2.1 Der Campus vor dem Projekt

Auf dem Campus Telegrafenberg Potsdam des Wissenschaftsparks Albert Einstein befinden sich fünf rechtlich eigenständige Forschungsinstitute: das Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung (AWI), das Astrophysikalische Institut Potsdam (AIP), das Deutsche Geoforschungszentrum (GFZ), der Deutsche Wetterdienst (DWD) sowie das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK). Sie beschäftigen zusammen nahezu 1.600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Zur Verwaltung des Campus sind die auf dem Telegrafenberg untergebrachten Institute in einer Nutzergemeinschaft zusammengeschlossen. Die Nutzergemeinschaft hat die Aufgabe, alle auf dem Gelände befindlichen Gebäude sowie die sonstige Infrastruktur zu betreuen und zu verwalten. Die Aufgaben des Betreibers wurden von einer Betreiberfirma ausgeführt; seit Kurzem werden sie vom Deutschen GeoForschungszentrum für die Nutzergemeinschaft übernommen.

Insgesamt befinden sich auf dem Campus Telegrafenberg 56 Gebäude unterschiedlichsten Baualters auf einer Fläche von ca. 24 ha. Der Campus als Ganzes sowie eine Vielzahl der Gebäude stehen unter Denkmalschutz. Zusätzlich befindet sich das Campusgelände inmitten eines Landschaftsschutzgebiets. Dies stellt eine Herausforderung für das Rahmenkonzept dar, da die Möglichkeiten für größere bauliche Umgestaltungen eingeschränkt sind.

Viele Gebäude der historischen Bausubstanz wurden innerhalb der vergangenen 25 Jahre schrittweise revitalisiert. Im Rahmen dieser Aktivitäten erfolgte zumeist ein Austausch der Wärmeerzeuger der Heizungsanlagen mit der zum jeweiligen Zeitpunkt verfügbaren Geräteklasse. Das historische Gebäudeensemble wurde 1998 um moderne Zweckbauten erweitert (Haus B bis H).

Die Wärmeversorgung der Gebäude des Wissenschaftscampus basiert mit wenigen Ausnahmen auf dem fossilen Energieträger Erdgas. Ein verzweigtes Gasversorgungsnetz erschließt ca. zwei Drittel der Gebäude direkt. Die Verbindung des campusinternen Gasversorgungsnetzes mit dem städtischen Versorgungsnetz erfolgt an drei Einspeisepunkten. Die Wärmeerzeugung erfolgt im Wesentlichen durch ein heterogenes Portfolio von Gas-(Brennwert-)Geräten mit einem Baujahr ab 1992 und verschiedener Leistungsklassen, mit thermischen Leistungen zwischen 22 kW und 1.100 kW. Es existieren vier Wärmeversorgungsinseln, innerhalb derer mehrere Gebäude über Heizleitungen miteinander verbunden sind.

Neben den Gasheizkesseln zur Erzeugung von Wärme existieren ein modernes Blockheizkraftwerk (BHKW, Haus D) und außerdem zwei Absorptionswärmepumpen (A31) sowie ein Klima-Split-Gerät (A8) zur thermischen Konditionierung von Büro- bzw. Technikflächen. Das in Haus D positionierte BHKW versorgt in Kombination mit einem gasbefeuerten Spitzenlast-

kessel den gesamten Gebäudekomplex der Häuser B-G des GFZ sowie die zentrale Kantine in Haus H. Das genannte BHKW trägt mit einer elektrischen Leistung von 2 x 200 kW ebenfalls zur Stromversorgung des Campusbereichs bei. Etwa ein Drittel der Gebäude wird aufgrund temporärer Nutzung ausschließlich mit elektrischer Energie versorgt.

Insbesondere bei Neubauvorhaben wie A69/A70 sollen künftig Gebäude, die in räumlicher Nähe zueinander errichtet werden, auch in Bezug auf die Wärmetechnik enger verknüpft werden.

3.4.2.2 Die beteiligten Akteure

a) Prozesse auf dem Campus

Die Projektidee entstand angesichts der überschüssigen Abwärme des Hochleistungsrechners im geplanten Forschungsneubau des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung. Dieses ist als Leibniz-Institut für die ihm zugehörigen Gebäude entscheidungsbefugt. Alle über die Gebäude hinausgehenden Einrichtungen, insbesondere die Infrastruktur, sind Angelegenheit der Nutzergemeinschaft (NUGEM), die aus den ansässigen Instituten besteht. Das Deutsche GeoForschungsZentrum als größtes ansässiges Institut hat mit seiner Abteilung Technische Dienste die Funktion des Betreibers übernommen und ist damit auch Ansprechpartner für alle technischen Informationen wie Verbräuche, Pläne u. Ä.

Die Eigentums- und Betreiberverhältnisse bedingen somit, dass größere Veränderungen an der Campusenergieversorgung von allen Instituten als Teil der NUGEM mitgetragen werden. Ein gemeinsames Energiekonzept sollte also nicht nur gesamtenergetisch sinnvoll sein, sondern im Idealfall auch für alle Beteiligten wirtschaftlich vorteilhaft.

b) Projekt

Die Aufgaben im Projekt sind im Wesentlichen nach Arbeitspaketen aufgeteilt. Das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung übernimmt als Nutzer und Bauherr das auch in Bezug auf die Investitionen größte Arbeitspaket 5, „Bauliche Umsetzung“, für den Forschungsneubau sowie die Koordination aller beteiligten Institute auf dem Campus Telegrafenberg einschließlich der Kommunikation mit der NUGEM.

Universitärer Forschungspartner und Verbundprojektkoordinator ist die TU Dresden (Institut für Bauklimatik, Prof. John Grunewald, und Institut für Energietechnik, Prof. Clemens Felsmann). Die wissenschaftliche Leitung richtet sich nach der Zuständigkeit in den Kompetenzbereichen. Prof. Felsmann übernimmt die Leitung für den Bereich Gebäude- und Anlagentechnik, Prof. Grunewald ist für die Bauphysik/Baukonstruktion zuständig. Die Beauftragung von Unterauftragnehmern erfolgte für spezifische Teilaufgaben des Projekts in den Bereichen Monitoring, Datenbeschaffung, Internetportal und Facility-Management. In regelmäßigen Treffen findet ein Austausch zwischen allen Beteiligten statt.

3.4.2.3 Projektinhalt

Im Rahmen der Planung des Forschungsneubaus entstand der Gedanke, die Abwärme des Hochleistungsrechners von geplanten 750 kW zur Heizung von Nachbargebäuden zu nutzen. Ein Teil der Abwärme wird zur Heizung des Neubaus selbst genutzt. Ein Nachbargebäude (A26, Sitz der Verwaltung) wird direkt angeschlossen. Für die restliche Abwärme, die im Standardfall über drei Kältemaschinen auf dem Dach abgeführt werden muss, sollten in der Projektphase 1 ein Nutzungskonzept erstellt und die mögliche Umsetzung auf dem Telegrafenberg vorbereitet werden. Im Erfolgsfall soll dieses Konzept in einer späteren Phase 2 umgesetzt werden. Insofern steht dieses Projekt an der Schnittstelle von einer gebäudebezogenen zu einer campusbezogenen Forschung.

a) Projektziele

- Planung und Bau des Forschungsneubaus für das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung samt energetischem Gebäudemonitoring
- Energetische Optimierung des Rechenzentrums und des gesamten Neubaus mit energetischer Gebäudesimulation
- Erstellung eines Konzepts für die Abwärmenutzung des Rechenzentrums im Rahmen eines Energiekonzepts für den Campus Telegrafenberg
- Vorbereitung der baulichen Umsetzung des Campusenergiekonzepts für Projektphase 2

b) Projektarbeiten

Gemäß der Projektstruktur gliedern sich die Arbeiten in die Schwerpunkte Gebäude (Forschungsneubau, Arbeitspakete 1 bis 6) und Campusenergieverbundkonzept (Arbeitspaket 7). Für den Neubau soll durch den Einsatz innovativer baulicher Komponenten und Anlagenteile das Kriterium EnEV 2009 –50 % erfüllt werden. Der Nachweis erfolgt zunächst nach den Vorgaben der DIN 18599 mit handelsüblicher Software. Um energetische Optimierungspotenziale nutzen zu können, die durch das Energiemanagement des Gebäudes erzielbar sind (z. B. optimierter Betrieb von HLK-Anlagen, Verschattungseinrichtungen, Nutzung von Speichereffekten), ist die Abbildung der zeitlichen Verläufe aller Lastgänge auf Stundenbasis notwendig. Dazu wurden Simulationsverfahren eingesetzt (Energy Plus/Designbuilder und TRNSYS-TUD).

Zu Beginn erfolgte die Analyse des bereits laufenden Planungsfortschritts der Gebäude- und Anlagenlösung für den Forschungsneubau und die begleitende energetische Optimierung in der Ausführungsplanung bis zum Baubeginn.

Anschließend wurden Lastgänge des Heiz- und Kühlenergiebedarfs des Forschungsneubaus für die anschließenden Arbeitspakete ermittelt. Diese werden auf der Grundlage des Simulationsmodells vorhergesagt. Für die energetisch-raumklimatische Auslegung des Rechenzentrums, die integrale Betriebskostenprognose, die ganzheitliche energetische Bewertung und auch die Erarbeitung eines Konzepts für den Energieverbund Telegrafenberg sind Lastgänge notwendig.

Der Stand der Genehmigungsplanung wurde in ein rechenfähiges Gebäudedatenmodell umgesetzt. Es betrifft die Daten der Gebäudegeometrie, der Baukonstruktion, der Zonierung, der Nutzerprofile, der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik sowie der Beleuchtungstechnik. Diese Daten werden durch Standortdaten (geografische Daten, Wind- und Strahlungsexposition, Bebauung, Bepflanzung) und Klimadaten (energetisches Referenzjahr Potsdam) ergänzt. Aufbauend auf den elektronisch zu übernehmenden 2-D-Geometriedaten des Gebäudes (Grundrisse) wurde die 3-D-Geometrie des Gebäudes mit Zonierung entwickelt. Die Datensätze für Nutzungsprofile werden aus der DIN 18599 erstellt, sofern sie im konkreten Fall anwendbar sind. Das Gebäudemodell wird schrittweise (z. B. in Etagen) aufgebaut und getestet. In weiteren Schritten werden die Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage und die Beleuchtungstechnik hinzugefügt.

Neben der wissenschaftlichen Begleitung der Ausführungsplanung war in den drei „Zylindern“ des Baukörpers beabsichtigt, unterschiedliche Außenwandvarianten zu realisieren. Die vorgehängten Fassadenelemente sind im Ausgangsentwurf mit einer Dämmschicht von 16 cm Mineralwolle ausgestattet. An einem zweiten Zylinder sollte Vakuumdämmung und, soweit am Markt verfügbar, Vakuumverglasung in Teilflächen eingesetzt werden. Vorgesehen war dafür die im EnOB-Technologieprojekt ProVIG entwickelte Vakuumverglasung. Im dritten Zylinder liegt ein Schwerpunkt auf der Raumklimaqualität. Für die Innenoberflächen wurden anstelle der innenliegenden Beplankung (Gipskarton) verschiedene Materialien eingesetzt, die eine klimaaktive Wirkung auf die Raumnutzungsqualität haben, d. h. die über Eigenschaften zur Feuchtepufferung und Bindung von Schad- und Geruchsstoffen verfügen.

Aus der simulativen Begleitung der Ausführungsplanung ergeben sich die zu prognostizierenden Lastkurven für den Heiz- und Kühlbedarf des Forschungsneubaus. Für die Anforderungen der folgenden Arbeitspakete waren die Ergebnisse aus der simulativen Begleitung der Ausführungsplanung in geeigneter Form aufzubereiten.

Die hohen Anforderungen an die Energieeffizienz gelten für den Forschungsneubau einschließlich des Rechenzentrums. Das Rechenzentrum als Raum mit der höchsten Energiedichte genießt dabei eine hohe Priorität. Zielstellung war es, den Aufwand zur Klimatisierung der Rechnerräume unter Ausnutzung modernster Technologien zu minimieren.

Durch den Aufbau eines projektspezifischen Internetportals wird in Verbindung mit einem nachgelagerten Datenbanksystem ein zentraler Datenpool geschaffen, zu dem alle autorisierten Projektbeteiligten Zugang erhalten. Ziel war ein projektphasenübergreifendes Datenmanagement, das über eine auf die Verwaltung und Strukturierung von Immobiliendaten ausgerichtete Internetplattform mit zugehörigem Datenbank-Backend realisiert werden sollte. Diese sollte auch zur Erstellung eines Raumbuchs genutzt werden. Gleichzeitig sollte die Datenerfassung und -visualisierung des Monitoring durch Datenimport-Schnittstellen für GLT-Daten und zusätzliche Messwerte vorbereitet werden.

Um zu klären, inwieweit sich nicht nur finanzielle, sondern insbesondere auch energetische Investitionen über die Lebenszeit eines Bauwerks rentieren, wurde eine energetische Lebenszyklusanalyse durchgeführt. Dies erfolgte zunächst für den Forschungsneubau und soll später auch für das Campuswärmenetz erfolgen.

Im Rahmen der baulichen Umsetzung der Innovationsziele der Gebäude- und Anlagenlösung des Forschungsneubaus wurden die erarbeiteten wissenschaftlich sinnvollen Lösungsmöglichkeiten in realisierbare, auf dem Markt verfügbare Techniken überführt. Dies schloss Vergabe, Projektsteuerung und Projektleitung für alle Leistungsphasen sowie den Abstimmungsprozess mit den beteiligten Architekten und Fachplanern, Unterauftragnehmern und Nutzern ein. Parallel dazu wurde das Monitoringsystem für den Neubau konzipiert und in die Bauablaufplanung integriert. Zudem erfolgte die Abstimmung zwischen der TU Dresden, den einzelnen Nutzern der Nutzergemeinschaft auf dem Telegrafenberg und dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Die Untersuchungen zum Konzept für den Energieverbund Telegrafenberg wurden schwerpunktmäßig vom Institut für Energietechnik bearbeitet. Um die Funktion eines Energieverbundes realitätsnah abbilden zu können, sollte ein Simulationsmodell entwickelt und für Konzepterstellung und Variantenstudien angewendet werden. Anschließend sollten mit den ermittelten Lastgängen für verschiedene Netzvarianten und Abwärme-Temperaturniveaus die Kosten optimiert werden. Daneben sollte auch die Möglichkeit einer saisonalen Wärmespeicherung der sommerlichen Abwärme untersucht werden.

c) Projektkosten

Die Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) beläuft sich auf 1.999.786 € (Anteil PIK) und 1.264.638 € (Anteil TU Dresden). Davon sind 1.933.300 € für Umsetzungsmaßnahmen (KG 300-400) vorgesehen.

d) Projektstand

Die wesentlichen Arbeitspakete sind bereits abgeschlossen bzw. stehen kurz davor. Das Gebäude wurde Ende September 2015 eingeweiht. Die Inbetriebnahme des Monitoringsystems erfolgt danach. Im Anschluss sind auch erste Messungen und Auswertungen zum Gebäude möglich. Die erhobenen Daten werden dann in der Nachhaltigkeits- und Lebenszyklusanalyse zusammengeführt und bewertet.

Durch Variantenanalysen wurde die ökonomisch sinnvollste Lösung des Netzbetriebs erarbeitet. Dabei kristallisierte sich heraus, dass eine Kombination aus kleineren Verbundlösungen (Forschungsneubau und benachbarte Gebäude mit Abwärmenutzung, Gebäude B-G mit BHKW) und dezentraler Wärmeversorgung (einzeln stehende Gebäude vor allem mit Gasbrennwertthermen) am sinnvollsten ist. Die Einsparungen durch Abwärmenutzung könnten bei Nutzung der Warmwasserkühlung bei ca. 25.000 € pro Jahr liegen. Diese Berechnungen beruhen auf den Planungsdaten. Durch die relativ komplizierten gesetzlichen Vorgaben bei der Ausschreibung und Vergabe des Hochleistungsrechners verzögerte sich die Beschaffung.

Letztendlich stellte sich heraus, dass mit den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln trotz erheblicher Aufstockung aus Eigenmitteln des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung zunächst nur eine Ausbaustufe des Rechners von geringerem Umfang verwirklicht werden konnte. Dieser hat lediglich eine Anschlussleistung von maximal 180 kW, wobei die Leistung im Betrieb durch IT-seitige Optimierung noch wesentlich geringer sein kann. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt und mit dieser Ausbaustufe ist der Bau eines Nahwärmenetzes für die Abwärmenutzung nicht ökonomisch vertretbar. Es bleibt abzuwarten, wie sich der weitere Ausbau des Hochleistungsrechners gestalten wird; möglicherweise wird das Energiekonzept dann nochmals angepasst werden müssen. Ob das Energieverbundkonzept auch wirtschaftlich tragfähig ist, hängt dabei auch von der Entwicklung der Energiepreise ab, insbesondere der Gaspreise.

Bei der Erstellung des Forschungsgebäudes wurden die meisten der vorgesehenen Maßnahmen umgesetzt. Für das Rechenzentrum wurde zunächst eine Kaltgangeinhausung (cold aisle containment) zur strikten Trennung von Kalt- und Warmluftbereichen als wirtschaftlich sinnvollste Maßnahme realisiert. Ein Teil der beschafften Rechnerhardware verfügt über eine innovative Warmwasserkühlung. Dabei werden die Prozessoren nicht mit Luft, sondern mit Wasser gekühlt, so dass ihre Abwärme auf einem höheren Niveau zur weiteren Nutzung bereitsteht (ca. 45 bis 50 °C). Allerdings: Auch wenn die Abwärmenutzung geplant ist, stand bei der Konzeption der Anlage die Rechenleistung im Vordergrund. Eine saisonale Speicherung der Abwärme ist aufgrund des relativ niedrigen Temperaturniveaus und der begrenzten baulichen Eingriffsmöglichkeiten auf dem Campus nicht sinnvoll durchführbar.

Die vorgesehene Vakuumdämmung am Forschungsneubau konnte aus Brandschutzgründen nicht realisiert werden, sie würde zusätzlich zur bestehenden Holzfassade eine Brandlast darstellen. Die ursprünglich vorgesehene Vakuumverglasung aus dem Technologieprojekt ProVIG, das im Rahmen der Forschungsinitiative EnOB vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert wurde, konnte aufgrund technischer Schwierigkeiten nicht verwendet werden. Es konnte jedoch in der Kombination einer Vakuumverglasung mit einem U-Wert von 1,1 W/m²K mit einer weiteren Scheibe eine andere Lösung gefunden werden, die hier zum ersten Mal praktisch eingesetzt wird und daher noch zu bewerten sein wird.

3.4.2.4 Projektergebnisse

a) Geplante Ergebnisse

Auch wenn mit der jetzigen ersten Ausbaustufe des Hochleistungsrechners nicht ausreichend Abwärme für das konzipierte Wärmenetz zur Verfügung steht, bleibt die grundsätzliche Planung bestehen. Bei Planung der nächsten Ausbaustufe und weiterer energetisch relevanter Baumaßnahmen auf dem Campus sollen der Projektstand aufgegriffen und wenn möglich das Energiekonzept umgesetzt werden. Die Auswertung und abschließende Bewertung der Lebenszyklusanalyse wird bis Projektende erfolgen. Monitoringdaten werden erst nach Anlaufen des Gebäudebetriebs verfügbar sein. Eine Betriebsoptimierung unter Verwendung dieser Daten sowie eine Nutzerverhaltensanalyse sind geplant.

b) Bereits vorliegende Ergebnisse

Ein deutlich sichtbares und baulich umgesetztes Ergebnis ist der Forschungsneubau – einschließlich Hochleistungsrechner – für das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, der sich harmonisch und unauffällig in das denkmalgeschützte Ensemble einfügt. Die architektonische Zielstellung wurde damit in beispielhafter Weise erreicht. Das geplante Internetportal mit dem Raumbuch wurde erstellt und wird kontinuierlich genutzt.

Im Rahmen der energetischen Simulation erfolgte eine tiefgehende Einarbeitung in die Software EnergyPlus. Um die Bearbeitung komplexer Gebäude mit einer großen Anzahl von Zonen praktikabel zu machen, wurden ergänzende Softwaretools programmiert. Diese sind von der TU Dresden auf Anfrage erhältlich. Um das Wissen praktisch zu verbreiten, wurde Schulungsmaterial für ein Seminar erstellt, das schon mehrfach bei mittelständischen Planungsbüros zum Einsatz gekommen ist.

3.4.2.5 Umsetzung in die Lehre

Das Projekt wird in der Lehre regelmäßig in Vorlesungen und Seminaren für Bauingenieure (speziell in der Vertiefung Gebäudeenergiemanagement) und für Architekten (Energieoptimiertes Bauen) verwendet. Hier müssen allerdings einzelne Punkte herausgegriffen werden, da die Komplexität des Gebäudes und der Berechnungen den Rahmen üblicher Lehrveranstaltungen übersteigt. Einzelne Themen zur Simulation des Gebäudes und des Energieverbands waren Gegenstand mehrerer erfolgreicher Projekt- und Diplomarbeiten.

3.4.2.6 Lessons Learned

a) Erfahrungen mit Entscheidungsprozessen

Aufgrund der bestehenden Eigentums- und Nutzungsverhältnisse auf dem Potsdamer Telegrafenberg müssen bei campusrelevanten Entscheidungen jeweils die anderen Nutzer bzw. die Nutzergemeinschaft einbezogen werden. Dies bedeutet naturgemäß einen größeren Abstimmungs- und Kommunikationsaufwand. Ambitionierte Projekte wie das hier beschriebene erfordern dabei auch immer die Bereitschaft der Partner, Innovationen zu wagen und den damit verbundenen Mehraufwand und das ggf. entstehende (begrenzte) wirtschaftliche Risiko zu tragen. Dieses positive Klima war auf dem Telegrafenberg vorhanden und hat das Projekt sehr gestützt.

Dadurch, dass bei Projektbeginn die Fachplanung bereits gestartet war, stellten sich in einigen Fällen die relativ engen Zeitfenster für Entscheidungen als problematisch dar. Die Simulationsberechnungen benötigten einschließlich Eingabe, Auswertung und Variantenstudien zum Teil mehr Zeit, als im Planungs- und Bauablaufprozess zur Verfügung stand. Es war hier aber letztlich immer möglich, selbst mit unvollständigen Daten die Entscheidungen der Fachplaner zu unterstützen.

b) Hemmnisse und deren Überwindung

Das Monitoring vertragsgemäß auszuschreiben, umzusetzen und abzurechnen, gestaltete sich relativ aufwendig. Hintergrund dafür ist, dass das Budget für diese Arbeiten bei der TU Dresden lag, die sich damit aber rechtlich auf Baumaßnahmen an einer fremden Immobilie bezogen. Dennoch sollten sie aus Kosten-, Haftungs- und Bauablaufgründen möglichst zusammen mit allen übrigen Arbeiten ausgeschrieben und durchgeführt werden. Dies konnte schließlich durch entsprechende Gestattungsvereinbarungen und Haftungsausschlüsse geregelt werden. Günstiger dürfte es hier sein, wenn das Budget für die Monitoringmaßnahmen direkt beim Bauherrn liegt.

c) Energetische Benchmarks

Keine Angaben

d) Erfahrungen mit Technologien

Vakuumdämmtechnologie: Die vorgesehene Vakuumdämmung an der Fassade eines Gebäudeteils konnte aus Brandschutzgründen nicht eingesetzt werden. Die Fassade besteht aus einer Lärchenholzverkleidung und ist ein zentrales Element des Baus, der sich damit in die naturnahe Umgebung einpasst. Die Freigabe dieser Fassade durch den Brandschutzprüfer war allerdings an die Bedingung geknüpft, keine weitere Brandlast an der Fassade zu installieren. Weil aber die Folien der am Markt verfügbaren Dämmelemente als brennbar eingestuft werden müssen, konnte letztlich keine Vakuumdämmung gefunden werden, die diesen Anforderungen genügt hätte.

Die Vakuumverglasung konnte nicht wie vorgesehen aus dem Projekt ProVIG verwendet werden, da es dort zu keiner marktreifen Entwicklung kam. Es wurde daher eine Vakuumverglasung mit einem U-Wert von $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ mit einer weiteren Scheibe kombiniert. Damit ist ein deutlich schmalerer Rahmen möglich. Zusätzlich musste aus Sicherheitsgründen auf der Innenscheibe eine Splitterschutzfolie aufgebracht werden. Dieser Aufwand ist für einen Piloteinsatz zu vertreten, langfristig bleibt es wünschenswert, eine energetisch hochwertige Vakuumverglasung zu entwickeln.

e) Erfahrungen mit Planungshilfsmitteln

Die Simulation von Gebäuden und Quartieren erfordert derzeit noch den Einsatz mehrerer Softwaretools und bringt einen erheblichen Eingabeaufwand mit sich. Um einen effizienten Einsatz dieser Tools auch in der Planungspraxis zu ermöglichen, ist ein einheitlicher Datenfluss wünschenswert. Im Projekt wurde dies in der Verbindung Designbuilder (grafische Eingabe der Gebäude-, Klima- und Nutzungsdaten) → EnergyPlus (Gebäudesimulation) → TRNSYS-TUD (Gebäudesimulation, Quartierssimulation) → STEFaN (Software zur Trassenerschließung Fernwärme) umgesetzt, wobei jeweils Konvertierungssoftware programmiert werden musste. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, um den Datenfluss von den Plänen der Architekten und Fachplaner bis hin zum Simulationsergebnis zu ermöglichen.

4. Quervergleich der Campusprojekte

Im Folgenden werden die vier Campusprojekte einander gegenübergestellt, um den jeweiligen Fokus, vergleichbare Ansätze, aber auch Unterschiede sowie die geplanten und bereits erzielten Ergebnisse zusammenzustellen.

Projektmerkmal		RoadMap RWTH Aachen		
Projektgröße	Anzahl Gebäude	321 (+ 100 energetisch irrelevante)		
	Beheizte Nettogrundfläche	457.600 m ² (638.000 m ² elektrisch versorgt)		
Hauptnutzungen	Gebäudeanteil	niedrig	mittel	hoch
	Verwaltung			
	Institutsgebäude			
	Forschung			
	Unterricht			
	Wohnen			
	Technik			
	Sport			
	Lager/Werkstätten			
	Sonstiges			
Alter	Bestand: Bauperioden	1861 bis 2015		
	Neubau	ja		
Bauliche Sanierungen/Schäden		Bereits einige Sanierungen durchgeführt		
Energieversorgung im Bestand	Zentral	<ul style="list-style-type: none"> Wärme: eigenes Nahwärmenetz (KWK), Fernwärme (Low-Ex) Kälte: 3 Kältenetze (AKM/KKM) Strom: externer Versorger/KWK 		
	Dezentral	<ul style="list-style-type: none"> Wärme: 14 Gebäude mit Erdgaskesseln, zus. Wärmepumpen und Ölkessel Kälte: dezentrale Anlagen in Einzelgebäuden 		
Projektlaufzeit		10/2014 – 09/2016		

	blueMap TU Braunschweig			Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg			Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam		
	136			25			56		
	330.000 m ² (345.000 m ² nach Projekt)			56.148 m ² (80.581 m ² nach Projekt)			45.225 m ² GF (50.670 m ² nach Projekt)		
	niedrig	mittel	hoch	niedrig	mittel	hoch	niedrig	mittel	hoch
	nicht unterteilt			nicht unterteilt					
	vor 1918 bis 2008			1936/1990/1996			1832 bis 2015 (teilweise Denkmalschutz)		
	3 Gebäude			1 Zentralgebäude			1 Forschungsneubau		
	Gebäudekomponenten teilweise am Ende der Lebensdauer			Dach- und Heizungssanierungen, Nahwärmesystem seit 2010			teilweise energetisch saniert		
	<ul style="list-style-type: none"> Wärme: Fernwärme (Pool-Ausschreibung alle 2 Jahre) Strom: Pool-Ausschreibung 			<ul style="list-style-type: none"> Wärme: externer Versorger (Erdgas-KWK + Kessel) Strom: externer Versorger 			<ul style="list-style-type: none"> Strom: externer Versorger 		
	<ul style="list-style-type: none"> Wärme: vereinzelt Erdgaskessel, auch für BHKW und Dampferzeugung 			-			<ul style="list-style-type: none"> Wärme: 25 Erdgas-Brennwertkessel, 2 Erdgas-BHKWs, Wärmepumpen 		
	01/2012 – 03/2015			10/2010 – 12/2016			07/2011 – 12/2015		

Projektmerkmal		RoadMap RWTH Aachen	
Projektart	Planung		
	Simulation		
	Umsetzung		
	Messung		
Energetische Projektziele		Reduzierung Primärenergieverbrauch um 50 % bis 2025	
Projekthalt		<ul style="list-style-type: none"> • Gesamtkonzept für energetische Sanierung • Datensammlung und Building Information Modeling • Dynamische Simulation der Energieversorgungskette • Einzelmaßnahmen und Optimierungsstrategien • GIS-basiertes 3-D-Modell des Campus • Leitfaden 	
Eingesetzte Technologien	Gebäude	Da es sich bei dem Projekt um ein Simulations- und Planungsprojekt handelt, finden keine Maßnahmen an Gebäuden und der Energieversorgung im Rahmen des Projekts statt.	
	Versorgung		

	<p>blueMap TU Braunschweig</p>	<p>Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg</p>	<p>Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam</p>
<ul style="list-style-type: none"> Mittelfristig (2020): Reduzierung Primärenergieverbrauch um 40 % Langfristig (2050): Versorgung des Campus mit regenerativer Energie 	<ul style="list-style-type: none"> Klimaneutrale Energieversorgung Einsparung von 30 % Endenergie und 50 % Primärenergie im Bestand Neubau: < 100 kWh/m²a Endenergie 	<ul style="list-style-type: none"> Neubau: 50 % besser als EnEV-Anforderungen Abwärmenutzung des Hochleistungsrechners, ggf. Anschluss an Campusnahwärmenetz 	
<ul style="list-style-type: none"> Evaluierte Ausgangssituation Szenarien zu <ul style="list-style-type: none"> Gebäude-Energieverbrauchsreduzierung rationellem Energieeinsatz Nutzung erneuerbarer Energie Ökologische und ökonomische Randbedingungen 	<ul style="list-style-type: none"> Neubau: <ul style="list-style-type: none"> energetisches Konzept, Planung, dynam. Modellierung Monitoring und Nutzereinbindung Campus: <ul style="list-style-type: none"> Energieeinspar- und -liefer-Contracting dynam. Modellierung Energiesystem: <ul style="list-style-type: none"> exergetische Varianten Modellierung Wirtschaftlichkeit Nachhaltigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Neubau: <ul style="list-style-type: none"> innovative Dämmung und Verglasung Innenraumkomfort Nutzung der Abwärme des Hochleistungsrechners für Beheizung Kaltgangeinhausung im Rechenzentrum Campus: <ul style="list-style-type: none"> Konzept für ein Nahwärmenetz 	
<ul style="list-style-type: none"> Dämmung von Dachflächen und Fassaden Beleuchtungsaustausch Erhöhung der Flächeneffizienz 	<ul style="list-style-type: none"> LED-Beleuchtung und Einzelraumregelung Schaltbare Verglasung PCM-Kühldecken Vakuumdämmung 	<ul style="list-style-type: none"> Vakuumdämmung Vakuumverglasung Raumklimaaktive Wandmaterialien Kaltgangeinhausung 	
<ul style="list-style-type: none"> Austausch techn. Ausstattung Betriebsoptimierung RLT-Anlagen 2 Biomethan-BHKWs Photovoltaik-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> Optimierung Heizkreise Effizienzpumpen Deckenstrahlplatten Wärmenutzung auf zwei Temperaturniveaus, interne Kaskadierung Intelligente Gebäudetechnik mit Nutzereinbindung Energieliefer-Contracting Modernisierung BHKWs und Umstellung auf Biomethan Photovoltaik Aquiferspeicher (Option) 	<ul style="list-style-type: none"> Warmwasserkühlung für Hochleistungsrechner Wärmepumpe zur Abwärmenutzung Heizungsanbindung von Nachbargebäuden 	

Projektmerkmal		RoadMap RWTH Aachen	
Endenergieverbrauch vorher	Wärme	237 kWh/m ² a*	
	Kälte	73 kWh/m ² a*	
	Strom	238 kWh/m ² a*	
	Summe	548 kWh/m ² a*	
Endenergieverbrauch nachher	Wärme	Simulation noch nicht abgeschlossen	
	Kälte		
	Strom		
	Summe		
Bereits erhältliche Projektergebnisse		<ul style="list-style-type: none"> • Veröffentlichungen • Planungshilfsmittel aus Vorgängerprojekt 	
Umsetzung in die Lehre		<ul style="list-style-type: none"> • Besichtigung der Versorgungsanlagen • Studentische Abschlussarbeiten 	
Lessons Learned	Entscheidungsprozesse	Noch keine	

	blueMap TU Braunschweig	Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam
	105 kWh/m ² a	107 kWh/m ² a	110 kWh/m ² a
	-	-	31 kWh/m ² a
	89 kWh/m ² a	41 kWh/m ² a	267 kWh/m ² a
	194 kWh/m ² a	148 kWh/m ² a	378 kWh/m ² a
	62 kWh/m ² a**	66 kWh/m ² a***	Berechnung noch nicht abgeschlossen
	-	3 kWh/m ² a***	
	52 kWh/m ² a**	27 kWh/m ² a***	
	114 kWh/m ² a*	96 kWh/m ² a***	
	<ul style="list-style-type: none"> • Betriebsoptimierende Maßnahmen • Austausch Beleuchtung und technische Geräte • Veröffentlichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Neubau im Rohbau • Contracting 1. Jahr • Speichereinbindung • Veröffentlichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Planung und Bau PIK Forschungsneubau • Fenster mit Vakuumverglasung • LED-Beleuchtung • Heizungsanbindung Nachbargebäude
	<ul style="list-style-type: none"> • Entwürfe, Seminar-, Bachelor-, Masterarbeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Veranstaltungsreihe im Studium Generale, im Komplementärstudium und im Master Nachhaltigkeitswissenschaften • Bachelor-, Masterarbeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • Projekt ist Bestandteil in Vorlesungen und Seminaren (Gebäudeenergiemanagement, Architektur) • Projekt-, Diplomarbeiten
	Noch keine	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Maß an Kommunikation, Steuerungsrunden • Verbindliche Förderziele wichtig als Durchsetzungsinstrumente • Contracting gut geeignet für öffentliche Liegenschaften • Schnittstelle Betrieb/Instandhaltung (Universität) und Wartung/Reparatur (Contractor) muss ausgestaltet werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Abstimmungs- und Kommunikationsaufwand, da viele Eigentümer und Nutzer • Bereitschaft zu Innovationen (Mehraufwand und wirtschaftlichem Risiko notwendig) • Simulationsberechnungen brauchen teilweise mehr Zeit, als im Planungs- und Bauablaufprozess zur Verfügung steht

* auf die beheizte Nettogrundfläche bezogen: 457.600 m²

** Planung für 2020

*** auf die beheizte Nettogrundfläche bezogen: 56.148 m² / 80.581 m²

Projektmerkmal		RoadMap RWTH Aachen	
Lessons Learned	Hemmnisse	<ul style="list-style-type: none"> • Verständlichkeit von Begriffen muss geklärt werden • Regelmäßige Treffen sind wichtig 	
	Energetische Benchmarks	Noch keine	
	Technologien	Noch keine	
	Planungshilfsmittel	<ul style="list-style-type: none"> • Cloud-basierte Lösungen und Versionsierungssoftware hilfreich gegen redundante Daten • Integrales Tool aus dem Vorläuferprojekt konnte gut integriert werden 	

	blueMap TU Braunschweig	Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg	Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam
<ul style="list-style-type: none"> • Datenschutz: Trennung in freiwillige Umfrage und personenbezogene TU-Daten, Erläuterung zum Projekt wichtig 	<ul style="list-style-type: none"> • Frühzeitige Einbindung von Nutzern/techn. Personal, sonst Energiesparmaßnahmen als Einschränkung/ Belastung • Verbindliche, kommunizierte Ziele und „klären, wer was macht“ 	<ul style="list-style-type: none"> • Budget für Monitoring sollte beim Eigentümer der Immobilie liegen (Haftungs- und Bauablaufgründe) 	
<p>Noch keine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Strombedarf von Geräten • Messdaten für den Campus • Messwerte 2014 zeigen fast ausgeglichene Primärenergiebilanz bei Biogasanrechnung • Auslastung und Nutzerverhalten größte Einflussfaktoren 	<p>Noch keine</p>	
<p>Noch keine</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Photovoltaik im Eigenverbrauch auch in Ost-/West-Ausrichtung effektiv zur Fremdstromverringern • KWK komplementär zu dezentraler Energieerzeugung in effizienten Gebäuden • Biomethan-KWK hat hohen CO₂-Reduktionseffekt 	<ul style="list-style-type: none"> • Vakuumdämmung nicht umgesetzt wegen Lärchenholzfassade, weitere Brandlast durch Folien der Vakuumdämmung nicht zulässig • Geplante Vakuumverglasung aus ProVIG-Projekt nicht marktreif, stattdessen Vakuumverglasung mit weiterer Scheibe kombiniert (Pilot-einsatz) 	
<ul style="list-style-type: none"> • CAD-Daten der universitären Anlagen wurden aufbereitet zur Nutzung aller Partner • DIN V 18599-Berechnungen • Eigene Berechnungsprogramme auf Excel-Basis (Gebäude und Energieversorgung) • Quartiers-ECA für benötigten Detaillierungsgrad nicht anwendbar • Weitere Programme noch in Entwicklungsphase • SunArea und PV-Sol für Photovoltaik 	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamische Modellierung aufwendig, jedoch für Speicherauslegung und Kältebereitstellung unerlässlich • Eingabe der Gebäudehülle ist fehlerunanfällig • Realitätsnahe Nutzungsszenarien und Haustechnikmodellierung verursachen Aufwand und haben starken Einfluss • Risiko der Fehleinschätzung steigt mit Komplexität der Technik und Nutzungsarten 	<ul style="list-style-type: none"> • Konvertierungssoftware programmiert zwischen Designbuilder, EnergyPlus, TRNSYS-TUD und STEFan • Einheitlicher Datenfluss wünschenswert 	

5. Ausblick: Weitere vom BMWi geförderte Campusprojekte

Auch außerhalb der EnEff:Stadt-Forschungsinitiative werden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Campusprojekte gefördert, z. B. im Rahmen der Forschungsinitiative EnOB (Energieoptimiertes Bauen) und dort vor allem im Forschungsfeld EnBop (Energetische Betriebsoptimierung). In diesen Projekten liegt der Schwerpunkt allerdings weniger auf der Demonstration einer erhöhten Energieeffizienz eines Gesamtcampus durch Umsetzungsmaßnahmen als vielmehr einerseits auf einer detaillierten Erfassung der Verbräuche mit darauf folgender Betriebsoptimierung und andererseits auf der Optimierung einzelner Gebäude.

5.1 Ludwig-Maximilians-Universität München: Die Hochschule auf dem Weg zu einem energieeffizienten Gebäudebetrieb

Die Hochschule München begann 2008 mit dem Projekt HoEff. Darin wurden der energetische Zustand der Liegenschaften der Ludwigs-Maximilians-Universität erfasst sowie Energiekennwerte, Informations- und Kommunikationstechnologien und Optimierungsstrategien entwickelt. Ein wichtiges Kriterium für diese Arbeiten war, dass die erarbeiteten Kennwerte, Tools und Strategien auf andere Hochschulen übertragbar sein sollten. Die Ergebnisse lassen sich folgendermaßen unterteilen:

- QuickCheck-Tool für die Erfassung komplexer Gebäude. Die Daten werden strukturiert in einer Datenbank abgelegt. Die Eingaben erfolgen ortsunabhängig über den Browser.
- Gebäudesteckbrief mit der Zusammenstellung aller gebäudespezifischer Stammdaten und einer qualitativen Bewertung der Gebäudefassade und der Anlagentechnik über ein Ampelsystem
- Energieklassen für eine detaillierte Bewertung des Energieverbrauchs, aufgeteilt in typische Hochschulnutzungen

Die aufgelisteten Werkzeuge sind erhältlich auf der Website des Projekts [53]. In einer zweiten Projektphase werden von der Hochschule München, der Ludwig-Maximilians-Universität und der Technischen Universität München ein Stufenplan aus Sanierungskonzepten und einem Energiemasterplan erarbeitet und die Werkzeuge weiterentwickelt.

5.2 Hochschule Ruhr West: Gebäudeevaluierung und energetische Optimierung des Campusneubaus der Hochschule Ruhr West

In diesem Vorhaben, das seit 2012 gemeinsam von der Hochschule Ruhr West und dem Fraunhofer ISE bearbeitet wird, liegt der Fokus auf der Optimierung des Campusneubaus in Bottrop. Dabei wird der Gebäudekomplex als „Energy Campus Lab“ genutzt, also als „leben-

des Labor“ zur Ausbildung der Studierenden. Die Energieversorgung besteht aus intelligent vernetzten erneuerbaren Energien und einer Kraft-Wärme-Kopplung. Ein integriertes Monitoring- und Evaluationsprogramm soll in ein Energiemanagement überführt werden, das auch zur Wissensvermittlung genutzt werden kann [54].

5.3 Fachhochschule Erfurt: Hochschulgebäude mit innovativem Energiesystem

Die Fachhochschule Erfurt erhält in diesem Projekt seit 2010 eine Förderung für die wissenschaftliche Begleitung und Messung eines Lehr- und Laborgebäudeneubaus. Das entwickelte Energiekonzept hat als Ziel, einen Primärenergiebedarf von 50 kWh/m²a und damit auch den Grenzwert der Energieeinsparverordnung (EnEV) um 50 % zu unterschreiten. Innovative Bestandteile des Konzepts sind eine über Fernwärme angetriebene Adsorptionswärmepumpe und die Nutzung einer Regenwasserzisterne als regeneratives Wärme- und Kältereservoir sowie die Nutzung der Abwärme der zentralen EDV-Technik [55].

6. Schlussfolgerungen

Pilot- und Demonstrationsvorhaben an Hochschulen bieten herausragende Möglichkeiten, Forschung im Bereich von Gebäuden, Anlagentechnik und zentraler Energieversorgung direkt in die Ausbildung von Studierenden einfließen zu lassen. Viele der in dieser Veröffentlichung beschriebenen Projekte nutzen dies in hohem Maße. Teilweise dienen die Gebäude sogar als „lebendes Labor“ (Living Lab).

Im Rahmen der Forschungsinitiative EnEff:Stadt werden derzeit vier Pilotprojekte durchgeführt, die nicht nur die Optimierung einzelner Universitätsgebäude, sondern auch die Effizienzsteigerung eines gesamten Hochschulcampus zum Ziel haben. Die Vorhaben sind unterschiedlich konzipiert. Während bei der RWTH Aachen die detaillierte Simulation als auf einem Geoinformationssystem (GIS) basiertes 3-D-Modell im Fokus steht, wird für die TU Braunschweig eine Roadmap zur Energieeffizienzsteigerung bis 2050 geplant. An der Leuphana Universität Lüneburg und am Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam bestehen die Projekte aus jeweils zwei Bereichen, einem energieoptimierten Neubau und einem Konzept für eine energieeffiziente Nahwärmeversorgung.

Die Ziele sind in allen vier Vorhaben sehr anspruchsvoll. Dies gilt umso mehr, wenn man bedenkt, dass die Hochschulen über eine große Zahl von Gebäuden verfügen, die stark unterschiedliche Nutzungen und hohe Ausgangsverbräuche aufweisen und deren Sanierung nicht zuletzt oft komplexe Entscheidungsprozesse notwendig macht. Auch Finanzierungsmöglichkeiten sind eher aufwendig zu erschließen. So ist es nicht verwunderlich, dass im Hochschulbereich ein Sanierungsstau besteht und die Vorhaben oft viele unterschiedliche Finanzierungsarten bündeln müssen, um Maßnahmen umsetzen zu können. Trotzdem werden mittelfristig Energieeinsparungen zwischen 40 und 50 % im Bestandsbereich angestrebt, und auch die Neubauten sollen energetisch weit besser gebaut werden, als es die Anforderungen der gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) verlangen. Langfristig wollen einige Projekte sogar eine CO₂-neutrale bzw. rein erneuerbare Versorgung erreichen.

Durch die an den Hochschulen vorhandene, aber auch in den Projekten extern eingeholte Expertise werden auch viele innovative Maßnahmen eingesetzt, z. B. schaltbare Verglasungen, Phase-Change-Material (PCM) in Kühldecken, Vakuumdämmung, Vakuumverglasung, intelligente Gebäudetechnik mit Nutzereinbindung, Abwärmennutzung aus Rechenzentren und Warmwasserkühlung für Hochleistungsrechner. Maßnahmen an zentralen Energieerzeugungseinheiten wie die Modernisierung von BHKWs und deren Umstellung auf Biomethan, Speichereinbindungen und Photovoltaikflächen zur Eigennutzung des Stroms ergänzen die Energiekonzepte sinnvoll.

Die in den Projekten entwickelten Planungs- und Simulationstools legen einerseits ihren Fokus auf die integrale Planung und den Datenaustausch zwischen der Vielzahl von Planern,

andererseits dienen sie dazu, komplexe, meist zentrale Energieversorgungskonzepte abzubilden und zu optimieren. Weitere Entwicklungen im allgemein anwendbaren Bereich (auch für andere, nicht direkt am Projekt beteiligte Hochschulen) sowie die Verbindung von Einzeltools werden von den Projektarbeitern angeregt.

Lessons Learned umfassen neben den Erfahrungen mit Planungshilfsmitteln auch solche mit den eingesetzten Technologien, erste energetische Benchmarks und praxisnahe Vorschläge, um Hemmnisse bei der Planung und in Entscheidungsprozessen zu überwinden.

Da die ersten Projekte nunmehr die Umsetzungsphase erreicht haben oder teilweise bereits in die Messphase einsteigen, bleibt es spannend zu beobachten, ob die angestrebten Ziele erreicht werden können. Aber hier ist, wie schon angemerkt, der Weg bereits das Ziel, da die Betriebsoptimierung, gestützt durch die detaillierten Messungen, Bestandteil der Vorhaben ist und wichtige Beiträge zur Ausbildung der Studierenden ermöglicht. Sehr interessant wäre auf der Grundlage der gemachten Erfahrungen auch der Vergleich mit anderen Ländern innerhalb der EU oder mit den Ländern, die in der Internationalen Energieagentur vertreten sind. Auch dort werden Roadmaps für die Weiterentwicklung von Universitätscampus erarbeitet. Es wäre wünschenswert, dass die Erkenntnisse durch weitere nationale Pilotvorhaben vertieft werden, in denen auch bereits vorhandene Werkzeuge angewendet und weiter verbessert werden können.

7. Literatur

- [1] Forschung für die Energieeffiziente Stadt – EnEff:Stadt. Website des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). www.eneff-stadt.info.
- [2] Statista – Statistikportal: Hochschulen in Deutschland nach Hochschulart. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/247238/umfrage/hochschulen-in-deutschland-nach-hochschulart/>. Stand: 25.09.2015.
- [3] Hochschulkonferenz: Statistik zu Studierendenzahlen. www.hochschulkompass.de/hochschulen/download.html. Stand: 05.06.2015.
- [4] Deutsche Real Estate Funds: Studentenzahlen in Deutschland. <http://www.dref.de/research/studentenzahlen-deutschland/>. Stand: 18.10.15
- [5] Stratmann, F. und Stibbe, J.: Parallelwelten im Hochschulbau. Bau- und Instandsetzungsbedarf in den Universitäten. Forschung & Lehre, 2015. <http://www.forschung-und-lehre.de/wordpress/?p=18175>. Stand 25.09.2015.
- [6] Statista - Statistikportal: Anzahl der Baufertigstellungen ausgewählter Infrastrukturgebäude nach Gebäudetyp in Deutschland im Jahr 2014. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/253883/umfrage/baufertigstellungen-von-infrastrukturgebaeuden-nach-gebaeudetyp-in-deutschland/>. Stand: 25.09.2015.
- [7] Statista – Statistikportal: Anzahl der genehmigten neuen Infrastrukturgebäude in Deutschland nach Gebäudeart im Jahr 2014. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/253864/umfrage/anzahl-der-baugenehmigungen-fuer-neue-infrastrukturgebaeude-nach-gebaeudeart>. Stand: 25.09.2015
- [8] Statista – Statistikportal: Finanzen der Hochschulen – Statista-Dossier. 2013. <http://de.statista.com/statistik/studie/id/22234/dokument/finanzen-der-hochschulen-statista-dossier/>. Stand: 25.09.2015.
- [9] Mørck, O. und Erhorn, H.: IEA ECBCS Annex 36 – CaseStudy Reports. Bericht des IEA EBC Annex 36. 2003.
- [10] Stibbe, J. und Stratmann, F.: Bau- und Instandsetzungsbedarf in den Universitäten. Bericht des Forum Hochschule. HIS-HE. 2014. www.his-he.de/pdf/pub_fh/fh-201405.pdf. Stand: 25.09.2015.
- [11] Schröder, I.: Erarbeitung weiterer Typgebäude für ein energetisches Quartiersbilanzierungstool. Masterarbeit angefertigt am Fraunhofer-Institut für Bauphysik und der Universität Stuttgart. 2015.
- [12] Erhorn-Kluttig, H. et al.: Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere – Ein Potenzialbewertungstool aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt. Schriftenreihe EnEff:Stadt. Fraunhofer IRB Verlag, Berlin, 2013. ISBN: 978-3-8167-9139-3.

- [13] HRK Hochschulrektorenkonferenz: Website. Hochschulfinanzierung. <http://www.hrk.de/themen/hochschulsystem/arbeitsfelder/hochschulfinanzierung/>. Stand: 06.10.2015.
- [14] Universität Kassel: Website. Nachrichten. Konjunkturpaket II: Alle Umbau- und Sanierungsmaßnahmen erfolgreich beendet. <http://www.uni-kassel.de/uni/universitaet/nachrichten/article/konjunkturpaket-ii-alle-umbau-und-sanierungsmassnahmen-erfolgreich-beendet.html>. Stand: 08.10.2015.
- [15] WAZ-Website: Essen – Die Universität baut im Univiertel. <http://www.derwesten.de/staedte/essen/die-universitaet-baut-im-univiertel-aimp-id7333209.html>. Stand 08.10.2015.
- [16] WAZ-Website: Dortmund – Noch keine Finanzierung für Sanierung oder Neubau. <http://www.derwesten.de/staedte/dortmund/noch-keine-finanzierung-fuer-sanierung-oder-neubau-id2977358.html>. Stand 11.10.2015.
- [17] IHT GmbH: Studentenwohnanlage Inter II Campus Mainz. <http://www.iht-gmbh.de/Studentenwohnanlage-Inter-II-Campus-Mainz>. Stand 11.10.2015.
- [18] Website der Julius-Maximilians-Universität Würzburg: Audimaxbestuhlung. http://www.uni-wuerzburg.de/en/fuer/sponsors/startseite/erfolgreiche_foerderprojekte/audimaxbestuhlung/. Stand 12.10.2015.
- [19] Website der Leuphana Universität Lüneburg: News: Ministerin stellt sich vor Libeskind-Bau. <http://www.leuphana.de/news/meldungen/titelstories/finanzierung-zentralgebaeude.html>. Stand 11.10.2015.
- [20] Schrade, J. und Erhorn, H.: Standardisiertes Leistungsbild zur Erstellung von Energiekonzepten für die landeseigenen Liegenschaften in Baden-Württemberg. IBP-Bericht WB 172/2014.
- [21] o. V.: Energieberichte aus den Jahren 2010 bis 2014, erstellt vom Dezernat 10.0 Facility Management der RWTH Aachen University. Aachen, 2015. Erhältlich unter http://www.rwth-aachen.de/cms/root/Die-RWTH/Einrichtungen/Verwaltung/Dezernate/~pvm/10_0_Facility_Management/. Stand 24.09.2015.
- [22] Kolbe, T. H.: CityGML, <http://www.citygml.org/>. Stand 22.09.2015.
- [23] o. V.: 3D City Database for CityGML Version 3.0.0 Documentation. Dokumentation der Institute und Firmen. Chair of Photogrammetry and Remote Sensing & Chair of Cartography, Technische Universität München. Geobasisdaten. Quelle: Stadtvermessung Frankfurt am Main; IDAC Ltd. UK; virtualcitySYSTEMS GmbH, Berlin; Chair of Geoinformatics, Technische Universität München. Image created based on Master's thesis work by Matthias Körner, jointly supervised with HTW Dresden.
- [24] Müller, D.; Fuchs, M.; Lauster, M.; Teichmann, J.: Abschlussbericht des Forschungsprojektes „EnEff:Campus – Entwicklung eines integralen Planungshilfsmittels“ (Förderkennziffer: 03ET1004A). Aachen, 2015.
- [25] Beier, T.: TU Braunschweig auf dem Weg zum CO₂-neutralen, energieeffizienten Campus. Newsletter TU BS. Braunschweig, 2012.

- [26] Fisch, M. N. und Beier, T.: Energieplus für städtische Quartiere – Campus TU BS. Beitrag in Buch „EnergiePLUS –Gebäude und Quartiere als erneuerbare Energiequellen“. Leonberg, 2012.
- [27] Klonek, F. E. und Kauffeld, S.: „Muss, kann ... oder will ich was verändern?“ Welche Chancen bietet die Motivierende Gesprächsführung in Organisationen. Artikel in Zeitschrift „Wirtschaftspsychologie“. Lengerich, 2012.
- [28] Beier, T.: EnEff Campus: blueMAP TU Braunschweig. Beitrag in „Jahrbuch Architektur 2014“. Braunschweig, 2013.
- [29] Beier, T.; Schulze, S.; Wöhrer, S.: Optimierung der Quartiersentwicklung, Integraler energetischer Masterplan TUBS 2020/2050. Artikel in Zeitschrift „tab - Das Fachmedium der TGA-Branche“. Gütersloh, 2015.
- [30] Beier, T.: Auf dem Weg zu einem CO₂-neutralen und energieeffizienten Campus. Beitrag in Newsletter TU BS. Braunschweig, 2015.
- [31] Beier, T. und Wöhrer, S.: EnEff-Campus TU Braunschweig – Reallabor für eine energetische Quartierssanierung. Beitrag in CEB-Symposium Tagungsband. Stuttgart, 2015.
- [32] Friedrich, U.: Uni-Campus soll klimaneutral werden. BINE-Informationdienst/Energieforschung konkret. Berlin, 2015.
- [33] Lutzenberger, A.: Nachwachsende Rohstoffe zur Substitution von Mineralkraftstoffen. SVH Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften. Dissertation, 2009. ISBN 973-3-8381-0076-0.
- [34] Arnold, K.; Dienst, C.; Lechtenböhrer, S.: Integrierte Treibhausgasbewertung der Prozessketten von Erdgas und industriellem Biomethan in Deutschland. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, 22, S. 135–152. 2010. DOI: 10.1007/s12302-010-0125-6.
- [35] Vetter, A. und Arnold, K.: Klima- und Umwelteffekte von Biomethan: Anlagentechnik und Substratauswahl. Wuppertal Papers Nr. 182. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH, Wuppertal, 2010. ISSN 0949-5266.
- [36] Adelt, M.: LCA of Biomethane. International Gas Union Research Conference (IGRC), 19–21 Okt. 2011, Seoul, Korea, 2011. ISBN: 978-1-6227-6385-6.
- [37] Umwelterklärung 2015, Leuphana Universität Lüneburg. <http://www.leuphana.de/themen/nachhaltigkeit/umweltmanagement/umwelterklaerungen.html>. Stand 25.09.2015
- [38] Nachhaltigkeitsbericht 2013, Leuphana Universität Lüneburg. <http://www.leuphana.de/themen/nachhaltigkeit/nachhaltigkeitsbericht.html>. Stand 25.09.2015
- [39] Strodel, N.; Werner, K.; Opel, O.; Ruck, W.: Integrales Energiekonzept für eine klimaneutrale Universität – Projekt „Klimaneutraler Campus“ Einordnung in den Gesamtkontext. Fachforum Thermische Energiespeicher, Band 4, Neumarkt, Juli 2015.
- [40] Strodel, N.; Opel, O.; Werner, K.; Ruck, W.: Ausbau und Energieeffizienzerhöhung des Energiesystems der Leuphana Universität Lüneburg. NEIS Konferenz 2015, 10.–11. September 2015, Hamburg.

- [41] Geffken, J.: Ambient Intelligence & Nutzerverhalten – Entwicklung eines digitalen Feedbacksystems zur Veränderung des energetischen Nutzungsverhaltens an der Leuphana Universität. Master-Thesis, Leuphana Universität Lüneburg, 2013.
- [42] Rausch, D. und Wayaspathy, V.: Optimierung von effizienten Gebäuden mittels Ambient Intelligence. Bachelor-Thesis, Leuphana Universität Lüneburg, 2014.
- [43] Tribel, A.; Opel, O.; Geffken, J.: Like! You saved #energy today. Fostering Energy Efficiency in Buildings – The implementation of social media patterns as symbols in Building Management Systems' Graphical User Interfaces using Peirce's semeiosis as a communication concept. EnviroInfo 2014 – ICT for Energy Efficiency, Oldenburg, Volume: Proceedings of the 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection (S. 597–604), 2014.
- [44] Weiß, D. und Petzold, H.: Optimized energy concept for an office building with waste heat from IT cooling using building energy simulation. 10th Nordic Symposium on Building Physics, Lund, 2014.
- [45] Siebert, E.: Numerische Untersuchungen der Luftströmungen und Temperaturschichtungen innerhalb des Atriums des PIK-Forschungsneubaus Potsdam, 2013.
- [46] Potsdamer Neueste Nachrichten zum Bau am 17.05.2013: "Glücksgefühle".
- [47] Märkische Allgemeine 25.06.2011: "PIK baut 'unsichtbares' Kleeblatt".
- [48] Steinbart, A.: Kostenmodelle und Lebenszyklusanalyse mit der Gebäudesimulationssoftware EnergyPlus. Diplomarbeit, TU Dresden, 2014.
- [49] Pfefferkorn, K.: Gebäudesimulation eines netzentkoppelten Mehrfamilienhauses mit Speicherbemessung. Diplomarbeit, TU Dresden, 2014.
- [50] Drechsel, M.: Bewertung verschiedener Berechnungsansätze für Energiebilanzen am Beispiel der Sanierung eines denkmalgeschützten Bestandsgebäudes. Diplomarbeit, TU Dresden, 2013.
- [51] Dube, S.: Validierung der Anlagenmodelle BHKW und Photovoltaik in EnergyPlus. Diplomarbeit, TU Dresden, 2014.
- [52] Hempel, U.: Grundlagen der Siedlungsabbildung in EnergyPlus. Diplomarbeit, TU Dresden, 2015.
- [53] Die Hochschule auf dem Weg zu einem energieeffizienten Gebäudebetrieb. Website der Projekte HoEff und HoEff-CIM. www.hoeff.info. Stand 15.10.2015.
- [54] Hochschule Ruhr West: Energy Campus Lab – Lernen und Forschen am selbstgenutzten Objekt. Website. <http://energycampus.hochschule-ruhr-west.de/index.php?id=2933>. Stand 15.10.2015.
- [55] EnOB – EnBau: Hochschulgebäude mit innovativem Energiesystem. Website der Forschungsinitiative EnOB. <http://www.enob.info/de/sanierung/projekt/details/hochschulgebäude-mit-innovativem-energiesystem/>. Stand 15.10.2015.

Die Autoren

Heike Erhorn-Kluttig

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

Sarah Doster

B.Sc. Sarah Doster ist Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Bauphysik in der Abteilung Energieeffizienz und Raumklima. Ihr Arbeitsgebiet umfasst die Analyse und energetische Bewertung von Einzelgebäuden und Liegenschaften.

Hans Erhorn

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

Die Beschreibung der vier Campusprojekte aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt erfolgte durch die jeweiligen Projektbearbeiterteams:

RoadMap RWTH Aachen:

Dipl.-Wirt.-Ing. Jens Teichmann, Dipl.-Ing. Mark Alexander Brüntjen, M.Sc. Franziska Misterek, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Christoph van Treeck, Univ. Prof. Dr.-Ing. Dirk Henning Braun (RWTH Aachen University)

blueMap TU Braunschweig:

Dipl.-Ing. Tanja Beier, Dipl.Ing. Stephan Schulze (Technische Universität Braunschweig)

Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg:

Dr. rer. nat. Dipl. Umweltwiss. Oliver Opel (Leuphana Universität Lüneburg), Dipl.-Ing. (FH) Karl F. Werner M.Eng. (Ingenieurbüro Karl F. Werner), Dipl.-Ing. Susanne Ohse (Leuphana Universität Lüneburg)

Wissenschaftspark Telegrafenberg Potsdam:

Dipl.-Ing. Hans Petzold, Dipl.-Ing. Jens Kaiser, Prof. Dr.-Ing. John Grunewald, Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann (Technische Universität Dresden), Dipl. Verwaltungswirt (FH) Sven Arndt (Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung)

ISBN 978-3-8167-9631-2



9 783816 796312

Fraunhofer IRB  Verlag