

Energiemanagement

Seminararbeit von Dominik Schreiber

16. Mai 2015

1 Überblick und Einleitung

Die vorliegende Seminararbeit, eingereicht von Dominik Schreiber, soll im Rahmen eines Studienprojekts zur Entwicklung einer sensorgetriebenen, prognosebasierten Energiemanagementplattform Einblick in die relevanten Grundlagen rund um das Thema Energiemanagement geben. Es werden die wichtigsten Anlagen bei Infrastrukturbetreibern genannt und kurz erklärt, das Konzept der Gebäudeleittechnik beleuchtet, mögliche Ansätze für eine Modellierung von Energiemanagement-Systemen diskutiert und abschließend auf die Rolle der Informatik bzw. der Informationstechnik im Hinblick auf jene Systeme eingegangen.

Der Begriff **Energiemanagement** bedeutet im Kontext dieser Ausarbeitung die vorausschauende, organisierte und systematisierte Erzeugung, Verteilung und Verwendung von Energie unter ökologischer und ökonomischer Zielstellung (vgl. e3m.de, 2015). Diese Definition hängt eng mit der Motivation eines optimierten Energiemanagements zusammen – zum einen den Energieverbrauch und somit die damit verbundenen Kosten zu reduzieren und zum anderen einen verantwortungsvollen und nachhaltigen Umgang mit Energie zu pflegen. Zusätzlich werden im Zuge des Energiemanagements niedrige Prozesskosten angestrebt (vgl. e3m.de, 2015, Def. GEFMA 124-1).

Mit **Infrastrukturbetreibern** sind im Folgenden größere Standorte wie Flughäfen gemeint, die als ernstzunehmende Energieverbraucher und –erzeuger gleichermaßen auftreten.

2 Energetische Anlagen

Im Folgenden soll eine Bestandsaufnahme klären, welche Anlagen bei Infrastrukturbetreibern hauptsächlich anzutreffen sind.

2.1 Erzeuger

Ein Infrastrukturbetreiber verbraucht verschiedene Arten von Energie. Die wichtigsten Formen sind dabei die thermische Energie oder Wärme sowie die elektrische Energie oder Strom¹. Des Weiteren sind einige Betreiber auf Rohstoffe wie Heizöl oder Gas angewiesen.

Für den Bezug dieser Energie hat der Infrastrukturbetreiber grundsätzlich zwei Möglichkeiten: die Energie kann eingekauft werden, etwa aus dem Stromnetz, oder selbst erzeugt werden². Hauseigene Energie bietet hier gegenüber der eingekauften Energie Vorteile: die – immer mit Verlusten verbundenen – Transportwege sind wesentlich kürzer, wodurch Einsparungen vorgenommen werden können. (vgl. Heimann, 2015)

¹Die dazugehörigen relevantesten Energieverbraucher sind in Kapitel 2.3 aufgeführt.

²Strenggenommen kann man im Zusammenhang mit Energie nicht von deren Erzeugung oder Vernichtung sprechen, da dies nach dem Ersten Gesetz der Thermodynamik nicht möglich ist. De facto wird aber dennoch von Erzeugung und Verbrauch gesprochen, wenn tatsächlich die entsprechende Umwandlung von Energie gemeint ist.

2.1.1 Blockheizkraftwerk (BHKW)

Eine effiziente und vielseitige Anlage ist das Blockheizkraftwerk. Es beruht auf dem als *Kraft-Wärme-Kopplung* bekannten Konzept, dass die Abwärme, die bei einem Verbrennungsmotor (zur Stromerzeugung) unweigerlich entsteht, ebenso wie der erzeugte Strom verwendet wird (vgl. Heimann, 2015).

Das BHKW ist im Grunde genommen ein großer Motor, der selbst (Ab-)wärme erzeugt und einen Generator antreibt, welcher wiederum Strom erzeugt. Aus einem geeigneten Brennstoff kann somit Strom und Wärme gleichermaßen erzeugt werden. Somit weisen durchschnittliche Blockheizkraftwerke einen deutlich höheren Gesamt-Wirkungsgrad auf (etwa 80 - 90% (vgl. heizungsfinder.de, 2015)) als herkömmliche Wärmekraftwerke (etwa 30 - 50% (vgl. Roth, 2004)). Ein zusätzlicher positiver Effekt besteht darin, dass kaum Energieverluste durch Transportwege in Kauf genommen werden müssen, sondern die benötigte Wärme und elektrische Energie vor Ort erzeugt und verwendet wird. Zudem sind BHKW sehr gut skalierbar und so gibt es Nano- und Mini-Varianten für Endverbraucher und Haushalte ebenso wie größere Vertreter für Infrastrukturbetreiber (vgl. Heimann, 2015).

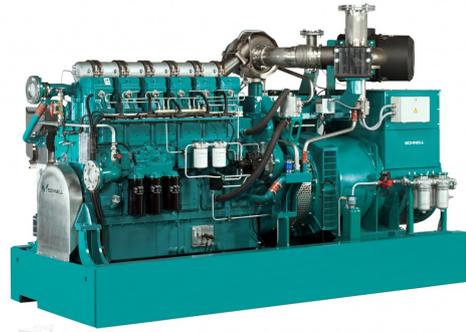


Abbildung 1: Ein Blockheizkraftwerk³

2.1.2 Solaranlagen

Wohlbekannte Energielieferanten sind die Solaranlagen, welche Lichtenergie entweder in elektrische Energie oder in Wärme umwandeln können. Bei ersteren spricht man von Photovoltaik-Anlagen, bei letzteren von Sonnenkollektoren, oder genauer Thermischen Sonnenkollektoren. Bei Solaranlagen handelt es sich, abgesehen von der Herstellung der Zellen, um eine erneuerbare, aber stark wetterabhängige Energiequelle. (vgl. Khammas, 2007, Teil C, Sonnenenergie)

2.1.3 Geothermie

Geothermie umfasst die Nutzung der großen Wärme im Erdinneren beziehungsweise bereits in den Schichten der Erdkruste. Durch Bohrungen und das Durchleiten eines erhitzbaren Mediums kann ein Teil dieser Wärme extrahiert und genutzt werden. Es handelt sich um eine erneuerbare Energie, die wetter- und jahreszeitenunabhängig ist. Jedoch muss auf die Bodenbeschaffenheit und weitere geologische Faktoren geachtet werden, um Geothermie nutzen zu können. (vgl. Milles, 2008)

2.1.4 Windkraftanlagen

Auch von der Lage und dem Standort des Betreibers abhängig sind Windkraftanlagen. Sie nutzen die Bewegungsenergie, die in Wind enthalten ist, und setzen sie in Strom um. Abhängig von der Wetterlage können diese Anlagen sehr hohe Leistungen erbringen. (vgl. Khammas, 2007, Teil C, Windenergie)

2.1.5 Weitere Erzeuger

Die bereits genannten Erzeuger sind nur einige der relevanteren Vertreter. Natürlich existieren viele weitere Energieerzeuger, zum Beispiel Biogasanlagen, Wasser- oder Kernkraftwerke.

³http://www.whg-anlagenbau.de/files/whg-anlagenbau/fotos/SCHNELL-BHKW_6R41.1B_300-dpi.jpg

2.1.6 Auswahl und Abgrenzung der Verbraucher

Um sich für eine bestimmte Energieversorgung zu entscheiden, muss ein Infrastrukturbetreiber viele Faktoren berücksichtigen, die gewisse Erzeuger bevor- und andere benachteiligen. Standortfaktoren wie die Wetterbedingungen, die vorhandene Infrastruktur oder auch die Akzeptanz bei der Bevölkerung fallen ebenso ins Gewicht wie die aktuellen und prognostizierten Preise von Strom, Gas, Heizöl etc. Zudem müssen gesetzliche Umlagen und Subventionen wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz EEG berücksichtigt werden (siehe BMWi, 2014).

Ein (besonders im Zusammenhang mit dem hier betrachteten Energiemanagement) erheblicher Faktor ist auch, wie kurzfristig einstellbar die verschiedenen Erzeuger sind. Ein Kernkraftwerk zum Beispiel hat nicht die Möglichkeit, bei Energieüberschuss oder -mangel spontan hoch- oder heruntergefahren zu werden. Ein Blockheizkraftwerk oder eine Windkraftanlage kann je nach Bedarf verwendet werden. Erst durch diese Möglichkeiten kann ein Energiemanagementsystem dynamisch auf sein Umfeld reagieren und spontane Schwankungen effektiv berücksichtigen.

2.2 Speicher

Die mühsam erzeugte Energie kann häufig nicht unmittelbar verwendet werden, sondern wird erst zu einem späteren Zeitpunkt benötigt. Hier ist eine möglichst effiziente Speicherung notwendig, die bei der Hin- und Rückumwandlung jeweils möglichst geringe Verluste und zudem eine geringe Selbstentladung aufweist (vgl. Khammas, 2007, Teil C, Energiespeichern). Zentral ist auch die maximale Kapazität des Speichers; so sind Kondensatoren etwa im Grunde ein ausgezeichneter Energiespeicher, können in großen Betrieben aber nicht effektiv zur Energiespeicherung verwendet werden, da die gespeicherten Energiemengen um Größenordnungen zu klein sind. Im folgenden sind einige wichtige Energiespeicher aufgeführt und kurz erklärt.

Unter dem Schlagwort *Power To Heat* werden Wärmespeicher zusammengefasst, welche Strom auf günstige Weise in Wärme umsetzen, welche in einem möglichst optimal isolierten Behälter bewahrt wird und später – entweder direkt oder über eine Rückumwandlung in Strom – verwendet werden kann (vgl. Paschotta, 2010, Eintrag *Power To Heat*).

Die Strategie *Power To Gas* erlaubt es, mithilfe von Strom Gase wie Wasserstoff oder synthetisches Erdgas zu erzeugen und diese Gase dann als Speicherung der Energie zu verwenden. Ein Verbrennungsmotor kann diese später wieder in Strom umsetzen (vgl. Paschotta, 2010, Eintrag *Power To Gas*).

Pumpspeicherkraftwerke wandeln die überschüssige Energie in Lageenergie um. Wasser wird bergaufwärts (normalerweise in einen Stausee) befördert und kann später wieder bergabfließen und dort eine Turbine antreiben.

Neben diesen Speichern existieren viele weitere Formen, zum Beispiel die bekannten Akkumulatoren, etwa Lithium-Ionen-Akkus.

2.3 Verbraucher

Anhand eines Flughafens als beispielhaftem Infrastrukturbetreiber lassen sich die verschiedenen Instanzen ableiten, welche Energie benötigen und verbrauchen.



Abbildung 2: Pumpspeicherkraftwerk in Geesthacht⁵

⁵http://www.tage-der-industriekultur.de/images/files/53/original/MRHVattenfallEnergiepark_Geesthacht_02.jpg

Zu den Verbrauchern von elektrischer Energie zählen die betriebenen Maschinen und Rechner, die Elektronische Datenverarbeitung, allerlei Büro-Peripherie und Licht, um nur einige zu nennen.

Verbraucher von Wärme und analog von Kälte sind die Bürogebäude durch Heizungen und Klimaanlage sowie die verschiedenen Kraftwerke und Maschinen, etwa durch Maschinenkühlung und Herstellung von nötigen Betriebstemperaturen. Auch gastronomische Verbraucher – interne Restaurants und Großküchen – zählen hierzu.

Nicht zu vergessen ist, dass im weiteren Sinne auch Erzeuger und Speicher als Verbraucher angesehen werden können. Ein BHKW zum Beispiel benötigt Heizöl und andere Brennstoffe, um betrieben werden zu können.

3 Gebäudeleittechnik

Auf dem Weg zu einer Modellierung von Energiemanagement-Systemen stellt die Gebäudeleittechnik einen wichtigen Zwischenschritt dar. Unter ihr versteht man die Zusammenführung verschiedener Funktionsnetze innerhalb eines Gebäudes, die zur Gebäudeautomatisierung beitragen (vgl. baunetzwissen.de, 2008).

Zu Funktionsnetzen zählen dabei prinzipiell sämtliche automatisierbaren oder steuerbaren Aktivitäten, die in einem Gebäude vorhanden sind. Wichtig sind die Steuerung und Regelung von Heizungsanlagen, Lüftungen und Klimaanlage, die Regulierung von Beleuchtung und Sonnenschutz, Präsenzerkennung und Gefahrmeldeanlagen (vgl. baunetzwissen.de, 2008).

Werden diese Funktionsnetze an einer zentralen Stelle im Gebäude gebündelt und mit einer allgemeinen Nutzerschnittstelle versehen, spricht man von der Gebäudeleittechnik. Sie gibt dem Betreiber hervorragende Möglichkeiten, das Gebäude zu steuern und zu kontrollieren. Indem ein Softwaresystem beinhaltet wird, können bestimmte Aktionen auch nach Belieben automatisiert werden, wodurch eine Art *Intelligentes Gebäude* entsteht.



Abbildung 3: Nutzerschnittstelle einer Gebäudeleittechnik⁷

4 Ansätze zur Modellierung

Da nun die wichtigsten Teile eines Infrastrukturbetreibers beleuchtet wurden, kann nach Ansätzen gesucht werden, wie ein solches System angemessen modelliert werden kann. Der Anspruch an die Modellierung ist dabei, dass sie potenziell als Grundlage für die Implementierung einer Software dienen könnte, die zur Analyse, Steuerung und Prognose des Systems dienen kann.

Die Herausforderung an eine effektive Modellierung besteht darin, dass das System eine hohe Komplexität aufweist. Nicht nur beinhaltet es viele verschiedene Grundbausteine (*Akteure*) und Elemente, sondern es existieren intensive Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Bestandteilen. Um das System vollständig zu erfassen, werden sehr viele Parameter benötigt, darunter nicht nur alle relevanten Eigenschaften sämtlicher Akteure, sondern auch Umweltbedingungen wie Strompreise, Wetterdaten und vieles weitere. Aus diesen Umständen bildet sich eine Grundvoraussetzung der Modellierung, die man auch als Einschränkung bezeichnen kann: das System kann nur annähernd erfasst werden, denn letztlich wird nach einem Modell gesucht, das nicht nur akkurat, sondern auch konzeptionell einfach ist. Es ist somit ein Mittelweg zwischen Genauigkeit und Einfachheit gesucht. (vgl. Fuchs et al., 2012, Abschnitte *Einleitung* und *Modellansatz*)

⁷<http://www.ais-online.de/media/64459/images/12131454px600x338.jpg>

4.1 Abstraktionen

4.1.1 Gliederung der Bestandteile

Zuerst können die vorhandenen Elemente eines Systems gegliedert und gruppiert werden, um eine abstrakte Sicht darauf zu erhalten.

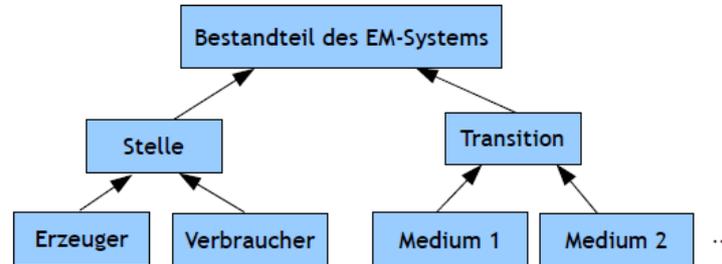


Abbildung 4: Mögliche Klassifizierung der Bestandteile eines Energiemanagement-Systems

In folgender Grafik entsprechen die Pfeile semantisch den Vererbungsfeilen aus der Objektorientierung. Stellen und Transitionen⁸ sind also eine Spezialisierung eines Bestandteils des EM-Systems.

Mit Stellen sind die energetischen Anlagen gemeint, die bei einem Betreiber auftreten, namentlich Erzeuger und Verbraucher. Auch Speicher können hier hinzugenommen werden – was allerdings zu einer gewissen Redundanz innerhalb des Modells führen würde, denn Speicher können ebenso als Erzeuger und Verbraucher gleichermaßen modelliert werden. Ein Pumpspeicher *verbraucht* elektrische Energie, wenn er Wasser hinaufbefördert. Er *erzeugt* Strom, wenn das Wasser wieder herabfließt.

Transitionen sind die Abstraktion der verschiedenen Leitungen und Netze, die in einem Energiemanagement-System vorhanden sind. Für diese wiederum existieren Spezialisierungen für jedes zu transportierende Medium (Strom, Wärme, Öl, ...).

Zusätzlich zur hier vorgenommenen Klassifizierung der Bestandteile können diese auch anhand ihrer natürlichen lokalen Position eingeteilt werden. Die einzelnen Verbraucher und Erzeuger können in Gebäude oder Gebäudekomplexe, oder allgemeiner in *Untersysteme* gruppiert werden. Der Vorteil liegt hier nicht nur in der Nähe des Modells zur Realität, sondern auch darin, dass eine Modularisierung des Systems zu einer geringeren Komplexität⁹ und zu einer höheren Übersicht führen kann. Die Gruppierungen können je nach Bedarf auch rekursiv vorgenommen werden. (vgl. Fuchs et al., 2012, Abschnitt *Modellansatz*)

4.1.2 Spezifizierung der Schnittstellen

Da nun die Grundbausteine des Modells – Stellen und Transitionen – vorhanden sind, kann nach einer Möglichkeit gesucht werden, diese gemäß einer formalen Methode miteinander zu verbinden. Es werden nun die *Schnittstellen* spezifiziert.

Stellen benötigen prinzipiell einen oder mehrere Eingänge sowie einen oder mehrere Ausgänge. Das folgende Schema zeigt dies am Beispiel eines Blockheizkraftwerks. Auf sehr abstrakter Ebene gesprochen erhält das BHKW Heizöl als *Input* und liefert als *Output* Strom und Wärme.

⁸Die Nomenklatur ist hier angelehnt an Petrinetze, da diese ausgehend von der Grundidee, nämlich der Simulation von Flüssen, semantisch gut zu den Energieanlagen passen. Die Namensgebung soll aber nicht das Modell dahingehend einschränken, dass es im späteren Verlauf durch ein Petrinetz realisiert werden müsse.

⁹Gemeint ist hier nicht die tatsächliche, mathematische Komplexität, sondern die gefühlte Komplexität im Sinne der Schwierigkeit, das System im Geiste zu begreifen.

Transitionen benötigen analog hierzu eine Quelle oder Herkunft des Mediums, das sie transportieren, und eine Senke oder Ziel des Mediums. Für eine vollständige Modellierung müssen hier einige Sonderfälle betrachtet werden:

Zunächst ist es möglich, dass Leitungen mehrere Ein- und/oder Ausgänge besitzen, falls Leitungen aufgetrennt oder zusammengeführt werden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Medien stets eine Herkunft benötigen – im Falle von aus dem Netz bezogenen Strom muss also entweder eine Transition *aus dem Nichts*, das heißt von außerhalb des modellierten Systems in das System hinein führen, oder es muss eine spezielle Stelle geben (etwa *Stromnetz*), welche keinen Input, jedoch den Strom als Output besitzt.



Abbildung 5: Schema eines Blockheizkraftwerks als Teil der Modellierung

4.1.3 Quantifizierung

Um dem Modell zusätzliche Aussagekraft zu verleihen, müssen die Stellen und Transitionen mit vielerlei Parametern und Größenangaben versehen werden. Wichtige Angaben für Stellen wären hierbei der Verbrauch (pro Zeiteinheit) unter verschiedenen Betriebslasten, die Zeitdauer zur Inbetriebnahme und Abschaltung, der Wirkungsgrad, oder die Kosten für Anschaffung, Betrieb und Wartung. Transitionen sollten etwa durch den prozentualen Transportverlust (pro Entfernungseinheit), die Temperatur sowie die Temperaturzu- und -abnahme des Mediums, den Isolationsgrad und auch die Kosten ergänzt werden.

4.2 Betrachtung eines realen Modells

Die gefundenen Ansätze für eine Modellierung eines Energiemanagement-Systems können nun in einem tatsächlichen Modell aus der realen Welt in ihrer Anwendung betrachtet werden. Das untenstehende Modell ist Teil der Modellierung des Energiekonzepts des Stuttgarter Flughafens.

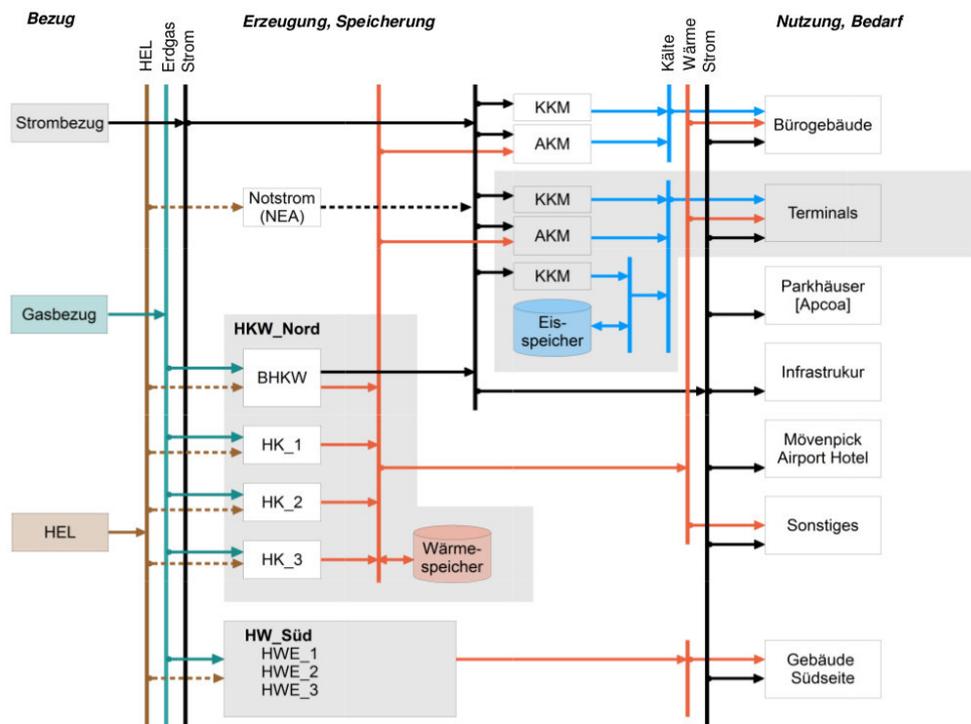


Abbildung 6: Auszug aus der Modellierung des Energiesystems Stuttgarter Flughafen

Das visuelle Modell ist hier gegliedert in den Bezug der Energieformen, die Erzeugung und Speicherung, und zuletzt die Nutzung der Energie. Die zuvor definierten Stellen sind hier als beschriftete Rechtecke, die verschiedenen Transitionen als verschiedenartig eingefärbte Pfeile dargestellt. Speicher erhalten eine eigene, zylinderförmige Visualisierung.

Wie in den Abstraktionen genannt werden auch hier die lokal verwandten Anlagen in größere Untersysteme zusammengefasst; so bilden die Stellen *BHKW*, *HK_1* bis *HK_3* und *Wärmespeicher* den Komplex *HKW_Nord*.

Das vorliegende reale Modell zeigt, dass eine Modellierung eines Energiemanagement-Systems auf die vorgestellte Weise bei angemessener Umsetzung eine übersichtliche und einfache Darstellung des (vereinfachten) Systems ermöglicht.

4.3 Realisierungen und Anwendungen

Um den betrachteten Modellierungsansatz in einem konkreten Modell anzuwenden, gibt es verschiedene Möglichkeiten, welche hier beleuchtet werden.

4.3.1 Graphen

Wie aus dem visuellen Modell des Stuttgarter Flughafens schnell ersichtlich wird, sind Graphen eine gute Methode, ein Energiemanagementsystem zu modellieren. Knoten nehmen die Rolle von Stellen und Kanten die Rolle von Transitionen ein. Durch eine Richtung und Gewichtung der Kanten und zusätzliche Verknüpfung von Daten mit den Knoten kann das komplette Modell umgesetzt werden. Auf visueller Ebene können, wie bereits gesehen, Beschriftungen, Farben oder Umrandungen verwendet werden, um eine gute Übersicht eines Systems zu schaffen.

Auch wenn Graphen zunächst als grafische Realisierung eingestuft werden, so ist es durch die Technologie der Graphen-Datenbanken mittlerweile auch möglich, eine tatsächliche Datenhaltung auf Grundlage von Graphen effizient aufzubauen und zu nutzen.¹⁰

Auch mithilfe von Petrinetzen könnte das Modell umgesetzt werden. Die herumgereichten Marken (verschiedener Arten) könnten hier gewissen *Portionen* von Strom, Energie o.Ä. entsprechen, welche durch die Erzeuger, Speicher und Verbraucher laufen. Für etwas größere Systeme wird dies vermutlich schnell sehr unübersichtlich, für kleine Teilsysteme könnten Petrinetze aber durchaus von Nutzen sein.

4.3.2 Sprachen und Metamodelle

Neben Graphen können auch andere Formalismen und Sprachen das dargestellte Modell (oder auch andere Ansätze mit abweichender Fokussierung) gut umsetzen.

Soll das Modell direkt als Teil einer Software umgesetzt werden, so eignen sich Objektorientierte Programmiersprachen grundsätzlich gut als Realisierung. Das Prinzip der Modularisierung entspricht recht genau der Intention, das System in Untersysteme aufzuteilen und somit einen besseren Überblick zu erhalten.

In konkreten Fällen wird etwa die Sprache Modelica verwendet (vgl. Fuchs et al., 2012, Abschnitt *Modellansatz*). Dabei handelt es sich um eine objektorientierte, plattformunabhängige sowie gleichungsbasierte Sprache, speziell um physikalische Systeme darzustellen und zu simulieren. Da Modelica für diese speziellen Zwecke entwickelt wurde und zudem eine große Menge vorimplementierter Modelle vorhanden ist, eignet es sich dabei um eine gute Wahl, um Energiemanagement-Systeme zu simulieren. Die Modelica Association ist eine gemeinnützige Organisation, deren Mitglieder seit 1996 an der Sprache arbeiten. (vgl. Modelica.org, 2015)

¹⁰An dieser Stelle sei auf den Seminarvortrag von Benjamin Schirle verwiesen, welcher im Rahmen derselben Lehrveranstaltung das Thema Graphendatenbanken beleuchtet hat.

Auch häufigere und allgemeinere objektorientierte Sprachen wie Java oder C++ dürften sich einigermaßen gut für die Simulation eignen, wenngleich diese weniger spezialisiert sind und die Implementierung daher eher etwas aufwendiger wäre.

Als weitere (Meta-)Modelle speziell für optimierende Energiesystemmodelle (siehe Kapitel 4.3.3) kommen etwa spezialisierte Energiebeschreibungsmodelle wie Balmorel oder IKARUS infrage. (vgl. Schönfelder et al., 2011, S.31)

4.3.3 Allgemeine Vorgehensweisen und Strategien

Das betrachtete Modell kann, mithilfe der genannten Umsetzungen, ein Energiemanagementsystem bis zu einem gewissen Grad effektiv modellieren. Jedoch muss für jedes individuelle Szenario, für jede Herausforderung eine eigene Modellierung gewählt werden, da auch die Anforderungen sehr unterschiedlich sind, vergleichbar mit einem zu entwickelnden Softwaresystem.

Bei der Wahl eines individuellen Modelles gibt es sehr viele verschiedene Herangehensweisen. Die folgenden, jeweils voneinander abzugrenzenden Paare sind Schönfelder et al. (2011) entnommen und spiegeln nur einen Teil der möglichen Strategien wider.

- **Kurzfrist– vs. Langfrist-Modelle:** Kurzfrist-Modelle geben eher Auskunft über ein bestehendes System und versuchen, dieses zu simulieren, um bestimmte Kenntnisse zu erhalten und in gewissem Rahmen Optimierungen vornehmen zu können. Langfrist-Modelle werden im Gegensatz dazu verwendet, um, ebenfalls ausgehend von Simulationen ähnlich jenen eines Langfrist-Modells, Prognosen zu treffen und damit ein vorausschauendes Energieszenario über lange Zeit zu erzeugen.
- **Präskriptive vs. deskriptive Modelle:** Wie bei allen Modellen existieren auch hier solche Modelle, welche ein entstehendes System beschreiben, und solche, die ein *entstehendes* Modell beschreiben.
- **Top-Down– vs. Bottom-Up-Modelle:** Top-Down-Modelle besitzen eine *makroökonomische* Sichtweise; sie beziehen vor allem marktwirtschaftliche Faktoren mit ein und versuchen damit, eine wirtschaftliche Optimierung des Systems zu erreichen. Bottom-Up-Modelle gehen die Problematik hingegen von einer *technoökonomischen* Seite an: die einzelnen Komponenten des Systems werden allesamt möglichst präzise abgebildet, woraus dann die “gesamte energetische Wertschöpfungskette” (Schönfelder et al., 2011, S.28ff.) zusammengesetzt werden kann.
- **Simulationsmodell vs. Optimierendes Modell:** Simulationsmodelle legen den Fokus auf die Simulation des Marktes und eine Prognose des weiteren Marktgeschehens, Optimierende Modelle dagegen auf eine Optimierung und Anpassung des Systems selbst *von innen heraus*.

Aus den genannten Beispielen, welche nur einen Teil der Klassifizierung von Energiesystemmodellen darstellen, wird ersichtlich, dass kein “Allheilmittel” existiert, sondern jedes Szenario an sich mit einer begründeten und umsichtigen Wahl einer Modellierung beantwortet werden muss.

5 Die Rolle der IT

Wie bei den Herangehensweisen für die Modellierung gezeigt, handelt es sich bei Infrastrukturbetreiber um äußerst komplexe Systeme. Zum einen ist eine große Zahl beteiligter Elemente, zum anderen aber auch viele verschiedene Parameter vorhanden, die alle berücksichtigt werden müssen. Zudem herrschen starke Wechselwirkungen zwischen den Systemen, was eine *analoge* Übersicht über das System zusätzlich erschwert.

5.1 Überblick, Analyse und Steuerung

Zum anderen aber besteht bei den Systemen ein großes Automatisierungspotenzial. Ansätze dafür kann die Gebäudeleittechnik bieten, welche durch ihren Zusammenschluss vieler Funktionsnetze eines Gebäudes oder – im weiteren Sinne – eines ganzen Komplexes bereits eine zentrale Nutzerschnittstelle bietet. Diese zentrale Schnittstelle kann genutzt werden, indem ein Softwaresystem angekoppelt wird, das die Mächtigkeit besitzt, die gesamte Anlage anzeigen und steuern zu lassen. Prinzipiell kann damit eine einzelne Person den kompletten Energiehaushalt überwachen und dank den Informationen, die sie von den Sensoren erhält, fundierte Entscheidungen bezüglich des An- un/oder Abschaltens bestimmter Netze oder Maschinen treffen.

Um noch weiter zu gehen: ein Softwaresystem, das die Komplexität eines Energiemanagement-Systems beherrscht, kann mithilfe der korrekten Algorithmen und Heuristiken auch selbst Entscheidungen treffen, wann es beispielsweise an der Zeit ist, ein bestimmtes Kraftwerk auszuschalten oder Windkraftanlagen hochzufahren.

5.2 Simulationen und Perspektiven

Ein Softwaresystem ist jedoch nicht darauf begrenzt, einen Ist-Zustand abzubilden und gegebenenfalls auszuwerten; dank heutiger Rechenleistung können auch Simulationen berechnet werden, die über Jahrzehnte hinweg Energieszenarien simulieren und damit wertvolle Einblicke in möglicherweise sinnvolle Investitionen geben können (Schönfelder et al., 2011, S.29f.).

5.3 Ergebnis

Ein IT-System kann Menschen in der Tat viel Arbeit abnehmen, wenn es darum geht, ein Energiemanagement-System zu beherrschen; zu simulieren, zu kontrollieren und zu analysieren. Dem Betreiber des Systems können viele automatisierbare Arbeiten abgenommen und dafür mächtige Steuerungsmöglichkeiten gegeben werden. Durch das Einbeziehen weiterer Daten wie etwa Wetterdaten oder aktuelle Strompreise kann ein solches Softwaresystem beliebig erweitert werden und damit zusätzliche Funktionalität erreichen.

Selbstverständlich ist das Entwickeln und Einbeziehen eines solchen Systems eine erhebliche Investition. Ob sie sich auf lange Frist lohnt, hängt größtenteils davon ab, welche konkreten Einsparungen welcher Art vorgenommen werden können, beispielsweise einen geringeren Energieverbrauch durch günstigen Stromein- und verkauf oder geringere Mitarbeiterkosten durch hohe Automatisierung.

6 Fazit

Aus den genannten Aspekten wird ersichtlich, welche zahlreiche Faktoren Einfluss auf das energetische System eines Infrastrukturbetreibers und dessen Kontrolle nehmen können. Die physischen Bestandteile des Systems, die vernetzende Gebäudeleittechnik, das Begreifen des Systems auf abstrakter Modellebene und schließlich die Realisierung eines softwaregestützten Energiemanagement-Systems können dabei (vereinfachend) als Ebenen auf steigendem Abstraktionsniveau angesehen werden, die aufeinander aufbauen und ausnahmslos äußerst relevant sind, wenn es um die Entwicklung eines solchen Systems geht.

Literatur

- baunetzwissen.de: Gebäudeleittechnik – Glossar – Sicherheitstechnik – baunetzwissen.de. 2008, [online] www.baunetzwissen.de/glossarbegriffe/Sicherheitstechnik_Gebaeudeleittechnik_50527.html [11.05.2015]
- Bundesamt für Wirtschaft und Energie: Das Erneuerbare-Energien-Gesetz, [online] www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Gesetze/Das_EEG/das.eeg.html [11.05.2015]
- e3m Aktives Energiemanagement: e3m > Aktives Energiemanagement > Übersicht > Definitionen, [online] www.e3m.de/de/aktives_energiemanagement/uebersicht/definitionen [11.05.2015].
- Fuchs, Marcus; Lauster; Teichmann, Jens; Müller, Dirk: Modularer Modellansatz zur Simulation von Energiesystemen auf Quartiersebene. Fourth German-Austrian IBPSA Conference Berlin University of the Arts BauSIM 2012, [online] www.ibpsa.org/proceedings/bausimPapers/2012/BauSIM2012_162.pdf [11.05.2015]
- Heimann, Stefan: BHKW & KWK: Einführung & Übersicht, [online] www.co2online.de/modernisieren-und-bauen/blockheizkraftwerk-kraft-waerme-kopplung/bhkw-kwk-einfuehrung-uebersicht/ [11.05.2015]
- heizungsfinder.de: Wirkungsgrad BHKW & Stromkennzahl BHKW, [online] www.heizungsfinder.de/bhkw/ratgeber/stromkennzahl-wirkungsgrad [11.05.2015]
- Khammas, Achmed A.W.: Buch der Synergie. März 2007, [online] www.buch-der-synergie.de/index.html [11.05.2015]
- Milles, Uwe: Geothermie. BINE Informationsdienst Dez. 2008, [online] www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/geothermie-1/ [11.05.2015]
- Modelica.org: Startseite. 2000-2015, [online] www.modelica.org/ [11.05.2015]
- Paschotta, Dr. Rüdiger: RP-Energie-Lexikon. 2010, [online] www.energie-lexikon.info [11.05.2015]
- Roth, Eike: Warum haben Wärmekraftwerke einen relativ niedrigen Wirkungsgrad?. 12.09.2004, [online] www.energie-fakten.de/pdf/kraftwerke-wirkungsgrad.pdf [11.05.2015]
- Schönfelder, Martin; Jochem, Patrick; Fichtner, Wolf: Energiesystemmodelle zur Szenarienbildung – Potenziale und Grenzen. Aus: Energieszenarien. Konstruktion, Bewertung und Wirkung – „Anbieter“ und „Nachfrager“ im Dialog, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe 2011 (Weblink: <http://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=RO51I5tPHHcC&oi=fnd&pg=PA25&dq=modellierung+von+energiesystemen&ots=PQqyp1Agfz&sig=w4Stl5CWNxQ3QqpPANBViX-PvFQ#v=onepage&q&f=false>) [15.04.2015])