

Patrick Wrobel, Matthias Schnier, Cornelius Schill, Annedore Kanngießer, Carsten Beier

Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Patrick Wrobel, Matthias Schnier, Cornelius Schill,
Annedore Kanngießer, Carsten Beier

**Planungshilfsmittel:
Praxiserfahrungen aus der
energetischen Quartiersplanung**



Patrick Wrobel, Matthias Schnier, Cornelius Schill,
Annedore Kanngießer, Carsten Beier

Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung

Impressum

Herausgeber:

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

Inhalte basieren auf den Ergebnissen der
 Begleitforschung EnEff:Stadt (Förderkenn-
 zeichen 03ET1109A)

Lektorat und Gestaltung:

löwenholz kommunikation GbR, Berlin
 Rüdiger Buchholz, Claudia Oly

Titelbild:

© Illustration: Fraunhofer UMSICHT/Matthias
 Holländer

Druckerei:

BELTZ, Bad Langensalza

Bonn, 2016

ISBN (Print): 978-3-8167-9544-5
 ISBN (E-Book): 978-3-8167-9640-4

Verlag und Vertrieb:

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

Schriftenreihe EnEff:Stadt

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

Bislang erschienen:

- Der Energiekonzept-Berater für Stadtquartiere
- Energetische Stadtraumtypen
- Integrales Quartiers-Energiekonzept Karlsruhe-Rintheim
- Energetische Bilanzierung von Quartieren
 Ergebnisse und Benchmarks aus Pilotprojekten –
 Forschung zur Energieeffizienten Stadt
- Planungshilfsmittel: Praxiserfahrungen aus der energetischen Quartiersplanung
- Energetischer Stadtbau. 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
- Nicht-technische Erfolgsfaktoren der Quartiersentwicklung

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

Inhalt

Vorwort zur Schriftenreihe	7
I. Allgemeiner Teil	9
Einleitung	9
Prozess der energetischen Quartiersentwicklung	10
Klimaschutzkonzept	12
Strategische Planung	13
Vorplanung	15
Detailplanung	17
Umsetzung	18
Monitoring	19
Rückbau	20
Aufgaben und Bedeutung von Planungshilfsmitteln bei der Quartiersentwicklung	20
Grundlagen der Modellierung	23
Modellbildung	23
Randbedingungen und Annahmen	24
Simulation und Optimierung	25
II. Querauswertung zu Planungshilfsmitteln in der Quartiersentwicklung	27
Überblick & Einordnung der Querauswertung	27
Querschnittsanalyse	29
Projektphasen	30
Anwendungsgebiete	31
Anwender	32
Energieversorgungstechnologien	34
Planungshilfsmittel in der Quartiersentwicklung	37
Software-Planungshilfsmittel	37
Nicht-Software-Planungshilfsmittel	54
III. Auswahl von Planungshilfsmitteln	55
Rahmenbedingungen und Zieldefinition	56
Kriterien	57
Marktübersicht, Grobauswahl und Einholen von Angeboten	58
Feinauswahl und Entscheidung	60
Nachteile	62
Vorteile	62
IV. Validierung von modellbasierten Planungshilfsmitteln	63
Praxiserfahrungen zur Validierung	65
Exkurs: Validierung von Gebäudesimulationsprogrammen	65

Interview: Praxiserfahrungen aus EnEff:Stadt	69
Zusammenfassung	76
Literatur	81
Anhang	85
Übersicht über die untersuchten Planungshilfsmittel	85

Vorwort zur Schriftenreihe

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

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

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

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

Dr. Rodoula Tryfonidou
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

I. Allgemeiner Teil

Einleitung

Systemische Konzepte spielen in der energetischen Planung eine immer größere Rolle: Durch ihren systemübergreifenden Ansatz können sie flexibler auf zukünftige bzw. wechselnde Rahmenbedingungen reagieren und sind damit oft wirtschaftlicher als Einzelmaßnahmen. Auch steigen die Anforderungen an eine energetische Quartiersentwicklung, insbesondere im Hinblick auf die Umsetzung des Energiekonzeptes der Bundesregierung. Das Quartier stellt eine ideale Ebene dar, um Potenziale zur Verbesserung der Strom- und Wärmeerzeugung, der Energiespeicherung, des Erzeuger- und Verbrauchermanagements, der Energieeffizienz und des Energieausgleichs zu heben und systematisch zu nutzen. In der Forschungsinitiative „EnEff:Stadt“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) stehen deswegen das Quartier und der Ansatz der integralen Planung im Vordergrund.

Von der Idee über die Planung bis hin zur Umsetzung energieeffizienter Stadtquartiere ist eine Vielzahl möglicher energetischer Maßnahmen sowohl an der Gebäudehülle als auch zur Energieversorgung zu berücksichtigen, die sich meist gegenseitig beeinflussen (vgl. Erhorn-Kluttig 2011, pro:21 GmbH 2013). Die erfolgreiche Umsetzung erfordert daher einen integralen Planungsprozess. Planungshilfsmittel (PHM) können diesen begleitend unterstützen, um die komplexen Maßnahmen auch im Zusammenspiel zu bewerten und Entscheidungen so auf einer wissenschaftlichen Basis treffen zu können.

Planungshilfsmittel für die energetische Quartiersplanung können nach Methoden und Werkzeugen unterschieden werden. Methoden legen ein systematisches Vorgehen fest, um bestimmte vergleichbare Erkenntnisse zu gewinnen. Zur Anwendung dieser Methoden stehen häufig verschiedene Werkzeuge bereit, die zum Beispiel dabei helfen, Planungsaufgaben schneller und zuverlässiger zu erledigen. Unter anderem aufgrund der technologischen Entwicklung im Bereich der IT-Anwendungen und der Energieversorgung sind die meisten eingesetzten Planungshilfsmittel in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt softwarebasiert.

Die vorliegende Publikation gibt einen systematischen Überblick über Planungshilfsmittel, die in den ausgewerteten Demonstrationsprojekten der Forschungsinitiative EnEff:Stadt eingesetzt wurden. Dabei zeigen sich hinsichtlich der eingesetzten Planungshilfsmittel einerseits strukturelle Unterschiede, andererseits aber auch klare Schwerpunkte bei den Projekten der Forschungsinitiative. Die Grundlage der dargestellten Ergebnisse und Erkenntnisse sind Praxiserfahrungen von Anwendern der unterschiedlichen Planungshilfsmittel. Angehende und zukünftige Quartiersplaner sowie Anwender und Entwickler von Planungshilfsmitteln werden davon profitieren.

Einleitend werden grundlegende Fragen beantwortet:

- Wie ist der Prozess der Quartiersentwicklung allgemein gestaltet?
- Welche Aufgaben und Bedeutung haben Planungshilfsmittel in der Quartiersentwicklung?
- Wie sind Modelle grundlegend aufgebaut?

Für die Querauswertung der Projekte hinsichtlich der eingesetzten Planungshilfsmittel wird eine Übersicht über deren Einsatz- und Anwendungsfelder gegeben. Des Weiteren werden Praxiserfahrungen zu konkreten Planungshilfsmitteln dargestellt und folgende Fragen beantwortet:

- In welchen Projektphasen werden Planungshilfsmittel genutzt?
- Was sind typische Anwendungsgebiete?
- Wer sind die typischen Anwender von Planungshilfsmitteln?
- In welchen Bereichen der Energieversorgung werden Planungshilfsmittel genutzt?
- Welche Erfahrungen wurden mit den angewendeten Planungshilfsmitteln in der Praxis gemacht?

Anschließend wird die systematische Auswahl der richtigen Planungshilfsmittel behandelt. Dazu werden Praxiserfahrungen aus Berichten, Interviews und Workshops sowie theoretische Grundlagen ausgewertet und aufgearbeitet. Daraus hervorgehend werden relevante Auswahlkriterien und Methoden zur Entscheidungsfindung beschrieben. Ergänzend wird anhand von Erfahrungen aus der Praxis gezeigt, wie Ergebnisse von Planungshilfsmitteln bewertet und validiert werden können.

Der Prozess der energetischen Quartiersentwicklung

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Projektphasen einer energetischen Quartiersentwicklung dargestellt und erläutert. Dabei gibt es bisher keine verbindliche Definition dieser Phasen, anders als z. B. bei der Entwicklung von Einzelobjekten (vgl. beispielsweise die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, Anlage 10 [HOAI 2013]). Die hier genutzte Einteilung basiert auf der Analyse der EnEff:Stadt-Projekte und ist daher speziell auf den Prozess der Quartiersentwicklung abgestimmt. Für jede der Projektphasen sollen in diesem Kapitel die typischen Arbeitsschritte skizziert werden.

Die Projektphasen der Quartiersentwicklung sind folgende: strategischen Planung, Vorplanung, Detailplanung, Umsetzung und Monitoring (vgl. Abbildung 2). Am Ende der Lebensdauer schließt sich noch die Projektphase des Rückbaus an.

Gegebenenfalls kann sich der Prozess der Quartiersentwicklung an ein Klimaschutzkonzept anlehnen, das auf übergeordneter Planungsebene (beispielsweise in Kommune oder Landkreis) manchmal bereits vorliegt. Dies erleichtert den Prozess der Quartiersentwicklung, da auf eine vorhandene Datenbasis aufgebaut werden und auf übergeordnet definierte Ziele und Maßnahmen Bezug genommen werden kann.

Während der einzelnen Projektphasen der Quartiersentwicklung ist eine Vielzahl von Akteuren am Prozess beteiligt. Eine Übersicht über mögliche Akteure zeigt .



Abb. 1: Beteiligte bei der Quartiersentwicklung

Wie umfangreich die in den einzelnen Projektphasen beschriebenen typischen Arbeitsschritte ausfallen, kann sich von Projekt zu Projekt unterscheiden. Dabei spielt es beispielsweise eine Rolle, ob es sich um ein reines Praxisprojekt handelt oder um ein Forschungsprojekt, und wie im Rahmen eines Forschungsprojektes die Schwerpunktsetzung erfolgt. Teilweise konzentrieren sich die analysierten EnEff:Stadt-Forschungsprojekte auch auf einzelne der hier ausgewiesenen Projektphasen (vgl. Kapitel „Querauswertung“ bzw. „Überblick und Einordnung der Querauswertung“).

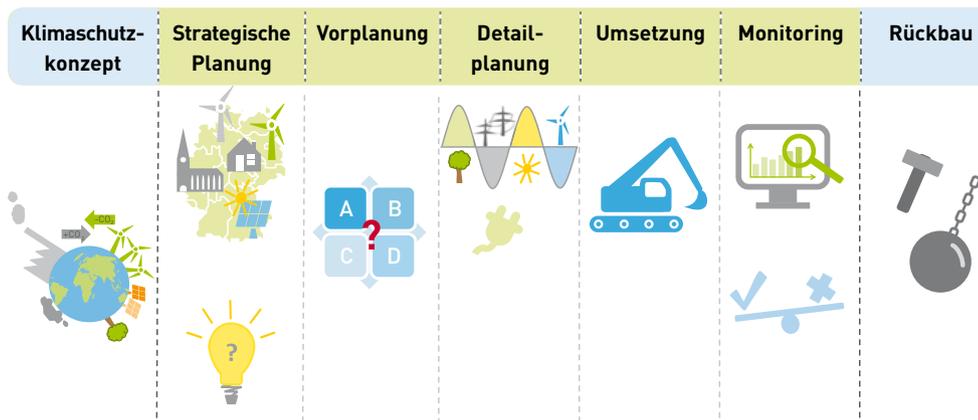


Abb.2: Projektphasen der Quartiersentwicklung

Klimaschutzkonzept

Das Klimaschutzkonzept der Kommune bildet eine gute Grundlage für die energetische Quartiersentwicklung. Es enthält übergeordnete Ziele, erste Grundlagen und Analysen sowie wichtige Einzelmaßnahmen.

Die Erstellung eines Klimaschutzkonzeptes zählt – wie einleitend erläutert – nicht zu den Projektphasen der energetischen Quartiersentwicklung selbst, ein solches Konzept kann aber eine wichtige Grundlage dafür bilden. Klimaschutzkonzepte werden in der Regel auf übergeordneten Planungsebenen erstellt, beispielsweise auf kommunaler Ebene, Kreis- oder Länderebene. Klimakonzepte sind nicht verpflichtend, finden aber in den letzten Jahren immer weitere Verbreitung. Idealerweise kann also für die energetische Quartiersentwicklung auf ein vorliegendes (kommunales) Klimaschutzkonzept als Grundlage zurückgegriffen werden. So kann auf eine vorhandene Datenbasis aufgebaut werden, und übergeordnet definierte Ziele und Maßnahmen liefern einen verlässlichen Rahmen für alle weiteren Überlegungen.

Klimaschutzkonzepte umfassen alle klimarelevanten Bereiche, also sowohl private Haushalte, Gewerbe und öffentliche Gebäude als auch Objekte der Infrastruktur wie Straßenbeleuchtung sowie Ver- und Entsorgungseinrichtungen, die auch für die Quartiersentwicklung wichtig sind. Es werden bereits auf kommunaler Ebene wichtige Akteure und deren Zuständigkeiten genannt. Der Betrachtungshorizont für die Maßnahmen und Ziele in den einzelnen Handlungsfeldern beträgt in der Regel 10 bis 15 Jahre.

Handlungsfelder eines Klimaschutzkonzeptes sind eine Energie- und Treibhausgasbilanz, eine Potenzialanalyse, ein Maßnahmenkatalog, eine Verstetigungsstrategie, ein Controllingkonzept und eine Kommunikationsstrategie (vgl. Abbildung 3). Die Energie- und Treibhausgasbilanz dient als Grundlage, um klimarelevante Bereiche und Handlungsfelder zu identifizieren. Hierzu werden Daten erhoben, die eine gute Basis für die Schwerpunktsetzung und die Planung von Projekten darstellen. Dabei ist es wichtig, dass die Daten weiterverwendet und in die nächste Projektphase übertragen werden können. In der Potenzialanalyse werden im Betrachtungszeitraum technisch und wirtschaftlich umsetzbare Potenziale dargestellt. Sie beinhaltet die Punkte Energieeinsparung, Steigerung der Energieeffizienz und Nutzung erneuerbarer Energien. Die Potenzialanalyse kann verschiedene Szenarien und Varianten betrachten. Im Klimaschutzkonzept sind idealerweise bereits die meisten Akteure enthalten und Kommunikationswege zwischen ihnen beschrieben. Akteure sind u. a. kommunale Verwaltung, Investoren, Energieversorger, Vereine, Verbände und Bürger. Der Maßnahmenkatalog umfasst neben der Beschreibung der wichtigsten Maßnahmen einen groben finanziellen und zeitlichen Rahmen. Um möglichst nachhaltige Klimaschutzaktivitäten anzustoßen, ist im Konzept eine Verstetigungsstrategie enthalten, die die dafür wichtigen Fragen beantwortet. Für die Umsetzung der möglichst früh beginnenden Öffentlichkeitsarbeit setzt ein Kommunikationskonzept den notwendigen Rahmen.

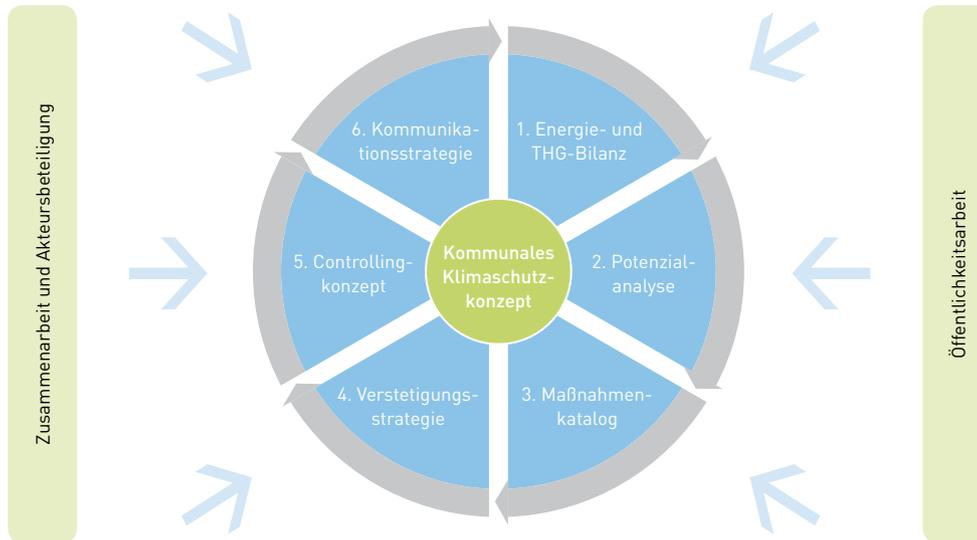


Abb. 3: Handlungsfelder von Klimaschutzkonzepten (Michalski 2014)

Die Erstellung von Klimaschutzkonzepten wird vom Bundesumweltministerium mit bis zu 65 % gefördert und dauert in der Regel bis zu 12 Monaten. Antragsberechtigt sind dabei Kommunen, öffentliche Hochschulen und Religionsgemeinschaften mit Körperschaftsstatus (Stand 2015).

Strategische Planung

Die strategische Planung adaptiert die übergeordneten Ziele auf die Quartiersebene und stellt die Weichen für die weitere Entwicklung.

Die strategische Planung stellt die erste Projektphase im Prozess der energetischen Quartiersentwicklung dar. Hier werden zu Beginn die gesamtkommunalen Planungen auf das Quartier heruntergebrochen bzw. adaptiert. Neben einem kommunalen Klimaschutzkonzept sind beispielsweise auch Flächennutzungs- und Bebauungspläne Grundlage für die strategische Planung. In anderen Fällen können Projekte auch unabhängig vom Klimakonzept sein, etwa weil sie von privaten Investoren durchgeführt werden.

In Abbildung 4 sind die Handlungsfelder der strategischen Planung in einer Übersicht dargestellt. Zu Beginn der strategischen Planung auf Quartiersebene werden die in den gesamtkommunalen Planungen festgelegten Rahmenbedingungen aktualisiert, falls diese sich in der Zwischenzeit geändert haben. Zudem ist es möglich, für das Quartier zusätzliche Ziele zu definieren – etwa einen bestimmten Baustandard –, sofern diese mit den übergeordneten Zielen vereinbar sind.

Abb.4: Handlungsfelder in der strategischen Planung



Die im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes erfassten Bestandsdaten werden vervollständigt und für das Quartier angepasst. Benötigte Bestandsdaten werden identifiziert und vorhandene Daten aufbereitet und auf Nutzbarkeit geprüft. Außerdem wird das Vorgehen für die Beschaffung weiterer notwendiger Daten geplant.

Es erfolgt eine bilanzielle Bestandsdatenerfassung des Quartiers, die zur ersten Abschätzung für das weitere Projektvorgehen notwendig ist. Neben der Ist-Analyse ist zudem die Betrachtung von Prognosen für die weitere Entwicklung des Quartiers nötig.

Ein Projektmanagement wird eingerichtet, das die Hauptbeteiligten des Projektes und deren Verantwortlichkeiten umfasst. Hierbei sollten bestehende Strukturen berücksichtigt werden, um einen möglichst reibungslosen Projektablauf zu ermöglichen. Das Projektmanagement umfasst ein Monitoring, das die Überwachung des Projektablaufs ermöglicht und eventuellen Korrekturbedarf frühzeitig erkennen lässt. Kommunen können hier eine wichtige Rolle übernehmen, da sie Zugang sowohl zu den Akteuren als auch zu notwendigen Daten haben und den rechtlichen Rahmen kennen und nutzen können.

Politische Entscheidungen, die für das Projekt wichtig sind bzw. dieses erst ermöglichen, werden vorbereitet und müssen von den entsprechenden Gremien getroffen werden. Die frühzeitige Aktivierung von Akteuren sowie gezielte Öffentlichkeitsarbeit erhöhen die Akzeptanz

des Projekts. Dafür wird ein Kommunikationskonzept erstellt. Eine wichtige Aufgabe dabei ist, den zentralen Nutzen des Projekts für das Quartier und die Kommune herauszuarbeiten. Zusätzlich werden Fördermöglichkeiten ermittelt und gegebenenfalls bereits im Vorfeld nötige Anträge gestellt.

In diesem Schritt werden auch die für die ersten Projektphasen benötigten Planungshilfsmittel ausgewählt. Wie man dabei vorgehen kann, wird im Kapitel „Auswahl von Planungshilfsmitteln“ erläutert. Es wird gezeigt, welche Planungshilfsmittel in EnEff:Stadt eingesetzt werden, und auf Basis dieser Praxiserfahrungen ein mögliches Vorgehen zur Auswahl skizziert.

Vorplanung

In der Vorplanung werden Konzepte definiert und miteinander verglichen und die beste Variante ausgewählt.

Der nächste Schritt im Planungsprozess, die Vorplanung, beginnt mit einer Technologierecherche. Darin wird der aktuelle Stand der zur Auswahl stehenden Technik ermittelt. Auf dieser Grundlage wird das konkret umzusetzende Konzept ausgearbeitet. Dazu werden häufig auch verschiedene Konzeptvarianten in einer Studie gegenübergestellt. Um die Varianten sinnvoll bewerten zu können, sollten diese jeweils auch eine finanzielle Abschätzung beinhalten, beispielsweise von Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit. Um mögliche Risiken bewerten zu können, sollte auch eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden: Diese schätzt den Einfluss verschiedener Eingangsparameter bzw. Grundannahmen auf die dargestellten Konzeptvarianten ab. Das ist vor allem deshalb notwendig, weil in dieser Projektphase noch mit relativ ungenauen Daten und Annahmen gearbeitet wird. Die Konzepterstellung kann durch den Bauherrn selbst erfolgen, sofern genügend Fachkompetenz und Ressourcen dafür vorhanden sind, zum Beispiel im Bauamt. Andernfalls kann diese Arbeit auch an einen externen Auftragnehmer vergeben werden, üblicherweise ein Ingenieurbüro.

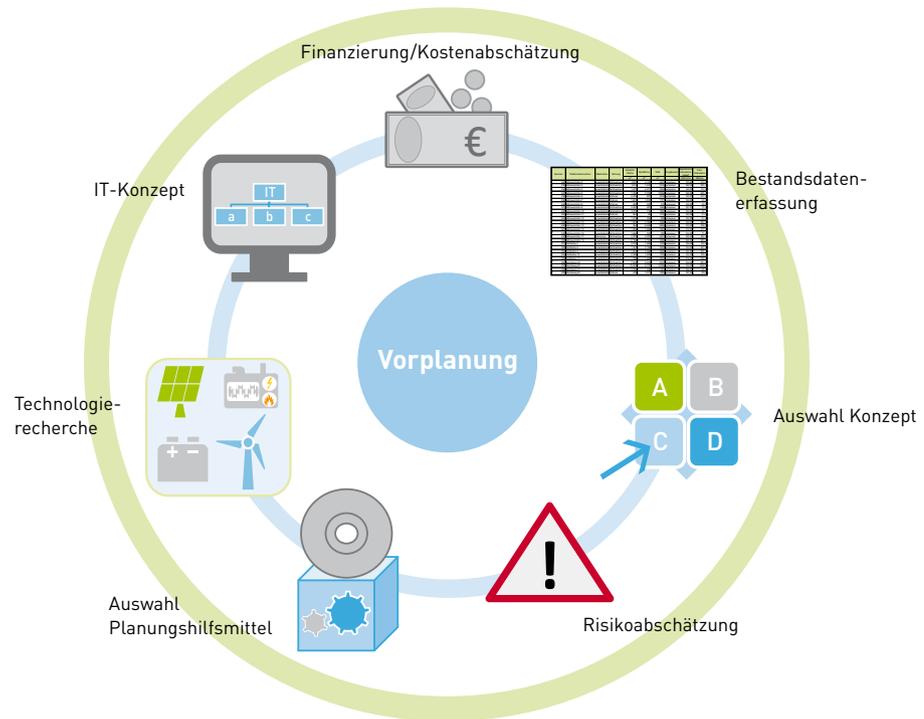
Parallel werden gegebenenfalls bestehende Objekte vor Ort identifiziert, die für die Umsetzung des Konzeptes genutzt werden können. Idealerweise können energetische Optimierungsmaßnahmen mit Bauvorhaben kombiniert werden, die ohnehin anstehen. Dadurch können gegebenenfalls zeitliche und finanzielle Ressourcen eingespart werden, zum Beispiel beim Genehmigungsprozess. Nach Auswahl geeigneter Objekte werden alle für die weitere Planung benötigten allgemeinen Objektdaten erfasst.

Neben den für die Umsetzung des Konzeptes genutzten Objekten muss auch die umgebende Infrastruktur mit in die Betrachtung einbezogen werden. Notwendige Anpassungsmaßnahmen müssen identifiziert und mit den entsprechenden Akteuren geklärt werden. Gegebenenfalls müssen zusätzliche Aufwendungen im Konzept berücksichtigt werden.

Es lohnt sich, frühzeitig die Schnittstellen zwischen den verschiedenen Systemen wie Strom, Wärme und Kälte zu definieren. So erreicht man einen reibungslosen Ablauf bei der Umsetzung und im späteren Betrieb. Je nach Art der Maßnahme müssen rechtliche Rahmenbedingungen ermittelt werden, um anschließend Geschäfts- und Betreibermodelle zu erstellen. Gegebenenfalls muss auch ein Konzept für das informationstechnische Zusammenwirken der Anlagen untereinander bzw. mit einem übergeordneten Managementsystem erstellt werden. Die konkreten Anforderungen an die Anlagen müssen dabei bekannt sein, um das Konzept ideal darauf zuschneiden zu können. Auch für die hier genannten Tätigkeiten existieren verschiedene Planungshilfsmittel (siehe auch hierzu „Auswahl von Planungshilfsmitteln“).

Die beschriebenen Handlungsfelder der Vorplanung sind in Abbildung 5 noch einmal zusammengefasst.

Abb.5: Handlungsfelder in der Vorplanung



Detailplanung

In der Detailplanung werden die für die Umsetzung benötigten detaillierten Pläne erstellt und Unternehmen für die Umsetzung ausgewählt.

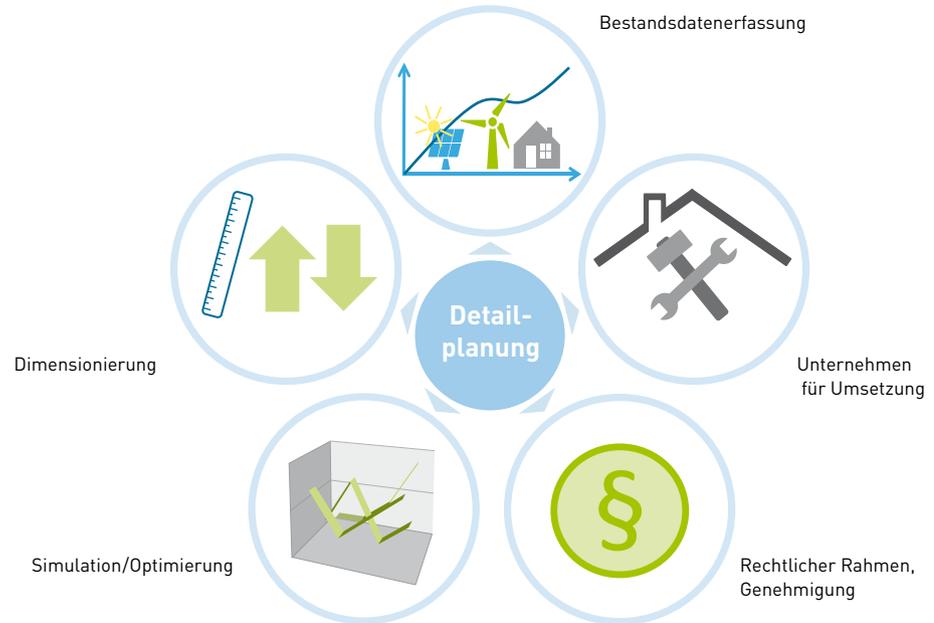
Nach Auswahl der konkreten Umsetzungsvariante in der Vorplanung erfolgt die Detailplanung. Die Konzepte werden näher betrachtet und detailliert ausgearbeitet. Ein wichtiger Schritt dabei ist, Simulations- und Optimierungsrechnungen durchzuführen, beispielsweise zur Dimensionierung und Betriebsweise von Anlagen. Aufgrund der schnell sehr komplex werdenden Berechnungen müssen kompetente Projektpartner gefunden und ausreichend Zeit dafür eingeplant werden. Die Planungshilfsmittel für diese Berechnungen werden im Allgemeinen vom ausführenden Projektpartner ausgewählt (siehe Kapitel „Auswahl von Planungshilfsmitteln“).

In der Detailplanung wird auch ein Konzept für das Monitoring der Maßnahmen erstellt, dessen spätere Umsetzung bereits in den folgenden Planungsschritten zu berücksichtigen ist. Zudem werden die Partner für die spätere Realisierung der geplanten Maßnahmen ausgewählt und ihre Aufgaben festgelegt.

Im Anschluss wird dann die Entwurfsplanung für alle Maßnahmen erstellt. Dies erfolgt meist durch einen externen gesamtverantwortlichen Planer unter Beteiligung weiterer fachlich spezialisierter Planer. Die Entwurfsplanung beinhaltet neben einer zeichnerischen Darstellung auch Verhandlungen zur Genehmigungsfähigkeit und eine detaillierte Kostenberechnung sowie deren Vergleich mit vorangegangenen Kostenschätzungen. Gegebenenfalls wird die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus der vorherigen Projektphase mit den neu ermittelten Werten überarbeitet, wenn vorangegangene Daten und Ergebnisse nicht weiterverwendet werden können.

Auf Grundlage der Entwurfsplanung werden die Unterlagen für die Genehmigungen erarbeitet. Im Anschluss beginnt die Ausführungsplanung. In diesem Schritt werden detaillierte zeichnerische Darstellungen entwickelt. Die Ausführungsplanung umfasst auch alle notwendigen Maße und Dimensionierungen und dient als Grundlage für Mengenermittlung und die Vergabe der Bauleistungen. Die Vergabe muss bei öffentlichen Bauprojekten ab einer gewissen Bausumme durch eine öffentliche Ausschreibung erfolgen. Die im Rahmen der Ausschreibung erhaltenen Angebote werden geprüft und das wirtschaftlichste Angebot ausgewählt. Auf dieser Grundlage kann dann ein Unternehmen beauftragt werden und die bauliche Umsetzung der Maßnahme beginnen. Einzelne Aspekte der Detailplanung sind in Abbildung 6 dargestellt.

Abb.6: Aspekte der Detailplanung



Umsetzung

Während der Umsetzungsphase erfolgt die bauliche Realisierung der Maßnahme mit anschließender Übergabe an den Nutzer.

Auf Grundlage der Ausführungsplanung erfolgt die bauliche Umsetzung der Maßnahme. Eine wichtige Aufgabe dabei ist die Bauleitung durch den Auftraggeber bzw. seinen Bevollmächtigten (auch Objektüberwachung, Bauoberleitung, örtliche Bauüberwachung). Zur Bauleitung gehört, die fachlich Beteiligten zu koordinieren und daneben auch die gesamte Ausführung aus terminlicher und fachlicher Sicht zu überwachen. Außerdem führt die Bauleitung ein Bautagebuch und übernimmt Aufmaß, Abnahmen, Rechnungsprüfung, Kostenfeststellung und Kostenkontrolle sowie die spätere Übergabe des Objekts. Planungshilfsmittel werden in dieser Projektphase vor allem für das Projektmanagement und die Bauleitung genutzt. Nach Abnahme und Übergabe des Objekts erfolgt die Inbetriebnahme bzw. der Bezug des Objekts durch seinen Eigentümer, Betreiber bzw. Nutzer.

Monitoring

Durch das Monitoring kann festgestellt werden, ob der Betrieb reibungslos funktioniert, ob die geplanten Maßnahmen ihre gewünschte Wirkung erzielen und ob zusätzliche Optimierungen möglich sind.

Die Projektphase des Monitoring nimmt innerhalb des Quartiersentwicklungsprozesses die mit Abstand längste Zeitdauer ein. Dies führt zu speziellen Herausforderungen, die für den optimalen Projektablauf nicht unterschätzt werden sollten. Zeitlich relativ kurz nach der Umsetzung der Maßnahme sollte die in der Honorarordnung für Architekten- und Ingenieursleistungen beschriebene Objektbetreuung erfolgen. Dabei werden zeichnerische Darstellungen und weitere Planungsergebnisse zusammengestellt und fehlende bzw. zusätzliche notwendige Bestandspläne erstellt. Außerdem werden mögliche Baumängel erfasst und die Beseitigung derselben überwacht. Zum Betrieb notwendige Unterlagen wie Inventarverzeichnisse sowie Wartungspläne und -anweisungen werden erstellt. Tätigkeiten am und im Objekt wie Pflege- und Wartungsarbeiten sowie das (Energie-)Monitoring werden überwacht.

Wenn nicht bereits in den vorangegangenen Projektphasen geschehen, wird in dieser Phase der Quartiersentwicklung das Monitoringkonzept umgesetzt. Die über das Monitoring erfassten Werte müssen überprüft und aufbereitet werden. Direkt erkennbare Störungen und fehlerhafte Betriebsweisen können dadurch relativ leicht identifiziert und beseitigt werden. Zusätzlich erfolgt der Vergleich mit den Ergebnissen der in den früheren Projektphasen durchgeführten Simulations- und Optimierungsrechnungen. So können Abweichungen erkannt und bewertet und – nachdem die Ursachen identifiziert sind – auch korrigiert werden.

Ein kontinuierliches Monitoring des Betriebs ist auch Grundlage einer stetigen Optimierung während des Betriebs. In regelmäßigen Intervallen sollten daher die Betriebsparameter überprüft und Veränderungen für die Optimierung des Betriebs getroffen werden. Dies kann gegebenenfalls auch auf sehr schlichte Weise erfolgen, zum Beispiel durch manuelle Änderungen an relevanten Betriebsparametern. Neben Planungshilfsmitteln für das Monitoring kommen je nach Umfang der Optimierungsmaßnahmen auch (wieder) Simulationswerkzeuge zum Einsatz. Die Handlungsfelder im Rahmen des Monitoring sind in Abbildung 7 dargestellt.



Abb. 7: Handlungsfelder im Rahmen des Monitoring

Rückbau

Nach der Nutzungsphase erfolgt der Rückbau, der die Entsorgung aller Anlagen und Materialien umfasst.

Am Ende der Lebensdauer von Gebäuden und Anlagen steht der Rückbau. Vor dem Hintergrund, dass Baustoffe den größten Teil der Siedlungsabfälle ausmachen, sollte diese Projektphase von Anfang an berücksichtigt werden. Der Rückbau kann auch einen großen Einfluss auf die Lebenszyklusanalyse eines Objekts bzw. Quartiersprojekts haben. Hier wirkt es sich günstig aus, wenn Objekte möglichst lange genutzt werden können und auch einfache Umnutzungsmöglichkeiten bestehen. Welche Kosten dann tatsächlich durch den Rückbau entstehen, hängt stark von den verwendeten Baustoffen ab. Im Idealfall sollten diese wiederverwendbar, recyclingfähig oder zumindest einfach zu entsorgen sein. Für die meisten Rückbauarbeiten von Bauwerken sind Genehmigungen erforderlich. Energetisch und auch oft finanziell sinnvolle Alternativen zum Rückbau sind daher Umnutzungen des Objekts mit oder ohne bauliche Veränderungen.

Aufgaben und Bedeutung von Planungshilfsmitteln bei der Quartiersentwicklung

Für die Konzeption und Planung energieeffizienter Stadtquartiere kommt eine Vielzahl energetischer Maßnahmen sowohl an der Gebäudehülle als auch zur Effizienzsteigerung der Energieversorgung in Frage, die sich gegenseitig beeinflussen können. Um diese Potenziale auch langfristig zu nutzen, ist ein integraler Planungsprozess erforderlich. Planungshilfsmittel können diesen begleitend unterstützen, um komplexe Maßnahmen und deren Kombinationen zu bewerten und so die notwendigen Entscheidungen auf eine wissenschaftliche Basis zu stellen. Zudem wird während der gesamten Projektplanung, von der ersten Potenzialabschätzung bis hin zum Monitoring des Betriebs, eine große Datenmenge erfasst, ausgewertet, weiterverarbeitet und visualisiert. Auch dabei können Planer und Anlagenbetreiber von Planungshilfsmitteln unterstützt werden.

Eine typische Aufgabe zu Beginn des Planungsprozesses ist die Abbildung des Status Quo, also des aktuellen energetischen Zustands der Gebäudehülle und der Versorgung. Dazu zählen neben energetischen Kenngrößen wie Primärenergieverbrauch und CO₂-Emissionen auch Angaben zur Wirtschaftlichkeit. Zur genaueren Abbildung des aktuellen, aber auch eines möglichen zukünftigen Zustands ist eine detaillierte Datenbasis mit Informationen über zeitliche Abhängigkeiten und die räumliche Struktur des Quartiers notwendig. Zu den Informationen gehören Eigenschaften der Gebäude (wie Flächen, Heizwärmebedarf, Strombedarf, Sanierungsstand etc.), lokale Wetterbedingungen und Nutzungsprofile. Generell gilt: Je detaillierter und valider die Datenbasis, umso exakter können der aktuelle Zustand und auch zukünftige Szenarien abgebildet werden. Die Erfahrung zeigt, dass es eine große Herausforderung darstellt, diese Datenbasis zu beschaffen. Generell lässt sich sagen, dass die Daten-

lage zu Beginn immer sehr dürftig ist. Qualität und Quantität der Daten hängen unmittelbar mit dem Bilanzraum, der zeitlichen und räumlichen Auflösung sowie dem Betrachtungszeitraum zusammen. Üblicherweise werden Planungshorizonte von 20 bis 30 Jahren skizziert, um Quartiere nachhaltig in ihrer energetischen Struktur zu wandeln.

Mit Planungshilfsmitteln auf Modellbasis kann zunächst der Ausgangszustand als Referenzszenario abgebildet und analysiert werden. Im nächsten Schritt wird dieser durch Variation des Modells mit alternativen Szenarien verglichen. Diese können unterschiedliche Maßnahmenkombinationen mit diversen energetischen, ökologischen und ökonomischen Randbedingungen enthalten. Hierbei können unterschiedliche Modelltypen (beispielsweise Simulations- und Optimierungsmodelle) zum Einsatz kommen, die im Kapitel „Grundlagen zur Modellierung“ näher erläutert werden. Ein modellbasierter Vergleich zwischen dem Status Quo und verschiedenen möglichen Alternativszenarien unterstützt den Planer bei der Entscheidungsfindung. Dabei ist zu beachten, dass die in den Modellen enthaltenen Annahmen und Randbedingungen sowie die genutzte Datenbasis den Anforderungen der jeweiligen Projektphase entsprechen müssen (vgl. Abbildung 8).

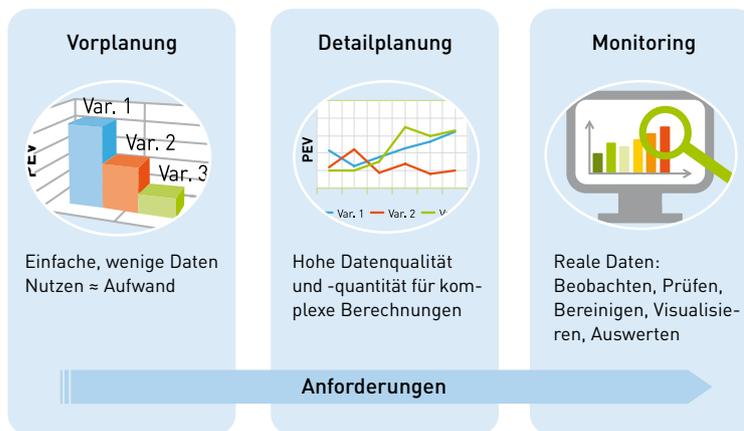


Abb. 8: Anforderungen an Planungshilfsmittel

Während der Vorplanung werden zunächst erste Konzepte verglichen. Dies erfolgt zumeist auf einer kleinen Datenbasis. Die Konzeptvarianten umfassen in der Regel unterschiedliche Maßnahmen, verfolgen jedoch das gleiche vordefinierte Ziel. Da Nutzen und Aufwand in einem ausgeglichenen Verhältnis zueinander stehen sollten, sind auch empirisch ermittelte Daten in dieser Projektphase ausreichend. Hier zeichnen sich Tools aus, die schnell erlernbar und einfach zu bedienen sind und damit vielen unterschiedlichen Anwendern zur Verfügung stehen.

In der Detailplanung hingegen werden differenzierte Maßnahmen betrachtet und analysiert. Dies erfordert Daten und Modelle in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung in entspre-

chender Qualität und Quantität. Dabei werden Methoden und Verfahren eingesetzt, die detailliert Ist- und mögliche Soll-Zustände abbilden sollen. Dazu bieten Planungshilfsmittel und im Speziellen Softwaretools die Möglichkeit, diese Analysen zu erleichtern, zu beschleunigen und sicherer zu machen. Erleichterung bieten sie, indem einerseits große Datenmengen handhabbar werden und andererseits auf gängige Methoden durch bereits im Voraus entwickelte Algorithmen und Simulationsmodelle zurückgegriffen werden kann bzw. sich neue Methoden erheblich schneller und zuverlässiger entwickeln lassen. Da vor allem Softwaretools in der Regel individuell anpassbar sind, können vorhandene Methoden weiterentwickelt und neue integriert werden.

Weiterhin werden durch den Einsatz von Simulationsprogrammen Berechnungen für den Austausch zwischen Anwendern und Experten transparenter und besser nachvollziehbar. Dies und die Automatisierung von Rechenaufgaben ermöglichen es, die Qualität mathematischer Berechnungen zu steigern. Die Aufgabenverlagerung vom Menschen hin zum Computer führt zu schnelleren Antwortzeiten und Ablaufgeschwindigkeiten. Dadurch wird es erst möglich, bestimmte Planungsaufgaben mit einem vertretbaren Aufwand auch in der Breite durchzuführen.

Nach der Umsetzungsphase erfolgt das Monitoring, bei dem die installierten Versorgungssysteme überwacht und daraufhin analysiert werden, inwiefern die im Vorhaben geplanten Ziele erreicht werden. Beim Monitoring stehen der Umgang mit und das Management von großen Datenmengen im Vordergrund. Dabei liegt der Schwerpunkt auf dem Erfassen, Beobachten, Auswerten und Interpretieren von Gebäude- und Anlagendaten im zeitlichen Verlauf. So entsteht eine große Menge von Daten, die be- und verarbeitet werden müssen, um Prozesse und Anlagenbetrieb zu kontrollieren und daraus Optimierungspotenziale zu ermitteln. Hier helfen vor allem Schnittstellen zwischen den Messsystemen und der Datenbearbeitung sowie Tools zur Datenauswertung. Dies umfasst zum einen das Prüfen und Reinigen von Datenbeständen und zum anderen die Visualisierung von Daten, um wiederkehrende Muster und damit den zeitlichen Verlauf der Daten besser erkennen und interpretieren zu können.

Die Anforderungen an die eingesetzten Planungshilfsmittel sind vielfältig und unterscheiden sich teilweise stark voneinander, da sie von der jeweiligen Planungsaufgabe abhängen. Bei der Auswahl sind die individuellen Stärken und Schwächen der Planungshilfsmittel zu hinterfragen und zu berücksichtigen (siehe auch Kapitel „Auswahl von Planungshilfsmitteln“).

Im Rahmen eines EnEff:Stadt-Projektleiter-Meetings wurde ein Workshop zum Thema Planungshilfsmittel durchgeführt. Zusätzlich zu individuellen Anforderungen wurde im Workshop folgende zentrale Anforderung herausgearbeitet: Planern und Entscheidern ist es wichtig, die mit Hilfe der Planungshilfsmittel generierten Ergebnisse zu verstehen, da sie die Verantwortung für das Planungs- bzw. Umsetzungsprojekt im Quartier tragen. Dazu ist es elementar, dass sie die Funktionalitäten sowie die Stärken und Schwächen des Planungshilfsmittels kennen und auch wissen, wie die resultierenden Ergebnisse zu interpretieren sind. Dieses Verständnis kann mit Hilfe der zugehörigen Dokumentation gewonnen werden;

aus dieser sollte hervorgehen, welcher Lösungsweg dem Planungshilfsmittel zugrunde liegt, warum er gewählt wurde und wie er umgesetzt wurde.

Grundlagen der Modellierung

In den Projekten der Forschungsinitiative EnEff:Stadt stellen mathematische Modelle den überwiegenden Anteil der eingesetzten Planungshilfsmittel dar und spielen folglich eine zentrale Rolle. Um ein grundsätzliches Verständnis des Themas zu vermitteln, werden im Folgenden die Modellbildung und deren qualitäts- und komplexitätsbestimmende Randbedingungen erläutert. Weiterhin sollen die Zielsetzungen der unterschiedlichen Modellierungsansätze gezeigt werden.

Modellbildung

Mathematische Modelle können reale Prozesse mit Hilfe verschiedener Annahmen vereinfacht abbilden und damit das Verhalten eines komplexen Systems beschreiben. Somit kann mit einem vergleichsweise geringen Aufwand zum Beispiel der Status Quo mit vielen Szenarien verglichen werden. Nach Beck und Arnold (1977) (vgl. Abbildung 9) besteht ein mathematisches Modell aus drei Komponenten:

1. Inputvariablen → wirken auf das System ein
2. Systembeschreibung → gibt die physikalische Beschreibung des Systems wieder, indem Gesetzmäßigkeiten in mathematischer Sprache festgehalten werden
3. Outputvariablen → beschreiben die Reaktionen des Systems

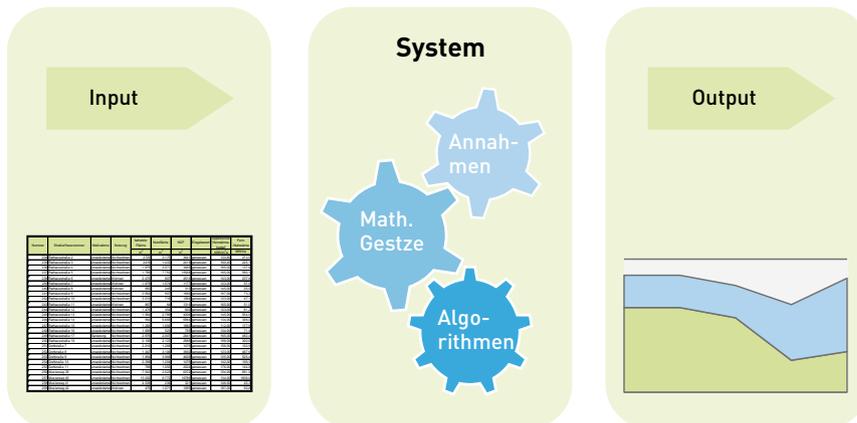
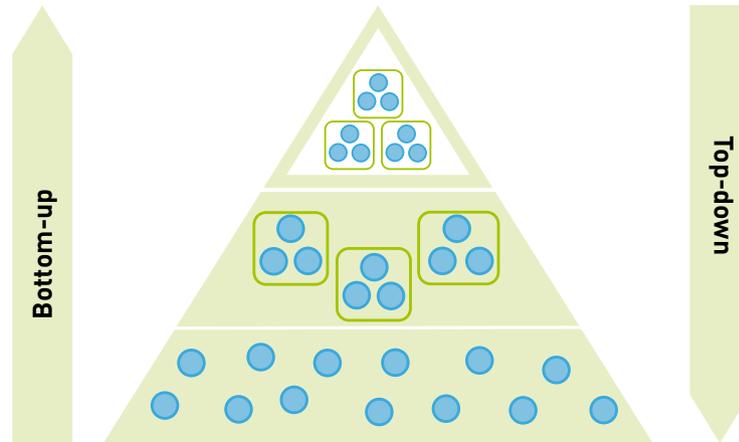


Abb. 9: Modellstruktur nach Beck und Arnold (1977)

Abb. 10: Modellierungsansätze
Top-down und Bottom-up



Um komplexe Zustände und Prozesse zu verstehen und zu beschreiben, gibt es im Hinblick auf die Denkrichtung zwei Modellierungsansätze: Top-down und Bottom-up. Der Top-down-Ansatz geht vom Gesamtsystem schrittweise hin zum Konkreten. Dabei wird der Fokus zunächst auf den Überblick des Gesamtsystems gesetzt, um dann sukzessive detaillierter zu werden. Der Bottom-up-Ansatz geht in die entgegengesetzte Richtung: Zunächst werden Einzelsysteme beschrieben und diese dann schrittweise zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt (vgl. Abbildung 10).

Randbedingungen und Annahmen

Trotz vereinfachender Annahmen können mathematische Modelle häufig einen hohen Komplexitätsgrad annehmen. Computerprogramme ermöglichen es jedoch, mit vergleichsweise geringem Aufwand sehr viele Berechnungen mit konstanter und hoher Qualität durchzuführen. Damit die Verlässlichkeit der Modelle gesichert und der Modellierungsaufwand passend zur Modellierungsaufgabe sind, sind qualitativ gute Daten und sinnvolle Annahmen notwendig. Dabei können Messdaten aus konkreten Quellen, empirisch oder per Simulation ermittelte Daten sowie aktuelle oder zukünftige Beschreibungen eines Systems genutzt werden.

Annahmen müssen für die Modellierung getroffen werden, um die mathematischen Modelle zu vereinfachen oder Zukunftsszenarien zu beschreiben. Die Basis der Annahmen bilden meist empirische Beweise, Durchschnittswerte oder zu erwartende Bedingungen.

Dabei ist außerdem die räumliche und zeitliche Auflösung zu beachten, die der jeweiligen Planungsaufgabe entsprechen muss. Zum Beispiel kann bei der Berechnung elektrischer Leistungsflüsse eine relativ kleine Schrittweite im Sekunden- bis Millisekundenbereich sinnvoll sein. Bei der Bewertung des Betriebsverhaltens und des Regelkonzepts von Versor-

gungsanlagen ist es oft sinnvoll, für den zu betrachtenden Zeitraum (von zum Beispiel Tagen oder Wochen) eine zeitliche Auflösung von einer Minute zu wählen. Auch bei der dynamischen Modellierung von Gebäuden werden typischerweise Zeitschritte im Minutenbereich gewählt. Energieverbräuche und Emissionen auf Gemeindeebene werden üblicherweise für ein Jahr ermittelt, damit saisonale Effekte ebenfalls in die Analyse miteinfließen. Weiterhin ist der Planungshorizont bei der Quartiersplanung ein wichtiger Aspekt in Bezug auf die zeitliche Betrachtung. Er gibt die Anzahl der Jahre vor, die vom Planungsprozess über die Umsetzung des jeweiligen Szenarios bis hin zum Erreichen der angestrebten Ziele zur Verfügung stehen. Bei der städtischen energetischen Planung sind Horizonte von 20 bis 40 Jahren üblich.

Im Hinblick auf den räumlichen Maßstab lässt sich von unten beginnend eine Einteilung in folgende Ebenen vornehmen:

- den energetischen Verbrauch eines Geräts,
- einen Raum innerhalb eines Gebäudes,
- bezüglich des Gebäudes
 - dessen Nettogeschossfläche,
 - beheizte Fläche und
 - Nutzfläche,
- die Nachbarschaft,
- das Quartier und
- die Stadt oder Kommune.

Eine höhere zeitliche und räumliche Auflösung ist nicht per se von Vorteil. Wie beschrieben, ist die Einteilung abhängig von der jeweiligen Aufgabe, weswegen es wichtig ist, früh und klar die Ziele des Vorhabens und die dazu notwendigen Aufgaben und Teilaufgaben sowie Zwischenschritte zu definieren.

Simulation und Optimierung

Neben der Unterscheidung zwischen Top-down- und Bottom-up-Ansätzen werden Modelle auch in Simulations- und Optimierungsmodelle eingeteilt. Mit Simulationen wird das Verhalten von komplexen Systemen analysiert, um Erkenntnisse über das reale System zu erhalten. So können Rückschlüsse auf Probleme und Fragestellungen gezogen und daraus Lösungsmöglichkeiten entwickelt und bewertet werden.

Grundsätzlich lassen sich Simulationsmodelle in statische oder dynamische, stochastische oder deterministische und diskrete oder kontinuierliche Modelle einteilen. Statische Simulationen sind zeitunabhängig und betrachten nur ein Zeitpunkt, während dynamische Simulationen Abläufe und Änderungen über die Zeit abbilden. Stochastische Modelle sind Abbildungen der Realität, die nicht vorhersagbar, also zufällig sind, und dementsprechend auf Wahrscheinlichkeiten und statistischer Häufigkeitsverteilung basieren. Dagegen setzen sich deterministische Modelle aus bekannten, eindeutigen Beziehungen zusammen. Für die Auf-

teilung in diskrete und kontinuierliche Modelle ist das Kriterium der Kontinuität der Systemvariablen entscheidend. Dabei sind bei diskreten Modellen die Variablen nur zu bestimmten Zeitpunkten definiert. Bei kontinuierlichen Systemen ändern sich diese Variablen laufend. Detaillierte Erläuterungen zu den erwähnten Klassifizierungen der Simulation sind zum Beispiel bei Werner (2008), Kolonko (2008) und Bol (2004) zu finden. Weitere Kategorien zur Einteilung sind in der Literatur zu finden, beispielsweise bei Köcher (2000), Georgii (2009), Hedstück (2013) und Bossel (2004).

Bei der Optimierung ist das Ziel, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Eigenschaften und Anforderungen ein optimales erreichbares Ergebnis unter vielen möglichen Lösungen zu finden. Aus mathematischer Sicht gilt es dabei, eine Zielfunktion je nach Definition zu maximieren bzw. zu minimieren. Im Beispiel der Quartiersentwicklung könnte dies der monetäre Ertrag bzw. die Wirtschaftlichkeit oder die benötigte Primärenergie sein. Um diese Ziele zu erreichen, müssen zusätzlich Nebenbedingungen erfüllt sein, die mit Hilfe von Gleichungen oder Ungleichungen im mathematischen Modell beschrieben werden, z. B. technische Ober- und Untergrenzen wie maximale Heizleistungen oder Speicherkapazitäten.

Wichtige Klassen von Optimierungsproblemen, grundlegende Definitionen und gängige Optimierungsverfahren sind in Unger (2010), Gritzmann (2013) und Jarre (2004) beschrieben.

II Querauswertung zu Planungshilfsmitteln in der Quartiersentwicklung

Überblick und Einordnung der Querauswertung

Es folgt eine Auswertung der Demonstrationsprojekte der Forschungsinitiative EnEff:Stadt im Hinblick auf die für die energetische Quartiersplanung eingesetzten Planungshilfsmittel. Dabei wurden Berichte ausgewertet, Interviews geführt und Workshops veranstaltet.

Zu Beginn der Analyse erfolgt im vorliegenden Kapitel zunächst eine allgemeine Einordnung. Diese umfasst zum einen eine Einteilung der analysierten Demonstrationsprojekte in die im Kapitel „Prozess der energetischen Quartiersentwicklung“ vorgestellten Projektphasen; zum anderen wird gezeigt, wie häufig in den Projekten welche Energieversorgungsarten evaluiert wurden. Im nächsten Schritt der Analyse werden im Kapitel „Querschnittsanalyse“ verschiedene Kategorien vorgestellt, nach denen die Planungshilfsmittel eingeteilt werden können. Es wird für alle definierten Unterkategorien dargestellt, ob und wie häufig ein Planungshilfsmittel eingesetzt wurde. Im letzten Schritt der Analyse wird im Kapitel „Planungshilfsmittel in der Quartiersentwicklung“ eine Detailauswertung zu den eingesetzten Planungshilfsmitteln durchgeführt. Dabei wird nach Software- und Nicht-Software-Planungshilfsmitteln sowie nach den verschiedenen Anwendungsgebieten untergliedert. In der gesamten Analyse werden zum einen Erfahrungen aus den Projekten zu den jeweiligen Themen in Bezug auf die Planungshilfsmittel wiedergegeben; zum anderen sollen in der Detailanalyse konkret verwendete Produkte, deren projektbezogene Aufgabenstellungen und die dabei gemachten subjektiven Erfahrungen dargestellt werden.

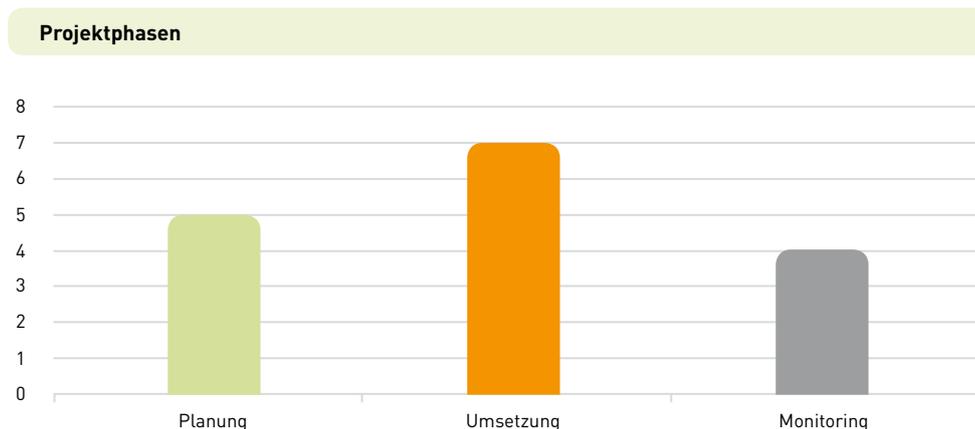
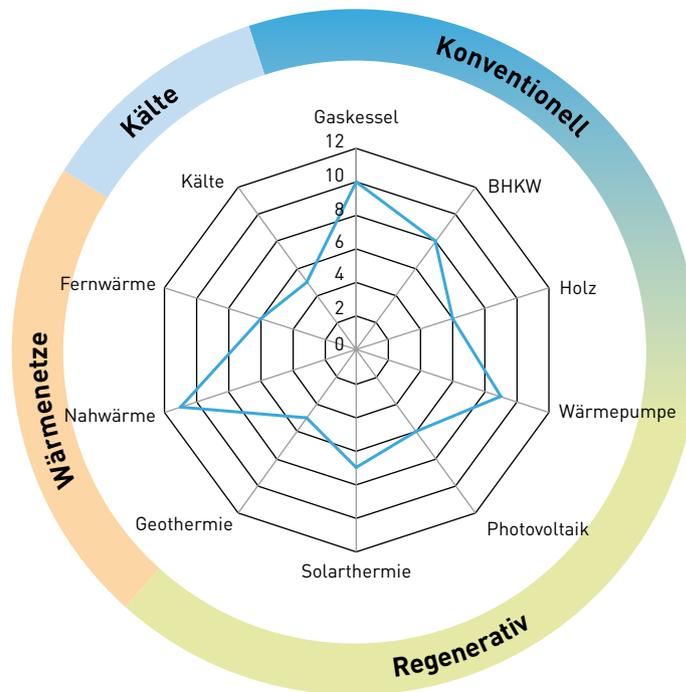


Abb. 11: Schwerpunktmäßige Zuordnung der ausgewerteten EnEff:Stadt-Projekte zu den Projektphasen

Für die Querauswertung wurden 16 Projekte aus der Forschungsinitiative betrachtet. Davon befanden sich 5 in der Planungsphase (d. h. Vor- oder Detailplanung), 7 in der Umsetzung und 4 im Monitoring (vgl. Abbildung 11). Diese Zuordnung erfolgte nach dem jeweiligen Schwerpunkt der Projekte, einzelne Projekte können also im Rahmen der Bearbeitung auch mehrere Phasen durchlaufen haben. Beispielsweise erfolgte in Projekten mit Schwerpunkt auf der Umsetzung im Vorfeld oft zumindest auch eine Detailplanung.

Das Kernstück einer energetischen Quartiersentwicklung sind die eingesetzten Versorgungstechnologien. Da städtische Siedlungsgebiete viele Möglichkeiten bieten, die Energieeffizienz zu steigern, sind die Ausrichtungen und Ansätze der einzelnen Projekte sehr individuell. Abbildung 12 zeigt, welche Versorgungstechnologien in den ausgewerteten Demonstrationsprojekten eingesetzt wurden. Als Erstes fällt hier auf, dass relativ viele Projekte sich mit konventionellen Technologien auseinandersetzen. Vor allem der etablierte Gaskessel und die auch im Allgemeinen zunehmend verwendete BHKW-Technologie werden häufig in die Planungen miteinbezogen. Das lässt sich dadurch erklären, dass vor allem diejenigen Projekte, die sich auf die Konzeptphase beziehen, viele unterschiedliche Technologien und Technolo-

Abb. 12: Verteilung der Energieversorgungsarten in den EnEff:Stadt-Demonstrationsprojekten. Basis: 16 ausgewertete Projekte



gievarianten betrachten. Dabei werden die konventionellen Technologien, die den Ist-Zustand darstellen, häufig als Benchmarks genutzt, um damit andere Varianten mit ergänzten Zielgrößen zu vergleichen. Bei der regenerativen Energieerzeugung stechen die Geo- und die Solarthermie heraus. Dies ist kongruent zur Verteilung der Wärmenetze, da vor allem Nahwärmenetze in vielen Projekten eine große Rolle spielen. Dabei geht es um die Einbindung dezentraler Wärmeerzeuger in Wärmenetze, die ein viel beachtetes Thema sind und im Kapitel „Energieversorgung“ mit weiteren Forschungsschwerpunkten im Bereich der Versorgungstechnologien näher betrachtet werden. Einen Sonderfall bildet die Wärmepumpe, die in ihrem gängigsten Technologietyp – der elektrisch angetriebenen Kompressionswärmepumpe – Nutzwärme nahezu emissionsfrei bereitstellen kann, wenn sie mit Strom aus erneuerbaren Quellen betrieben wird. Den Einsatz von Wärmepumpen betrachteten 9 der 16 Demonstrationsprojekte. Ein Thema, das in nur 3 Demonstrationsprojekten betrachtet wurde, ist die Kälteerzeugung. Ein Thema, das ebenfalls eine untergeordnete Rolle spielt, ist die Systemintegration von Photovoltaikanlagen im Quartier.

Querschnittsanalyse

Wie einleitend beschrieben, sind Planungshilfsmittel Werkzeuge und Methoden, die Planer und Entscheider bei der Quartiersentwicklung unterstützen. Bei der Querauswertung der Demonstrationsprojekte zeigte sich, dass von den Projektbeteiligten vorwiegend Softwaretools als Planungshilfsmittel wahrgenommen werden, was evtl. an deren stärkerer Präsenz liegt. Nicht-Software-Planungshilfsmittel wurden dagegen nur selten benannt und sind u. a. daher auch in der vorliegenden Querauswertung unterrepräsentiert. Neben der subjektiven Wahrnehmung kann auch die rasante Entwicklung der Softwaretools in den letzten Jahrzehnten ein Grund für ihre große Bedeutung in den Projekten darstellen. Softwaretools werden immer effizienter, so dass sie mehr und mehr Planungsaufgaben übernehmen können. Vor allem betrifft dies sehr komplexe und zeitintensive Planungsaufgaben, die in derartiger Detailtiefe zum Teil früher nicht oder nur schwer umsetzbar waren. Die zunehmende Standardisierung von Softwaretools macht diese außerdem verlässlicher und erhöht die Qualität der Ergebnisse, so dass auch die Anwendung in der Breite zunimmt. Dies führt dazu, dass Tools nicht nur von Experten mit Spezialwissen genutzt werden können und den gesamten Planungsprozess immer weiter durchdringen.

Zur eingrenzenden Untersuchung des Einsatzes der Planungshilfsmittel wurden diese nach ihren Einsatzgebieten in folgende Kategorien eingeteilt, die teilweise noch weiter untergliedert sind:

- Projektphasen,
- Anwendungsgebiete,
- Anwender und
- Energieversorgungstechnologien.

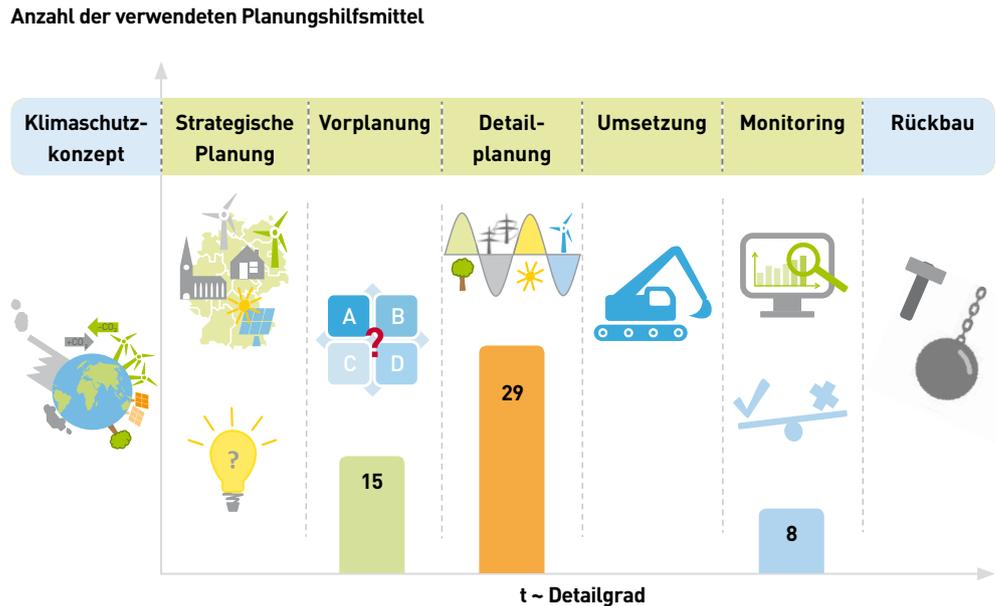
Projektphasen

Die Unterteilung nach Projektphasen basiert auf den im Kapitel „Prozess der Quartiersentwicklung“ vorgestellten Phasen, die Quartiersprojekte durchlaufen. Explizit werden die Phasen Vorplanung, Detailplanung und Monitoring betrachtet, da die in den Demonstrationsprojekten von EnEff:Stadt eingesetzten Planungshilfsmittel ausschließlich diesen Phasen zuzuordnen sind. Aufgrund der einleitend angeführten Gründe ist nicht auszuschließen, dass auch in der Umsetzung Planungshilfsmittel verwendet wurden, die von den Projektbeteiligten jedoch nicht als solche identifiziert und benannt wurden.

Abbildung 13 zeigt, dass vor allem in der Detailplanung viele Planungshilfsmittel (29) zum Einsatz kommen. In der Vorplanung und im Monitoring wurden hingegen 15 bzw. 8 Planungshilfsmittel genutzt.

Der häufige Einsatz von Planungshilfsmitteln in der Detailplanung kann zum einen damit erklärt werden, dass viele der ausgewerteten Projekte eine Detailplanung durchführen. Zum anderen liegt es an den für eine Detailplanung typischen Fragestellungen, da diese sehr komplex und zeitintensiv zu bearbeiten sind. Planungshilfsmittel können diesen Prozess sehr unterstützen. In der Vorplanungsphase hingegen liegt der Fokus auf der Konzeptentwicklung und -bewertung. Hier kommen Planungshilfsmittel zum Einsatz, die mit einer relativ kleinen und groben Datenbasis auskommen. Im Monitoring befanden sich vergleichsweise wenige

Abb. 13: Projektphasen und Anzahl der verwendeten Planungshilfsmittel in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt



Projekte, so dass in dieser Projektphase entsprechend relativ wenige Planungshilfsmittel eingesetzt wurden. Auch können die Aufgaben während des Monitoring ein Grund für die relativ geringe Anzahl an Planungshilfsmitteln sein. Hier liegt der Fokus auf Daten-Handling, -Management und -Auswertung, also Aufgaben, die im Vergleich zu den Aufgaben bei der Detailplanung meist weniger komplex ausfallen.

Anwendungsgebiete

Ganzheitlich betrachtet, treten in den Projekten der Forschungsinitiative typische Planungsaufgaben auf, die mit Planungshilfsmitteln bearbeitet werden und je nach Anforderungen und Randbedingungen unterschiedlichen Projektphasen zuzuordnen sind. Unabhängig von diesem Detailgrad werden in der folgenden Einteilung typische Anwendungsgebiete gezeigt. Eine Untergliederung der Anwendungsgebiete wurde umgesetzt in die in Abbildung 14 dargestellten Themen:

- Gebäudesimulation
- Auslegung einzelner Versorgungsanlagen
- Simulation von Anlagenkombinationen
- Auslegung von Wärmenetzen
- räumliche Analyse
- Optimierungsrechnungen
- Datenauswertung

Diese Anwendungsgebiete sind nicht vollständig voneinander abgegrenzt (beispielsweise werden Optimierungsrechnungen teilweise eingesetzt, um einzelne Erzeugungsanlagen auszuliegen). Diese Überschneidungen wurden aber bewusst akzeptiert, um die in der Analyse als besonders relevant erkannten Themen kompakt darstellen zu können.

Abbildung 14 stellt die Anzahl der eingesetzten Planungshilfsmittel in den jeweiligen Anwendungsgebieten dar. Zur Gebäudesimulation und Datenauswertung wurden mit 18 bzw. 19 relativ viele Planungshilfsmittel eingesetzt. Zur Auslegung einzelner Erzeugungsanlagen und bei der Durchführung von Optimierungsrechnungen wurden 11 bzw. 12 Planungshilfsmittel genutzt. Die wenigsten wurden zur Auslegung von Wärmenetzen, zur Simulation von Anlagenkombinationen und für räumliche Analysen genutzt (8, 7 bzw. 6 Planungshilfsmittel).

Einsatz der Planungshilfsmittel in Anwendungsgebieten

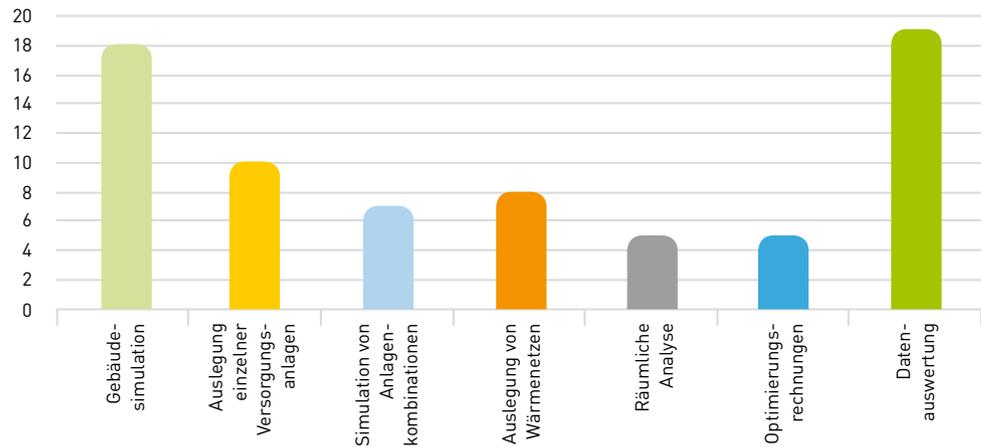


Abb. 14: Einsatz der Planungshilfsmittel in den Anwendungsgebieten

Anwender

Die untersuchten Demonstrationsprojekte kommen alle aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt und ähneln sich daher naturgemäß in ihrer wissenschaftlichen Grundausrichtung und auch in der Zusammensetzung der durchführenden Akteure. Dementsprechend kommen auch die befragten Anwender von Planungshilfsmitteln vorwiegend aus der wissenschaftlichen Forschung. Um trotzdem einschätzen zu können, in welchen Bereichen Planungshilfsmittel außerhalb der Forschungsinitiative EnEff:Stadt genutzt werden können, wurde eine ergänzende Recherche in den Herstellerangaben durchgeführt. Die Hersteller von Planungstools geben zum Beispiel in Produktbeschreibungen an, an welche Zielgruppe das jeweilige Tool sich richtet. Ergebnis ist eine Einteilung in folgende Anwendergruppen (dargestellt in Abbildung 15):

- Stadtplaner
- Energieversorger
- Wohnungsbaugesellschaften
- Ingenieurbüros und Anlagenplaner
- Architekten
- Wissenschaft und Forschung

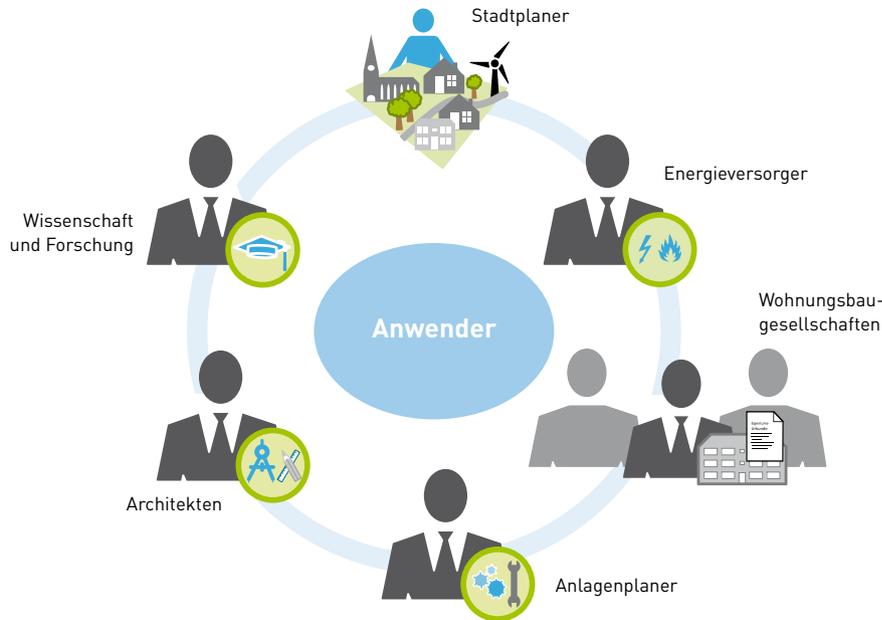


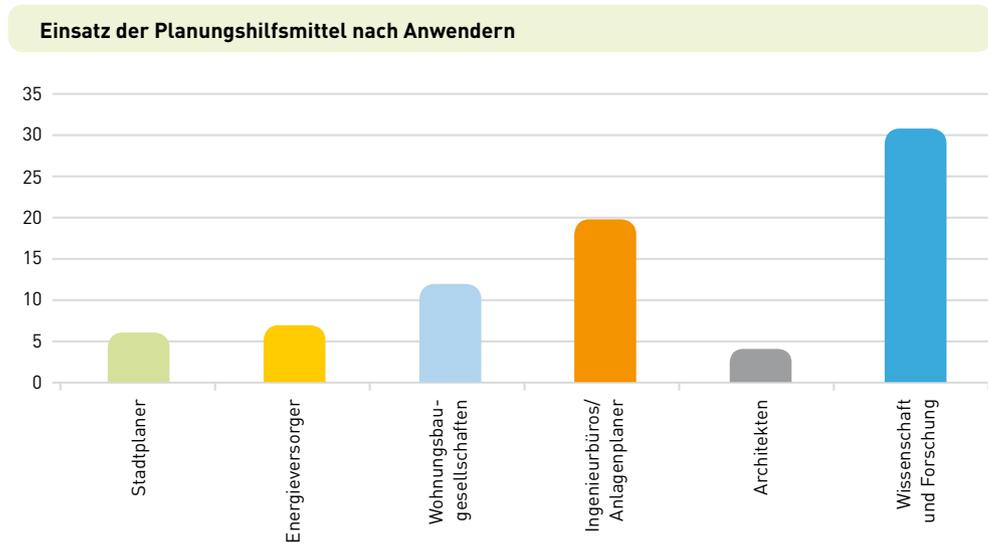
Abb. 15: Anwendergruppen von Planungshilfsmitteln

Vom Vergleich und der Entwicklung von Konzepten über die detaillierte Ausarbeitung eines ausgewählten Konzepts und dessen Umsetzung bis hin zu Monitoring und Betriebsoptimierung ist eine Vielzahl von Akteuren an der Entwicklung von Quartieren beteiligt.

Bei den Projekten in der Forschungsinitiative EnEff:Stadt sind es zu Beginn vor allem die Projektträger – etwa aus Wissenschaft, Kommunen oder Wohnungsbaugesellschaften –, die die Ziele definieren und die Weichen auf administrativer und gesellschaftlicher Ebene stellen. Beim Erstellen, Bewerten und Auswählen der Konzepte sind diese Projektträger in einer koordinativen Rolle und als Entscheidungsträger tätig. Dabei wird meistens auch Experten- und Fachwissen benötigt, weswegen es je nach Aufgabe Schnittstellen zu weiteren Akteuren geben kann. Für die Detailplanung ist fachliches Know-how zum Beispiel zur Dimensionierung von Anlagen und Anlagenkombinationen notwendig, so dass Ingenieurbüros, Anlagenplaner, Energieversorger, Architekten und Fachleute aus Wissenschaft und Forschung vermehrt zum Einsatz kommen. Während des Monitoring und der Betriebsoptimierung ist Fachwissen vor Ort entscheidend, das Anlagenbetreiber und – da zumeist projektbegleitend anwesend – das Personal aus Wissenschaft und Forschung einbringen können.

In Abbildung 16 ist dargestellt, für welche Anwendergruppen die Planungshilfsmittel entwickelt wurden und wer sie in den Projekten tatsächlich eingesetzt hat. Auch hier wird die besondere Rolle der Experten aus Wissenschaft und Forschung deutlich, die federführend oder zumindest begleitend an vielen der Demonstrationsprojekte beteiligt sind. Deswegen

Abb. 16: Planungshilfsmittel, kategorisiert nach recherchierten und praktischen Anwendergruppen



und auch, weil Spezial- und Fachwissen vor allem in der Wissenschaft und Forschung vorhanden ist, sind sie während der gesamten Quartiersentwicklung Anwender und auch Entwickler von Planungshilfsmitteln.

Energieversorgungstechnologien

Ziel der Forschungsinitiative EnEff:Stadt ist die Effizienzsteigerung durch den intelligenten Einsatz neuer, innovativer Technologien. Diese können auch darin bestehen, bereits bekannte und etablierte Versorgungstechnologien in neuen, systemischen Ansätzen zu nutzen.

Wie im Kapitel „Überblick und Einordnung der Querauswertung“ dargestellt, sind Wärmenetze die am häufigsten untersuchte Technologie in der Forschungsinitiative. Übergeordnet werden dabei ganzheitliche Konzepte und Konzepte mit einem Niedrig-Exergie-Ansatz entwickelt. Konkret geht es beispielsweise darum, dezentrale Energiewandler in Wärme- und Kältenetze einzubinden, oder um die sektorübergreifende Systemintegration von Wärme und Strom.

Bei der Einbindung dezentraler Energiewandler geht es in den Forschungsprojekten vor allem um die Frage, auf welche Weise dezentrale, regenerative Wärmeerzeugungstechnologien – beispielsweise die Solarthermie – wirtschaftlich, partizipativ und rechtlich in Wärmenetze eingebunden werden können. Weitere Untersuchungen zur Versorgungstechnik befassen sich mit der Wärmeversorgung durch BHKW, thermischen Speichern und oberflächennaher Geothermie.

Um diese Technologien konkret in die Quartiersentwicklung einzubinden, ergeben sich typische Planungsaufgaben: die Auslegung von Versorgungssystemen, die Simulation von Systemen, das Monitoring und die Betriebsoptimierung. Diese sind in den Kapiteln „Prozess der energetischen Quartiersentwicklung“ und „Planungshilfsmittel in der Quartiersentwicklung“ allgemein und im Kontext der Forschungsinitiative näher erläutert.

In Bezug auf den Einsatz von Planungshilfsmitteln bei Versorgungssystemen wurden die Erzeugertechnologien und Verteilsysteme betrachtet. Dabei wird der Gaskessel, da als etablierte Technologie angesehen, nicht berücksichtigt. Die Einteilung der Erzeuger erfolgte nach den Technologien:

- BHKW (Erd- und Biogas),
- Biomasseheizkraftwerk,
- Wärmepumpe,
- Photovoltaik und
- Solarthermie.

Abbildung 17 zeigt, wie viele Planungshilfsmittel in den Demonstrationsprojekten zum Einsatz gekommen sind, um Planungsaufgaben bezüglich der jeweiligen Erzeugertechnologien zu bearbeiten. Es zeigt sich, dass in 8 Projekten 5 Planungstools im Bereich der BHKW-Technologie genutzt wurden. In 6 Projekten, die sich mit Biomasseheizkraftwerken beschäftigten, kamen 2 Planungshilfsmittel zum Einsatz. Zur Planung von Wärmepumpen haben 9 Projekte insgesamt 4 Planungshilfsmittel genutzt. Im Bereich der solaren Systeme (Photovoltaik und Solarthermie) wurden 3 bzw. 5 Planungstools eingesetzt, bei 6 bzw. 7 Projekten.

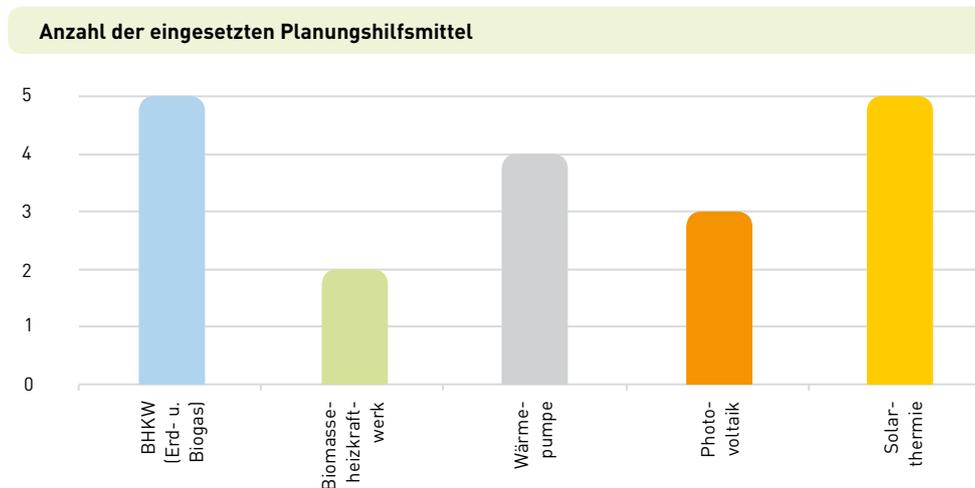


Abb. 17: Einteilung der eingesetzten Planungshilfsmittel nach Einsatz im Hinblick auf Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung

Zur Bearbeitung von Planungsaufgaben im Bereich der Energieverteilung wurden Planungshilfsmittel verwendet, die in folgende Kategorien einzuordnen sind:

- Wärmenetze,
- Kältenetze,
- Trassenplanung und
- Netzsimulation.

Abbildung 18 macht deutlich, dass Planungshilfsmittel vor allem im Bereich der Wärmenetze genutzt werden. Ein offensichtlicher Grund dafür ist die im Kapitel „Überblick und Einordnung der Querauswertung“ dargelegte Tatsache, dass Wärmenetze in allen Projekten der Forschungsinitiative ein Thema darstellen. Zur Trassenplanung und Dimensionierung von Rohrleitungen wurden 5 Planungshilfsmittel eingesetzt. Insgesamt 4 Planungshilfsmittel wurden zur Simulation elektrischer und thermischer Netze genutzt.

Einsatz der Planungshilfsmittel im Bereich der Energieverteilung

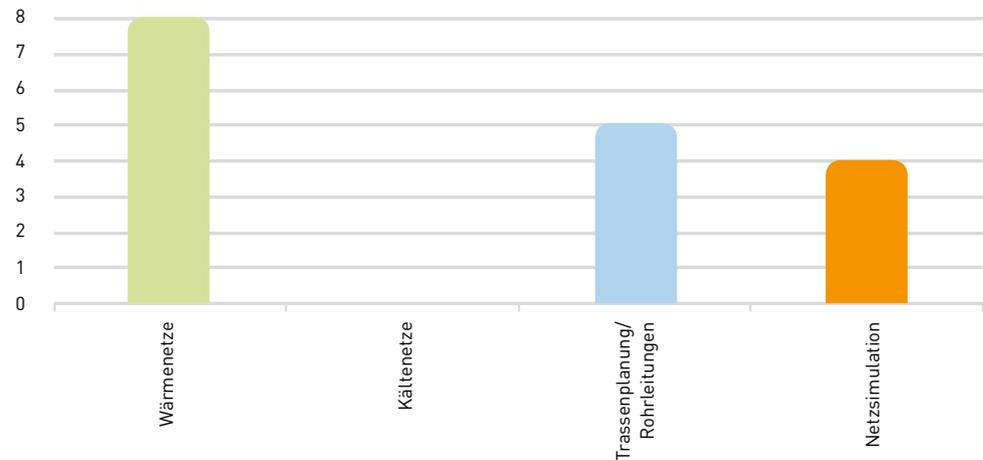


Abb. 18: Einteilung der Planungshilfsmittel nach Einsatz im Bereich der Verteilung

Planungshilfsmittel in der Quartiersentwicklung

Insgesamt wurden in den 16 untersuchten Projekten der Forschungsinitiative EnEff:Stadt ca. 40 Planungshilfsmittel eingesetzt. Davon waren lediglich 2 keine Software-Planungshilfsmittel. Die Unterteilung zwischen Software- und Nicht-Software-Planungshilfsmitteln stellt die erste Gliederungsebene in der Detailauswertung in diesem Kapitel dar. Innerhalb der Software-Planungshilfsmittel wird darüber hinaus weiter nach Anwendungsgebieten untergliedert. Innerhalb jedes Unterkapitels wird zunächst ein Überblick über die jeweiligen (Planungs-)Aufgaben und die dazu eingesetzten Planungshilfsmittel gegeben. Anschließend werden die konkreten Produkte beschrieben, die in den Projekten eingesetzt wurden. Diese Beschreibung hat nicht den Anspruch, alle Funktionalitäten der Produkte wiederzugeben, sondern orientiert sich an deren projektbezogener Aufgabenstellung und den resultierenden subjektiven Erfahrungen der Anwender in den Projekten. Der volle Funktionsumfang der Tools ist meistens größer als in diesem Zusammenhang dargestellt.

Software-Planungshilfsmittel

Wie im Kapitel „Querschnittsanalyse“ erläutert, werden die Planungshilfsmittel in der Kategorie „Anwendungsgebiete“ in die in Abbildung 19 gezeigten Unterkategorien eingeteilt. Erwähnenswert ist dabei die Tatsache, dass Aufgaben aus diesem Bereich je nach Anforderung

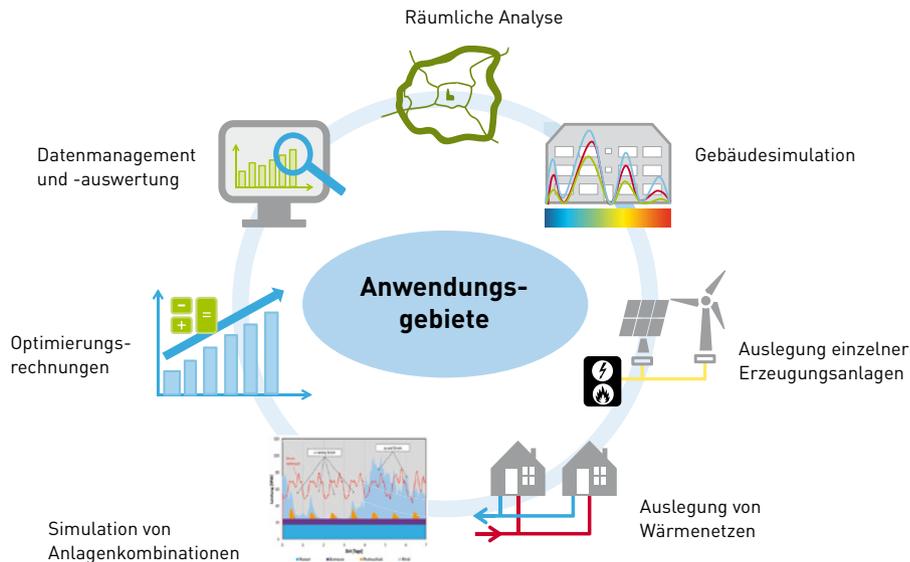


Abb. 19: Einteilung der Planungshilfsmittel nach Anwendungsgebieten

rungen und Detailgrad in unterschiedlichen Projektphasen auftreten und von verschiedenen Anwendern bearbeitet werden können, wobei sich verschiedene Versorgungstechnologien betrachten lassen. Ebenso können manche Tools für mehrere Anwendungsgebiete eingesetzt werden, weshalb diese im Folgenden mehrfach genannt werden.

Gebäudesimulation

Bei der Simulation von Gebäuden liegt das primäre Ziel darin, eine energetische Bewertung der Gebäude im Quartier durchzuführen. Dazu können Energiebedarfe und -verbräuche für Heizwärme, Brauchwasser, Kälte und Elektrizität ermittelt werden. Möglich ist das mit einem stationären oder instationären Simulationsmodell. Bei der dynamischen Simulation stehen dazu der Betrieb und das Verhalten der Gebäude und der Anlagentechnik im Fokus der Analysen. Rahmenbedingungen können Ein- oder Mehrzonenmodelle sein, die die Geometrie eines oder mehrerer Bilanzräume bzw. Gebäudezonen (beispielsweise Räume) berücksichtigen. Mit der physikalischen Abbildung wird das thermische und stoffliche Verhalten untersucht, um Wärmetransport und -kapazität zur energetischen Analyse sowie den Stofftransport zur feuchtetechnischen Analyse der Wandbauteile durchzuführen. Zum Abbilden des Verbrauchs werden neben Gebäudeparametern zu Dämmung, Geometrie und Sanierungsstand ebenfalls empirische und synthetische Verbrauchsprofile, meteorologische Daten, der Einfluss der Nutzer und geografische Daten als Faktoren eingesetzt.

Die Ermittlung des Energiebedarfs stellt den wesentlichen Punkt bei der Simulation von Gebäuden dar, wobei Energiebedarfe in thermischer und elektrischer Form in diversen Verbrauchsarten auftreten. Der Energiebedarf ist die berechnete zum Nutzen einer Anwendung benötigte Energiemenge. Große Teile des Energiebedarfs setzen sich im Gebäudebereich aus dem Bedarf an Heiz- und Brauchwasserwärme sowie dem an Elektrizität für diverse Anwendungen wie Raum-Lufttechnik oder elektrische Kleingeräte im privaten Gebrauch zusammen. Der Bedarf ist unabhängig vom Verbraucherverhalten und steht damit im Gegensatz zum Energieverbrauch, der den gemessenen Verbrauch von Anwendungen darstellt.

Bedarfslastgänge für Strom, Heizwärme und Trinkwassererwärmung werden nach VDI 4655 für Einfamilienhäuser in Minuten- und für Mehrfamilienhäuser in 15-Minuten-Schritten gemessen. Dabei werden die Leitungs- und Übergabeverluste, allerdings nicht Speicherverluste berücksichtigt.

Energiebedarfe sind während der strategischen Quartiersplanung wichtig, um ein Ziel im Vergleich zu einem Ausgangszustand zu definieren. Beim Vergleich von Konzepten sind Energiebedarfe in monatlicher und jährlicher Auflösung notwendig, um Maßnahmen- und Technologievarianten zu definieren, zu charakterisieren und zu evaluieren. In der Detailplanung ist der zeitliche Verlauf der Energiebedarfe unabdingbar, um die ausgewählten Technologien auf diese Bedarfe auszulegen. Während des Monitoring werden dann die realen Energieverbräuche erfasst, beobachtet, verarbeitet und interpretiert, um den Einsatz der umgesetzten Maßnahmen zu bewerten.

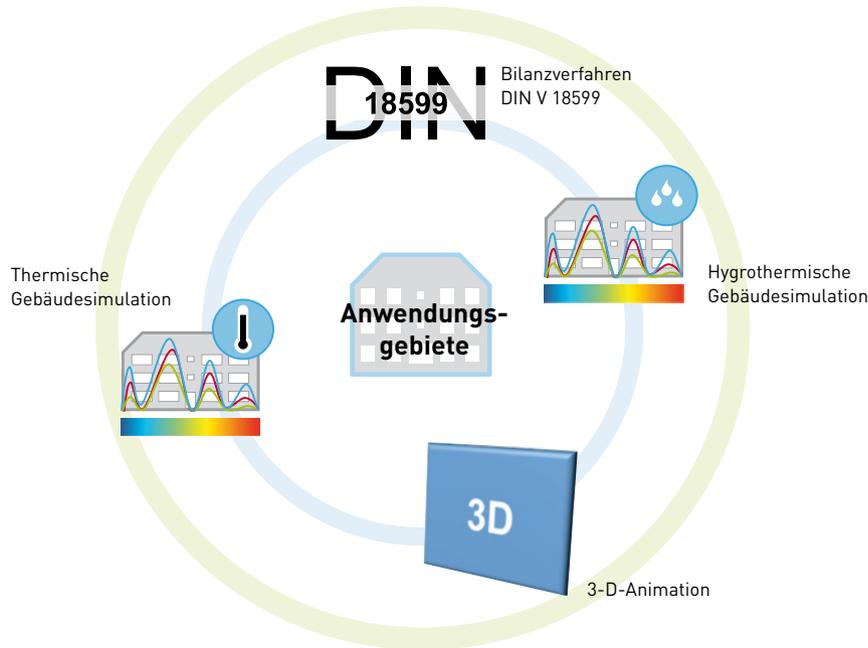


Abb. 20: Einteilung der Tools zur Gebäudesimulation

Die Gebäudesimulation stellt einen sehr weit gefächerten Themenkomplex dar. Daher ist eine Vielzahl von Tools vorhanden. Diese werden zur Übersicht weiter unterteilt, wie es in Abbildung 20 gezeigt ist: Zunächst wird unterschieden zwischen thermischer und hygrothermischer Gebäudesimulation sowie der statischen Bedarfsermittlung, die nach dem Bilanzverfahren DIN V 18599 arbeitet; außerdem wurden Simulationstools genutzt, die die Geometrie der Gebäude verarbeiten und dreidimensional visualisieren.

Zur thermischen Gebäudesimulation eingesetzte Produkte

Zur thermisch-energetischen Gebäudesimulation dienen Energy Plus, GOMBIS 2.0, IDA-ICE, Modelica und TRNSYS, die instationäre Prozesse abbilden. Außerdem wurde das Tool PHPP2007 eingesetzt, das für den Einsatz im Bereich der Passivhäuser entwickelt wurde.

Das Simulationsprogramm EnergyPlus des US-amerikanischen Energieministeriums modelliert die Energieströme für Heizen, Kühlen, Beleuchten und Lüften sowie den Wasserverbrauch. Im Projekteinsatz wurde damit der Heizwärmebedarf einer Schule bestimmt. Die Simulationsergebnisse wurden anhand realer Monatsverbräuche validiert und ergaben gute Übereinstimmungen. Weiter wurden die Auswirkungen unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen miteinander verglichen. EnergyPlus ist ein Stand-Alone-Simulationsprogramm, das

Input wie Output als Textdateien importiert bzw. exportiert und keine eigene grafische Benutzeroberfläche (graphical user interface, GUI) besitzt. Zur bequemen Nutzung der Software steht aber eine Reihe unabhängig entwickelter GUI zur Verfügung, etwa das im weiteren Verlauf beschriebene Tool DesignBuilder; andere befinden sich noch in Entwicklung.

GOMBIS ist ein Programmpaket, mit dem neben der dynamischen Berechnung der Energiebedarfe auch ihre Deckung mit BHKW, solarthermischen Anlagen und PV-Anlagen im Vergleich zu konventioneller Erzeugung bestimmt werden kann. Basis dafür sind meteorologische Daten in stündlicher Auflösung. Angewendet wurde GOMBIS zur Simulation des Energiebedarfs und zur Analyse von Technologiealternativen.

Ein weiteres genutztes Tool zur dynamischen Gebäudesimulation ist IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) von der EQUA Solutions AG. Das Hauptmerkmal von IDA ICE ist die instationäre Abbildung des thermischen Verhaltens von Gebäuden sowie der Anlagentechnik und deren Regelung. Das komponentenbasierte Softwaretool zeichnet sich durch seine Flexibilität und benutzerspezifische Anpassbarkeit aus. Es erlaubt einerseits die Nutzung und Anpassung vorhandener Komponenten und andererseits auch die Entwicklung und Implementierung eigener Komponentenmodelle; um diese Funktionen zu nutzen, ist allerdings entsprechendes Fachwissen Voraussetzung.

Modelica von der Modelica Association ist eine objektorientierte, gleichungsbasierte Sprache, die in der Entwicklungsumgebung Dymola genutzt wurde. Modelica wurde im Speziellen für das Erstellen physikalischer Modelle entwickelt, so dass es besonders im natur- und ingenieurwissenschaftlichen Bereich Anwendung findet (Flayyih 2014). Im Einsatz wurden Modelle der Komponenten des Wärmeversorgungssystems erstellt und miteinander verknüpft, um das Wärmeversorgungssystem zu simulieren. Dabei wurden thermohydraulische Modelle der Gebäude und Gebäudekomponenten sowie der Netz- und Erzeugermodule implementiert. Ein Vorteil einer objektorientierten Sprache ist, dass damit Module aus einer Bibliothek oder aus der Eigenentwicklung mit anderen Modulen verknüpft werden können. So können auch komplexe Modelle mit mehreren Ebenen relativ effizient abgebildet werden. Das Arbeiten mit Modelica erfordert ein gewisses Fachwissen, so dass eine entsprechende Einarbeitungszeit Voraussetzung ist. Ein Vorteil von Modelica ist die individuelle Anpassbarkeit: So können relativ detaillierte Bibliothekenbausteine, die viel Rechenzeit beanspruchen, auch an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden.

Das seit 1975 etablierte und kommerziell erhältliche Tool TRNSYS (TRaNsient SYstems Simulation) wurde von der Universität Wisconsin entwickelt und seither in den USA, Deutschland und Frankreich weiterentwickelt (SEL 2012). Hauptanwendungsgebiet ist die thermisch-energetische Gebäudesimulation, bei der Randbedingungen wie Gebäudegeometrien vom Benutzer definiert, Gebäudezonen bestimmt und mit Wetterdaten das thermische Verhalten modellhaft abgebildet werden können. In der Forschungsinitiative kam es zum Einsatz, um Campusgebäude zu simulieren.

Ein Tool zur statischen Energiebedarfsermittlung speziell für Passivhäuser ist PHPP 2007, das vom „Passivhaus Institut“ entwickelt wurde. Es dient der Projektierung von Fenstern und Komfortlüftung sowie dazu, Heizlast, Heizung und Warmwasserbereitung auszulegen. In den Demonstrationsprojekten wurde PHPP 2007 genutzt, um energetische Gebäudekennzahlen und den Heizwärmebedarf zu bestimmen. Dabei hat sich das Tool vielfach als übersichtlich und einfach in der Handhabung ausgezeichnet. Auch die gute Kompatibilität beim Austausch zwischen Projektpartnern wurde hervorgehoben – das Tool basiert auf MS-Excel. Außerdem wird die Transparenz als Vorteil gesehen, da zur Berechnung zumeist Zellbezüge verwendet werden. Von den Anwendern bemängelt wurde dagegen das Fehlen verschiedener Programmfunktionen, die allerdings nicht die Kernfunktion des Tools betreffen und daher lediglich wünschenswerte Erweiterungen darstellen.

Zur hygrothermischen Gebäudesimulation eingesetzte Produkte

Bei der hygrothermischen Analyse geht es um die Wechselwirkungen von thermischem und feuchtetechnischem Verhalten in Gebäudebauteilen. In diesem Bereich eingesetzte Produkte waren WUFI bzw. WUFI Plus sowie Delphin 5. Die Simulationsumgebung WUFI wurde vom Fraunhofer IBP entwickelt, um die genannten Wechselwirkungen instationär und modellhaft abzubilden. Mit WUFI Plus können zusätzlich das Raumklima und damit Komfort und Energiebedarf in mehreren Gebäudezonen analysiert werden.

Vom Institut für Bauklimatik der TU Dresden wurde die Simulationssoftware Delphin 5 für den gekoppelten Wärme-, Feuchte- und Stofftransport in kapillarporösen Baustoffen entwickelt. Anwendungsbereiche dieses Tools sind unter anderem die Berechnung von Wärmebrücken, das Bemessen und Bewerten von Innendämmsystemen und die instationäre Berechnung des ganzjährigen Heizenergiebedarfs. In den Demonstrationsprojekten wurden die Feuchte- und Wärmeprozesse simuliert und in 2-D- und 3-D-Modellen dargestellt. Dabei stellte sich als Vorteil dieses Tools heraus, dass alle Berechnungen und Visualisierungen für das Gesamtgebäude und auch für einzelne Bauteile durchgeführt werden können.

Zum Bilanzverfahren nach DIN V 18599 eingesetzte Produkte

Bei der Energiebilanzierung geht es um die quantitative Ermittlung der Energieströme in einem Gebäude. Dafür werden der Verbrauch und die Verluste sowie der resultierende Bedarf ermittelt. Da dieses Themenfeld durch die Komplexität des Untersuchungsgegenstandes – bedingt durch die Vielzahl existierender unterschiedlicher Gebäude und Technologien – ebenfalls unterschiedliche Methoden zur Energiebilanzierung hervorgebracht hat, wurde die Normreihe DIN V 18599 in einem ganzheitlichen Ausschuss erarbeitet.

Die Normreihe stellt eine Methode dar, um Energieeffizienz ganzheitlich zu bewerten. Bei den Berechnungen werden alle Energiemengen für Heizen, Warmwasserbereitung, raumlufttechnische Konditionierung und Beleuchtung sowie deren Wechselwirkungen berücksichtigt. Zusätzlich werden Randbedingungen geliefert, die die Nutzung unabhängig vom

individuellen Nutzerverhalten bzw. lokalen Wetterbedingungen abbilden. Anwendbar ist die energetische Bilanzierung für Wohn- und Nichtwohnbauten sowie für Neu- und Bestandsbauten. Die Methodik der DIN V 18599 ist geeignet für die Energiebedarfsbilanzierung von Gebäuden mit frei wählbaren oder teilweise festgelegten Randbedingungen und einem Bedarfs-Verbrauchs-Abgleich mit frei wählbaren Randbedingungen. Ziel der DIN V 18599 ist die Ermittlung des langfristigen Energiebedarfs für Gebäude und Gebäudeteile unter Berücksichtigung der eingesetzten erneuerbaren Energien. (Erhorn 2006)

In der Forschungsinitiative wurden zur Energiebedarfsbilanzierung nach DIN V 18599 folgende Planungshilfsmittel genutzt:

- IBP:18599,
- EnerCalc,
- Energieberater 18599,
- Energieberater 18599 3D,
- Energieberater 18599 3D Plus,
- ZUB Helena Ultra,
- E-Pass Helena und
- EnEV-XL 4.0.

Das Tool IBP: 18599 war die erste kommerziell verfügbare Software zur Berechnung nach der DIN V 18599 und war eine vollständige Neuentwicklung, die auf das Verfahren der Normreihe DIN V 18599 abgestimmt ist. Ursprünglich wurde das Tool vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik entwickelt; es wird mittlerweile in Kooperation mit der Heilmann Software GmbH weiterentwickelt.

Das von der Bergischen Universität Wuppertal entwickelte EnerCalc bietet die Möglichkeit, mit relativ geringem Eingabeaufwand eine vereinfachte Bilanzierung in Anlehnung an die DIN V 18599 durchzuführen. Dabei werden die Gebäudehülle und die unterschiedlichen Gebäudezonen in einem vereinfachten Verfahren dargestellt. In den Demonstrationsprojekten von EnEff:Stadt wurde EnerCalc genutzt, um die Primärenergiebedarfe für Gebäude sowie die Nutz- und Endenergiebedarfe für Heizen, Kühlen, Beleuchten und Lüften zu berechnen. Durch die vereinfachte Abbildung der Gebäudehülle ist der Eingabeaufwand für die Inputdaten gering, die übersichtliche Handhabung ermöglicht zudem eine schnelle Eingabe. Die Vereinfachung hat zur Folge, dass außergewöhnliche Gebäudegeometrien nicht abgebildet werden können. Außerdem müssen Nebenrechnungen separat durchgeführt werden, was die Übersichtlichkeit verringert und eine spätere Überprüfung erschwert.

Die Hottgenroth Software GmbH bietet den „Energieberater 18599“ in der Grundversion sowie in den Ausführungen „3D“ und „3D Plus“ an. Die Grundfunktionen bieten die Bilanzierung nach DIN V 18599, das Erstellen beliebig vieler Zonen und Versorgungsbereiche sowie das Erfassen der TGA-Komponenten und des tatsächlichen Nutzerverhaltens mit Hilfe von Verbrauchsangaben. Die Erweiterung „3D“ bietet eine grafische Erfassung der Gebäude und deren Bauteile mit Informationen an. Die Version „3D Plus“ besitzt zusätzlich Schnittstellen

zum Datenaustausch mit hausinternen Programmen. Eingesetzt wurde der Energieberater 18599 3D Plus zur energetischen Bilanzierung.

Ein weiteres Tool zur Bilanzierung nach DIN V 18599 namens ZUB Helena Ultra wurde vom Zentrum für Umweltbewusstes Bauen der Universität Kassel entwickelt. Damit ist die Erfassung der Bauteile und Geometrien für einzelne Räume möglich. Neben der Energiebedarfsbilanzierung können Energieausweise und EnEV-Nachweise erstellt werden. Beide Funktionen wurden in den Projekten genutzt. Sowohl ZUB HELENA Ultra als auch die Vorgängerversion EPASS-HELENA wurden eingesetzt. Dabei wurde die Erfahrung gemacht, dass komplexe Gebäudegeometrien durch ihren hohen Detailgrad eine sehr umfangreiche Dateneingabe erfordern. Das erhöht den Aufwand und die Gefahr fehlerhafter Eingaben, vor allem wenn mehrere Benutzer diese Aufgabe übernehmen.

Vom Institut Wohnen und Umwelt (IWU) stammt das Tool EnEV-XL, dessen Version 4.0 zum Einsatz kam. EnEV-XL ist ein Microsoft-Excel-basiertes Tool zur energetischen Bilanzierungsberechnung für Gebäude. Mit EnEV-XL wurde die energetische Bilanzierung von Wohngebäuden im Quartier nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 durchgeführt. Über diese Berechnungsverfahren ist, ebenso wie über die DIN V 18599, ein Nachweis gemäß der Energieeinsparverordnung (EnEV) für Wohngebäude möglich. Das Planungshilfsmittel kann individuell angepasst werden und zeichnet sich durch universelle Einsatzmöglichkeiten und eine offene und transparente Struktur aus.

Zur 3-D-Animation eingesetzte Produkte

Einige der bereits vorgestellten Gebäudesimulationstools bieten die Möglichkeit, integriert oder über Erweiterungen eine Visualisierung von Gebäudegeometrien dreidimensional zu animieren. Andere Tools bieten Schnittstellen zu Simulationsprogrammen, mit denen 3-D-Animationen durchgeführt werden können. Diese dienen zum einen der visuellen Kontrolle und der Eingabe von Parametern, zum anderen der bildlichen Darstellung von Ergebnissen. Dabei können Vorgänge in Bauteilen visualisiert und verglichen werden. Auch ist eine Untersuchung von verschiedenen Designparametern im Hinblick auf das energetische Verhalten möglich. Das intuitive, visuelle Feedback bietet eine Entscheidungsgrundlage, um komplexe Prozesse zu veranschaulichen und zu bewerten.

DesignBuilder wurde erstmals 2005 als grafische Benutzeroberfläche (GUI) für das bereits beschriebene Gebäudesimulationsprogramm EnergyPlus auf den Markt gebracht. Es ist damit möglich, 3-D-CAD-Modelle und Gebäudegrundrisse aus 2-D-CAD-Zeichnungen zu importieren und 3-D-Gebäudemodelle zu erstellen; es sind vordefinierte Einstellungen für Nutzung, Konstruktion und Anlage sowie Datenbanken für verschiedene Materialien vorhanden. Die Erfahrungen der Anwender unterstreichen, dass diese Funktionen den Modellierungsprozess deutlich vereinfachen und beschleunigen. In den Demonstrationsprojekten wurde das etablierte Tool genutzt, um für die Quartiersplanung in Verbindung mit EnergyPlus energetische Gebäudesimulationen durchzuführen. Dabei können die energetischen Analysen auf

Basis der vom Nutzer erstellten Gebäude- und Anlagenspezifikationen durchgeführt werden. Im bereits beschriebenen hygrothermischen Analysetool Delphin 5 ist eine Visualisierung bereits implementiert. Dabei können unterschiedlich dimensionierte Aufgabenstellungen bearbeitet und Ergebnisse in 2-D- und 3-D-Bildern ausgegeben werden.

TRISCO von der belgischen Firma Physibel ist ein Programm zur stationären Wärmeübertragungssimulation in beliebigen 3-D-Objekten. Das Programm arbeitet auf Basis des Energiebilanzverfahrens und ermöglicht es, dreidimensional stationäre Wärmeströmungen in blockförmigen Objekten zu berechnen. Dazu können 3-D-Objekte gestaltet und als Grundlage dafür auch 2-D-CAD-Zeichnungen im DXF-Format importiert werden. TRISCO wurde vornehmlich eingesetzt, um Wärmebrücken zu berechnen.

Im Kapitel „Thermische Gebäudesimulation“ wurde das komponentenbasierte Tool IDA ICE vorgestellt, das es durch die implementierte Benutzeroberfläche ermöglicht, die Modellentwicklung und Ergebnisausgabe in dreidimensionaler grafischer Ausgabe durchzuführen. Außerdem können als Input gebräuchliche 2-D- und 3-D-CAD-Dateien sowie ausgewählte IFC-Modelle importiert werden.

Wie beschrieben, bietet Hottgenroth den Energieberater 18599 in den Versionen „3D“ und „3D Plus“ an. Mit der erstgenannten Version wurde das Tool um die Funktion der dreidimensionalen Erfassung über CAD erweitert. Zusätzlich können freie Zeichnungen, PDF- und Bilddateien sowie DXF/DWG-Dateien als Vorlagen verwendet werden. Außerdem dient die 3-D-Ansicht zur visuellen Kontrolle und Parametereingabe. Bei der Variante „3D Plus“ ist außerdem der Datenaustausch mit anderen Programmen möglich, die als Grundlage ebenfalls das Datenmodell HottCAD nutzen.

Weitere Energiebedarfsermittlungen

DHWCalc wurde von der Universität Kassel entwickelt und dient ebenfalls der energetischen Bedarfsermittlung. Es kann keiner der vier zuvor beschriebenen Gruppen zugeordnet werden. DHWCalc wird genutzt, um Warmwasser-Zapfprofile in Abhängigkeit von Wahrscheinlichkeitsfunktionen statistisch zu erstellen. Dabei können die Randbedingungen für die Zapfereignisse und die Wahrscheinlichkeitsfunktionen frei gewählt werden. Von den Nutzern in den Demonstrationsprojekten wurde die gute wissenschaftliche Dokumentation des Programms hervorgehoben. Als Schwäche wurde angesehen, dass die Statistiken nur für Ein- und kleine Mehrfamilienhäuser erstellt werden können.

Auslegung einzelner Versorgungsanlagen

Nach der Bestandsaufnahme, der Analyse des Ist-Zustands und der Auswahl der Erzeugersysteme gilt es, die Erzeuger-, Speicher- und Verteilanlagen im Detail zu planen. Zur Auslegung der Anlagentechnik sind eingehende Kenntnisse erforderlich, und es müssen differenzierte Simulationen der Komponenten einer Anlage durchgeführt werden. Das Ziel der Auslegung ist, die Anlage so zu planen, dass Investitionen und Betrieb möglichst wirtschaft-

lich sind. BHKW beispielsweise, die bei der Quartiersentwicklung eine häufig genutzte Technologie darstellen, sollten aufgrund der relativ hohen spezifischen Investitionskosten möglichst gut ausgelastet werden. Da die maximale Heizlast nur in wenigen Stunden eines Jahres auftritt, werden BHKW dazu relativ klein dimensioniert. So liefern sie die Grundlast, und zu Zeiten hoher Nachfrage kann ein Spitzenkessel zugeschaltet werden, der sich durch niedrige spezifische Investitionskosten auszeichnet.

Bei der Auslegung von Speichern besteht das übergeordnete Ziel darin, Erzeugungs- und Bedarfslastgang in Einklang zu bringen. Um einen Speicher effizient und wirtschaftlich auszuliegen, ist es notwendig, ihn optimal in das System zu integrieren und dabei an periphere Komponenten und Prozessparameter anzupassen. Bei den thermischen Speichern beispielsweise sind entscheidende Kenngrößen zur Auslegung der Nutzungsgrad, die Wärmeverlustrate, die Wärmekapazität, die Be- und Entladezeit, die maximale Beschickungstemperatur sowie die Anzahl der ausführbaren Speicherzyklen.

Ein weiteres Element der Versorgungstechnik sind die Verteilanlagen, zu denen Leitungssysteme, Verteilungssysteme sowie Regel- und Steuerungstechnik zu zählen sind. Wie auch bei den Erzeugeranlagen und Speichersystemen gibt es bei der Auslegung von Verteilanlagen variierende Anforderungen. Dies und die große Bandbreite an unterschiedlichen Technologien und Ausführungen machen es notwendig, jeweils spezifisch optimale Lösungen hinsichtlich Effizienz und Wirtschaftlichkeit zu finden.

Auslegungen von Versorgungslagen wurden in den Demonstrationsprojekten einerseits mit Simulationen, andererseits mit den im Kapitel „Optimierungsrechnungen“ erwähnten Optimierungstools durchgeführt.

Zur Auslegung einzelner Versorgungsanlagen eingesetzte Produkte

Zur Auslegung einzelner Versorgungsanlagen wurden die folgenden Produkte genutzt: Gnu R, Solarcomputer, PV-Sol, INSEL, TRNSYS und NEPLAN.

Zur Simulation eines Blockheizkraftwerks wurde in der Forschungsinitiative Gnu R genutzt. R ist eine freie Programmiersprache zur statistischen Datenverarbeitung und Visualisierung. Ziel im Projekt war, die Betriebskenngrößen zu ermitteln, indem ein statisches BHKW-Modell entwickelt wurde. Mit Gnu R als Skriptsprache lassen sich einerseits Prozesse gut automatisieren und Funktionen erweitern, andererseits ist zum Erlernen dieser Sprache entsprechende Einarbeitungszeit notwendig. Ein Vorteil ist ihre hohe Kompatibilität, da Verbindungen zu anderen Programmiersprachen möglich sind und flexible Schnittstellen existieren.

In den Demonstrationsprojekten wurde zur Auslegung von Heizanlagentechnik Solarcomputer eingesetzt. Mit diesem Tool können unter anderem die Heizlast und das Rohrnetz berechnet sowie die Heizkörper ausgelegt werden. Die Auslegung kann nach allen Anforderungsstufen gemäß VDI 6030-1 (2002-07) durchgeführt werden, wobei Produktdaten nach BDH 2.0

bzw. VDI 3805-6 (2004-05) vorliegen. Das Programm zeichnet sich durch eine Bibliothek mit Datensätzen von verschiedenen Fabrikaten aus. Die Heizlastberechnung erfolgt nach DIN EN 12831. Das Modul zur Rohrnetzberechnung nach VDI 3805 ermöglicht das Auslegen beliebig großer und komplexer Zweirohr-Heizungsnetze inklusive der Ventileinstellungen.

PV-SOL von Valentin ist ein dynamisches Simulationsprogramm zur Auslegung und Planung netzgekoppelter Photovoltaikanlagen. Dieses Auslegungstool ist mit einer maximalen Anlagengröße von 1.000 Modulen entwickelt worden und dient vorwiegend dem Einsatz im Wohngebäudebereich.

Ein weiteres in der Quartiersentwicklung eingesetztes Tool zur Auslegung von Versorgungsanlagen ist INSEL (Integrated Simulation Environment Language) der doppelintegral GmbH. INSEL wurde ursprünglich von der Universität Oldenburg entwickelt und ist eine modulare Simulationsumgebung für Energiesysteme. Konzipiert ist dieses Tool nicht nur zur Planung, sondern auch zur Steuerung und simulationsgestützten Betriebsüberwachung von energietechnischen Anlagen. In der Forschungsinitiative wurde die Software zum einen dazu genutzt, den Einfluss der Rücklauftemperatur auf die Leistungszahl der Wärmepumpe in der Heizzentrale zu untersuchen; zum anderen wurden mit dem Tool unterschiedliche Versorgungsvarianten hinsichtlich der Klimawirksamkeit der solarthermischen Energieeinspeisung verglichen.

Wie im Kapitel „Gebäudesimulation“ beschrieben, ist das Hauptanwendungsgebiet von TRNSYS die thermisch-energetische Gebäudesimulation. Außerdem wurde das Simulationstool zur Auslegung von Versorgungsanlagen genutzt, konkret: eines Aquifer-Wärmespeichers.

Die NEPLAN AG aus der Schweiz bietet unter dem Namen NEPLAN ein Softwarepaket zur Analyse, Planung, Optimierung und Verwaltung von Gas-, Wasser-, Fernwärme- und elektrischen Versorgungsnetzen an. Genutzt wurde NEPLAN in den Demonstrationsprojekten, um das elektrische Mittel- und Niederspannungsnetz im Untersuchungsgebiet abzubilden. Dabei sind die Grundfunktionen unter anderem die Kurzschlussanalyse, die Dimensionierung von Kabeln, die Verlustberechnung sowie die Lastflussberechnung. Die Software besitzt eine grafische Oberfläche, ist modular aufgebaut und bietet Schnittstellen zu GIS-Werkzeugen, die den Import und die Visualisierung von geografischen Daten in Form von Karten ermöglichen.

Simulation von Anlagenkombinationen

Da Quartiere unterschiedlich beschaffen sein können und an verschiedenen Stellen unterschiedliche Anforderungen aufweisen, ist es für die Quartiersentwicklung relevant, unterschiedliche Energieerzeugungssysteme kombinieren zu können. Auch die zunehmende Durchdringung durch den systemischen Ansatz (Erzeugung – Verteilung – Nutzung) in der Quartiersplanung macht es erforderlich, das Zusammenspiel von Anlagenkombinationen – insbesondere von systemübergreifenden Technologien – zu untersuchen. Am Beispiel der Wärmeversorgung sind dies Systeme wie solarthermische Anlagen, Wärmepumpen, BHKW und thermische Speicher in vielen Kombinationen.

Wenn mehrere Anlagen kombiniert betrieben werden sollen, wirkt sich das aufgrund ihrer Wechselwirkungen immens auf die Auslegung aus. Außerdem steigt mit der Zahl der Anlagen auch die Zahl der Varianten für die Einsatzplanung bzw. der möglichen Betriebsweisen.

Zur Simulation von Anlagenkombinationen eingesetzte Produkte

Zur Untersuchung der Auswirkungen von Anlagenkombinationen wurden die Programme Modelica, Gombis 2.0, PV Sol, EnergyPlus und FreeOpt genutzt. Da diese Tools und ihre Anwendung in der Forschungsinitiative bereits in den vorangegangenen Abschnitten dargelegt wurden, wird hier eine übergeordnete Einordnung gegeben.

Modelica und EnergyPlus verfolgen einen ganzheitlichen Ansatz, der eingehende und ausgehende Energieströme betrachtet; dabei werden Verbrauchs- wie auch Erzeugungslastgänge dynamisch simuliert. Beide Programme, entwickelt in einem universitären Umfeld und etabliert im Bereich der Simulationssoftware, werden stetig weiterentwickelt und verfügen über eine große Bandbreite existierender physikalischer Modelle.

Der Modellierungsansatz der Erzeugeranlagen in GOMBIS entspricht Black-Boxes, ohne transiente Vorgänge innerhalb der Anlage zu berücksichtigen. Dabei wird die Primärenergie einer Anlage mit einer bestimmten Wandlungsfunktion in die gewünschte Nutzenergie gewandelt. Die Anlagen werden durch Wirkungs- und Nutzungsgrade sowie Leistungszahlen beschrieben. Da das primäre Ziel darin besteht, Energiekonzepte zu erstellen, ist diese Annäherung ausreichend genau. Das Programm besitzt eine Bibliothek mit Anlagen auf Basis von Herstellerangaben. Deshalb ist es möglich, alle gängigen Anlagen und deren Kombinationen bei der Erstellung eines Modells zu implementieren. (Saadat 2003)

PV Sol (ebenfalls beschrieben im Kapitel „Auslegung einzelner Versorgungsanlagen“) verfolgt keinen ganzheitlichen Ansatz, sondern ist spezialisiert auf netzgekoppelte PV-Anlagen und Batteriesysteme. Der Eigenverbrauch, die Speicherung in Batteriesystemen und die Erzeugung von Solarstrom werden dynamisch abgebildet. Dabei werden die Simulationen auf Grundlage einer implementierten Klimadatenbank und einer Datenbank für PV-Module erzeugt. Zur Konzeptionierung der Verteilung steht eine Datenbank mit Herstellerangaben zu Wechselrichtern zur Verfügung. Auch Netzanschlusspläne können erstellt sowie die AC- und DC-Verkabelung dimensioniert werden.

Auslegung von Wärmenetzen

Wie bereits beschrieben, umfasst die Auslegung von Wärmenetzen viele Teilaufgaben, beispielsweise die Wärmebedarfsermittlung für zu versorgende Objekte. Da das Thema Wärmenetze jedoch eine zentrale Rolle bei den Demonstrationsprojekten spielt, wurden dafür eigens die Kategorie „Auslegung Wärmenetze“ gebildet und die Planungshilfsmittel entsprechend eingeteilt. Dabei wurden die Beschreibungen der Planungshilfsmittel teilweise kürzer gefasst, unter Verweis auf die bereits ausgeführten Beschreibungen.

Zur detaillierten Planung von Wärmenetzen müssen Fragen beantwortet und Aufgaben bearbeitet werden, die den Planungsprozess ganzheitlich betrachten. Zu Beginn gilt es herauszufinden, wie hoch das Wärmepotenzial im betrachteten Quartier ist und wo es zu finden ist. Um konkret den Bau des Netzes zu planen, müssen die Trassen und Einspeisepunkte lokalisiert werden. Neben der energetischen Bilanzierung ist auch die Entwicklung des Wärmebedarfs im Verlauf eines ganzen Jahres für die Auslegung elementar, da tages- und jahreszeitliche Schwankungen einen großen Einfluss auf die Auslegung des Netzes haben. Je genauer die Bedarfsermittlung und die Abschätzung des Betriebs über eine ganze Periode sind, desto besser ist die Auslegung und desto technisch effizienter und wirtschaftlich sinnvoller ist das Netz.

Bei der Auslegung des Netzes kann eine hydraulische Modellierung helfen, neue Netze und Umstrukturierungsmaßnahmen zu planen. Hierbei wird das hydraulische Verhalten des Versorgungssystems abgebildet, so dass Massenströme und Auslegungsparameter bestimmt werden können. Weiterhin können Problemstellen lokalisiert und durch Optimierungen Kosten reduziert und die Energieeffizienz gesteigert werden (Nestmann o. J.). Auch müssen thermische Vorgänge betrachtet werden, die mit den hydraulischen Vorgängen in Wechselbeziehung stehen (Köcher 2000).

Um alle Aspekte zu beleuchten, die der Entscheidungsfindung zugrunde liegen, ist außerdem eine Wirtschaftlichkeitsberechnung notwendig.

Da bei der integralen Planung die Auslegung der Wärmenetze viele Schnittmengen zu anderen Aufgabenbereichen besitzt, werden auch die Planungshilfsmittel übergreifend eingesetzt. Hervorzuheben ist die Trassenermittlung, bei der das Erfassen und Erkennen von räumlichen Strukturen und Zusammenhängen eine essenzielle Rolle spielt. Dabei liegt der springende Punkt im Verknüpfen von geografischen und energetischen Daten.

Zur Auslegung von Wärmenetzen eingesetzte Produkte

Die in EnEff:Stadt zur Auslegung von Wärmenetzen eingesetzten Planungshilfsmittel sind ShapeUp GIS, STEFaN, INSEL, Modelica in Dymola, FreeOpt und Multilevel District Heating.

Zur Lokalisierung von Wärmesenken, bestehenden und potenziellen Einspeisepunkten und Trassen werden Tools genutzt, die Geodaten verarbeiten können – wie GIS (Geoinformationssysteme) – oder Schnittstellen zu Tools besitzen, die diese Daten weiterverarbeiten können. ShapeUp ist ein kostenloses, Plugin-basiertes GIS-Tool, das Shape-Dateien und eine Vielzahl an Bildformaten unterstützt. Dieses GIS-Werkzeug wurde eingesetzt, um Abnehmer, Einspeisepunkte und mögliche Hindernisse bei der Trassenplanung maßstabsgetreu abzubilden. Das von der TU Dresden entwickelte Planungshilfsmittel STEFaN verfügt über Schnittstellen zu GIS, so dass geografische Daten zur Trassenplanung genutzt werden können. Primäres Ziel von STEFaN (siehe Kapitel „Optimierungsrechnungen“) ist die optimale Auslegung des Versorgungsnetzes. Das Tool stellt durch die Kombination von GIS und Auslegung ein verbindendes Planungshilfsmittel dar. Zur Auslegung gehören die Berechnung der Massenströme,

die statische Ermittlung der Energiebilanzen und statisch-hydraulische Berechnungen. Damit lassen sich Auslegungsparameter wie Leitungslängen und Rohrdurchmesser optimieren.

Zur Ermittlung des Wärmebedarfsverlaufs wurde das Programm INSEL (auch im Abschnitt „Auslegung einzelner Versorgungsanlagen“ beschrieben) der doppelintegral GmbH eingesetzt, mit dem eine Jahressimulation des Verbrauchs durchgeführt wurde. INSEL ist eine modulare Simulationsumgebung, die auf meteorologische Daten zurückgreift, um Lastgänge zu bestimmen.

Zur Simulation eines Wärmeversorgungssystems wurde die Sprache Modelica in der Entwicklungsumgebung Dymola eingesetzt. Dafür wurden einzelne Komponenten des Wärmeversorgungssystems erstellt und miteinander verknüpft. Die einzelnen Komponenten stellen thermohydraulische Modelle der Gebäude und Gebäudekomponenten sowie der Netz- und Erzeugermodule dar. Eine ausführliche Beschreibung von Modelica ist im Abschnitt „Zur thermischen Gebäudesimulation eingesetzte Produkte“ zu finden.

Bei Betrachtung des umfassenden Wärmeversorgungssystems Erzeugung – Verteilung – Übergabe – Verbrauch kann FreeOpt zur Betriebsplanung von Erzeuger-Speicher-Kombinationen genutzt werden. Mit FreeOpt ist es möglich, kostenoptimale Fahrpläne zu ermitteln, die als Entscheidungs- und Planungshilfe für neue bzw. bestehende Wärmesysteme dienen können.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „LowEx-Fernwärme: Multilevel District Heating“ der TU Dresden wird die Software Multilevel District Heating zur Verbesserung der Einsatzchancen von Fernwärmesystemen entwickelt. Das Projekt verfolgt einen ganzheitlichen Ansatz, der von der Erzeugung über die Transformation bis hin zum Heizkörper sämtliche Bestandteile des Energiesystems umfasst. Dabei werden Umweltenergie, Abfallwärme und Rücklaufenthalpie berücksichtigt und die Möglichkeiten und Auswirkungen einer Absenkung der Vor- bzw. Rücklauftemperatur untersucht. Mit der Software soll ein Tool entwickelt werden, das leicht handhabbar zur Ausbau- und Einsatzplanung genutzt werden kann. In einem kommenden Demonstrationsprojekt soll das Tool dann später eingesetzt und getestet werden.

Räumliche Analyse

Bestimmte Aufgaben der energetischen Quartiersplanung erfordern die Verknüpfung und Bearbeitung von energetischen mit räumlichen Daten. Die einzelnen Anwendungsfälle variieren, jedoch ist das angewendete Grundprinzip das gleiche. Deshalb werden im Folgenden Software-Planungshilfsmittel unter dem Aspekt der räumlichen Analyse von energetischen Daten dargestellt. Eine detaillierte Beschreibung der Planungshilfsmittel erfolgt jeweils in dem Kapitel, das sich einem konkreten Anwendungsfall widmet.

Um geografische Daten mit energetischen Eigenschaften und Kennwerten eines Untersuchungsgebiets zu verknüpfen, werden Geoinformationssysteme (GIS) verwendet. Sie dienen dem Erfassen, Bearbeiten, Verwalten und Visualisieren dieser Daten. Kommunale Informationssysteme (KIS) zählen ebenfalls zu den GIS, basieren jedoch auf räumlichen Daten des

automatisierten Liegenschaftsbuchs und auf Luftbildern und bieten Daten sowie Informationen zu Flurstücken – beispielsweise Flächengrößen, Nutzungsarten und Ähnliches.

In der Projektphase der Vorplanung finden GIS häufig Anwendung. Primär geht es in dieser Phase um einen Konzeptvergleich und die Frage, welche Objekte und Maßnahmen für eine Umsetzung und Einbindung in vorhandene und zukünftige Systeme geeignet sind. Dafür sind unter anderem die Bestandsdatenerfassung der Gebäude, des Versorgungssystems und der Infrastruktur sowie deren räumliche Erfassung und Analyse erforderlich. Verbreitet sind dafür Geoinformationssysteme wie Quantum GIS oder ShapeUp GIS, aber auch GIS-ergänzende Tools wie STEFaN. Die mit diesen GIS erstellten Analysen erlauben es auch, Standortplanungen und damit Aufgaben der Detailplanung zu bearbeiten. Somit können GIS Schnittstellen zwischen Vorplanung und Detailplanung schaffen, um die relevanten Daten aus der Konzeptfindungsphase in die Detailplanung zu übertragen.

Optimierungsrechnungen

Während der detaillierten Planung müssen viele konkrete Fragen zu unterschiedlichen Maßnahmen und Technologien beantwortet werden. Dazu können in unterschiedlichen Bereichen der Planung mathematische Optimierungsrechnungen eingesetzt werden. Sie ermöglichen es auf anschauliche Weise, aus mehreren Varianten die beste auszuwählen. Planungsaufgaben aus unterschiedlichen Bereichen können dafür als Optimierungsprobleme formuliert werden, beispielsweise so:

- Welche Anlagen- und Maßnahmenkombinationen sind sinnvoll?
- Wie müssen Effizienzmaßnahmen, Erzeuger- und Verteilanlagen sowie Speicher dimensioniert sein?
- Wie sehen Betriebszustände aus? Wann wird welcher Erzeuger eingesetzt? Wie werden Speicher betrieben?

Um Fragen dieser Art beantworten zu können, werden Optimierungsmodelle genutzt (vgl. Kapitel „Grundlagen zur Modellierung“). So können in der Quartiersentwicklung beispielsweise optimale Kombinationen energetischer Sanierungsmaßnahmen zu den niedrigsten Kosten gefunden, optimale Auslegungsparameter von Wärmenetzen bestimmt oder die Betriebsplanung von Erzeugern und Speichern optimiert werden.

Für Optimierungsrechnungen eingesetzte Produkte

Um jeweils die besten Betriebsarten bzw. -zustände oder auch Maßnahmen zu evaluieren, wurden in den Bereichen elektrische Netze, Sanierungsmaßnahmen und Wärmenetze verschiedene Optimierungsrechnungen durchgeführt. Dabei sind die in der Forschungsinitiative verwendeten Planungshilfsmittel Matlab, V-Rom, FreeOpt und STEFaN.

Matlab wurde genutzt, um die elektrischen Leistungsflüsse zu berechnen. Es wurde zum Lösen numerischer mathematischer Aufgaben entwickelt. In den Demonstrationsprojekten

diente es zur Erfassung der Netzparameter, während Matpower, eine freie und quelloffene Erweiterung für Matlab, zur Berechnung des Leistungsflusses zum Einsatz kam. Matlab und Matpower zeichnen sich durch ihre hohe Ergonomie und Produktivität aus. Von den Anwendern genannte Stärken der Softwarekombination sind die hohe Ablaufgeschwindigkeit beim Lösen von Gleichungssystemen, die vielfältigen Möglichkeiten zum Darstellen von Daten, die einfachen Möglichkeiten der Erweiterung um Funktionen und Toolboxes, die individuelle Anpassbarkeit und die relativ geringen Kosten im Vergleich zu kommerziell erhältlicher Software. Als Schwäche wurde genannt, dass die Software keine Möglichkeit zur dynamischen Simulation transienter Vorgänge bietet.

Um die Entscheidungsfindung zwischen diversen Sanierungsmaßnahmen in Mehrfamilienhäusern zu unterstützen, wurde in den Demonstrationsprojekten V-Rom eingesetzt. Das Tool sucht nach der optimalen Maßnahmenkombination, um den Energieverbrauch bei möglichst geringen Zusatzkosten auf ein bestimmtes Level zu reduzieren.

Im Bereich der Wärmenetze wurden FreeOpt und STEFaN (beide entwickelt von der TU Dresden) eingesetzt. Mit dem Optimierungstool STEFaN ist es möglich, die Trassenstruktur und Hydraulik zu dimensionieren, indem die Auslegungsparameter optimiert werden. Dabei können über Schnittstellen zu GIS-Werkzeugen Geodaten implementiert, Leitungslängen und Querschnitte berechnet und infolgedessen Netzinvestitionskosten ermittelt werden. Neben ihrer Kompatibilität zu anderen Programmen zeichnet sich die Software durch ihre gute Dokumentation aus. Zudem ist sie kostenlos erhältlich. FreeOpt wird zur Betriebsoptimierung von Wärmesystemen genutzt. Dabei wird die Einsatzplanung von mehreren verbundenen Wärmeerzeugern und thermischen Speichern im Wärmenetz optimiert. Dies erfolgt durch die Minimierung der Gesamtbetriebskosten. FreeOpt hat sich bei den Anwendern vor allem dadurch ausgezeichnet, dass es alle Elemente des Wärmesystems von Erzeugung und Verteilung bis Übergabe und Nutzung betrachtet und damit einen sehr komplexen Untersuchungsgegenstand behandeln kann. Auch diese Software ist kostenlos erhältlich.

Datenmanagement und -auswertung

Das Ziel der Datenauswertung besteht darin, eine Auswahl an Daten zu visualisieren, zu analysieren und zu interpretieren sowie gegebenenfalls zu exportieren. Die Analyse kann – wie in Bol (2004) und Georgii (2009) beschrieben – unter anderem in folgende Bereiche unterteilt werden: deskriptive, inferenzielle, explorative, konfirmatorische und kontextbasierte Datenanalyse. Bei der deskriptiven Analyse werden die Daten in Form von Kennzahlen (beispielsweise Minimum, Maximum, Mittelwert, Häufigkeiten, Streuung etc.) oder Grafiken beschrieben. Bei der inferenziellen Analyse wird ausgehend von einer Stichprobe bzw. Teilmenge auf die Grundgesamtheit geschlossen. Bei der explorativen Datenanalyse werden Zusammenhänge zwischen Variablen hergestellt. In Anlehnung daran steht die konfirmatorische Datenanalyse, die diese Zusammenhänge überprüft. Das Ziel der kontextbasierten Datenanalyse ist, inhaltlich zusammenhängende Daten zu entdecken.

Bevor eine Datenauswertung durchgeführt werden kann, muss ein sorgfältiges Datenmanagement die Grundlage dafür bilden. Dazu zählen das Erfassen, Archivieren, Verwalten, Aufbereiten und Verarbeiten der Datensätze. Je nach Anwendungsgebiet und Aufgabe variieren die Arbeitsschritte und ihre Prioritäten. Im Folgenden werden dazu drei Beispiele beschrieben.

Beispiel 1: Bei einer ersten Abschätzung des Energiebedarfs sind vergleichsweise wenige Daten vorhanden. Mit diesen müssen Kennwerte berechnet und die Ergebnisse interpretiert werden.

Beispiel 2: Bei einer thermischen Gebäudesimulation sind detaillierte Daten der Gebäude und Verbraucher aufzunehmen und zu verwalten, um sie anschließend in die komplexe Berechnung der Energieströme im Gebäude zu implementieren. Es gilt, die neugewonnenen Daten zu verifizieren und eine Auswahl der zu untersuchenden Parameter zu treffen. Anschließend können die Daten ausgewertet werden.

Beispiel 3: Während des Monitoring werden aus einer Vielzahl von Messstellen Daten aufgenommen. Hierbei gilt es zunächst, eine gründliche Zuordnung der Daten vorzunehmen – beispielsweise durch Indizierung. Folglich ist das Prüfen und Bereinigen der gemessenen Werte elementar. Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind und die entsprechende Datenqualität besteht, kann eine konsistente Datenbank angelegt werden, in der die Daten archiviert und aus der heraus Daten gegebenenfalls für Nutzer oder Anwendungsprogrammen bereitgestellt werden. Da es sich bei den Messungen um sensible Verbraucherdaten handeln kann, spielt auch der Datenschutz eine große Rolle.

Für Datenmanagement und Datenauswertung eingesetzte Produkte

Zur Erfassung und Aufbereitung bzw. Visualisierung von Daten wurden in den Demonstrationsprojekten Matlab, INSEL, Monisoft, Ennovatis, EnergyPlus mit DesignBuilder, die Programmiersprache Python und die HDF5 technology suite eingesetzt.

Matlab ist eine Softwareumgebung und wurde vor allem für die Durchführung numerischer Berechnungen entwickelt. Ergebnisse von Berechnungen und Datenanalysen können mit Matlab auch visualisiert werden. Eine nähere Beschreibung der Software ist im Kapitel „Optimierungsrechnungen“ zu finden.

Die modulare Simulationsumgebung für Energiesysteme INSEL (Integrated Simulation Environment Language), vertrieben von der doppelintegral GmbH, wurde ursprünglich an der Universität Oldenburg entwickelt. Im Rahmen der Planung, Steuerung und Betriebsüberwachung von Energieanlagen kann das Tool auch zur Datenauswertung genutzt werden. Detaillierter wird INSEL im Kapitel „Auslegung einzelner Versorgungsanlagen“ beschrieben.

Monisoft wird derzeit am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) entwickelt und ist ein Tool zur Visualisierung und Verwaltung von Messdaten im Bereich des Gebäude-Monitoring und der Betriebsoptimierung. Die in den Demonstrationsprojekten damit gesammelten Erfahrungen

gen sind ambivalent, was sich jedoch dadurch erklären lässt, dass die Software sich noch im Entwicklungsstadium befindet. So wurde einerseits die Erfahrung gemacht, dass das Programm gut an projektspezifische Anforderungen angepasst werden konnte; andererseits führten die im laufenden Betrieb implementierten Features bisweilen zu Programmfehlern und Inkonsistenzen in Programmstruktur und Datenbank. Aus diesem Grund mussten alle Ergebnisse kontinuierlich und kritisch überprüft werden. Stärken der Software sind die freie Strukturierbarkeit von Messpunkten und deren logischen Verknüpfungen sowie die Möglichkeit, spezifische Verbräuche über Flächenbezüge zu berechnen und über Formeln beliebige virtuelle Messpunkte zu bilden. Zahlreiche Fehlerquellen ergaben sich jedoch durch die hohe Zahl an Messpunkten und die Komplexität der Zählerstruktur.

Ennovatis ist eine Software für das Energiemanagement von Gebäuden, mit der Verbrauchsdaten aus der Gebäudesmesstechnik erfasst, verarbeitet und analysiert werden können. In der Forschungsinitiative wurde Ennovatis für das Energiemanagement in den Quartieren genutzt. Dazu wurden Energiebilanzen der einzelnen Gebäude und des Quartiers, Wärmeverluste der Verteilung sowie Wirkungsgrade und Leistungszahlen von Erzeugern analysiert.

DesignBuilder ist eine grafische Oberfläche zur Visualisierung von Daten aus dem Modellierungstool EnergyPlus, das zur thermischen Gebäudesimulation genutzt werden kann. Die Tools werden im Kapitel „Zur 3-D-Animation eingesetzte Produkte“ näher beschrieben.

Die Python Software Foundation hat die Programmiersprache Python entwickelt, die mehrere Programmierparadigmen unterstützt. Mit Python wurden automatisierte Datenaufbereitungen und standardisierte Auswertungen realisiert. Python besitzt eine Schnittstelle zu Modelica. In einem der hier ausgewerteten Demonstrationsprojekte konnte diese genutzt werden, um ein mit Modelica entwickeltes Gebäudemodell unkompliziert anhand von Messdaten zu validieren. Neben der erwähnten Schnittstelle wurden von den Anwendern als weitere Vorteile die einfache Programmlesbarkeit und die objektorientierte Programmierung genannt.

Wie eingehend erwähnt, ist das Datenmanagement für die Auswertung von zentraler Bedeutung. Deswegen wird hier auch ein Tool zur Datenverwaltung behandelt: Das Hierarchical Data Format (HDF) wurde vom National Center for Supercomputing Applications (NCSA) entwickelt. Die HDF5 technology suite der HDF Group beinhaltet ein Datenmodell, eine Bibliothek und ein Datenformat, um Daten zu speichern und verwalten. Da HDF5 für die Handhabung großer Datenmengen entwickelt wurde, wird eine Vielzahl an Datentypen unterstützt, und die Ein- und Ausgabe funktioniert flexibel und effizient.

Da Geoinformationssysteme geografische Daten aufbereiten und auswerten, sind auch alle eingesetzten GIS-Werkzeuge der Kategorie Datenauswertung einzuordnen.

Nicht-Software-Planungshilfsmittel

Nicht zu den Softwaretools zählen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) und AHP (Analytic Hierarchy Process), die beide als Planungshilfsmittel in den Demonstrationsprojekten eingesetzt wurden. TOPSIS und AHP sind Verfahren zur Entscheidungsfindung, die auf Multikriterienanalysen basieren. Näheres zu Multikriterienanalysen ist im Kapitel „Auswahl von Planungshilfsmitteln“ beschrieben.

Entwickelt wurde TOPSIS 1981 von C.-L. Hwang und K. Yoon mit dem Ziel, verschiedene Alternativen nach ihren relativen Vorzügen zu ordnen. Die Bewertung findet statt, indem jeweils der Abstand zur besten und schlechtesten Möglichkeit bestimmt wird. Detaillierte Beschreibungen der Methodik und beispielhafte Anwendungsfälle sind bei Peters (2007) zu finden.

AHP ist eine Methode, die 1980 von Thomas L. Saaty entwickelt wurde, um die Kriterien einer anstehenden Entscheidung anhand einer zugeordneten Gewichtung zu vergleichen und zu bewerten. Damit ist es möglich, den Entscheidungsprozess systematisch zu strukturieren und zu lösen.

Diese Verfahren zur Multikriterienanalyse wurden im Planungsprozess genutzt, um technische Anlagen zum Einsatz in den Demonstrationsprojekten auszuwählen. Als Vorteil sahen die Anwender beider Verfahren, dass diese systematisch zu einer strukturierten und transparenten Entscheidungsgrundlage führen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein gewisser Aufwand zur Definition und Bewertung der Kriterien entsteht.

III. Auswahl von Planungshilfsmitteln

Planungshilfsmittel müssen sorgfältig mit Blick auf die Anforderungen der jeweiligen Projektphase ausgewählt werden, bevor sie zur energetischen Quartiersplanung eingesetzt werden.

Ob es notwendig ist, ein Planungshilfsmittel einzusetzen, ergibt sich aus der durchzuführenden Planungsaufgabe. Die Auswahl sollte nicht leichtfertig erfolgen, denn je nach Art des Planungshilfsmittels, Aufgabe und Projektphase kann das Planungshilfsmittel für lange Zeit im Einsatz sein. Unter Umständen ergeben sich daraus aber auch Risiken für den Projektverlauf. Wenn ein ausgewähltes Planungshilfsmittel sich als unpassend erweist, kann diese Entscheidung nicht ohne Weiteres rückgängig gemacht werden.

Es gibt unterschiedliche Herangehensweisen, ein Planungshilfsmittel auszuwählen. Diese können sich im Aufwand zur Durchführung, aber auch in der Qualität der Auswahl unterscheiden. Die einfachste Variante ist natürlich, ein paar grundlegende Informationen über mögliche Planungshilfsmittel zu sammeln und sich auf dieser Grundlage direkt zu entscheiden. Aus den oben genannten Gründen ist es jedoch häufig sinnvoll, ein systematisches Auswahlverfahren zu durchlaufen, um möglichst alle Vorteile eines Planungshilfsmittels nutzen zu können. Dieses liefert nach einer tiefgehenden Analyse eine gut begründete Auswahl aus den am Markt verfügbaren Planungshilfsmitteln. Eine darauf basierende Entscheidung ist transparent und auch in der Dokumentation für Dritte jederzeit nachvollziehbar.

Die möglichen Planungshilfsmittel in Bezug auf eine zu lösende Aufgabe zu bewerten, stellt ein individuelles und zum Teil auch komplexes Problem dar, das einen objektiven Vergleichsmaßstab benötigt. Dazu sollte ein einheitlich auf alle Softwaretools anwendbares Bewertungskonzept entwickelt und angewendet werden. Die größte Herausforderung besteht darin, die Produktivität zu bewerten, welche mit einem Tool erzielt werden kann. Dabei liegen die größten Schwierigkeiten darin, eine klare Zielstellung und Kriterien zur Bewertung festzulegen, zum Beispiel Kosten oder Einarbeitungszeit. Diese hängen sehr individuell von den Rahmenbedingungen ab, etwa dem Projektbudget oder bereits vorhandenem Know-how. (Herzwurm 1997)

In einem speziellen Workshop wurden im Rahmen eines EnEff:Stadt-Projektleiter-Meetings einzelne Aspekte des Auswahlverfahrens diskutiert und mögliche Vorgehensweisen erarbeitet. Der Fokus lag dabei auf Planungshilfsmitteln für die energetische Quartiersplanung. Die Ergebnisse finden sich in den nachfolgend beschriebenen Schritten zur Auswahl von Planungshilfsmitteln wieder.

Das hier erläuterte Auswahlverfahren beinhaltet die Nutzwertanalyse zur Auswahl von Softwaretools. Die Nutzwertanalyse ist eine Methode zur Entscheidungsfindung bei komplexen Problemstellungen, die die Effektivität bzw. den Nutzen verschiedener Alternativen bewertet.

Diese wird im Kapitel „Feinauswahl und Entscheidung“ beschrieben und beispielhaft angewendet.

Die einzelnen Schritte eines Auswahlverfahrens sind in Abbildung 21 dargestellt. Die Rahmenbedingungen zu klären und Ziele zu definieren, gehört dabei nicht im eigentlichen Sinne zum Auswahlverfahren, stellt aber die Grundvoraussetzung dar.

Abb. 21: Ablaufschritte eines Auswahlverfahrens für Planungshilfsmittel (nach Becker 1997)



Rahmenbedingungen und Zieldefinition

„Was will ich?“ – Eine klare Zieldefinition zu formulieren, ist zu Beginn eines Auswahlprozesses elementar, um die Problemstellung und auch die Rahmenbedingungen zu definieren. Eine zu Beginn einfache Fragestellung ist dabei nur von Vorteil, da diese sich im Verlauf des Auswahlverfahrens ohnehin ändern und klarer werden wird. Wenn das Ziel klar ist, ist ein wichtiger Schritt in Richtung der Auswahl des Planungshilfsmittels erfolgt. Konkrete Ziele gibt es viele. Einige Beispiele aus dem Bereich der energetischen Quartiersplanung, die im Rahmen des gerade erwähnten Workshops ermittelt wurden, sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1: Beispiele für Ziele aus den Projektphasen der energetischen Quartiersplanung

Projektphase	Ziele
Klimaschutzkonzept	Potenzialanalyse
Strategische Planung	Strategieentwicklung Datenbeschaffung
Vorplanung	Schnittstellen schaffen Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse
Detailplanung	Wärmenetzsimulation Dimensionierung Komfortermittlung Regelungsstrategieentwicklung
Betrieb und Monitoring	Lastgangermittlung Betrieboptimierung Reglungsoptimierung

Kriterien

Der erste Schritt des eigentlichen Auswahlverfahrens besteht in der Definition der Kriterien, die durch die zuvor festgelegten Randbedingungen mitbestimmt werden. Kriterien sind relevante Merkmale zur Beschreibung eines Planungshilfsmittels und dienen als Grundlage der späteren Bewertung. (Becker 1998)

Kriterien lassen sich zum Beispiel in Gruppen nach funktionalen Anforderungen, Anforderungen an Soft- und Hardware, an Bedienung und Anpassung und Anforderungen an den Anbieter einteilen. Die folgende Tabelle 2 stellt eine Auswahl von Kriterien dar, die zur Bewertung herangezogen werden können.

Kriteriengruppen	Kriterien
Funktionale Anforderungen	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionalität hinsichtlich der zu lösenden Aufgaben • generelle Anpassbarkeit des Planungshilfsmittels • Integration in bestehende Softwaresysteme • Sicherheitsniveau des Planungshilfsmittels • Mehrbenutzersystem
Anforderungen an Soft- und Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Hardware-Voraussetzungen • Kompatibilität zu bestehender Hard- und Software • Schnittstellen zu anderen Software-Anwendungen/Planungshilfsmitteln • Art der Daten, die verarbeitet werden können • Zuverlässigkeit und Qualität des Planungshilfsmittels • Versionierungs- und Backup-Funktion
Anforderungen an Bedienung und Anpassung	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassbarkeit der Ergebnisdarstellung • Möglichkeiten zur Konfiguration des Systems und des Layouts • Modularität • Mehrsprachigkeit • Ergonomie/Benutzerfreundlichkeit
Anforderungen an den Anbieter	<ul style="list-style-type: none"> • Bedienungsanleitung, Tutorials, Hilfe zum Troubleshooting • Schulungsangebote • Updates • technischer Support • Bekanntheit und Verbreitung des Planungshilfsmittels • Bekanntheit des Anbieters
Sonstige	<ul style="list-style-type: none"> • Lizenzgebühren • Kosten für Support und Wartung • Know-how der Anwender vorhanden/Einarbeitung notwendig

Tabelle 2: Beispiele für Kriterien zur Bewertung von Planungshilfsmitteln (nach Jadhav 2008)

Bandor (2006) beschreibt als relevante Kriterien zudem weiche Faktoren sowie die Risiken, die mit der Nutzung eines Planungshilfsmittels verbunden sind.

Weiche Faktoren wirken sich auf den Einsatz des Planungshilfsmittels über die gesamte Nutzungsdauer aus. Zudem ist es schwierig, diese Faktoren zu quantifizieren. Als Beispiel zur Identifizierung und Bewertung von Planungshilfsmitteln können ergänzend zu den Kriterien aus Tabelle 2 die Fragestellungen aus Tabelle 3 herangezogen werden.

Tabelle 3: Fragestellungen und deren Aspekte hinsichtlich weicher Faktoren für die Nutzung von Planungshilfsmitteln (Auszug aus Bandor 2006)

Fragestellung	Aspekt
Welcher Personenkreis kann mit dem Planungshilfsmittel arbeiten?	Welche Fähigkeiten werden für die Anwendung des Planungshilfsmittels benötigt? Z. B. fachlicher Hintergrund, Erfahrung, Sprachen etc.
Was ist der Anwendungsbereich des Planungshilfsmittels?	Wird ein Teilbereich abgedeckt oder wird das Planungshilfsmittel systemübergreifend für viele Planungsschritte eingesetzt?
Ist die Funktionalität des Planungshilfsmittels überdimensioniert?	Bietet das Planungshilfsmittel weitaus mehr Funktionen, als benötigt werden? Zu viele Features können die Kosten für das Planungshilfsmittel erhöhen oder auch die Funktionalität negativ beeinflussen.
Wie ist die Integration bzw. das Zusammenspiel mit Systemen und Planungshilfsmitteln, die bereits eingesetzt werden?	Die Integration und das Zusammenspiel mit bereits eingesetzten Systemen können zeitaufwendig sein. Im ungünstigsten Fall gibt es hier unüberwindbare Hürden.
Sind Dokumentation und technische Unterstützung für das Planungshilfsmittel verfügbar?	Ohne Dokumentation und technische Unterstützung können Einarbeitung und Fehlerbehebung viel Zeit in Anspruch nehmen.

Marktübersicht, Grobauswahl und Einholen von Angeboten

Sind erst einmal Kriterien gefunden, kann unter diesen Gesichtspunkten eine Übersicht über die zur Verfügung stehenden Lösungen und damit eine Marktübersicht erstellt werden. Nach Becker (1998) vollziehen sich die Teilschritte der Marktübersicht und der Grobauswahl in der Praxis parallel und miteinander vernetzt. Dabei werden oft vereinfachte Ansätze gewählt, wodurch Planungshilfsmittel berücksichtigt werden,

- die von anderen Planern eingesetzt werden,
- die in Fachzeitschriften beschrieben werden,
- mit denen Mitarbeiter Erfahrungen gesammelt haben oder
- die rein zufällig ausgewählt wurden.

Für den Fall von Planungshilfsmitteln in der energetischen Stadtplanung konnten im Rahmen des Workshops weitere spezifische Informationsquellen identifiziert werden, wie in Abbildung 22 dargestellt ist. Die Reihenfolge entspricht der Favorisierung der Workshop-Teilnehmer:

1. Tagungen/persönliche Kontakte
2. Experten: Hersteller und Entwickler anfragen
3. Projektdatenbanken
4. wissenschaftliche Publikationen



Abb. 22: Relevante Quellen für eine Marktübersicht

Auf Tagungen und Konferenzen (z.B. Projektleiter-Meeting EnEff:Stadt) sowie über persönliche Kontakte zu Anwendern und Experten ist es leicht möglich, Erfahrungsberichte aus erster Hand zu erhalten. Die so gewonnene Bewertung, beispielsweise der Servicequalität des Anbieters, kann durch keine andere Methode erreicht werden. Zudem sollten Informationen zu Leistungen, Standards und ggf. Anwenderbeschreibungen und Fallstudien beim Hersteller bzw. Entwickler angefragt werden. Diese Art von Informationen wird auch als „White Paper“ bezeichnet. (Bandor 2006)

Projektdatenbanken, insbesondere das Portal zu EnEff:Stadt und EnEff:Wärme, sind für den Bereich der Planungshilfsmittel in der energetischen Stadtplanung ebenfalls relevante Informationsquellen. Des Weiteren können Informationen zu Planungshilfsmitteln auch aus wissenschaftlichen Publikationen bzw. Spezialveröffentlichungen gewonnen werden.

Nach Becker (1998) werden für die Grobauswahl aus den bereits festgelegten Kriterien sog. K.O.-Kriterien ausgewählt. Diese Kriterien müssen auf jeden Fall erfüllt sein, um das Planungshilfsmittel für die festgelegten Ziele einsetzen zu können. Für die Bewertung kann eine Ordinalskala herangezogen werden, die die Bewertungen „erfüllt“, „teilweise erfüllt“ und „nicht erfüllt“ umfasst. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass bei dieser Bewertung Informationen verloren gehen können, die dann in späteren Schritten möglicherweise nicht mehr zur Verfügung stehen.

Des Weiteren kann im Rahmen der Grobauswahl auch eine Entscheidung hinsichtlich des Typs des Planungshilfsmittels erfolgen. Hinsichtlich der Investitionsentscheidung stehen sich die Varianten der kommerziellen Software und der Freeware gegenüber. Auch kann bereits hier entschieden werden, ob ein generalisiertes oder ein spezialisiertes Planungshilfsmittel eingesetzt werden soll.

Durch die Marktübersicht und die Grobauswahl wird die Anzahl der Alternativen bereits reduziert. Für die verbliebenen Optionen können im nächsten Schritt Angebote und weitere Informationen eingeholt werden, die die Grundlage der Feinauswahl bilden.

Feinauswahl und Entscheidung

Abschließend sind eine Feinauswahl und eine Entscheidung für die verbleibenden Alternativen zu treffen. Eine mögliche Auswahlmethode stellt die Nutzwertanalyse dar.

Nachfolgend wird eine einfach anzuwendende Variante der Nutzwertanalyse vorgestellt. Es gibt eine Vielzahl weiterer Variationen dieser Analysemethode, die in Becker (1998) und Bandor (2006) zu finden sind.

Bei der von Bandor beschriebenen Nutzwertanalyse werden den zur Auswahl stehenden Optionen für Planungshilfsmittel und den zuvor festgelegten Kriterien gewichtete Werte zugeordnet. Die Summe der gewichteten Werte einer Alternative stellt den Gesamtwert dar. Zum Schluss kann die Variante mit dem höchsten Gesamtwert als Auswahl festgelegt werden.

In Tabelle 4 ist beispielhaft eine Auswahl-situation mit zwei Planungshilfsmitteln dargestellt. Die für den Vergleich festgelegten Kriterien werden mit jeweils einer Gewichtung je nach Relevanz für die zu erreichende Gesamtaufgabe belegt. Die Gesamtsumme der Gewichtungen muss 100 % ergeben. Des Weiteren werden die Kriterien für jedes Planungshilfsmittel bewertet. Um die Bewertung objektiver zu gestalten, werden die dafür genutzten Werte nach

den in Tabelle 5 dargestellten Definitionen verteilt. Demnach werden nur 5 Werte zwischen -1 und 1 mit einer Schrittweite von 0,5 vergeben. Durch die negativen Werte können Kriterien, die bei Nichterfüllung schädigende Auswirkungen nach sich ziehen, entsprechend berücksichtigt werden. Für jede der beiden Möglichkeiten werden die Produkte aus Gewichtung und Bewertung gebildet und aufsummiert. Das Produkt mit der höchsten Bewertung stellt die zu bevorzugende Auswahl dar.

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Planungshilfsmittel 1		Planungshilfsmittel 2	
			Bewertung	gewichtet	Bewertung	gewichtet
1	Funktionalität	40 %	1,0	40	0,5	20
2	Kosten	15 %	0,5	7,5	0,5	7,5
3	Bedienbarkeit/ Ergonomie	25 %	0,5	12,5	1,0	25
4	Schnittstellen	10 %	0,5	5	-1,0	-10
5	Hersteller- Support	10 %	0	0	-0,5	-5
Summe		100 %	-	65	-	42,5

Tabelle 4: Beispiel für die Darstellung einer Nutzwertanalyse zur Entscheidung zwischen zwei Möglichkeiten (nach Bandor 2006)

Bewertungsskala	Definition
1,0	Das Kriterium wird voll erfüllt.
0,5	Das Kriterium wird teilweise erfüllt.
0,0	Unbekannt/Das Kriterium wird ist weder positiv noch negativ ausgeprägt.
-0,5	Das Kriterium ist negativ ausgeprägt.
-1,0	Das Kriterium ist absolut negativ ausgeprägt.

Tabelle 5: Bewertungsschema für Kriterien (nach Litke 2002)

Bei der Interpretation des Ergebnisses müssen jedoch einige Gesichtspunkte beachtet werden. Vor allem ist die Gewichtung und Bewertung in Teilen subjektiv, kann also von Person zu Person unterschiedlich ausfallen. Somit ist es für die Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander vorteilhaft, wenn der Bewertungsprozess durchgehend von derselben Person oder Personengruppe durchgeführt wird.

Um die Auswahl zu objektivieren, besteht die Möglichkeit, dass zwei Personen die Ergebnisse ihrer Bewertung der Planungshilfsmittel vergleichen. Dabei werden die Unterschiede in der Bewertung der einzelnen Kriterien betrachtet. Ab einer zuvor festgelegten Abweichung von

beispielsweise 10 % in der Bewertung einzelner Kriterien sollte untersucht werden, wie die jeweilige Bewertung zustande gekommen ist. Auf dieser Grundlage wird eine Neubewertung der betroffenen Kriterien durchgeführt, was im besten Fall dazu führt, dass beide Personen zum gleichen Gesamtergebnis kommen.

Weiterhin sollte bei Ergebnissen, die sich durch den numerischen Endwert nur geringfügig unterscheiden, bedacht werden, dass diese Methode eine Unschärfe des Ergebnisses mit sich bringt.

Nachteile

In Becker (1998) wird zudem der Aspekt der scheinbaren Substituierbarkeit von Kriterien untereinander genannt. Gemeint ist das Problem, dass ein als ungenügend bewertetes Kriterium scheinbar durch ein anderes Kriterium mit sehr guter Bewertung kompensiert werden kann, wenn lediglich die aufsummierten Punkte betrachtet werden. Dies ist zumeist jedoch nicht der Fall, da die unterschiedlichen Kriterien sich in der Realität untereinander nicht oder nur sehr selten aufrechnen lassen. Im Fall der Planungshilfsmittel kann zum Beispiel eine gute Bewertung des Hersteller-Supports schwerlich den Umstand fehlender Schnittstellen zu anderer Software kompensieren. Dies unterstreicht noch einmal die Bedeutung, die einer sorgfältigen Festlegung der K.O.-Kriterien und der Gewichtungen der weiteren Kriterien zukommt.

Becker (1998) nennt weitere theoretische Bedenken gegen das Verfahren, die hier nicht weiter ausgeführt werden sollen, weil sie für den hier vorgestellten, konkret-praktischen Ansatz der Methode zur Auswahl von Planungshilfsmitteln wenig relevant sind.

Vorteile

Der Vorteil des gesamten Verfahrens und der Methodik, die in das Verfahren eingebettet ist, besteht in der übersichtlichen und einfachen Durchführbarkeit und in der universellen Anwendbarkeit. Im Zuge des Verfahrens werden alle Alternativen erfasst, durch relevante Kriterien beschrieben und bewertet. Im Vergleich zu unstrukturierten, nicht systematischen Ansätzen entstehen durch die Anwendung des Verfahrens Transparenz und Nachvollziehbarkeit der Entscheidung. Deshalb lässt sich sagen, dass die so getroffene Entscheidung relativ große Sicherheit bietet.

IV. Validierung von modellbasierten Planungshilfsmitteln

Planungshilfsmittel bringen dem Anwender nur dann Vorteile, wenn die Ergebnisse der Berechnungen bzw. Simulationen mit Hilfe von Modellen realitätsnah und verlässlich sind. Die für die jeweilige Aufgabe benötigte Genauigkeit wird durch viele Faktoren beeinflusst. Je nach Typ des Planungshilfsmittels können das die Rechenmodelle, die Planungsgrundlagen bzw. die Eingaben und die Bedienung durch den Anwender sein. Im Rahmen eines Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern mehrerer EnEff:Stadt-Projekte wurden folgende Problemfelder identifiziert, die bei der Entwicklung von Planungshilfsmitteln berücksichtigt werden müssen, da sie Auswirkungen auf die Genauigkeit und Verlässlichkeit der Simulationsergebnisse haben:

- hoher Detaillierungsgrad vs. hohe Benutzerfreundlichkeit,
- gleichzeitige Berücksichtigung der sich eventuell gegensätzlich auswirkenden Eigenschaften Offenheit, Genauigkeit und Komplexität sowie
- vertretbarer Aufwand bei der Simulation bzw. notwendige Rechenleistung für die Simulation.

Bei der Entwicklung von modellbasierten Planungshilfsmitteln sind mehrere Arbeitsschritte durchzuführen, um die Genauigkeit der Ergebnisse zu verbessern und nachzuweisen. Für einen Vergleich und die Anpassung eines Modells an ein reales System können eine Verifikation, eine Validierung sowie eine Kalibrierung durchgeführt werden.

Bei der Verifikation werden die numerischen Algorithmen und der Computercode untersucht. Es wird überprüft, wie gut der Computercode das mathematisch-physikalische Modell umsetzt. Zudem werden die Algorithmen auf richtige Funktion sowie auf den Grad der Genauigkeit hin untersucht. Die Lösung wird schließlich ebenfalls auf den Grad der Genauigkeit hin untersucht, um zu bestimmen, ob dieser für den jeweiligen Zweck ausreichend ist. (Schröder 2012)

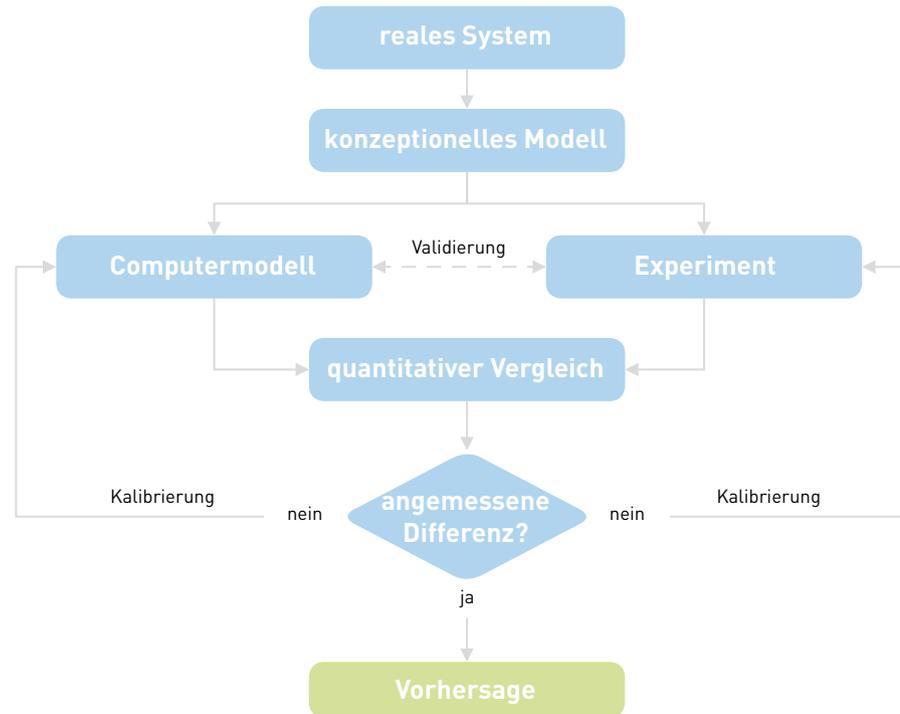
Bei der Validierung soll überprüft werden, inwiefern die Ergebnisse aus der Simulation mit denen des realen Systems übereinstimmen bzw. wie groß die Differenz der Ergebnisse ist und ob diese im tolerierbaren Bereich liegen. Zu beachten ist jedoch, dass die Ergebnisse der Simulation nie exakt mit denen des realen Systems übereinstimmen können, da es sich bei der Simulation immer um eine vereinfachte Version des realen Systems handelt. Zudem folgen Modelle sowie reale Systeme zumeist einem stochastischen Verhalten, was ebenfalls eine Differenz der Ergebnisse zur Folge hat. (Buchholz 2011)

Der konkrete Fall einer Validierung von Gebäudesimulationsmodellen wird im folgenden Kapitel „Exkurs zur Validierung von Gebäudesimulationsprogrammen“ beschrieben.

Die Kalibrierung eines Modells ist notwendig, um dieses an ein reales System anzupassen. Sofern die Differenz der Ergebnisse der Simulation im Vergleich zum realen System als zu groß bewertet wird, können die Verhaltensunterschiede durch Änderungen am Modell reduziert werden. Dazu können zum Beispiel Parameter im Modell variiert werden. (Buchholz 2011)

In Abbildung 23 ist der Vorgang der Validierung und Kalibrierung schematisch dargestellt.

Abb. 23: Validierungsschritte
(nach Oberkampff 2010)



Um die mit Planungshilfsmitteln ermittelten Ergebnisse zu überprüfen, kann zudem eine Plausibilisierung anhand von Erfahrungs- oder Erwartungswerten erfolgen. Dabei werden die Ergebnisse überschlüssig darauf geprüft, ob sie im Rahmen des Möglichen liegen und im konkreten Zusammenhang sinnvoll und nachvollziehbar sind. Der Vorteil dieser Methode liegt in der schnellen und einfachen Durchführbarkeit und dem geringen Aufwand, der dazu nötig ist. Jedoch können auf diese Weise nur offensichtliche Fehler erkannt werden. Typischerweise werden Messdaten in einem ersten Schritt einer Plausibilisierung unterzogen. Auch Berechnungs- und Simulationsergebnisse lassen sich so zunächst untersuchen.

Praxiserfahrungen zur Validierung

In einem Workshop mit den EnEff:Stadt-Projekten wurden Aspekte zur Validierung und Plausibilisierung von Ergebnissen diskutiert und mögliche Vorgehensweisen dazu erarbeitet. Der Fokus lag dabei auf den Anwendungsbereichen von Planungshilfsmitteln für die energetische Quartiersplanung.

- „Sind die Ergebnisse realistisch?“ – Diese einfache Frage sollte sich jeder Anwender im Hinblick auf seine Ergebnisse stellen.
- Die Validierung von Planungshilfsmitteln kann durch den Abgleich der Ergebnisse mit gemessenen Werten erfolgen. Das Grundproblem hierbei ist jedoch, dass häufig keine Daten vorliegen.
- Eine weitere Variante der Validierung ist der Vergleich der Ergebnisse mit denen, die mit einem anderen Planungshilfsmittel ermittelt wurden. Dieser kann aber nur angestellt werden, sofern ein vergleichbares Planungshilfsmittel verfügbar ist, was oft nicht der Fall ist; dann können ersatzweise Teilaufgaben bzw. Teilergebnisse, die mit anderen Planungshilfsmitteln ermittelt wurden, zum Vergleich herangezogen werden.
- Für die Entwicklung von Planungshilfsmitteln ist es vorteilhaft, eine modulare Programmierung zu wählen. So können bei Entwicklung und Anwendung Zwischenergebnisse kontrolliert und bewertet werden.

Exkurs: Validierung von Gebäudesimulationsprogrammen

Anhand eines Planungshilfsmittels für die Gebäudesimulation wird im Folgenden ein mögliches Vorgehen bei der Validierung gezeigt. Grundlegende Schritte können auch für andere Planungshilfsmittel adaptiert werden.

Gebäudesimulationsprogramme beinhalten physikalische Modelle, die die geometrischen und bauphysikalischen Eigenschaften aller relevanten Bauteile sowie die Anlagentechnik beschreiben. Durch statische oder dynamische Simulation erfolgt eine energetische Betrachtung des Gesamtsystems, bestehend aus Gebäude, Anlagentechnik und Nutzer. Ein Ziel kann sein, mit Hilfe der Simulationsergebnisse die energetisch beste Variante zu ermitteln.

Die einzelnen Untermodelle eines Gebäudesimulationsprogramms sind miteinander verknüpft und werden durch eine Vielzahl von Parametern beschrieben. In Summe ergeben sich so viele Möglichkeiten für Unsicherheiten, die wiederum die Validierung erschweren. Zu den internen Fehlerquellen zählen die für das Modell getroffenen Annahmen, die seinen Komplexitätsgrad festlegen. Auch Lösungsprobleme, die in den Rechenalgorithmen und der Logik begründet sind, sind interner Natur. Externe Fehlerquellen stellen beispielsweise hinzugezogene Prognosen von Wetterdaten und Nutzerverhalten sowie auch Eingabefehler der Anwender dar. (Achermann 2003)

Achermann (2003) beschreibt verschiedene methodische Ansätze, um eine Validierung durchzuführen:

- analytische Validierung,
- Programm-zu-Programm-Vergleichsvalidierung und
- empirische Validierung.

Bei der analytischen Validierung werden einzelne Operationen oder Berechnungsschritte mit dem Planungshilfsmittel durchgeführt, die in einem weiteren Schritt „von Hand“ überprüft werden.

Durch einen Programm-zu-Programm-Vergleichstest werden Berechnungsergebnisse von Standardszenarien des Planungshilfsmittels mit denen eines weiteren, bereits validierten Planungshilfsmittels verglichen. Die Szenarien müssen durch Variationen und Kombination untereinander so gewählt werden, dass alle Anwendungsbereiche des Planungshilfsmittels überprüft werden.

Im Zuge einer empirischen Validierung werden die mit dem Planungshilfsmittel erzielten Ergebnisse mit gemessenen Ergebnissen verglichen. Einschränkungen ergeben sich hierbei insofern, als durch Messunsicherheiten und Messfehler bedingt auch Messwerte immer fehlerhaft sein können. Es wird also eine hohe Qualität der Messdaten benötigt, und oft auch eine große Menge.

Um die Qualität der Validierung zu erhöhen, können alle drei Ansätze miteinander kombiniert werden. In Abbildung 24 ist ein Schema für die Validierung eines Gebäudesimulationsmodells dargestellt. Alle Verfahren werden nacheinander angewendet, wobei das Modell nach der Anwendung jedes Verfahrens überarbeitet wird, bevor der nächste Schritt erfolgt. In einer weiteren Schleife werden alle Verfahren ein weiteres Mal angewendet, bis der Programmcode die Testphase erfolgreich bestanden hat.

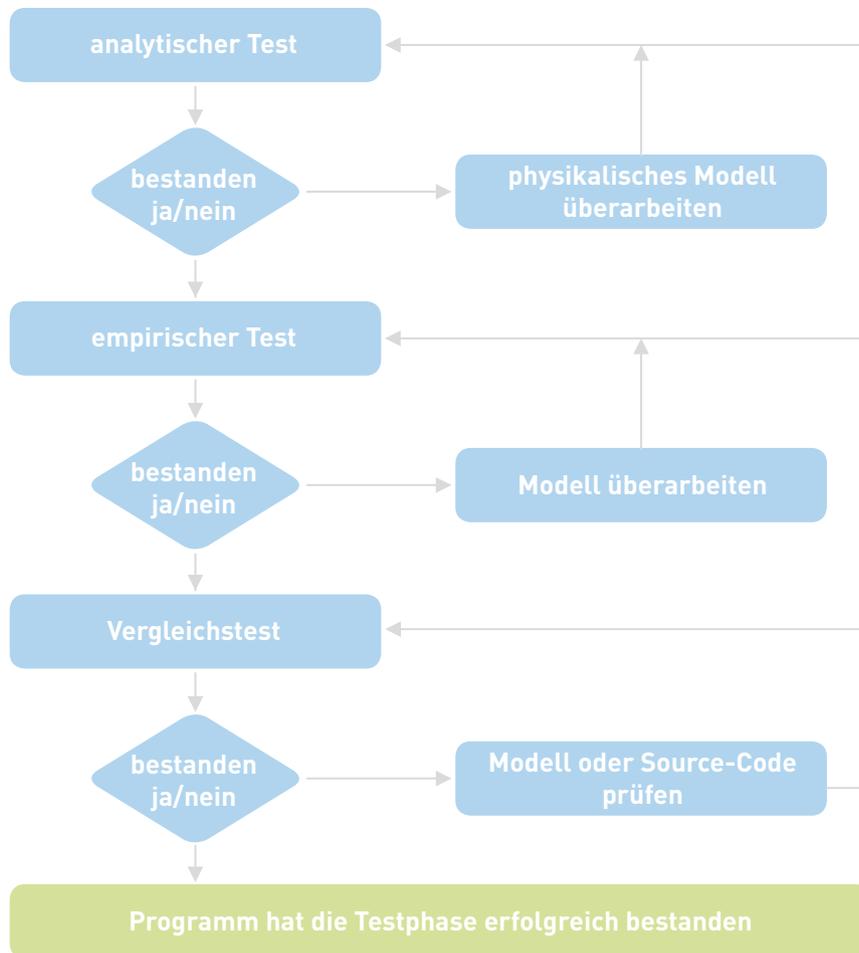


Abb. 24: Schema zur Validierung eines Gebäudesimulationsprogramms (nach Achermann 2003)

Zur Validierung von Gebäudesimulationsprogrammen sind Standards verfügbar, die nachfolgend kurz vorgestellt werden.

Die Normen DIN EN ISO 13791 und DIN EN ISO 13792 legen Testfälle, definierte Randbedingungen und Ergebnisse zur Validierung fest. Dabei werden folgende Aspekte berücksichtigt: Wärmeleitung durch opake Wände, innerer Wärmeaustausch durch langwellige Strahlung und Verschattung durch Hindernisse von außen. Nach der Durchführung von Einzeltests werden diese in einem zusammengeführten Modell erneut geprüft. Die abschließende Klassifi-

zierung des getesteten Gebäudesimulationsprogramms erfolgt aufgrund der Abweichungen der Ergebnisse von den vorgegebenen Ergebnissen der Normen.

Des Weiteren wird von der American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) der ANSI/ASHRAE-Standard 140 zur Verfügung gestellt. Die Testverfahren werden unter festgelegten Randbedingungen auf Ein-Raum-Modelle angewendet und mit analytisch sowie semianalytisch erzielten Ergebnissen verglichen. Um das Testverfahren erfolgreich abzuschließen, müssen die Ergebnisse des getesteten Gebäudesimulationsprogramms innerhalb des definierten Wertebereichs liegen. (Grunewald 2015)

Auch die Richtlinie VDI 6020 - Blatt 1 gibt Testbeispiele als Vergleich für Rechenverfahren zur thermischen und energetischen Anlagensimulation vor. Zudem werden Hinweise auf Verfahren gegeben, mit denen weitere Beispiele validiert werden können. Zur Einhaltung der Richtlinie werden Mindestanforderungen an Algorithmen und Parameter für die Umsetzung von Gebäudesimulationsprogrammen vorgegeben.

Die VDI 6007 gibt grundsätzliche Verfahren zu Modellbildung und Algorithmen vor. Zudem ist es mit Hilfe dieser Richtlinie möglich, bauphysikalische Untersuchungen und Bewertungen von Räumen und Gebäuden ohne Anlagentechnik hinsichtlich des thermischen Verhaltens durchzuführen. (VDI 6007)

Für ein Verfahren zur Berechnung der wahrnehmbaren Kühllast eines einzelnen Raumes werden in der DIN EN 15255 erforderliche Ein- und Ausgangsdaten sowie Randbedingungen festgelegt. Des Weiteren werden ein Schema zur Einstufung des Berechnungsverfahrens und Kriterien zur Erfüllung der Norm vorgegeben. (DIN EN 15255)

Schließlich werden in der DIN EN 15265 Vorgaben für die Berechnung des Jahresheiz- und Jahreskühlenergieverbrauchs eines Gebäudes bzw. Gebäudeteils festgelegt. Dafür werden zu treffende Annahmen, Randbedingungen und Validierungsprüfungen definiert. (DIN EN 15265)

Interview: Praxiserfahrungen aus EnEff:Stadt

Dr. Oliver Opel, wissenschaftlicher Projektkoordinator an der Leuphana Universität Lüneburg, gibt Antworten auf relevante und aktuelle Fragestellungen zum Projekt „Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg“. Zentrales Thema des Interviews ist die Auswahl und Anwendung von Planungshilfsmitteln. Die Erkenntnisse und Erfahrungen zu Planungshilfsmitteln haben über das Forschungsvorhaben am Campus der Universität Lüneburg einen direkten Bezug zur Praxis.

Zur Person Dr. Oliver Opel



Dr. rer. nat. Oliver Opel hat sein Diplomstudium im Fachbereich der Umweltwissenschaften an der Universität Lüneburg absolviert und ist seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Ruck (Institut für Ökologie und Umweltchemie, seit 2011 Fakultät Nachhaltigkeit). In seiner Dissertation behandelte er wasserchemische und mikrobiologische Prozesse in thermischen Aquiferspeichern im Energiesystem der Parlamentsbauten im Berliner Spreebogen.

Er gibt unter anderem Lehrveranstaltungen im Bereich erneuerbare Energien und Energieeffizienz. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Wasserchemie, der Analytik sowie der effizienten Energiesysteme und Energienachhaltigkeit, insbesondere Wärmespeicherung. Derzeit arbeitet er an Projekten in folgenden Themenbereichen mit:

- klimaneutraler Campus und Energiesystem Leuphana Universität Lüneburg mit Wärmespeicher und Einbindung des Zentralgebäude-Neubaus als flexibler Niedrigenergie-Wärmeabnehmer,
- Entwicklung thermochemischer Wärmespeicher („thermal battery“) und Korrosion in hydraulischen Systemen der technischen Gebäudeausrüstung.

EnEff:Campus: Klimaneutraler Campus Leuphana Universität Lüneburg

Im Rahmen des Projekts wird der Campus der Universität Lüneburg städtebaulich und energetisch weiterentwickelt. Das ehemalige Kasernenareal wurde vor dem Projekt über ein Nahwärmenetz versorgt, wobei die Wärmerzeugung über zwei Erdgas-BHKW und Spitzenlastkessel erfolgte. Seit 2014 wird die Energieversorgung über erneuerbare Energien in Form von Photovoltaik und Biomethan-KWK gewährleistet. Zudem wird eine exergetische Optimierung umgesetzt, um die Einbindung thermischer Speicher zu verbessern. Der Neubau des Universitäts-Zentralgebäudes ist dabei mit kaskadierter Niedrigtemperatur-Wärmenutzung ein zentraler Baustein. Weiterhin geplant ist ein Aquiferspeicher als saisonaler Wärmespeicher. Zudem werden die Bestandsgebäude energetisch saniert. Durch die Umsetzung des Projekts wird der CO₂-Ausstoß für die gesamte Universität (inklusive Dienstreisen und anderer Standorte) und des angrenzten Wohngebietes Bockelsberg rechnerisch auf netto null gesenkt. Primärenergetisch soll ebenfalls eine ausgeglichene Bilanz erreicht werden. Der Strombedarf auf dem Campus wird zu 25 % in Eigennutzung der über 3.500 m² vor allem auf Ost- und Westdächern installierten Photovoltaikanlagen gedeckt, des Weiteren bezieht die Universität für alle Standorte zertifizierten Ökostrom mit sehr geringem spezifischem Treibhausgasausstoß.

Das Quartier

Nutzungstyp des Quartiers:	Mischgebiet
Altersstruktur:	16 Gebäude von 1936, 1 Gebäude von 1990, 8 Gebäude von 1996 (Uni Campus), 30 Gebäude von 1998 (Bockelsberg)
Bau- und Sanierungszustand:	gemischt
Wärmeversorgung:	Nahwärme, Erdgas-BHKW, 2010/2013 endgültig umgestellt auf Biomethan

Allgemeines zum Projekt

Wie ist die energetische Ausgangssituation und welche Ziele verfolgen Sie in Ihrem Campusprojekt?

Der recht kompakte Campus (0,17 km²) besteht aus Kasernengebäuden der 1930er Jahre, die zu Beginn der 1990er-Jahre mit einem Speisesaal, Bibliothek, Hörsälen, einer Ladenzeile und einem Fitnessstudio zum Unicampus umstrukturiert wurden. Die Wärmeversorgung wurde von Beginn an netzgebunden realisiert und nutzte bereits Abwärme aus zwei Gas-BHKWs, es wurde allerdings das alte, auf Dampf ausgelegte und schlecht isolierte Verteilnetz weitergenutzt.

Die Gebäude besitzen mit ihrem 1 m dicken Ziegelmauerwerk verhältnismäßig gute thermische Eigenschaften, eine Schwachstelle sind die teilweise undichten Einscheiben-Doppel-Kastenfenster und die schlechte Tageslichtnutzbarkeit. Durch vielfältige Nutzerkampagnen, aber auch durch die geringe Nutzung in den Winter-Semesterferien lag der Wärmeverbrauch schon deutlich unter dem berechneten Bedarf.

Ziel des Projektes ist eine Steigerung des Flächenangebotes durch Nachverdichtung (Dachgeschossausbau/Zentralgebäudeneubau auf einem alten Parkplatz) und Umstellung der Wärmeversorgung auf erneuerbare Energien, wodurch unter Einbezug der bestehenden Infrastruktur das Ziel „klimaneutrale Universität“ erreicht werden soll. Weiterhin soll durch eine Vielzahl von Einzelmaßnahmen der Endenergiebedarf um ca. 30 % (Strom und Wärme) gesenkt werden. Der wissenschaftliche Fokus liegt darüber hinaus in der Einbindung eines Aquifer-Wärmespeichers und der Nutzereinbindung.

In welchen Phasen befinden sich die Projekte? Und wie ist der aktuelle Status?

Das im Jahr 2010 bewilligte Projekt befindet sich in der Umsetzungsphase. Die Einsparmaßnahmen auf dem Campus sind weitgehend umgesetzt, das Zentralgebäude befindet sich im Bau und wird im Januar 2017 in Betrieb gehen. Ein Antrag für die Monitoring-Phase wird derzeit durch einen Forschungspartner vorbereitet.

Gesammelte Erfahrungen im Projekt

Welche zentralen Fragen stellen Sie sich in dem Projekt?

Das Projekt kann in vier Bereiche eingeteilt werden: energieeffizienter Neubau des Zentralgebäudes, Einsparungen in Bestandsgebäuden, exergetische Optimierung des Campusnetzes und der Energiezentrale mit Wärmespeicher und Nutzereinbindung.

Und welche Antworten haben Sie schon gefunden oder hoffen Sie zu finden?

Der Zentralgebäudeneubau ist auf Niedrigexergie-Wärmeabnahme, äußerst geringe Strombedarfe für Beleuchtung, optimierte Lüftung und vor allem sehr geringen Kältebedarf ausgelegt. Das Campus-Energiesystem arbeitet seit 2013 klimaneutral bzw. mit negativer Treib-

hausgasbilanz und der geplante Aquifer-Wärmespeicher konnte durch ein neuartiges Design effizienter gestaltet werden.

Welche Hürden haben sich Ihnen in den Weg gestellt?

Und wie haben Sie diese überwunden?

Beim Aquiferspeicher stellen sich vor allem Probleme bei der Wirtschaftlichkeit, ein Problem, mit dem alle Energiespeicher zu tun haben. In unserem speziellen Fall ist der Speicher für das (optimierte) Abnehmersystem außerdem zu groß, er würde nur zu rund einem Drittel ausgenutzt werden, was sich auch in der Effizienz niederschlägt. Der Speicher kann jedoch nicht kleiner gebaut werden, da er natürliche Gesteinsschichten nutzt. Aufgrund dieser Problematik gibt es bislang auch noch keine Entscheidung zur Umsetzung, vielmehr suchen wir derzeit über die Grenzen des Quartiers hinaus nach Potenzialen.

Konnten Ihnen dabei Planungshilfsmittel helfen? Und wenn ja, wie?

In die Modellierung des Abnehmersystems, des Zentralgebäudes (beides mittels DOE2.E, eines TRNSYS-Ablegers, der vom amerikanischen Department of Energy gepflegt wird) sowie des Aquiferspeichers selbst (TRNSYS/FeFlow) ist viel Arbeit geflossen. Ein Hauptergebnis der numerischen Simulation mit FeFlow war, dass sich die Effizienz des Speichers (unter den gegebenen Bedingungen) erhöhen lässt, wenn die kalte und die warme Seite des Speichers nicht, wie bisher üblich, hydraulisch getrennt voneinander arbeiten, sondern beispielsweise bei der Einspeicherung noch warmes Wasser aus dem Brunnen gefördert und erhitzt wird. Dadurch steigt die Wassertemperatur im Untergrund bei gleicher eingespeicherter Wärmemenge und es kann, bei gegebener Temperatur des Rücklaufs im Abnehmersystem, anteilig mehr Wärme ausgespeichert werden. Weiterhin wurde die Erzeugungskapazität bzw. der Nutzungsgrad des Speichers mit Hilfe eines TRNSYS-Modells optimiert. Weitere, sich aus einem Zusammenschluss von Nahwärmenetzen ergebende Potenziale sollen ebenfalls mit einem TRNSYS-Modell erarbeitet werden. Die Wasserchemie des Aquiferspeichers (Lösungs- und Fällungsprozesse bei Temperaturerhöhung oder Abkühlung) wurde mit einem wasserchemischen Modell (PHREEQC) berechnet.

Darüber hinaus haben wir auch gängige, auf der DIN 18599 beruhende Planungshilfsmittel wie den Hottgenroth 18599 3D (Bestandsgebäude) und ZUB Helena Ultra (Zentralgebäude) zur Bewertung von Sanierungsvarianten und Einzelmaßnahmen und zur energetischen Bewertung der Gebäude verwendet.

Natürlich kam auch das Tool zur energetischen Quartiersbewertung der EnEff:Stadt-Begleitforschung zum Einsatz.

Was würden Sie aus Ihren Erfahrungen für andere Planer ableiten?

TRNSYS, DOE2.E und FeFlow sind, wie auch Dymola/Modelica, allesamt Expertenwerkzeuge, die aufwendig zu handhaben sind und deren Anwendung daher für Bauherren und Planer unwirtschaftlich ist. Diese Werkzeuge eignen sich ausschließlich für Forschungszwecke. Dafür lassen sich auch ungewöhnliche Fälle abbilden. Für die Multiplikation sind diese Werk-

zeuge ungeeignet. Die gängigen Werkzeuge zur DIN-18599-Berechnung sind ebenfalls noch recht aufwendig in der Nutzung, wenn es um komplette Quartiere mit einer großen Anzahl von unterschiedlichen Gebäuden und Nutzungsarten geht. Hier haben schlankere Werkzeuge ihren Platz, die die Energiebedarfe zwar nicht so genau wie aufwendigere Tools, aber ausreichend genau für eine energetische Quartiersentwicklung abbilden können.

Erfahrungen zu Planungshilfsmitteln

Welche Erfahrungen haben Sie beim Erstellen und Vergleichen von Konzeptvarianten gemacht? Wie konnten Ihnen Planungshilfsmittel dabei helfen?

Ein grober Variantenvergleich kann zwar auch mit Excel erstellt werden (in unserem Projekt wurden Betrachtungen zur Exergieeffizienz verschiedener Varianten mit Excel erstellt), die energetische Simulation von Gebäuden und die Betrachtung des Einflusses von Maßnahmen wie dem Austausch der Fenster oder einer besseren Dämmung ist damit jedoch nicht machbar. Auch Betrachtungen von hydraulischen Systemen (wir haben beispielsweise untersucht, wie sich eine Vorlauftemperaturenanhebung auf die Rücklaufemperatur auswirkt) können ohne Planungshilfsmittel nicht bzw. nur mit deutlich höherem Aufwand durchgeführt werden. Verschiedene Speicherbauformen miteinander zu vergleichen, erfordert beispielsweise ebenfalls zwingend Expertentools wie FeFlow, TRNSYS und PHREEQC. Auch bei der Auslegung der Kälteanlage konnte die dynamische Modellierung in DOE2.E helfen, den Bedarf genauer zu erfassen. In unserem Projekt konnte die Leistung der Kälteanlage so deutlich reduziert werden.

Allgemein: Welche Erfahrungen haben Sie mit den Planungshilfsmitteln gemacht? Welche Vor- und Nachteile sind offensichtlich geworden?

Alle eingesetzten Planungshilfsmittel, auch die 18599-Berechnungstools, erfordern einen erfahrenen Anwender. Selbst bei der verhältnismäßig einfachen Bedienung der verschiedenen Softwarelösungen für Energieberater zeigt sich, dass Welten zwischen einer schnell zusammengedrückten und einer im Detail betrachteten Modellierung liegen. Wenn eine EnEV-Berechnung beauftragt wird, wie sie bei jedem Bauvorhaben Pflicht ist, ist die schnelle und eher unsaubere Erstellung mit vielen Standardwerten offenbar leider der Regelfall. Wahrscheinlich geschieht das aufgrund mangelnder Informationen beim Dienstleister, aber auch aufgrund des bei tieferer Auseinandersetzung deutlich ansteigenden Aufwands, insbesondere um die notwendigen Informationen zu beschaffen oder weiterzugeben. Anlagentechnik, Rohrleitungslängen und Nutzungsszenarien waren dabei die größten Unsicherheitsfaktoren. Dadurch relativiert sich der theoretische Vorteil gegenüber vereinfachenden Tools erheblich!

Welche Kriterien gab es, um ein Tool auszuwählen? Wie wurden diese von Ihnen bewertet?

Die Hottgenroth-Software wurde gewählt, da ein Projektmitarbeiter persönliche Erfahrung mit der Software hatte. Ebenso wurde ansonsten mit Software gearbeitet, die von unseren FuE-Partnern üblicherweise genutzt wurde.

Bei welchen Aufgaben konnten Ihnen Planungshilfsmittel weiterhelfen?

Allgemein erlauben Planungshilfsmittel einen Blick in die Zukunft und sind damit höchst relevant, um Entscheidungsprozesse vorzubereiten und zu begleiten. Planungshilfsmittel wurden in unserem Projekt letztlich immer als Grundlage für die Projektarbeit und entsprechende Entscheidungen eingesetzt. Das Spektrum umfasste die Betrachtung einzelner Gebäude und Maßnahmen bis hin zur Simulation des Gesamtsystems.

Wie sind Sie an Informationen gekommen, um ein passendes Planungshilfsmittel zu einer Problemstellung zu finden? Welche Erfahrungen konnten Sie bei der Informationsbeschaffung sammeln? War diese schwierig?

Die Frage stellte sich nur bedingt, da die meisten Arbeiten von Forschungspartnern durchgeführt wurden und diese meist ein bevorzugtes Tool verwendeten.

Allgemein sind jedoch die „5 Ws“ zu klären:

1. Was geplant werden soll,
2. was für ein Tool ich dafür brauche (mehr oder weniger aufwendig),
3. welche Tools es gibt,
4. was es kostet (Zeit und Geld) und vor allem
5. wer es schon mal gemacht hat.

In jedem Fall bietet sich eine Recherche auf den Seiten der EnEff:Stadt- und EnEff:Wärme-Initiativen sowie mit Google an. Im Bedarfsfall kann nach wissenschaftlicher Literatur geschaut werden, die es jedoch nur für bekanntere und schon länger im Einsatz befindliche Tools gibt. Zudem wird die Handhabung in wissenschaftlichen Publikationen zumeist nicht erläutert, man kann jedoch Antworten auf „was brauche ich für welche Aufgabe“ und „welche Tools gibt es“ in Form von Anwendungsbeispielen finden. Dennoch ist die Frage 2 auf dieser Basis schwierig zu beantworten, da in wissenschaftlichen Publikationen zumeist aufwendigere Tools zum Einsatz kommen.

Was würden Sie anderen, die am Anfang des Auswahlprozesses von Planungshilfsmitteln stehen, unbedingt empfehlen?

Am aussichtsreichsten ist, nach vorheriger Recherche zum Beispiel auf dem EnEff:Stadt-Portal, der persönliche Kontakt zu Anwendern („Wer hat es schon mal gemacht?“). Letztlich ersetzt nichts den persönlichen Umgang mit einem Tool. Da aber meist zu wenig Zeit zum eigenen Ausprobieren ist, lohnt es sich, sich gut umzuhören, Meinungen zu bestimmten Tools einzuholen und ggf. gezielt nach einfacheren Alternativen zu fragen. Ich persönlich setze für die energetische Quartiersentwicklung große Hoffnungen in die im Rahmen von EnEff:Stadt und EnEff:Wärme entwickelten Tools, da diese beispielsweise Netz-, Erzeugungs- und Gebäudemodelle und teilweise auch Strom- und Wärmemodelle in einem integralen Tool vereinen. Außerdem sind diese Tools maßgeschneidert für diese spezifische Planungsaufgabe: Man kann damit nicht alles machen, dafür aber das, was man will, einfacher und schneller. Welches der entwickelten Tools sich für welches Gebiet als „bestes“ Planungstool herausstellen wird, bleibt allerdings abzuwarten.

Zusammenfassung

Stadtquartiere besitzen im Vergleich zu Einzelobjekten große Potenziale zur Entwicklung und Umsetzung von energieeffizienten und wirtschaftlich optimierten Lösungen für Gebäude. Insbesondere im Gebäudebestand können Quartierslösungen dazu beitragen, wirtschaftliche Sanierungskonzepte zu entwickeln, die den Primärenergiebedarf deutlich reduzieren. Dabei ergibt sich das Potenzial aus der Kombination von Maßnahmen zur Reduzierung des Energiebedarfs von Gebäuden mit effizienten Energieversorgungskonzepten. Mit der Anzahl an Kombinationsmöglichkeiten steigen jedoch auch die Komplexität der Planungsaufgabe und damit der Bedarf an geeigneten Planungshilfsmitteln rapide an. Ziel der vorliegenden Publikation ist es, dem Leser einen Leitfaden für die Auswahl des richtigen Planungshilfsmittels an die Hand zu geben. Gleichzeitig soll die effektive Nutzung von Planungshilfsmitteln in der Praxis verbessert werden.

Die vorliegenden Ergebnisse basieren auf Erfahrungen aus Planungs- und Umsetzungsprojekten der Förderinitiative EnEff:Stadt (Energieeffiziente Stadt) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) sowie auf den Projektauswertungen, die im Rahmen der Begleitforschung durchgeführt wurden. Damit liefert die vorliegende Publikation eine Vielzahl von Erfahrungen sowohl von Praktikern als auch von Wissenschaftlern, die im Rahmen von Pilotprojekten Lösungen für Stadtquartiere entwickelt haben. Es hat sich gezeigt, dass die Planungshilfsmittel dazu beitragen, Planungsfehler zu vermeiden. Zudem reduzieren sie den Planungsaufwand und unterstützen den Planungs- und Umsetzungsprozess, um gesteckte Planungsziele zu verfolgen und zu erreichen. Darüber hinaus liefern sie eine differenzierte Entscheidungsbasis, um die vorhandenen wirtschaftlichen und energetischen Potenziale voll auszuschöpfen.

Im Zuge der Energiewende und der damit verbundenen Ziele der Bundesregierung werden sich die energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen grundlegend und gegebenenfalls sogar fortlaufend ändern. Gerade für langfristige Investitionsentscheidungen kann daher eine Bewertung der wirtschaftlichen Chancen und Risiken mit Hilfe von Planungshilfsmitteln, die derartige Veränderungen schon in der Konzeptionsphase modellieren können, die Grundlage für den wirtschaftlichen Erfolg der umgesetzten Maßnahmen sein. Weiterhin ergeben sich durch die Energiewende und die geplante Transformation des Energiesystems neue Erlösquellen für den Bereich der Wärmeversorgung: Die Verbindung der Sektoren Strom und Wärme zum Beispiel durch Blockheizkraftwerke, Wärmepumpen und sogar Systeme zur elektrischen Warmwassererzeugung in Verbindung mit Wärmespeichern kann zum wirtschaftlichen Erfolg führen, wenn die Systemkomponenten flexibel auf die Preisentwicklungen in den Energiemärkten reagieren. Mit dieser Entwicklung wird der Bedarf an Planungshilfsmitteln für komplexe und zunehmend auch dynamische Planungsaufgaben weiter ansteigen.

Die Demonstrationsprojekte der Förderinitiative Energieeffiziente Stadt haben gezeigt, dass zum einen relativ einfache Planungshilfsmittel eingesetzt wurden, die keine ausreichende

Unterstützung des Planungsprozesses bieten. Zum anderen wurden komplexe und leistungsfähige Planungshilfsmittel verwendet, ohne ihr Potenzial voll auszuschöpfen. Beides führt zu nicht optimalen Projektergebnissen. Weiterhin hat sich gezeigt, dass die in den EnEff:Stadt-Projekten verwendeten leistungsfähigen Planungshilfsmittel in der Anwendung eine hohe Komplexität erreichen und daher einen hohen Grad an Fachwissen und Einarbeitung erfordern. Für die Verwendung sowie für die Weiterentwicklung von Planungshilfsmitteln war daher eine Beteiligung von wissenschaftlichen Einrichtungen bisher unabdingbar.

Planungshilfsmittel sind erforderlich, um Szenarien in der Konzeptentwicklung bewertbar und vergleichbar zu machen und auf diese Weise eine Basis für Entscheidungen zu schaffen, die transparent und nachvollziehbar sind. Die Praxiserfahrungen zeigen, dass die Planungsaufgabe klar definiert sein muss, damit ein geeignetes Planungshilfsmittel ausgewählt werden kann und damit Nutzen und Aufwand beim Einsatz von Planungshilfsmitteln in ausgeglichenem Verhältnis zueinander stehen, denn jede Aufgabe stellt unterschiedliche Anforderungen an das Planungshilfsmittel. In der Vorplanung müssen Planungshilfsmittel mit einer geringen Datenbasis auskommen und einfach handhabbar sein, um mit geringem Aufwand eine Vielzahl an Konzeptvarianten vergleichen zu können. Die Detailplanung erfordert hingegen eine hohe Datenqualität und -quantität für komplexe Berechnungen. Es hat sich gezeigt, dass das Datenmanagement und die Datenauswertung für alle Projektphasen eine Herausforderung darstellen.

Typische Anwendungsgebiete von Planungshilfsmitteln sind Gebäudesimulation, Auslegung der Energieversorgungssysteme, Simulation von Anlagenkombinationen, räumliche Analysen, Optimierungsrechnungen und Datenauswertung. Die verschiedenen Anwendungsfelder und Anforderungen an Planungshilfsmittel werden in der vorliegenden Publikation beschrieben sowie mit praktischen Beispielen und Erfahrungen hinterlegt. Eine Gesamtübersicht (vgl. Abbildung 25) zeigt abschließend, in welchen Projektphasen und Anwendungsgebieten die verwendeten Planungshilfsmittel eingesetzt wurden, und gibt einen Überblick über die Anwender.

Abb. 25: Übersichtsmatrix zum Einsatz der Planungshilfsmittel in EnEff:Stadt

- zum Teil verwendet
- Verwendung
- „eigene Recherche“

Anwendungsmatrix der Planungshilfsmittel in Bezug auf:		Planungshilfsmittel											
		DELPHIN 5	DesignBuilder	DHWCalc	EnerCalc	Energieberater 18599	Energy Plus	EnEV-XL 4.0	Ennovatis	EPass Helena	FreeOpt	Gnu R	GOMBIS 2.0
Projektphasen	Vorplanung			■	■		■	■			■	■	■
	Detailplanung	■	■	■	■	■	■		■	■		■	
	Monitoring						■	■			■		
Anwendungsgebiete	Räumliche Analyse		■										
	Gebäudesimulation	■	■		■	■	■		■			■	
	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen									■	■		
	Auslegung von Wärmenetzen									■			
	Simulation von Anlagenkombinationen						■			■		■	
	Optimierungsrechnungen									■			
	Datenauswertung		■	■				■	■		■		
Anwender	Stadtplaner							■					
	Energieversorger							■	■				
	Wohnungsbau-gesellschaften	■			■				■			■	
	Ingenieurbüros/Anlagenplaner		■		■	■	■		■			■	
	Architekten	■											
	Wissenschaft und Forschung	■	■	■	■		■	■	■	■	■		

Literatur

- Achermann 2003 Achermann, Matthias; Zweifel, Gerhard: Praxisnahe Validierung von Simulationsprogrammen – Beitrag zu IEA Solar Task 22. PDF, HTA Hochschule Technik + Architektur, Luzern 2003. Verfügbar unter <http://www.bfe.admin.ch/php/modules/enet/streamfile.php?file=000000009254.pdf&name=000000230326.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.07.2015
- Bandor 2006 Bandor, S. Michael: Quantitative Methods for Software Selection and Evaluation. PDF, Software Engineering Institute – Carnegie Mellon University, Pittsburgh 2006. Verfügbar unter <http://www.sei.cmu.edu/reports/06tn026.pdf>, zuletzt abgerufen am 30.07.2015
- Beck und Arnold 1977 Beck, J. V.; Arnold, K. J.: Parameter estimation in engineering and science. John Wiley & Sons, New York 1977
- Becker 1998 Becker, Jörg et al. (Hrsg.): Arbeitsberichte des Instituts für Wirtschaftsinformatik: Arbeitsbericht Nr. 62 – Ein Entscheidungsmodell für die Auswahl von Standardanwendungssoftware am Beispiel von Warenwirtschaftssystemen. PDF, Institut für Wirtschaftsinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Münster 1998. Verfügbar unter http://www.econbiz.de/archiv1/2008/26498/entscheidungsmodell_auswahl_standardanwendungssoftware.pdf, zuletzt abgerufen am 30.07.2015
- Bol 2004 Bol, Georg: Deskriptive Statistik. Oldenbourg, München 2004
- Bossel 2004 Hartmut Bossel: Systeme, Dynamik Simulation. Books on demand GmbH, Nordestadt 2004
- Buchholz 2011 Buchholz, Peter: Modellgestützte Analyse und Optimierung. Skript, Technische Universität Dortmund, Dortmund 2011. Verfügbar unter <http://ls4-www.cs.tu-dortmund.de/download/LehreMaterialien/MA02011/Kap8.pdf>, zuletzt abgerufen 28.08.2015
- DIN EN 15255 2007 Deutsches Institut für Normung e. V.: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung der wahrnehmbaren Raumkühlleistung – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Deutsche Fassung EN 15255:2007, Beuth, Berlin 2007
- DIN EN 15265 2007 Deutsches Institut für Normung e. V.: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs – Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren. Deutsche Fassung EN 15265:2007, Beuth, Berlin 2007

- Erhorn 2006 Erhorn, Hans; Balada, Astrid: DIN V 18599 – Energetische Bewertung von Gebäuden. PDF, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Deutsches Institut für Normung e.V., Stuttgart 2006. Verfügbar unter http://enper-exist.com/pdf/publications/germany/din18599_uebersicht.pdf, zuletzt aufgerufen am 01.08.2015
- Erhorn-Kluttig 2011 Erhorn-Kluttig, Heike et al.: Energetische Quartiersplanung: Methoden – Technologien – Praxisbeispiele. 1. Auflage, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2011
- Flayyih 2014 Flayyih, Mustafa; Burmeister, Frank; Stinner, Sebastian; Kraft, Walter: Modelica-Simulation des Systems Nutzer/Gebäude/Anlagentechnik. Energie | Wasser Praxis 2/2014 (S. 28-35)
- Georgii 2009 Georgii, Hans-Otto: Stochastik: Einführung in die Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik. de Gruyter, Berlin 2009
- Gritzmann 2013 Peter Gritzmann: Grundlagen der Mathematischen Optimierung. Springer Spektrum, Garching 2013
- Grunewald 2015 Grunewald, John et al.: Neue Anforderungen an Planungswerkzeuge für Energie(+)-Siedlungen und Quartiere, in: Fouad, Nabil A. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2015: Simulations- und Berechnungsverfahren. John Wiley & Sons, Berlin 2015
- Hedstück 2013 Hedstück, Ulrich: Simulation diskreter Prozesse, Methoden und Anwendung. Springer, Konstanz 2013
- Herzwurm 1997 Herzwurm, G.; Schockert, S.; Weinberger, C.: Kundenorientierte Evaluierung von Software-Tools zur Unterstützung von Quality Function Deployment. Band 12, Universität zu Köln, Köln 1997
- HOAI 2013 Verordnung über die Honorare für Architekten und Ingenieurleistungen in der Fassung vom 10. Juli 2013 (BGBL | S. 2276)
- Jadhav 2008 Jadhav, Anil S.; Sonar, Rajendra M.: Evaluating and selecting software packages: A review. Information and Software Technology 51, 30.10.2008, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950584908001262#>, zuletzt abgerufen 28.08.2015
- Jarre 2004 Jarre, Florian; Stoer, Josef: Optimierung. Springer, Düsseldorf und Würzburg 2004
- Köcher 2000 Ralf Köcher, Christoph Nytsch, Clemens Robbenhaar, Christian Waldhoff: Numerische Simulation von Wärmenetzen; Brennstoff-Wärme-Kraft. Springer-VDI-Verlag, September 2000; <http://www.dezentral.de/warp.html?http://www.dezentral.de/papers/bwk/>
- Kolonko 2008 Kolonko, Michael: Stochastische Simulation, Grundlagen, Algorithmen und Anwendung. Vieweg & Teubner, Wiesbaden 2008

- Litke 2002 Litke, Christian; Pelletier, Michael: Build it or Buy it? How to perform a cost-benefit analysis for IT projects. PDF, The Fabricator, 2002. Verfügbar unter <http://www.thefabricator.com/article/shopmanagement/build-it-or-buy-it/>, zuletzt abgerufen 30.07.2015
- Michalski 2014 Michalski, Daniela: Klimaschutz mit Konzept. Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH, 2014
- Nestmann, o. J. Nestmann, Franz: Allgemeine Informationen zur hydraulischen Modellierung. PDF, Karlsruher Institut für Technologie, Karlsruhe. Verfügbar unter https://iwk.iwg.kit.edu/download/Allgemeine_Informationen_zur_hydraulischen_Modellierung.pdf zuletzt abgerufen am 28.07.2015
- Oberkampff 2010 Oberkampff, William L.; Roy, Christopher J.: Verification and Validation in Scientific Computing. Virginia Polytechnic Institute and State University. Cambridge University Press, Cambridge 2010
- Peters 2007 Peters, Malte L.; Zelewski, Stephan: TOPSIS als Technik zur Effizienzanalyse. WiSt, Duisburg 2007
- pro:21 GmbH 2013 pro:21 GmbH, Projektträger Jülich (Hrsg.): Case Studies and Guidelines for Energy Efficient Communities: A Guidebook on Successful Urban Energy Planning. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2013
- Richter 2010 Richter, Stephan: Planung, Auslegung und Erneuerung von Wärmenetzen. GEF Ingenieur AG; Cluster-Forum, Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Ausbau von Wärmenetzen, 15. April 2010, Nürnberg
- Saadat 2003 Saadat, Ali: Methodische Ansätze zur Erstellung dezentraler multivalenter Energieversorgungskonzepte für Siedlungen im Iran. Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin, Berlin 2003
- Schröder 2012 Schröder, Sandra: Verifikation und Validierung im wissenschaftlichen Rechnen. Präsentation, 17.12.2012, Arbeitsbereich Wissenschaftliches Rechnen – Fachbereich Informatik – Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften – Universität Hamburg, Hamburg 2012. Verfügbar unter http://wr.informatik.uni-hamburg.de/media/teaching/wintersemester_2012_2013/ms-1213-schroeder-sandra-verifikationundvalidierungimwissenschaftlichenrechnen-praesentation.pdf, zuletzt abgerufen 28.08.2015
- SEL 2012 Solar Energy Lab (SEL); The University of Wisconsin Madison; Transys 17.1; <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/features/>
- Unger 2010 Unger, Thomas; Dempe, Stephan: Lineare Optimierung, Modell, Lösung, Anwendung. Zhaoqing City, China; Vieweg & Teubner, Freiburg 2010

- VDI 4655 2008 Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie VDI 4655, Referenzlastprofile von Ein- und Mehrfamilienhäusern für den Einsatz von KWK-Anlagen. Beuth, Berlin 2008
- VDI 6007 2015 Verein Deutscher Ingenieure: Richtlinie VDI 6007, Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden. Beuth, Berlin 2015

Anhang

Übersicht über die untersuchten Planungshilfsmittel

Nachfolgend ist eine Übersicht der in der Förderinitiative EnEff:Stadt verwendeten und in dieser Publikation untersuchten Planungshilfsmittel zu finden. Zu jedem Planungshilfsmittel werden darin die Anwendungen und Anwender in den EnEff:Stadt-Projekten beschrieben. Zudem sind in der Übersicht Rückmeldungen und Kommentare der Anwender zu finden.

Delphin 5

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none">Die instationären Simulationsrechnungen sind für das Gesamtgebäude, aber auch für die einzelnen Bauteile möglich, wobei auch anlagentechnische Komponenten in der Betrachtung berücksichtigt werden können → hoher Detaillierungsgrad möglich
Hersteller bzw. Entwickler	Institut für Bauklimatik der TU Dresden

DesignBuilder

Anwendung	Räumliche Analyse, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzerfreundliche Anwendungsumgebung • Nicht alle Features von EnergyPlus werden unterstützt • Export in das IDF-Format und Weiterbearbeitung mit IDF-Editor notwendig • Anlagenmodellierung eher rudimentär • Ab Version 3 deutlich erweitert, aber noch recht fehleranfällig • Probleme mit großen, komplexen Modellen • IDF-Dateien für E+ können exportiert, aber nicht wieder importiert werden
Hersteller bzw. Entwickler	DESIGNBUILDER SOFTWARE LIMITED

DHWcalc

Anwendung	Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenschaftlich gut dokumentiert • Statistiken beziehen sich nur auf Ein- und kleine Mehrfamilienhäuser
Hersteller bzw. Entwickler	Universität Kassel

EnerCalc Energiebilanzen in Anlehnung an DIN V 18599

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	-
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Übersichtlichkeit und damit kurze Einarbeitungszeit • Einfache Eingabe von Daten und damit verbundene Zeitersparnis • Komplexere Gebäudeformen sind in der Bilanzierung schwerer nachzuvollziehen • Verluste durch Verteilung, Übergabe und Anlage werden nur überschlagen • Es werden Korrekturfaktoren berücksichtigt, keine Berechnung im Detail • Nebenrechnungen müssen extra ausgeführt werden • Endenergiebedarf als Zwischenwert wird nicht dargestellt
Hersteller bzw. Entwickler	Bergische Universität Wuppertal

Energieberater 18599/3D/3D Plus

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Planer
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	Hottgenroth Software GmbH & Co. KG

Energy Plus

Anwendung	Gebäudesimulation, Simulation von Anlagenkombinationen
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Simulationsergebnisse wurden anhand gemessener Monatsverbräuche validiert, wobei eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt wurde • Findet häufig Anwendung in wissenschaftlichen Forschungsprojekten • Programmieroberfläche ohne User-Interface
Hersteller bzw. Entwickler	U.S. Department of Energy

EnEV-XL

Anwendung	Gebäudesimulation, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Universell einsetzbar • Berechnungen nachvollziehbar und nachprüfbar • Möglichkeit, individuelle Definition der Wärmeerzeuger zu erstellen • Hoher Einarbeitungsaufwand, um die berücksichtigten Prozessketten nachvollziehen zu können
Hersteller bzw. Entwickler	Institut Wohnen und Umwelt (IWU)

Ennovatis

Anwendung	Datenauswertung
Anwender	-
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Ermöglicht durch die Erfassung und Analyse sämtlicher Energieverbräuche (Strom, Wärme, Wasser) die Identifizierung von starken Verbrauchern • Erstellt eine umfangreiche Datenbasis, die für die Bewertung von Sanierungsmaßnahmen genutzt werden kann • Hohe Komplexität bedingt durch den Umfang der Netztopologie
Hersteller bzw. Entwickler	ennovatis GmbH

E-Pass Helena

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Planer, Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	ZUB Systems GmbH

FeFlow

Anwendung	Gebäudesimulation, Simulation von Anlagenkombinationen
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Auch ungewöhnliche Fälle können abgebildet werden • Teuer • Aufwendige Handhabung
Hersteller bzw. Entwickler	DHI-WASY GmbH

FreeOpt

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Auslegung von Wärmenetzen, Simulation von Anlagenkombinationen, Optimierungsrechnungen
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> Die Software ermöglicht eine komplexe Analyse der Kette „Wärmeerzeugung-Wärmeverteilung-Wärmeübergabe-Wärmenutzer“, in der die Gebäudehülle als flexible Bilanzgrenze eingeordnet ist
Hersteller bzw. Entwickler	TU Dresden

GNU R

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> Leichte Erweiterung um neue Funktionen Schnittstelle zu anderen Programmiersprachen wie GRASS, Perl, Python, C oder Java Flexible Schnittstellen der Datenein- und -ausgabe Kostenlos Skriptsprache, kann somit gut automatisiert werden Einarbeitung notwendig Bestimmte Grundverfahren (z. B. Häufigkeitsgewichte) sind zurzeit nur umständlich oder gar nicht implementiert
Hersteller bzw. Entwickler	R Development Core Team

GOMBIS 2.0

Anwendung	Gebäudesimulation, Simulation von Anlagenkombinationen
Anwender	Wohnungsbaugesellschaften
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	-

HDF5 Hierarchical Data Format

Anwendung	Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	The HDF Group

IBP:18599

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	Fraunhofer-Institut für Bauphysik

IDA-ICE Indoor Climate and Energy

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Anpassbarkeit und Flexibilität durch Komponentenstruktur • Lange Einarbeitungszeit, da Expertenwissen benötigt
Hersteller bzw. Entwickler	EQUA Solutions AG

INSEL

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Auslegung von Wärmenetzen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Planer
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	doppelintegral GmbH

Matlab – Matpower

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Optimierungsrechnungen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Löst numerische Aufgaben unter Verwendung von Matrizen • Bietet große Vielfalt an Darstellungsmöglichkeiten von Daten • Dynamische Simulationen für transiente Vorgänge nicht möglich
Hersteller bzw. Entwickler	The MathWorks

Modelica	
Anwendung	Gebäudesimulation, Simulation von Anlagenkombinationen, Auslegung von Wärmenetzen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Planer
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none">• Einfaches, effizientes Erstellen der Simulation• Modelica ist objektorientiert, akausal und gleichungsbasiert• Gute und übersichtliche Darstellung von komplexen Modellen, durch Aufbau in mehreren Ebenen• Schnittstellen zu Python und Matlab sind vorhanden• Dymola bietet mehr Möglichkeiten, was allerdings eine saubere Programmierung voraussetzt• Modelica erfordert Expertenwissen, was eine lange Einarbeitungszeit zur Folge hat• Vorhandene Bibliothekenbausteine sind zu detailliert und rechenintensiv und müssen daher auf den Fall des integralen Planungshilfsmittels angepasst werden• Teilweise ist eine Neuentwicklung von Modellen auf Basis geeigneter Theorien notwendig
Hersteller bzw. Entwickler	Modelica Association

Monisoft

Anwendung	Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Wohnungsbaugesellschaften
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgrund des Entwicklungsstadiums und der engen Zusammenarbeit mit den Entwicklern ist es möglich, erforderliche Anpassungen vorzunehmen • Das Programm bietet gute Möglichkeiten zum Identifizieren von Fehlern und Unstimmigkeiten • Freie Strukturierung der Messpunkte und deren logische Verknüpfung, Berechnung spezifischer Verbräuche über Flächenbezüge und die Bildung beliebiger virtueller Messpunkte über Formeln • Eignet sich für erfahrene und weniger erfahrene Benutzer • Plattformunabhängig • Zahlreiche mögliche Fehlerquellen durch die hohe Zahl an Messpunkten und die Komplexität der Zählerstruktur • Da die Software noch entwickelt wird, werden im laufenden Betrieb Features implementiert. Dies kann zu Programmfehlern, Inkonsistenzen in Programmstruktur und Datenbank sowie falscher Darstellung der Daten führen, was eine kontinuierliche und kritische Überprüfung der Ergebnisse notwendig macht.
Hersteller bzw. Entwickler	Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

PHPP Passivhaus-Haus-Projektierungs-Paket

Anwendung	Gebäudesimulation, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Planer, Wohnungsbau- gesellschaften
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Übersichtlich und einfach in der Handhabung • Gute Austauschbarkeit • Excel-Tool • Größtenteils Zellenverknüpfungen und wenig VBA, wodurch gute Rückverfolgung der Berechnungen gewährleistet ist • Statisch • Speziell zugeschnitten auf Passivhäuser • Werte für EnEV schwierig herauszubekommen
Hersteller bzw. Entwickler	Passivhaus Institut Darmstadt

PV Sol

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Simulation von Anlagenkombinationen
Anwender	Planer
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Dynamische Simulation • Besonders für Wohngebäude geeignet • Maximale Anlagengröße: 1.000 Module
Hersteller bzw. Entwickler	Dr. Valentin Energie Software GmbH

Python

Anwendung	Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Planer
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Programmlesbarkeit • Objektorientiert, aspektorientierte und funktionale Programmierung • Schnittstelle zu Modelica ist vorhanden • Dynamische Simulationen sind möglich
Hersteller bzw. Entwickler	Python Software Foundation

QGIS Quantum GIS

Anwendung	Räumliche Analyse, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung, Planer
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenlos • Gut dokumentiert • Fehlende Stabilität
Hersteller bzw. Entwickler	QGIS Development Team

Shape Up

Anwendung	Räumliche Analyse, Auslegung von Wärmenetzen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Kostenlose Plug-ins verfügbar • Unterstützt eine Vielzahl von Datenformaten
Hersteller bzw. Entwickler	Nilione.com

Solarcomputer

Anwendung	Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Datenauswertung
Anwender	Planer, Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	SOLAR-COMPUTER GmbH

STEFaN

Software zur Trassen-Erschließung Fernwärme für allgemeine freie Nutzung

Anwendung	Auslegung von Wärmenetzen, Optimierungsrechnungen
Anwender	Wissenschaft und Forschung, räumliche Analyse, Auslegung einzelner Versorgungsanlagen, Datenauswertung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none">• Verfügt über Schnittstellen zu Geografischen Informationssystemen (GIS)• Kostenlos• Gut dokumentiert• Programm wird nicht weiterentwickelt
Hersteller bzw. Entwickler	TU Dresden

TOPSIS Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution

Anwendung	Simulation von Anlagenkombinationen, Datenauswertung
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> • Gewichtungsverfahren wird genutzt • Ergebnisse reagieren besser auf Veränderungen der unterschiedlichen Gewichtungen als andere Techniken zur Lösung von Entscheidungsproblemen • Relativ großer Aufwand
Hersteller bzw. Entwickler	C.-L. Hwang und K. Yoon

Trisco

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	ISG-Gesellschaft für Ingenieurbau und Systementwicklung GmbH

TRNSYS TRaNsient SYstems Simulation

Anwendung	Gebäudesimulation, Auslegung einzelner Versorgungsanlagen
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	Thermal Energy System Specialists, LLC

V-Rom Volkswohnung-Retrofit-Optimization-Model

Anwendung	Gebäudesimulation, Optimierungsrechnungen
Anwender	Wohnungsbaugesellschaften
Rückmeldungen der Anwender	<ul style="list-style-type: none"> Ermöglicht neben einer energetische Betrachtung auch die Betrachtung wirtschaftlicher Aspekte
Hersteller bzw. Entwickler	VOLKSWOHNUNG

WUFI Plus Wärme und Feuchte Instationär

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

ZUB Helena Ultra

Anwendung	Gebäudesimulation
Anwender	Planer, Wissenschaft und Forschung
Rückmeldungen der Anwender	-
Hersteller bzw. Entwickler	ZUB Systems GmbH



Die Autoren

Patrick Wrobel

Dipl.-Ing. Patrick Wrobel studierte Umwelttechnik & Ressourcenmanagement mit dem Studienschwerpunkt Nachhaltige Prozess- und Umwelttechnik an der Ruhr-Universität Bochum. Seit 2011 arbeitet er am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in der Abteilung Energiesysteme. Seine Themenschwerpunkte sind die Energiesystemanalyse sowie die Modellierung von Energiesystemen. Zudem ist Herr Wrobel Mitglied der Begleitforschung EnEff:Stadt.

Matthias Schnier

Dipl.-Ing. Matthias Schnier studierte Umwelttechnik & Ressourcenmanagement mit dem Studienschwerpunkt Umwelttechnik und Umweltplanung an der Ruhr-Universität Bochum. Seit 2012 arbeitet er am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in der Abteilung Energiesysteme. Tätigkeitsbereiche sind unter anderem die Begleitforschung EnEff:Stadt und der Themenbereich Energieeffizienz im Krankenhäusern.

Cornelius Schill

Cornelius Schill, M.Sc., hat an der Hochschule Biberach Gebäudeklimatik und an der Hochschule Bingen Energie-, Gebäude- und Umweltmanagement studiert. Nach seiner Tätigkeit in einem Ingenieurbüro für Gebäudetechnik arbeitet er seit 2012 am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in der Abteilung Energiesysteme. Seine Schwerpunkte sind das Thema Energieversorgungssysteme und die Erstellung von Konzepten für den Energieausgleich.

Annedore Kanngießner

Dr.-Ing. Annedore Kanngießner studierte Umwelttechnik & Ressourcenmanagement an der Ruhr-Universität Bochum. Anschließend promovierte sie am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Kooperation mit der TU Dortmund zum Thema Modellentwicklung zur techno-ökonomischen Bewertung von Speicheranwendungen. Seit 2013 leitet sie am Fraunhofer UMSICHT die Arbeitsgruppe „Energiesystemoptimierung“.

Carsten Beier

Dipl.-Ing. Carsten Beier studierte an der RWTH Aachen Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Energietechnik. Er arbeitet seit 1999 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheit und Energietechnik UMSICHT und ist Leiter der Abteilung Energiesysteme. Zu seinen fachlichen Schwerpunkten gehören die Konzeption, Analyse und Optimierung von Energieversorgungssystemen, die Entwicklung von Energieausgleichskonzepten sowie die Durchführung von Machbarkeitsstudien. Im Rahmen der Förderinitiative EnEff:Stadt war Herr Beier bis 2015 Leiter der Begleitforschung und ist Mitglied des neuen Begleitforschungsteams im Forschungsbereich Energie in Gebäuden und Quartieren.

Dieser Band der Schriftenreihe EnEff:Stadt befasst sich mit Planungshilfsmitteln für die energetische Quartiersplanung. Im Fokus stehen dabei diejenigen Planungshilfsmittel, die im Rahmen der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Demonstrationsprojekte aus der Forschungsinitiative EnEff:Stadt eingesetzt und vergleichend untersucht wurden.

Es wird gezeigt, welche typischen Phasen ein Quartier bei der energetischen Planung durchläuft und welche Aufgaben sich in diesen Projektphasen stellen. Darüber hinaus wird dargestellt, welche Aufgaben Planungshilfsmittel übernehmen können und welche Vorteile diese bieten. Auch werden grundlegende Informationen und Hilfestellungen zu Auswahlverfahren von Planungshilfsmitteln sowie zur Validierung von Ergebnissen gegeben.

Alle wichtigen Informationen zu den eingesetzten Planungshilfsmitteln wurden auch in kompakten Steckbriefen zusammengefasst.

ISBN 978-3-8167-9544-5



9 783816 795445

Fraunhofer IRB  Verlag