



## Energie sparen in Gewerbe- und Industrieparks

Planungstool hilft, sparsame Energieverbundnetze zu knüpfen



*Ein Industriepark vereinigt in der Regel einen branchenübergreifenden Mix an Betrieben. Abhängig von ihrer jeweiligen Produktion unterscheiden sich deren Ansprüche an die Energieversorgung. Während beispielsweise in der metallverarbeitenden Industrie Wärme im Bereich von vielen hundert Grad Celsius benötigt wird, liegt das Temperaturniveau des Wärmebedarfs in der Ernährungsindustrie häufig unterhalb von hundert Grad Celsius. Betriebe in direkter Nachbarschaft können die Abwärme aus solchen Prozessen nutzen.*

In einem Industriepark ist es möglich, viele Energieversorgungssysteme und Verbraucher der eng benachbarten Firmen zu vernetzen und Prozesse zu koppeln. Durch Ausgleichs- und Synergieeffekte zwischen den verschiedenen Unternehmen lassen sich höhere Effizienzgewinne erreichen als durch eine separate Optimierung der einzelnen Anlagen. Daher werden Industrieparks häufig von einem zentralen Standortbetreiber mit Energie versorgt.

Eine neu entwickelte Software soll Planer und Betreiber dabei unterstützen, diese Effizienzpotenziale zu erschließen. Bei der von Forschern und Praktikern im Projekt „Strukturoptimierung der Energieversorgung von Industrieparks - sOptimo“ gemeinsam erarbeiteten Software stehen die Energieformen Strom, Wärme und Kälte im Mittelpunkt der Betrachtungen. Durch Programmergänzungen können künftig weitere Komponenten wie beispielsweise die Druckluftversorgung einbezogen werden.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Mithilfe der neuen Software lassen sich sowohl die Umstrukturierung beziehungsweise Erweiterung bestehender als auch eine integrierte Energieversorgung von neuen Standorten planen. Hierbei ist das Ziel, auch für sehr komplexe Industriestandorte mit einer unüberschaubaren Vielfalt an Kombinationen und Auslegungen von Versorgungsvarianten eine optimale Struktur zu erhalten. Mit der Software wird es bereits in einer frühen Planungsphase möglich, mit geringen Investitionskosten die Energieeffizienz aller Anlagen zu optimieren und Stoff- und Energieströme sinnvoll zu koppeln, zum Beispiel durch die Nutzung von Abwärme.

Die Software berücksichtigt verschiedene Energieformen wie elektrische Energie sowie Wärme und Kälte auf unterschiedlichen Temperaturniveaus. Sie bildet unterschiedliche Erzeugervarianten ab, wie zum Beispiel Kessel, Blockheizkraftwerke (BHKW) oder Kältemaschinen. Zusätzlich werden die Kosten für die Verlegung von Leitungstrassen bei der Neuerrichtung von Anlagen berücksichtigt.

### Programm erschließt Einsparpotenziale

Die meisten Betriebe stellen strenge Anforderungen an die Amortisation von Effizienz- und Einsparmaßnahmen. Deshalb bleiben einige mögliche Verbesserungsmaßnahmen aufgrund etwas längerer Amortisationszeit oder auch aufgrund einer mit ihrer Einführung verbundenen Umstellung von bewährten Produktionsprozessen unberücksichtigt.

Die neue Software liefert Vorschläge für die Auslegung von Komponenten, Bauteilen und Anlagen. Außerdem errechnet sie Kriterien für die Bewertung der verschiedenen Varianten, zum Beispiel über Investitions- und Betriebskosten, Kapitalwert sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen. In die Berechnung fließen unter anderem die Lastgänge der unterschiedlichen Verbraucher, die Energiesystemstruktur, die Topographie sowie eine Technologiendatenbank der einsetzbaren Komponenten ein.

Der Nutzer gibt den Energiebedarf der Komponenten sowie eine mögliche Superstruktur vor, die die maximale Anzahl und Art der am Standort theoretisch möglichen Versorgungskomponenten festschreibt. Daraufhin schlägt das Programm, je nach Fragestellung, eine Kosten- oder CO<sub>2</sub>-optimale Lösung vor. Dabei kann die optimale Lösung unter Umständen auch Technologien enthalten, die bei einer begrenzten Anzahl an Varianten, die ohne einen sogenannten Optimierer gerechnet werden können, vielleicht von vornherein ausgeschlossen worden wären.

### Optimierung mit sOptimo

In einer vereinfachten Berechnungsweise wird mit konstanten Wirkungsgraden voroptimiert und anschließend mit variablen Wirkungsgraden nachjustiert. Für eine kürzere Rechenzeit setzen die Forscher Erzeugermodelle mit konstanten Wirkungsgraden ein. Die Lösungsdauer reduziert sich durch diese Vereinfachung erheblich. Die Möglichkeit, für eine erhöhte Genauigkeit variable Teillastwirkungsgrade einzusetzen, resultiert insbesondere für komplexe Systeme in einem erhöhten Rechenaufwand für die Optimierung. Dem kann durch eine Optimierung mit einer sogenannten Optimality Gap entgegengesteuert werden, die angibt, um wie viel Prozent der finale Zielfunktionswert vom theoretisch möglichen, optimalen Zielfunktionswert abweichen darf. Zusätzlich kann ein Timelimit festgelegt werden, nach welchem Zeitraum die Optimierung spätestens abgebrochen wird. Beide Alternativen führen in der Regel zu einem Kapitalwert, der nah

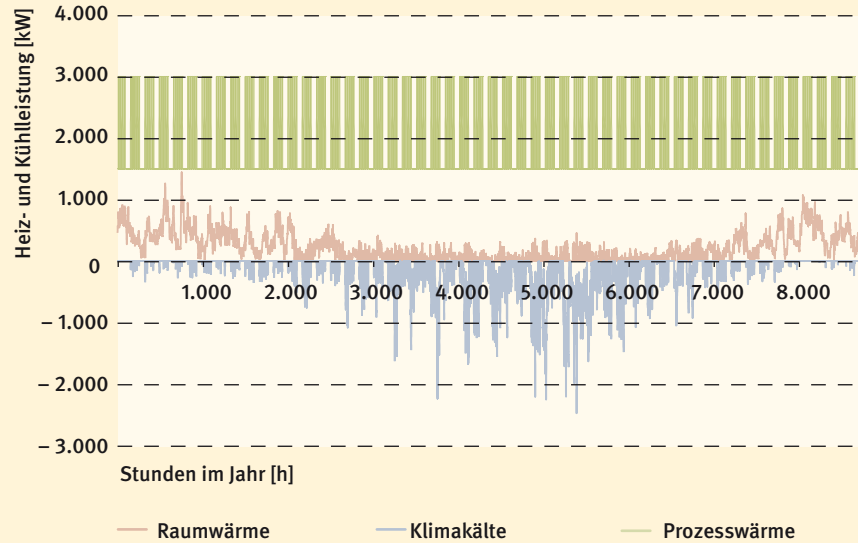


Abb. 1 Simulierte Lastgänge eines Laborgebäudes für Klimakälte, Raum- und Prozesswärme.

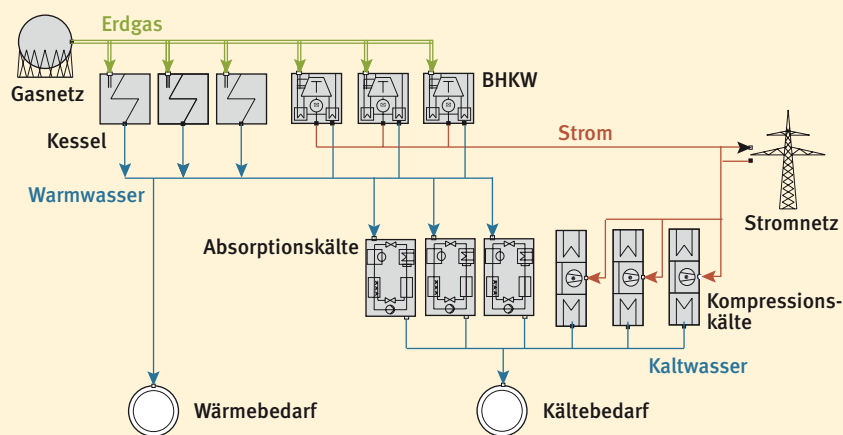


Abb. 2 Darstellung der Superstruktur eines Energieversorgungssystems. Das blaue Netz stellt das Warm-/Kaltwassersystem dar, das rote die Stromversorgung.

am Optimum liegt. Die Erzeugerstruktur ändert sich kaum, vergleicht man das Ergebnis der Berechnung mit Optimality Gap mit der mathematisch optimalen Lösung. Bei vergleichsweise niedriger Lösungsdauer werden somit nahoptimale Lösungen geliefert. Im Test ergaben sich mehrere unterschiedliche Versorgungsstrukturen mit fast identischen Kapitalwerten.

Mit Unterstützung der Entwickler wurde das neue Tool an einem realen Beispiel getestet. Dabei zeigte sich, dass auch die realen Strukturen in ihrer Komplexität grundsätzlich abgebildet werden können und die Optimierung in der Lage ist, Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Einige weiterführende praktische Fragestellungen könnten jedoch besser bearbeitet werden, wenn das Programm um weitere Funktionen ergänzt würde. Eines der Ziele ist dabei, mehrere alternative Vorschläge mit den bestmöglichen Lösungseigenschaften herauszufinden. Eine weitere Herausforderung liegt darin, mehrere widersprüchliche Zielfunktionen, wie zum Beispiel Kosten und Primärenergieeinsatz, zu berücksichtigen.

### Simulation verbessert Planung

Zur Erprobung des Programms projektierten die Experten einen Industriestandort für ein weltweit tätiges Pharmaunternehmen und ermittelten die





## Raffinerie-Abwärme wird zu Fernwärme

Ein Beispiel dafür, wie durch eine Vernetzung von Erzeugern und Verbrauchern Abwärmepotenziale genutzt und große Energiemengen eingespart werden können, findet sich in Karlsruhe. Die Mineralö Raffinerie Oberrhein (MiRO) ist die größte Raffinerie Deutschlands. Prozessabwärme mit Temperaturen unter 130 °C kann dort nicht weiter wirtschaftlich genutzt werden. Doch für die Fernwärmeversorgung reicht diese Temperatur. Seit Herbst 2010 nutzen die Stadtwerke Karlsruhe die Abwärme eines Werksteils der MiRO für die Fernwärmeversorgung. Diese Prozessabwärme wird durch kompakte Plattenwärmetauscher aus den Anlagen der Raffinerie ausgekoppelt und in das Fernwärmenetz eingespeist. Durch die Abwärmennutzung stieg die Energieeffizienz der Raffinerie um 5 Prozent.

Die Stadtwerke haben 2013 rund 300.000 Megawattstunden bezogen. Das entspricht dem Wärmebedarf von rund 25.000 Haushalten und spart 65.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr.

Wenn ab Oktober 2015 auch Abwärme aus dem zweiten Werksteil eingespeist wird, kommen weitere 220.000 Megawattstunden hinzu.

Das Bundesumweltministerium hat dieses Pilotprojekt im Rahmen der Klimaschutzinitiative mit 5 Mio. Euro gefördert. 2013 wurde es mit dem Energy Award ausgezeichnet.

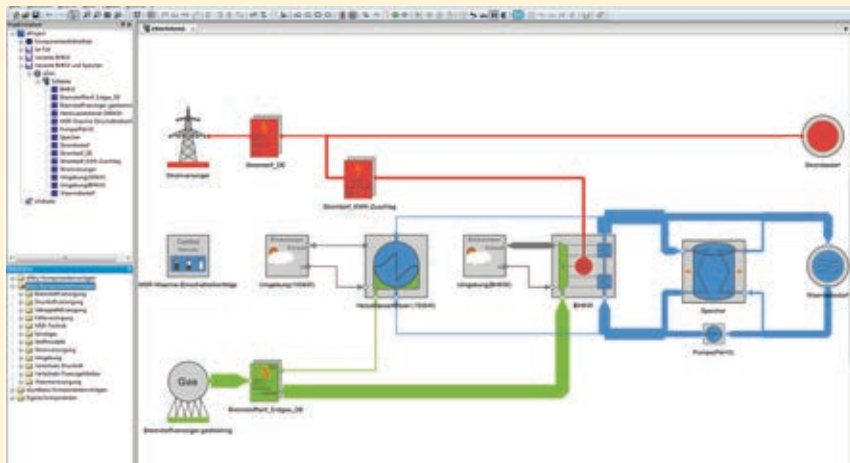


Abb. 3 Schematische Darstellung eines Versorgungsnetzwerks im Programm TOP-Energy.



Abb. 4 Versorgungsleitungen im Chemiepark Knapsack

kapitalwertoptimale Versorgungsstruktur. Zur Anonymisierung übertrugen sie die Gebäude und Trassen des Industrieparks auf den Lageplan der RWTH Aachen. Für die Berechnungen konnten sie vorhandene Daten zu den maximalen Kühllasten nutzen. Die Forscher ermittelten die maximalen Heizlasten sowie die Lastgänge für die benötigte Klimakälte und Raumwärme mit einer thermischen Gebäudesimulation (Abb. 1). Die abgeschätzten Prozesswärme- und Strombedarfe stellten sie als Lastgänge dar. Für 21 Gebäude (Produktion, Forschung, Büro, Lager, Kantine und Rechenzentrum) wurden Lastgänge erzeugt. Das reale Energieversorgungssystem mit seinen Strom-, Wärme- und Kälteverbrauchern und Versorgern – Kessel, BHKW, Absorptionskältemaschinen (AKM) und Kompressionskältemaschinen (KKM) – wird im Programm Top-Energy durch eine Superstruktur abgebildet (Abb. 2). In der Superstruktur werden alle möglichen Varianten zur Versorgung der Energiebedarfe kodiert. Aus diesen Varianten wird dann in der Optimierung eine Teilmenge ausgewählt. Gegenüber der realen Anlagenstruktur spart das optimale System, in das zwei BHKW eingebunden sind, im Zeitraum von 10 Jahren 40 % der Bezugs- und Investitionskosten ein.

Das erreichten die Forscher durch die Optimierung der Versorgungsstruktur: Kompressions- und Absorptionskältemaschinen, BHKW und Kessel, angeschlossen ans öffentliche Strom- und Gasnetz.

Außerdem wurde untersucht, wie lange die Berechnung dauert, abhängig von der Komplexität der Superstruktur und der Anzahl der betrachteten Zeitschritte. Ausgehend von je zwei Erzeugern mit variablen Wirkungsgraden konnten Modelle innerhalb einer Minute berechnet werden.

### Überführung in die betriebliche Praxis

Als Praxispartner aus dem Bereich des Industrieparks begleitet und unterstützt die Firma InfraServ GmbH & Co. Knapsack KG das Projekt. Zwei von ihr betriebene Industrieparks in der Umgebung von Köln werden als Anwendungsbeispiel verwendet. Für diese Industrieparks entwirft die Software automatisch Varianten des bestehenden Energiesystems und bewertet diese. Dabei werden sowohl die Struktur als auch die Topographie des Energiesystems optimiert, Kriterien sind insbesondere Kosten und Klimawirkung des Systems. Die Optimierungsoftware vergleicht nicht nur die von den Planern bereits bedachten Varianten, sie entwickelt und bewertet auch völlig neue Varianten.

Ziel weiterführender Arbeiten ist es, das methodisch abgesicherte Modell für einen breiteren Anwenderkreis nutzbar zu machen. Planer sollen das neue Tool auch ohne Kenntnisse in der mathematischen Optimierung anwenden können. Daraus ergeben sich weitere Anforderungen an die Umsetzung der Methode in TOP-Energy.

Das Vorhaben wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) gefördert. Ein Anschlussprojekt zur Weiterentwicklung der Software wird angestrebt. Dann können komplexe reale Systeme mit monatlicher Zeitauflösung oder sogar mit Tagesmittelwerten dargestellt werden. Neben der Einbindung einer multikriteriellen Optimierung soll das Programm auch von Industriepartnern definierte Problemstellungen aufgreifen können.



## Industrie 4.0 und Smart City sparen Energie

Die Industrie der Zukunft wird sich bei Produktion und Energiemanagement deutlich von dem unterscheiden, was wir heute kennen. Statt einer Ansammlung isoliert wirtschaftender Betriebe wird dann ein vernetztes, hocheffizientes und flexibles System mit intelligentem Energiemanagement Waren energie- und rohstoffoptimiert herstellen. Forscher und Firmen entwickeln unter dem Label „Industrie 4.0“ gemeinsam diese künftige Produktionsweise.

In lernenden Energieeffizienznetzwerken kooperierende Firmen unterstützen sich gegenseitig dabei, ihre Produktion energieeffizienter auszurichten.

Doch eine ganzheitliche Optimierung von Energieströmen geht weiter. Sie verknüpft regional die unterschiedlichen Erzeuger und Verbraucher. In zwei EnEff:Stadt-Projekten erarbeiten Forscher Modelle für eine energetische Vernetzung.

Im Quartier Welheimer Mark in Bottrop demonstrieren sie, wie ein Mischgebiet mit Industrie, Gewerbe und Wohnungen energetisch, ökonomisch und ökologisch optimiert werden kann. Dafür wird eine Software zur Simulation, Analyse sowie Optimierung von Stadtbezirken entwickelt, die auch für andere Städte einsetzbar sein soll. Der Schwerpunkt liegt hierbei darauf, die einzelnen Systemkomponenten zu modellieren und Simulationsmodelle zur Abschätzung des Gebäudeenergieverbrauchs zu erstellen. Das Projekt Heatloop untersucht am Beispiel zweier Gewerbegebiete in Bochum, wie Abwärme in Gewerbegebieten mit unterschiedlichen Branchen und Betriebsgrößen über kleinteilige Wärmeverbände genutzt werden kann. Ziel ist, einen verlässlichen Wärmeverbund aufzubauen, der dauerhaft wirtschaftlich zu betreiben und auf andere Gebiete übertragbar ist.

Andere Konzepte umfassen ganze Städte. Solche Smart-City-Strategien ermöglichen es, mit vernetzten Technologien bei Energie, Wasserwirtschaft, Mobilität, Logistik und Gebäuden große Modernisierungspotenziale zu erschließen. Für Stuttgart entsteht im Forschungsprojekt „Stadt mit Energieeffizienz“ ein Langfrist-Energiekonzept. Es berücksichtigt alle Energieverbraucher, es schließt Haushalte, Verkehr, Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung sowie städtische Liegenschaften ein. Das Ziel für 2020 ist, 20 % weniger Energie zu verbrauchen als 1990.

## Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** RWTH Aachen, Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, [www.ltt.rwth-aachen.de/de/forschung/energiesystemtechnik](http://www.ltt.rwth-aachen.de/de/forschung/energiesystemtechnik)
- » **Forschung:** Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V. (Berlin), [www.gfai.de](http://www.gfai.de)  
Technische Universität Dortmund, Lehrstuhl für Algorithm Engineering, [ls11-www.cs.uni-dortmund.de](http://ls11-www.cs.uni-dortmund.de)
- » **Planung:** BFT, Aachen, [www.bft-planung.de](http://www.bft-planung.de) | Carpus+Partner AG, Aachen, [www.carpus.de](http://www.carpus.de)  
perpendo GmbH für Energietechnik und Verfahrenstechnik, Aachen, [www.perpendo.de](http://www.perpendo.de)
- » **Betreiber, Energiedienstleister:** InfraServ GmbH & Co. Knapsack KG, [www.infraserv-knapsack.de](http://www.infraserv-knapsack.de)  
Siemens AG, [www.siemens.com](http://www.siemens.com)

## Links und Literatur

- » [www.ltt.rwth-aachen.de/de/forschung/energiesystemtechnik/energiesystemtechnik/project/Strukturoptimierung\\_von\\_Energiev/](http://www.ltt.rwth-aachen.de/de/forschung/energiesystemtechnik/energiesystemtechnik/project/Strukturoptimierung_von_Energiev/)
- » [www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/soptimo-strukturoptimierung-der-energieversorgung-von-industrieparks/](http://www.eneff-stadt.info/de/planungsinstrumente/projekt/details/soptimo-strukturoptimierung-der-energieversorgung-von-industrieparks/)
- » Stadt mit Energieeffizienz Stuttgart (SEE), [www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/projekte/SEE/](http://www.isv.uni-stuttgart.de/vuv/projekte/SEE/)
- » Lernende Energienetze, [www.30pilot-netzwerke.de](http://www.30pilot-netzwerke.de), [www.leen.de](http://www.leen.de)
- » EnEff:Industrie – Forschung für die energieeffiziente Industrie, [www.eneff-industrie.info](http://www.eneff-industrie.info)

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Optimierter Energieeinsatz in der Hüttenindustrie. BINE-Projektinfo 8/2009
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_12\\_2014](http://www.bine.info/Projektinfo_12_2014)

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projekträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Matthias Hensel  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
0327885A-F, 03ET1138A-C, 03ET1142A-C

**ISSN**  
0937 - 8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Gerhard Hirn

**Urheberrecht**  
Titelbild, Abb. 4: InfraServ GmbH & Co.  
Knapsack KG  
Abb. 1 und 2: RWTH Aachen  
Abb. 3: Gesellschaft zur Förderung  
angewandter Informatik e. V.

Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation ist  
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages