

# Bessere regenerative Versorgung für Quartiere und Gemeinden durch systemübergreifende Simulation

Dipl.-Ing. René Unger, Dr.-Ing. Beate Mikoleit  
EA EnergieArchitektur GmbH, Dresden, Germany

Dipl.-Ing. Torsten Schwan, Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker  
Technische Universität Dresden,  
Institut für Automobiltechnik Dresden - IAD, Dresden, Germany

## Abstract

Die sinnvolle Integration regenerativer Energieträger gewinnt in der Planung von Gebäuden immer mehr an Bedeutung. Zur Erreichung eines hohen Deckungsgrades ist es häufig sinnvoll dezentrale Versorgungssysteme auf Gebäudeebene mit zentralen Systemen auf Quartierebene zu koppeln. Planung und Betrieb eines solchen verteilten Energiesystems sind komplexe Themen, die mit empirischen Methoden nur noch unzureichend abgebildet werden können.

Simulationsverfahren bieten die Möglichkeit das Verhalten solcher Systeme bereits früh im Planungsprozess zu analysieren. Im Paper werden grundlegende Begriffe und verschiedene Simulationsverfahren vorgestellt. Am Beispiel der auf Regelungskonzepte und regenerative Energiesysteme spezialisierten Green Building Bibliothek wird die Vorgehensweise bei der Energiekonzeption eines kleinen Quartiers beschrieben.

## 1 Einleitung

Vor dem Hintergrund des steigenden individuellen Energiebedarfs auf der einen und schrumpfenden Ressourcen fossiler Energieträger auf der anderen Seite, werden neue optimierte Konzepte zur Energieversorgung und Nutzung benötigt. Für diese mittelfristigen Herausforderungen gewinnen erneuerbare Energien und dezentrale Speicherung immer mehr an Bedeutung. Überlagert wird dies ebenso mit der aktuellen Zukunftsdiskussion zur Elektromobilität, um auch die Bedürfnisse einer zukünftigen Individualmobilität für Städte und ländlichere Regionen bzgl. aller Gesellschaftsschichten und Bewohnern darzustellen. Konzepte zu Elektromobilität und elektrischen Fahrzeugen adressieren zwar diese Herausforderungen, stellen aber auch weitere Anforderungen an Energie- und Leistungsbereitstellung.

Zukunftsfähige Energiekonzepte müssen viele Rahmenbedingungen miteinander in Einklang bringen, darunter: Anwohner- und Nutzerwünsche, dezentrale regenerative Energiesysteme und Speicher, mögliche Nahwärmenetze sowie Ladeinfrastruktur und Elektromobilität. Diese Systeme und deren Zusammenspiel optimal auszulegen und zu regeln ist eine komplexe fachübergreifende Aufgabe. Klassisch Planungsverfahren stoßen wegen der vielschichtigen technischen Abhängigkeiten an Grenzen.

Es ist notwendig, über einen integrativen Ansatz sowohl die aktuelle und zukünftige Energieversorgungsstruktur als auch peripher angelagerte Themenbereiche wie Wohnstruktur, Wohnverhalten, Altersstruktur und Mobilitätsbedarfe zusammen mit neuen technischen, energetischen Lösungen zu integrieren. Schlüssel ist hierbei eine detaillierte Gebäude- und Systemmodellierung für eine sehr detaillierte elektrische und thermodynamische Simulation in Verbindung mit einem multilateralen, nach Möglichkeit prädiktiven Energiemanagement, um neben einer energieeffizienten Energieerzeugung und -verwendung auch Anteile für eine intermittierende Energiespeicherung vorzusehen.

Systemübergreifende Simulationen zur Variantenuntersuchung und Was-wäre-Wenn-Analyse helfen diese Herausforderung zu meistern. Viele Fragen zum Layout eines solchen Energieversorgungssystems können im Vorfeld der Planung geprüft werden. Auf diese Weise können Probleme und langwierige Testphasen vermieden werden.

## **2 Simulationssysteme im Bereich Gebäude und regenerativer Energien.**

Ein reales System zu simulieren heißt, die darunter liegenden physikalischen, technischen und funktionalen Abhängigkeiten mathematisch vereinfacht abzubilden (Modellierung), die Gleichungssysteme in Abhängigkeit festgelegter Rahmenbedingungen zu lösen (Simulation) und anhand der Rechenergebnisse auf das Verhalten des Systems zu schließen (Interpretation).

Zur Veranschaulichung dient ein Apfel. Dieser hat eine Masse, ein Volumen und wird von der Festigkeit des Stiels am Baum gehalten. Auf den Apfel wirkt die Gravitation, bewegt sich der Apfel hat er einen Luftwiderstand.

Wird nun die Gewichtskraft des Apfels größer als die Haltekraft am Baum beginnt er zu fallen. Das heißt die Gewichtskraft beschleunigt den Apfel, dessen Massenträgheit wirkt dem Vorgang entgegen. Mit zunehmender Geschwindigkeit hat auch der Luftwiderstand bremsenden Einfluss. Durch iteratives Lösen dieser Gleichungen erhalten wir die Trajektorie des Apfels und können seine Bewegung vorhersagen (Simulieren). Das Ergebnis kann interpretiert werden. So könnte der Betrachter zur Seite treten um nicht vom Apfel getroffen zu werden. Er kann den Apfel auch fangen oder auf den Boden fallen lassen. Die Auswirkungen wären unterschiedlich. Eine solche Vorhersage wäre innerhalb des einfachen Modells allerdings reine Spekulation, weil diese weiterführenden Zusammenhänge in den Gleichungen nicht abgebildet sind.

Es wird deutlich wie wichtig die Definition der Zielstellung bzw. Fragestellung an die Simulation für die Auswahl der geeigneten Herangehensweise ist. Daher wird im Folgenden versucht, verschiedene, im Gebäude und regenerativen Energiebereich relevante Verfahren kurz vorzustellen.

Die erste Gruppe besteht aus Komponentensimulatoren, zum Beispiel für Photovoltaik. Hier wird auf Basis von Wetterdaten, Modulanzordnung, Verschattung und elektrischer Konfiguration eine exakte Prognose des Energieertrags erstellt. Zur möglichst genauen Abbildung sind umfangreiche Datenbanken mit Modultypen und Wechselrichtern beigelegt. Die Programme sind übersichtlich und ohne spezielle Simulationskenntnisse zu bedienen. Ähnliche Systeme gibt es für BHKW, Wärmepumpen, Wanddämmung, etc.

Eine weitere Gruppe nutzt komplexe numerische Verfahren wie FEM oder CFD um Luftströmungen, Temperaturverläufe oder Druckgefälle in Räumen exakt zu berechnen. Damit sind Aussagen von Komfort für Bewohner bis hin zu Taupunkten und Schimmelbildung in Bauteilen möglich. Andere Simulationen dieser Art dienen der exakten Auslegung von Heizkörperprofilen oder Wärmeübertragern in Speichern. Diese Art der Simulation erfordert umfangreiche Kenntnisse der zugrunde liegenden Physik wie aus der Mathematik numerischer Simulation. Beispiele für solche Systeme sind Ansoft ANSYS, DOE EnergyPlus oder Autodesk Ecotect.

Eine dritte Gruppe dient der Systemsimulation. Hier liegt das Hauptaugenmerk auf dem Zusammenspiel von Komponenten wie Klimatisierung, regenerativer Energie, Speichern, dem Nutzungsverhalten und der Regelung. Die zugrunde liegende Physik wird zugunsten der Rechenzeit oft stark vereinfacht. Für die Regelung werden meist signalflussorientierte Ansätze verwendet. Typische Vertreter wie TRNSYS oder Matlab Simulink sind in Kombination extrem mächtig und flexibel. Jedoch wird auch hier umfangreiches Fachwissen zum Erzielen sinnvoller Ergebnisse benötigt. Auch ist es schwierig, nichtdeterministisches Verhalten von Menschen, Kosten oder Managementsystemen darin abzubilden.

In diesen Bereichen der Multi-Domänen Simulation und der Kopplung mit zu testenden Realsystemen (z.B. GLT) brilliert die objektorientierte Sprache Modelica, welche sich bereits in vielen industriellen Entwicklungsabteilungen zum Standard entwickelt hat. Die Anwendung im Gebäudebereich wird durch neue Bibliotheken wie z.B. die Green Building Library möglich.

### 3 Aufgabe – Quartiersversorgung

Der erste Schritt ist die Definition der Simulationsaufgabe. In einem Anschauungsbeispiel werden die Strom- und Wärmeversorgung eines kleinen Quartiers bestehend aus fünf gleichartigen Mehrfamilienhäusern und einer kleinen Sporthalle untersucht. Die Gebäude wurden bisher autark über Gasthermen geheizt, der Strom wurde vollständig aus dem öffentlichen Netz bereitgestellt.

Im Rahmen einer Modernisierung sollen verschiedene Varianten bezüglich Laufzeitkosten und Energiebilanz geprüft werden, darunter:

- dezentrale Versorgung über Gasthermen ergänzt über Solarthermie,

kombiniertes System mit lokalem Wärmenetz, BHKW, Wärmepumpen und Photovoltaikanlage und Ladestation für Elektrofahrzeuge.

An die Simulation werden daher folgende Fragen gestellt:

- Strom und Wärmebedarf der Gebäude,
- Energie und Brennstoffbedarf der Versorgungssysteme sowie deren Dimensionierung und
- Prüfung von Regelungskonzepten.

Zur Beantwortung dieser Frage sind Systemsimulationen notwendig. Diese konzentrieren sich auf das Zusammenspiel der Komponenten. So werden Fragen nach geeigneten Vorlauftemperaturen des Nahwärmenetzes in Abhängigkeit der Jahreszeit beantwortet. Ebenso soll aus den Ergebnissen ersichtlich werden, ob die PV-Anlagen auf maximalen Gesamtertrag oder auf höhere Leistung im Winter ausgelegt werden. Viele weitere Fragen ans Modell sind vorstellbar.

Zugunsten von Rechenzeit und Übersichtlichkeit wird dabei die Komplexität der Modelle reduziert. Entsprechende Details können und müssen nach Festlegung der geeignetsten Variante in den späteren Planungsphasen berücksichtigt werden.

### 4 Datengewinnung und Monitoring

Die Genauigkeit einer Simulation ist abhängig von der Genauigkeit der Eingabewerte und Annahmen. Die wichtigsten Eingabewerte für das betrachtete Quartier sind:

- Standort und geographische / klimatische Lage,
- Art der Gebäude, Bauweise und Dämmung,
- Größe und Ausrichtung der Dachflächen,
- Geplante Nutzung sowie Alternativnutzung der Gebäude (Bewohnerstruktur, etc.).

Schwer vorhersagbare Größen sind dabei Wetter und Bewohnerverhalten. Hier ist es wichtig verschiedene Varianten zur Beurteilung des Einflusses diese Größen zu rechnen.

Die Daten zum Gebäude können je nach Projekt und Planungsstand aus verschiedenen Quellen gewonnen werden. Dies ist wichtig, da ein näherungsweise genaues Rechenmodell über 200 Parameter zur Charakterisierung eines Gebäudes benötigt deren Gewinnung oft zeitaufwändig ist. Bei Bestandsgebäuden sind heute oft bereits Bedarfsberechnungen nach DIN 18599-10 bzw. Energieausweise verfügbar. Daraus können Flächen und Wandkonfigurationen mit geringem Aufwand abgeleitet werden. Eventuelle Modernisierungen sind dabei zu ergänzen.

Bei Neubauten oder Sanierung von sehr alten Gebäuden sind zur Planungsphase oft noch keine weiteren Unterlagen vorhanden. Hier sind die entsprechenden Parameter zur Gebäudehülle aus den ers-



Beim kombinierten System mit Nahwärmenetz und regenerativ gewonnenem Strom sind die Gebäude sowohl thermisch untereinander als auch elektrisch mit den Ladestationen verbunden. Damit Rückwirkungen im System betrachtet werden können ist eine gemeinsame Simulation unumgänglich. Ziel ist daher ein Modell mit den Bereichen: fünf ähnliche Wohnhäuser, Sporthalle mit Photovoltaikdach und Stromspeicher, Ladestationen und Fahrzeuge, dezentrale Wärmespeicher in den Wohnhäusern, dezentrale Wärmepumpen und eine zentraler Blockheizstation zu erstellen. Die folgende Abbildung zeigt das vereinfachte Modell im Simulationssystem.

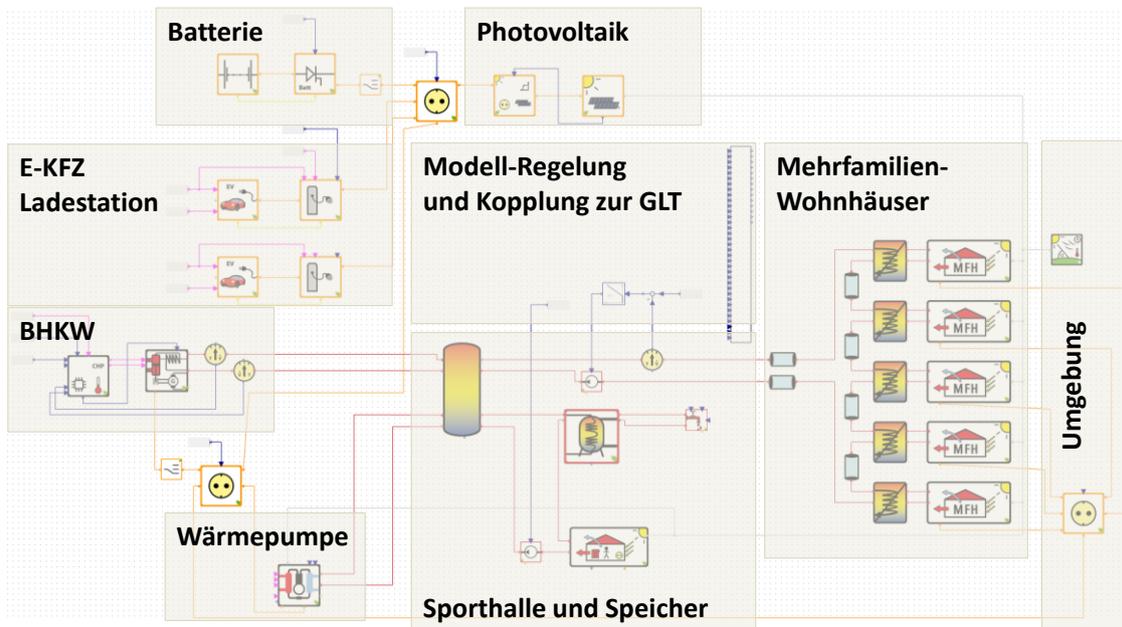


Abbildung 2 - Systemmodell des Quartiers mit den einzelnen Funktionsblöcken

## 6 Simulation

Zur Durchführung der Simulation werden die Gleichungssysteme der fertigen Modelle über die Verläufe der Rahmenbedingungen (Nutzung, Wetter) ausgerechnet. Standardfälle zur Beurteilung des Systems sind die Typtage nach DIN. So werden durchschnittliche sonnige und bedeckte Winter-, Sommer- oder Übergangszeittage unterschieden. Im Bereich regenerativer Energien kommt noch die Unterteilung in Tage mit hoher / niedriger Sonneneinstrahlung sowie windig und windstill hinzu. Dadurch lassen sich bereits gute Aussagen über eine grundlegende Dimensionierung der Anlagen für den Normalbetrieb treffen.

Jahresbilanzen können mit den gleichen Modellen ebenfalls gerechnet werden, die notwendige Rechenzeit steigt dabei jedoch analog. Eine Möglichkeit dem zu begegnen ist es, die Ergebnisse der Typtagesimulation mit den der statistischen Verteilung dieser Typtage im Jahr zu überlagern (Post-Processing). An Grenzen stößt die Typtage Simulation wenn die Trägheit des Systems groß ist. Bei schweren Gebäuden, großen Speichern, etc. sind entsprechend längere Zeiträume zu verwenden.

Zur Beurteilung auslegungsrelevanter Komponentengrößen ist es wichtig, Stresssituationen an das Energieversorgungssystem zu stellen. Eine solche Stresssituation ist die kälteste Woche der letzten zehn Jahre. Hier zeigt sich ob das System in der Lage ist, das Gebiet thermisch zu versorgen bzw. mit welchen Einbußen zu rechnen ist. Planer und Auftraggeber können auf Basis dieser Ergebnisse zusammen die Entscheidung treffen, entweder in größere Speicher oder eine Spitzenlasttherme zu investieren oder alternativ z.B. die Schließung der Sporthalle bei Extremwetter in Kauf zu nehmen. An dieser Stelle sei auf die immer noch gängige Praxis hingewiesen, energetisch ungünstige Überdimensionierung in Kauf zu nehmen, um keine Haftungsrisiken für Versorgungsengpässe einzugehen.

Die Systemsimulation lebt von der Anzahl der gerechneten und beurteilten Varianten und dementsprechend der Rechengeschwindigkeit. Die Rechengeschwindigkeit wird von der Anzahl der notwendigen Zeitschritte direkt beeinflusst. Im Modell treffen dabei langsame thermische Prozesse, hier wären Stunden-Zeitschritte ausreichend, auf schnelle Prozesse wie Fahrzeugladung und Regelung. Dafür sind Zeitschritte von einer Minute und weniger wünschenswert, entsprechend dem 60-fachen an Rechenzeit. State of the Art sind daher Simulatoren mit einer variablen Schrittweite, wenn sich Modellgrößen stark ändern, wird genauer gerechnet. Auslegungsziel für die Modelica basierte Green-Building Bibliothek ist eine 1000-fache Realgeschwindigkeit für das o.g. Gebietsmodell.

Je nach Schrittweite und Modellinhalt ist eine wesentlich höhere oder niedrigere Geschwindigkeit möglich, wichtig ist immer eine genaue Definition der Frage an die Simulation, bevor das Simulationssystem (vgl. Kap. 3) ausgewählt und das Modell erstellt wird.

## 7 Zusammenfassung

Simulationssysteme sind für einen modernen effizienten Planungsprozess essentiell. Energiesimulationen helfen, Versorgungsvarianten lange vor der Detailplanung auf Sinnhaftigkeit und grundlegende Wirtschaftlichkeit zu prüfen. Am Markt gibt es verschiedene Gruppen von Simulationssystemen mit unterschiedlichsten Stärken und Zielgruppen. Die wichtigste Aufgabe des Planers ist es, die Fragen an die Simulation exakt zu definieren und so ein geeignetes Verfahren, bürointern oder bei einem Dienstleister auszuwählen.

Mit ‚Green Building‘ wurde ein solches Verfahren vorgestellt. Dabei wurden wichtige Begriffe wie Modellierung, Simulation und Interpretation erklärt. Am Beispiel der Versorgung eines kleinen Quartiers wurde der typische Ablauf einer solchen Simulationsaufgabe vorgestellt.

Für die Zukunft ist es wichtig die Simulationsverfahren besser in bestehende Planungsprozesse einzubinden. Dazu gehört es bessere Schnittstellen zu schaffen als auch Simulation als solche im Bauprozess wie auch der Honorarstruktur abzubilden.