

Modellierung von Energiesystemen mit Polis

## Strukturoptimierung leitungsgebundener Energieträger

Im Rahmen des Hauptprojektes Dezentralisierung, gefördert durch das BMWi, hat die GEF Ingenieur AG das Programm Polis weiterentwickelt. Dieses Programm ermöglicht es Energieversorgungsunternehmen und Versorgungsnetzbetreibern unter sich schnell ändernden Randbedingungen eine Gesamtstrategie für eine Energieinfrastruktur auf regionaler Ebene zu entwickeln. Die Autoren beschreiben das Forschungsprojekt und das methodische Vorgehen.

**E**nergieeffizienz, Klimawandel, Gas-Lieferunterbrechungen und Ölpreis-Anstieg, Atomkonsens oder Marktliberalisierung sind nur einige Schlagworte, welche die aktuellen Diskussionen im Energiemarkt widerspiegeln. Die politische Diskussion dieser und anderer Themen auf globaler und nationaler Ebene beeinflusst über die Gesetz- und Normgebung die Randbedingungen des Energiemarktes. Diese Randbedingungen ändern sich in der jüngsten Vergangenheit scheinbar immer schneller und stellen Entscheidungsträger in Energieversorgungsunternehmen

(EVU) immer stärker unter Handlungs- und – wie beim Thema Liberalisierung – auch unter Rechtfertigungsdruck. Während die Änderungen der Energiemärkte kurz- und mittelfristig erfolgen, haben die Entscheidungsprozesse in den EVU eher langfristigen und unternehmensstrategischen Charakter: Die Randbedingungen im Energiemarkt ändern sich in den letzten Jahren kurzfristig und gerade Investitionen in die Energieinfrastruktur, wie Erzeugungsanlagen oder Netzbaumaßnahmen erfordern langfristige Entscheidungen. EVU müssen bei anstehenden Entscheidungen die aktuellen Randbedingungen immer vor dem Hintergrund der langfristigen Unternehmensentwicklung berücksichtigen. Mithin sind Entscheidungen im Spannungsfeld zwischen Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit zu treffen.

Vor dem Hintergrund sich ändernder Randbedingungen am Energiemarkt wurde seit 2003 das Verbundforschungsprojekt »Strukturoptimierung leitungsgebundener Energieträger« im Auftrag des BMWi (Förderkennziffer: 0327344 A bis J) durchgeführt. Das Verbundprojekt besteht aus den drei Hauptprojekten Dezentralisierung, Wohnplattenrückbau und Mehrleiternetze. In den vergangenen Jahren wurden bereits Ergebnisse aus dem Hauptprojekt Wohnplattenrückbau veröffentlicht. Nachdem nun das Hauptprojekt Dezentralisierung abgeschlossen wurde, wer-

den in dieser und den beiden folgenden Ausgaben der Zeitschrift *EuroHeat&Power* die erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt.

Das Hauptprojekt Dezentralisierung besteht aus zwei Teilprojekten, einem in München (Strukturoptimierung in Ballungsgebieten) und einem im Versorgungsgebiet Fernwärmeschiene Niederrhein (Strukturoptimierung in Flächegebieten). Gemeinsames Ziel beider Teilprojekte war die Untersuchung sich ändernder Randbedingungen auf die Versorgungsnetzbetreiber in Ballungsgebieten (München) und Flächegebieten (Niederrhein). Es wurden Gesamtstrategien für die lokalen beziehungsweise regionalen Energieversorgungssysteme entwickelt und es wurde die Frage beantwortet, welche Rolle insbesondere die in beiden Beispielgebieten wichtige Fernwärmeversorgung spielen kann. Der Kurztitel Dezentralisierung entstammt der Fragestellung, ob die heute existierenden leitungsgebundenen Versorgungssysteme überkommen sind und eine fortschreitende Dezentralisierung angeraten ist, wie sie seit vielen Jahren im Zentrum zahlreicher zum Teil auch politischer Diskussionen steht.

Während die AGFW-Hauptstudie Pluralistische Wärmeversorgung [1] die nationale Ebene im Blick hatte, fokussiert das Forschungsvorhaben Strukturoptimierung die lokale beziehungsweise regionale Ebene. In dieser kleinräumigeren und höher aufgelösten Betrachtungsweise sind weitgehend die gleichen energiewirtschaftlichen Randbedingungen wie auf nationaler Ebene wirksam (z.B. Energiepreisentwicklungen), jedoch können gerade unternehmensstrategische Fragestellungen einzelner EVU auf lokaler Ebene deutlich genauer analysiert und inhaltlich untersetzt werden. Eine technisch detailliertere Betrachtung einzelner Erzeugeranlagen und historisch gewachsener Infrastrukturen ist Grundlage für Entscheidungen und Strategien auf lokaler Ebene. Nicht zuletzt die lokale Ausprägung der leitungsgebundenen Energieversorgung beispielsweise mit Wärme macht eine räumliche Auflösung unterhalb der nationalen Betrachtung erforderlich.

Dieser Anforderung wurde im Verbundprojekt Strukturoptimierung Rechnung getragen. Exemplarisch für die Heterogenität der Siedlungs-



Dr. **Stephan Richter** (o.),  
Prokurist, GEF Ingenieur  
AG, Leimen; Dipl.-Ing.  
**Robert Graf** (l.u.), Pro-  
jektmanager, Stadtwerke  
München GmbH;  
Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing.  
**Markus Manderfeld**,  
Geschäftsführer, Fernwär-  
meverbund Niederrhein  
Verwaltungs GmbH

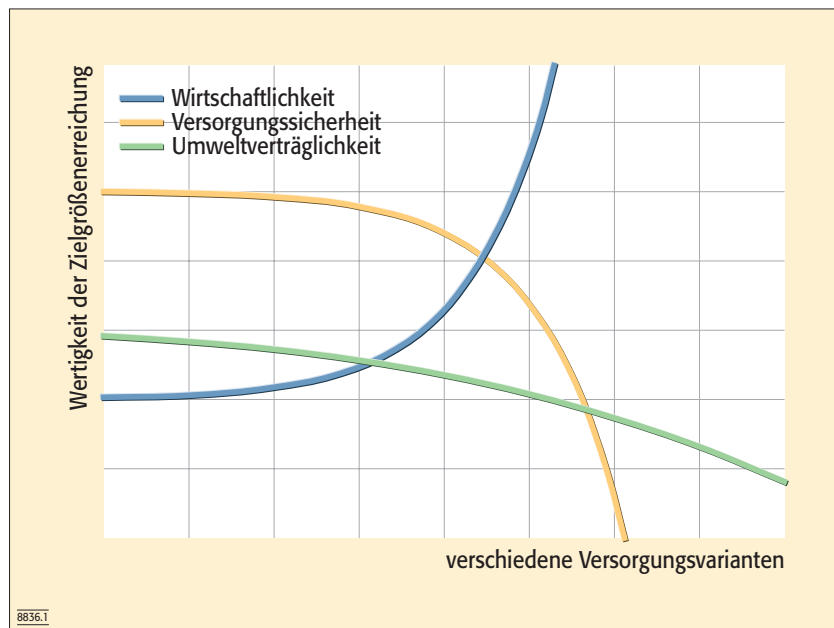


strukturen in Deutschland wurde München als Beispiel eines hoch verdichteten Ballungsraums mit einer Einwohnerdichte von über 4 250 Einwohnern pro km<sup>2</sup> ausgewählt. Dem steht das Flächenversorgungsgebiet an der Fernwärmeschiene Niederrhein gegenüber. Im IHK-Bezirk Niederrhein, der die Kreise Duisburg, Wesel und Kleve umfasst, leben rd. 520 Einwohner pro km<sup>2</sup>.

Nicht nur die ausgewählten Beispielgebiete sollten repräsentativ für verschiedenartige Energieversorgungsgebiete sein. Weitergehend war es eine Zielsetzung des Forschungsprojektes, ein exemplarisches methodisches Vorgehen zu entwickeln, mit dem die Zielsetzung erreicht werden kann. Insbesondere soll diese Methodik auch auf andere EVU, speziell Fernwärmeversorgungsunternehmen (FVU) übertragen werden können. Mithin stellt die Methodik ein wesentliches Ergebnis der Forschungsaktivitäten dar, das für die Fernwärmebranche von allgemeinem Interesse ist; zumal die EVU – auch ohne in der Fernwärme direkte Wettbewerber zu sein – in einem nationalen und zunehmend internationalen Energiemarkt aktiv sind.

### EVU im Spannungsfeld aus Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit

Für den einzelnen Entscheidungsträger mag es schwierig sein, gerade eine Investitionsentscheidung oder eine Strategiefestlegung im vermeintlichen Interessenskonflikt zwischen Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit und Versorgungssicherheit treffen zu müssen. Aus wissenschaftlicher Sicht handelt es sich um ein klassisches Optimierungsproblem. Die Aufgabenstellung für den Entscheidungsträger lautet mit anderen Worten: Treffen sie eine Investitionsentscheidung, sodass durch die Investition bei maximaler Versorgungssicherheit maximale Erträge erzielt werden und die Umwelteinflüsse minimal sind. Es gilt also, zwei Größen zu maximieren und eine Größe zu minimieren. In *Bild 1* wird exemplarisch in drei qualitative Kurven dargestellt, wie sich die Zielsetzungen bei verschiedenen Entscheidungen (Abszisse) verändern könnten. Die jeweilige Wertigkeit der einzelnen Zielsetzungen ist auf der Ordinate



**Bild 1.** Veränderung der Zielgrößen bei verschiedenen Entscheidungen, sortiert nach dem wirtschaftlichen Erfolg – auf der Abszisse

abgetragen, je höher die Wertigkeit, desto besser ist diese Zielsetzung erfüllt. Ordnet man die Entscheidungsvarianten auf der Abszisse nach steigender Wirtschaftlichkeit, verschlechtern sich Versorgungssicherheit und Umweltverträglichkeit mit zunehmenden Abszissenwerten.

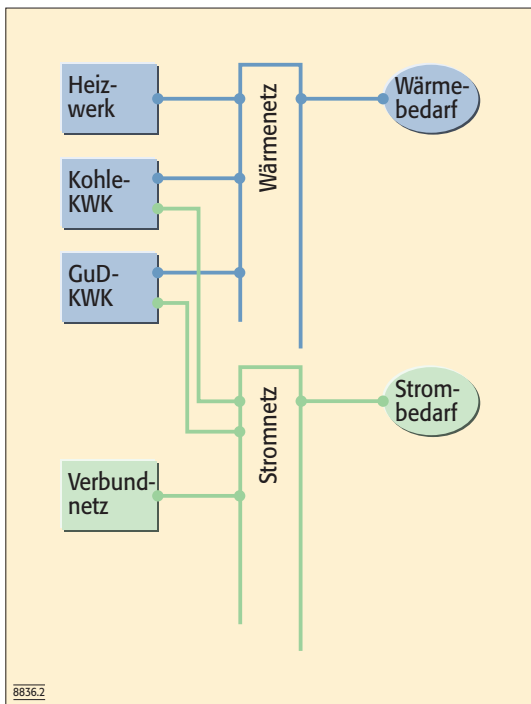
In *Bild 1* sind außerdem die Einflüsse der verschiedenen Zielsetzungen aufeinander nachvollziehbar: Hat eine Investition zum Beispiel maximalen wirtschaftlichen Erfolg, so reduziert sich zwangsläufig die Versorgungssicherheit und die Umweltverträglichkeit nimmt ab. In der Realität lassen sich alle Zielsetzungen kaum gleichzeitig erreichen, sodass die Entscheidung für eine Versorgungsvariante zwischen den Zielsetzungen vermitteln muss. Hierzu kann ein Optimierungsansatz verwendet werden, mit dem eine Größe optimiert werden kann, während die jeweils übrigen Größen als Restriktionen einfließen. Die Entscheidungsaufgabe lautet dann beispielsweise: Maximiere die Wirtschaftlichkeit so, dass ein bestimmtes Maß an Umwelteinflussung nicht überschritten und ein bestimmter Grad an Versorgungssicherheit nicht unterschritten wird.

Entscheidungen für einzelne Investitionen sowie langfristige strategische Konzepte für einzelne EVU lassen sich auf ähnliche Aufgaben-

stellungen zurückführen. Dazu sind Zielsetzungen zu formulieren, die Randbedingungen zu identifizieren und das reale System, in dem Entscheidungen oder Strategieentwicklung erfolgen, in einem Modell abzubilden.

### Modellierung von Energiesystemen mit Polis

Die Nutzung von Optimierungsmodellen ist in der Energiewirtschaft in verschiedenen Bereichen bereits seit vielen Jahren etabliert. Netzberechnungen sind aus der Planung von Strom-, Gas- und Fernwärmenetzen nicht mehr wegzudenken. Auf internationaler und nationaler Ebene werden Energiesystem- oder Energiewirtschaftsmodelle seit Jahren bei Politik- und zum Teil auch Strategieberatungen mit Erfolg eingesetzt. Auch im Fernwärmebereich hat diese Art von Werkzeugen Eingang gefunden, zunächst erneut auf nationaler Ebene im Rahmen der AGFW-Studie Pluralistische Wärmeversorgung durch den Einsatz des Werkzeuges Times [2;3]. Seit dem Start des Forschungsprojektes Strukturoptimierung wird das Werkzeug Polis (Programmpaket zur Optimierung Lokaler InfrastrukturSysteme) auf Ebene einzelner EVU zur Strategieentwicklung und bei Investitionsentscheidungen eingesetzt (siehe hierzu auch [4] und [5]).



**Bild 2.** Darstellung eines Energiesystems in Polis, mit Strom- und Wärmenetz

Polis basiert auf der linearen Optimierung und bietet die Möglichkeit, Energiesysteme bestehend aus Erzeugung, Netz und Nachfrage/Bedarf in technischer und zeitlicher Auflösung abzubilden. Gerade bei der Betrachtung lokaler Energiesys-

teme wie in den beiden Untersuchungsgebieten München und der Fernwärmeschiene Niederrhein ist eine hinreichende Abbildung einzelner Erzeugeranlagen mit technischen Restriktionen von großer Bedeutung. Eine hohe zeitliche Auflösung von 8 760 h/a ist besonders bei der Betrachtung von gekoppelten Systemen, in denen beispielsweise KWK-Anlagen unterschiedliche Lastverläufe von Strom und Wärme zu decken haben, notwendig (siehe hierzu [5]).

Bild 2 stellt ein einfaches Beispiel dar, wie ein Energiesystem in Polis abgebildet werden kann.

Das Energiesystem in Bild 2 besteht aus einem Strom- und einem Wärmenetz, dem jeweils ein stundenscharfer Lastgang für beide Energieformen hinterlegt ist. Im Wärmenetz kann der Bedarf durch den Einsatz eines Heizwerkes oder durch eine der beiden KWK-Anlagen (Kohle-KWK-Anlage oder GuD-Block) gedeckt werden. Die KWK-Blöcke erzeugen zugleich auch Strom, der in das Stromnetz eingespeist wird. Eine weitere Option zur Deckung des Strombedarfs ist der Zukauf von Strom aus dem Verbundnetz. Alle Anlagen und Netze können durch Angabe einer Reihe technischer und wirtschaftlicher Parameter modelliert werden. Alle Parameter sind entweder auf die Arbeit oder auf die Leistung bezogene

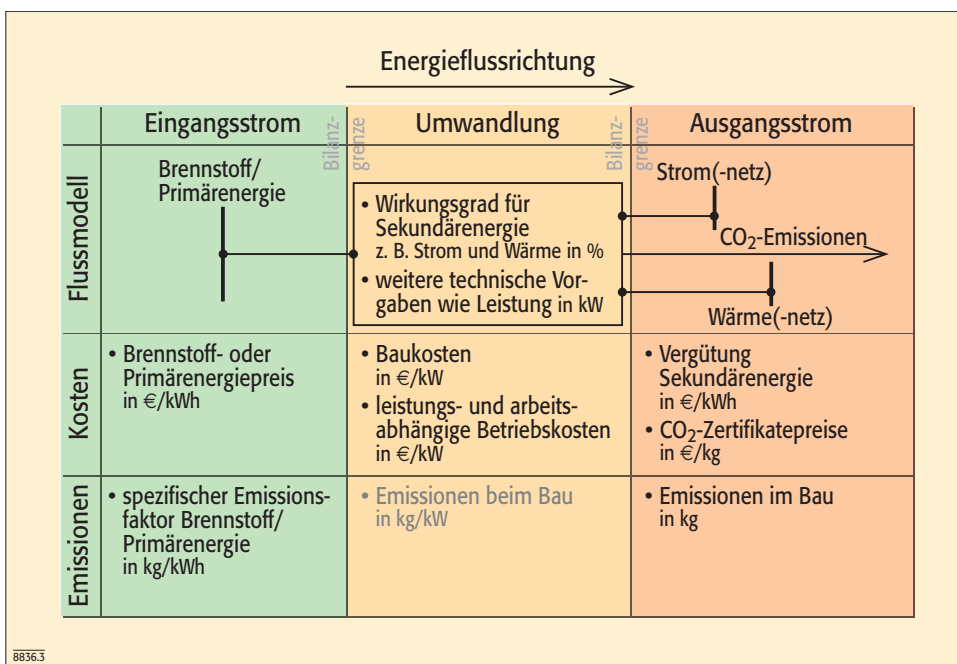
Größen. Die Erzeugeranlagen haben beispielsweise spezifische Investitions-, Betriebs- und Brennstoffkosten, Wirkungsgrade für die Strom- beziehungsweise Wärmeerzeugung, CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren oder auch maximale Leistungen. Eben diese Modellierung ist auch für die Netze möglich. Alle Parameter können für den gesamten Zeitraum (z.B. ein Jahr) konstant gehalten oder aber zeitabhängig beziehungsweise in Abhängigkeit der Last vorgegeben werden. Bild 3 verdeutlicht, wie zum Beispiel eine Erzeugeranlage (hier: KWK-Anlage) abgebildet werden kann.

Die Hauptbedingung von Polis ist es, den Energiebedarf aller Netze zu jedem Zeitpunkt mindestens zu decken (Versorgungssicherheit). Treiber sind die erforderlichen Kosten oder CO<sub>2</sub>-Emissionen, die wahlweise zu minimieren sind (Wirtschaftlichkeit bzw. Umwelteinflüsse).<sup>1</sup> Polis ermittelt somit aus den verfügbaren Optionen diejenige Kombination, die zu jeder Zeit den Bedarf deckt, die Restriktionen der Anlagen und Netze berücksichtigt und minimale Gesamtkosten verursacht oder minimale Gesamtemissionen freisetzt. Wahlweise können die Gesamtkosten minimiert werden, wobei eine vorgegebene maximale CO<sub>2</sub>-Menge nicht überschritten werden darf oder umgekehrt.

Bild 4 stellt ein Polis-Ergebnis des Beispiels aus Bild 2 über 24 Stunden dar. Die Kohle-KWK-Anlage fährt im Grundlastbetrieb, die GuD-Anlage gleicht die Lastschwankungen im mittleren Bereich aus und nur in Spitzenlastzeiten wird das Heizwerk (HW) eingesetzt und Strom aus dem Verbundnetz bezogen.

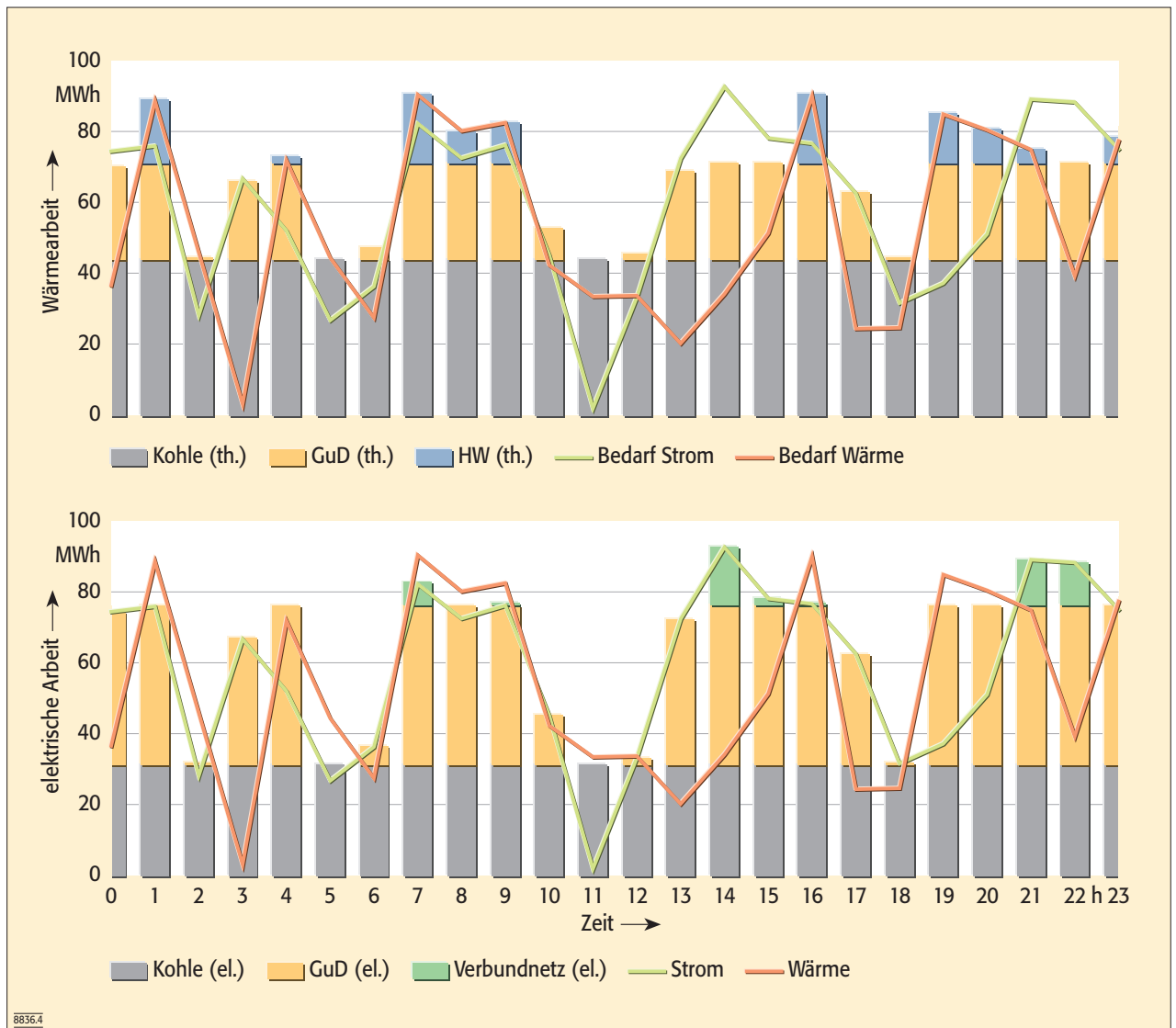
### Kopplung zur Netzhydraulik

Das Beispiel macht deutlich, wie detailliert ein lokales Energiesystem mit Polis abgebildet werden kann. Für lokale Energiesysteme ist es erforderlich, ein weiteres Augenmerk auf die Verteilnetze zu legen. Im Forschungsprojekt Strukturoptimierung bildeten die Fernwärmenetze einen Schwerpunkt, deren hydraulische Restriktionen im Wesentlichen von den zulässigen

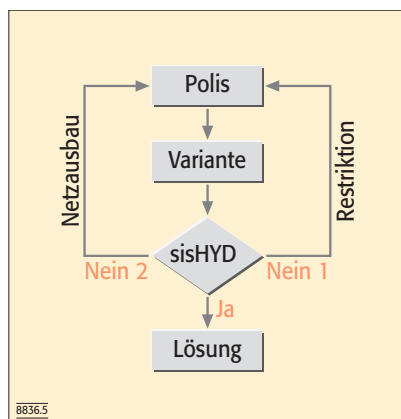


**Bild 3.** Modellierung einer Erzeugeranlage (KWK-Anlage) in Polis und deren variierbaren Parameter – schematische Darstellung

<sup>1</sup> Das Problem der Maximierung der Wirtschaftlichkeit wurde auf die Minimierung der Kosten reduziert, da die Erlöse beispielsweise über Preisgleitformeln festliegen und nicht beeinflusst werden können.



**Bild 4.** 24-Stunden-Übersicht anhand einer Erzeugereinheit mit Kohle-KWK, GuD-KWK und Heizwerk



**Bild 5.** Iterationsfolge einer Kopplung von Energiesystemanalyse (Polis) und Netzhydraulik (sisHYD). Ist das Verteilnetz in der Lage, die Arbeit zu verteilen, ergibt sich eine Lösung

Drücken und den daraus möglichen Volumenströmen bestimmt werden. Um die hydraulischen Besonderheiten eines Fernwärmenetzes in ausreichendem Maße zu berücksichtigen, wurde außer Polis das Netzberechnungswerkzeug sisHYD verwendet [6].

Die Ergebnisse beider Betrachtungsebenen, Netzhydraulik und Energiesystemanalyse, haben einen gegenseitigen Einfluss aufeinander, sodass eine iterative Kopplung erforderlich ist. Bild 5 stellt eine mögliche Iterationsfolge dar. Mit Polis wird eine Versorgungsvariante ermittelt und anschließend mit sisHYD in der Netzhydraulik überprüft. Ist das Verteilnetz in der Lage, die Arbeit zu verteilen, ergibt sich eine Lösung. Wenn nicht, muss eine Netzrestriktion in das Polis-Modell

nachgepflegt oder das Netz unter Aufwendung von Investitionen im Nachhinein angepasst werden.

### Ist-System und die Entwicklung zukünftiger Systeme bei sich ändernden Randbedingungen

Beide Versorgungssysteme in München und an der Fernwärmeschiene Niederrhein wurden mit Polis und sisHYD modelliert und in ihrem Ist-Zustand als Referenzenergiesysteme (RES) abgebildet (die genaue Beschreibung der RES folgt in Fachartikeln der *EuroHeat&Power*-Ausgaben Heft 7-8/2007 und Heft 9/2007). Die RES dienen als Vergleichsbasis für zukünftige Systeme, mit deren Hilfe Entscheidungen begründet und Strategien entwickelt werden.

Anschließend wurden über den jeweiligen Betrachtungszeitraum (30 bzw. 50 Jahre) a priori verschiedene Stützjahre definiert. Für jedes Stützjahr wurden beispielsweise Szenarien mit verschiedenen Entwicklungen des Wärme-, Strom- und gegebenenfalls Kältebedarfs, der Energiepreise, der Verfügbarkeit neuer Erzeugertechnologien, Entwicklungen des Emissionshandels, Abschluss ausgewählter Netzbaumaßnahmen (Dampfnetzumstellung in München) entworfen. Auch wurden die technischen Lebensdauern vorhandener Erzeugeranlagen berücksichtigt, um in den Stützjahren den Wegfall eben dieser Erzeugeranlagen zu unterstellen. Auf diese Weise ist es möglich, die sich ändernden Randbedingungen am Energiemarkt und deren Auswirkungen auf das jeweilige System zu untersuchen.

Letztlich sind mit diesem Vorgehen eine Vielzahl verschiedener Szenarien betrachtet worden, die wiederum um ausgewählte Sensitivitätsbetrachtungen ergänzt wurden. So konnten singuläre Ergebniseinflüsse die aus einer unterstellten Einzelentwicklung resultieren, identifiziert werden. Ein Beispiel hierfür ist der Kernenergieausstieg: Für München wurden im Stützjahr 2020 alle Fälle mit und ohne Verfügbarkeit des Kernkraftwerks Isar II gerechnet, an dem die Stadtwerke München beteiligt sind. Zwar hat Isar II keinen direkten Einfluss auf die Fernwärme, jedoch ist durch die KWK-Anlagen in München eine Rückkopplung auf die Wärmeversorgung zu beobachten. Dieser Effekt zeigt, wie wichtig eine integrale Betrachtung eines hochkomplexen und aggregierten Systems mithilfe moderner Softwarewerkzeuge der System- und Netzanalyse ist.

### Ableitung der Gesamtstrategie

Die Herleitung einer strategischen Aussage basiert auf der Auswertung und den Erkenntnissen aus der netz- und der systemanalytischen Betrachtung in den einzelnen Stützjahren. Die Zukunftssysteme der einzelnen Stützjahre wurden in Relation zum Referenz- bzw. Ist-System gesetzt und in einer Zeitreihe über den gesamten Betrachtungszeitraum dargestellt.

Hieraus lassen sich kurz, mittel- und langfristige Entwicklungen verfolgen und insbesondere Systemre-

aktionen auf verschiedene Änderungen der Randbedingungen ableiten. Entsprechend kann eine auf den jeweiligen Zeithorizont angepasste Strategie abgeleitet werden, die die Auswirkungen der verschiedenen Einflussgrößen berücksichtigt. Dies führt zu einem langfristigen Entwicklungskonzept, dem die kurz- und mittelfristigen Teilziele untergeordnet werden. Durch die Betrachtung der Stützjahre können Teilschritte und Maßnahmenbündel formuliert werden, die in den Zeiträumen zwischen zwei Stützjahren umzusetzen sind. Einzelne Maßnahmen können auch zur Initialisierung gewünschter Entwicklungen dienen, die in der nachfolgenden Periode fortgesetzt werden.

Weiterhin können auf diese Weise Risikobetrachtungen durchgeführt werden, mit denen sich die Auswirkungen eines Wegfalls einzelner, wichtiger Erzeugungsanlagen auf das gesamte Versorgungssystem bewerten lassen.

### Fazit

Die in den beiden Forschungsteilprojekten – München und Fernwärmeschiene Niederrhein – entwickelte Methodik ermöglicht eine ganzheitliche Erarbeitung eines langfristigen Konzeptes. Derartige Konzepte berücksichtigen die Vielzahl verschiedener Einflussgrößen auf das Energiesystem und sind durch den beschriebenen objektiven und transparenten Bearbeitungsansatz über den gesamten Zeithorizont nachvollziehbar. Ein wichtiges Positivmerkmal ist die systematisierte Einbeziehung der Vielzahl von Einflussgrößen: Es werden systematisch und objektiv sowohl solche Größen und Randbedingungen in die Betrachtungen einbezogen, die durch EVU beeinflusst werden können, aber auch diejenigen Größen, die nicht dem Einfluss einzelner Unternehmen unterliegen. Letzteres sind externe Randbedingungen, die z.B. durch Politik oder einen international vernetzten Energiemarkt vorgegeben werden. Beispiele sind Energiepreise oder der Emissionszertifikatehandel. Die Auswirkungen dieser Randbedingungen lassen sich – auch und besonders für ausgewählte, einzelne Größen – mit dem methodischen Ansatz der Strukturoptimierung zusammenhängend und mit den jeweiligen Wechselwirkun-

gen untersuchen. So lässt sich ein Gesamtkonzept für ein EVU erarbeiten, mit dem das einzelne EVU bestmöglich auf sich ändernde Randbedingungen reagieren kann, ohne von den externen, nicht beeinflussbaren Entwicklungen getrieben oder gar überrascht zu werden.

Ein weiterer Vorteil der Systematisierung ist die Möglichkeit eines Monitoring: Ist ein Modell eines Energiesystems einmal aufgebaut, wurde das Ist-System als RES abgebildet und wurden Annahmen beziehungsweise Projektionen einzelner Einflussgrößen (wie Änderungen der Energiepreise) getroffen, können zu beliebigen späteren Zeitpunkten weitere Szenarien auch mit neuen Projektionen betrachtet werden. Auf diese Weise lässt sich überprüfen, ob die eingeschlagene Strategie bei einer veränderten Situation weiterhin die Richtige ist. Daraufhin kann die Strategie dynamisch angepasst bzw. modifiziert und den jüngsten Änderungen des Energiemarktes Rechnung getragen werden.

### Ausblick

In den beiden nachfolgenden *EuroHeat&Power*-Ausgaben werden die Projektergebnisse der Teilprojekte in München und an der Fernwärmeschiene Niederrhein dargestellt. Der Forschungsbericht des Hauptprojektes Dezentralisierung wird in der zweiten Jahreshälfte 2007 veröffentlicht.

### Danksagung

Das diesem Artikel zugrunde liegende Vorhaben (hier: Hauptprojekt Dezentralisierung) wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter der Förderkennziffer 0327344 G und 0327344 H gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

### Schrifttum

- [1] AGFW Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbaren Energien. Frankfurt a.M., 2001 bis 2004.

- [2] *Remme, U.; Goldstein, G.-A.; Schlenzig, C.; Schellmann, U.*: »Mesap/ Times- Advanced decision support for energy and environmental planning«, in: *Chamoni, P., Leisten, R.*: Operations Research Proceedings 2001, S. 59-66, Springer-Verlag, Berlin, 2001
- [3] Energy Technology Systems Analysis Program (ETSAP), International Energy Agency Energy Technology Systems Analysis Program: Contribution to Kyoto Protocol, Summary of Annex VII (1999-2002), 2002.
- [4] *Richter, S.; Ziegler, R.; Bohn K.*: Optimierung von Energiesystemen – Entscheidungsgrundlage für den Ausbau der Fernwärme in Ulm. *EuroHeat&Power* 5 (2006), S. 52-58.
- [5] *Richter, S.*: Beschreibung und Optimierung urbaner Energiesysteme. Methodenentwicklung und erste Anwendung am Beispiel Augsburg. Oekom-Verlag, München, 2004 (Buchreihe des Wissenschaftszentrums Umwelt der Universität Augsburg, Band 2)
- [6] GEF Ris AG, Bentley Systems Germany GmbH: sisHYD-Dokumentation, Release 2007, Leimen, Februar 2007. ■

[stephan.richter@gef.de](mailto:stephan.richter@gef.de)

[www.gef.de](http://www.gef.de)