

Fernwärmesystem 2040: Transformationspfade wirtschaftlich vergleichen

Andreas Sokol, Dominik Funken und Astrid Beckers

Die Transformation eines bestehenden Fernwärmesystems zu einer klimaneutralen Erzeugung von heute bis 2040 stellt viele Betreiber vor technische und wirtschaftliche Hürden. Wie viel und an welchen Stellen müssen sie in den Ausbau der Fernwärme investieren, um die Ziele zu erreichen – und welche Investitionen sind wenig zielführend? In jedem Fernwärmesystem gibt es unzählige Möglichkeiten (Transformationspfade), die Klimaziele zu erreichen. Bei der Beantwortung der Frage nach der Wirtschaftlichkeit dieser Transformationspfade kann der Einsatz einer modellbasierten Optimierungslösung zur Berechnung der Wärmekosten unterstützen.

Klimaschutz vs. Wirtschaftlichkeit? Strategische Studie für die Transformation des Fernwärmesystems

Als eines der größten Fernwärmeunternehmen in Deutschland stellt die Iqony Fernwärme (ehemals STEAG Fernwärme; ein Tochterunternehmen der Iqony GmbH) pro Jahr rund 1,6 Mrd. kWh Wärmeenergie zur Verfügung, die zum großen Teil aus hoch effizienter Kraft-Wärme-Kopplung gewonnen wird. Um zu eruieren und bewerten, wie eine klimaneutrale Fernwärmeerzeugung bis 2040 gelingen kann, führt das Unternehmen seit September 2021 eine strategische Studie mit drei Phasen durch:

In der ersten Phase hat Iqony zunächst drei Szenarien (moderat ambitionierter Klimaschutz, progressiver Klimaschutz, radikaler Klimaschutz (vgl. Abb. 1) definiert. Danach wurden technische Anlagen und Speicher sowie deren mögliche Standorte ausgewählt,

und die Randbedingungen zum CO₂-Ausstoß und zur Vorlauftemperatursenkung wurden gemäß der drei Szenarien festgelegt. Daraus sind zunächst neun mögliche technische Zielbilder entstanden.

In der zweiten Phase ging es darum, mögliche Transformationspfade zu entwickeln und u.a. durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu bewerten. Neben den fixen Investitionskosten für die in den Transformationspfaden vorgesehenen Technologien mussten auch sämtliche variable Kosten (z.B. Brennstoffkosten) und Erlöse (z.B. Stromerlöse) berücksichtigt werden.

Um die Szenarien auf Basis von Daten und modellbasierten Berechnungen zu bewerten, holte Iqony sich Software-Unterstützung beim IT-Anbieter KISTERS. Mit dessen Optimierungslösung BelVis ResOpt lassen sich die variablen Kosten verschiedener Technologien mit einem mathematischen Modell bestimmen und dabei eine Vielzahl von

technischen, ökonomischen, wettbewerblichen und regulatorischen Randbedingungen berücksichtigen. BelVis ResOpt ist bereits seit mehreren Jahren bei Iqony im Einsatz, um täglich die Einsatzfahrpläne für die Anlagen im Iqony-Fernwärmesystem zu erstellen. Mit den passenden Erweiterungen kann die Software dabei unterstützen, ökonomisch und ökologisch sinnvolle Ausbau- und Transformationsmöglichkeiten aufzuzeigen und Fernwärmebetreibern damit eine Entscheidungshilfe an die Hand geben, in der Vielzahl an Möglichkeiten und Restriktionen die langfristig beste Lösung für ihr System zu finden. Diese softwaregestützte, datenbasierte Berechnung und anschließende Bewertung hilft, Investitionen auf eine solide Basis zu stellen.

Durch den langen Betrachtungszeitraum, die Vielzahl an Technologien und Randbedingungen sowie den Detaillierungsgrad der gewünschten Ergebnisse entstand eine komplexe Optimierungsaufgabe. Nichtsdestotrotz haben Iqony, KISTERS und weitere Projektpartner die Anforderungen dieser Phase in weniger als einem Jahr umgesetzt. Die resultierenden Tools mit BelVis ResOpt als relevantem Baustein haben es den Verantwortlichen ermöglicht, am Ende nicht nur die ursprünglichen neun, sondern mehr als 200 Transformationspfade durchzurechnen, um noch detailliertere Erkenntnisse zu erhalten.

Unter Nutzung von BelVis ResOpt erstellt die Iqony nun in Phase 3 ihre strategische Roadmap bis 2040. Aus Chancen- und Risikoprofilen entstehen jetzt konkrete Handlungsvorschläge und Aktionen.

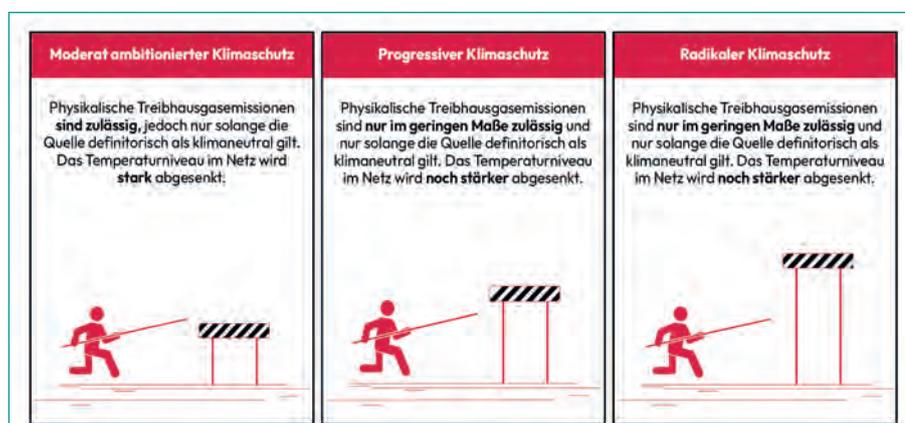


Abb. 1 Szenarien für Klimaneutralität und deren Anforderungen, um definitiv auf Nullemission zu kommen

Quelle: Iqony

Modellgestützter Vergleich von Transformationspfaden

Um verschiedene Transformationspfade und Szenarien umfassend und schnell analysieren zu können, benötigte Iqony leicht bedienbare und zuverlässige Software-Werkzeuge zur Langfristplanung. Ziel der zweiten Projektphase war die Entwicklung dieser Tools – und zwar als Erweiterung der bei der Iqony eingesetzten Optimierungsoftware BelVis ResOpt und ausgehend von dem darin bereits aufgebauten mathematischen Modell, das die heutige Struktur des Iqony-Fernwärmesystems beschreibt. BelVis ResOpt sollte dahingehend erweitert werden, mögliche Zukunfts-/Ausbauszenarien für sehr lange Zeiträume zu vernünftigen Rechenzeiten auf Standard-Hardware zu berechnen. Dies sollte die Verantwortlichen bei der Iqony in die Lage versetzen, die identifizierten Transformationspfade schnell zu vergleichen und „Was wäre wenn“-Fragen zu beantworten, ohne lange auf Reaktion bzw. Ergebnisse aus der Software warten zu müssen.

Die Software BelVis ResOpt zur Fernwärmeoptimierung und -einsatzplanung läuft bereits seit Januar 2019 automatisch im Verbund mit dem Leitsystem der Iqony und schnell haben sich positive wirtschaftliche und betriebliche Effekte gezeigt: Die vom System vorgeschlagene Strategie erleichtert es dem Anlagenoperator in seiner täglichen Arbeit, in einem begrenzten Zeitraum die verschiedenen Optionen zum Anlageneinsatz in Betracht zu ziehen und Entscheidungen zu treffen, die nah am berechneten wirtschaftlichen Optimum liegen. Die Prozesse der Fahrplanerstellung und -korrektur, der Einsatzoptimierung und der Überwachung erfordern mit BelVis ResOpt deutlich weniger manuelle Eingriffe als zuvor und lassen sich leichter überblicken und bedienen. Insbesondere weil die Vorlaufzeit in die Optimierung miteinbezogen wird und weil nicht nur die technischen Flexibilität der Anlagen, sondern auch die Flexibilität in Verträgen geschickt ausgenutzt werden, kann die Software sehr kostenminimale Fahrweisen identifizieren.

Interessanterweise weichen diese teils deutlich von denen ab, wie ein menschlicher Entscheider aus Erfahrung heraus die Anlagen

gefahren hätte, insbesondere in neuartigen Situationen wie beispielsweise den rapiden Preissteigerungen und -schwankungen seit Mitte 2021. Das Vertrauen in die vom Optimierungssystem vorgeschlagenen Fahrweisen hat sich Schritt für Schritt gefestigt. Dazu hat beigetragen, dass Iqony zum Teil erhebliche Kosteneinsparungen erzielen konnte, beispielweise durch das Ausnutzen von Vertragsflexibilitäten oder das Bewirtschaften von eigentlich teuren sekundären Gas- oder Ölkesseln, welche sich aufgrund der rapide geänderten Preissituationen am Strommarkt in bestimmten Marktsituationen als vorteilhafter herausgestellt haben als erwartet.

Realitätsnahes Modell als Berechnungsbasis

Aus dem bereits in BelVis ResOpt vorhandenen mathematischen Modell sollte ein vereinfachtes Modell abgeleitet werden, um die verschiedenen Transformationspfade für den Betrachtungszeitraum von 2023 bis 2050 mit all ihren sich dynamisch ändernden Restriktionen (technisch, vertraglich, gesetzlich, ökonomisch) abzubilden, darunter u.a.:

- Brennstoff-, CO₂- und Strompreise,
- Umgebungstemperaturen für Wärmepumpen,
- Verfügbarkeit und maximale Kapazität von Rohrverbindungen,
- Prognosen von Einspeisern (Solarthermie, industrielle Abwärme),
- Wärmebezugsverträge
- und vieles mehr.

Rund 15 Erzeugungs- und Speichertechnologien waren dabei im Modell aufzusetzen (vgl. Abb. 2), die jeweils an 11 Standorten platziert

wurden, so dass das Modell am Ende insgesamt 165 Anlagen umfasst. Damit können alle Kombinationen an Technologien und damit zusammenhängender Wahl des Standortes in den Transformationspfaden abgedeckt werden, auch in möglichen zukünftigen Pfaden. Zudem sollte die Software es ermöglichen, den Zu- oder Abbau von Anlagen in einem bestimmten Zeitraum vorzugeben und als zusätzliche Eingangsgröße für die Berechnung festzulegen.

Da BelVis ResOpt standardmäßig viele fernwärmespezifische Makrokomponenten als Baukasten zur Verfügung stellt, konnten die Verantwortlichen von Iqony und KISTERS das erforderliche Modell in der grafischen Oberfläche schnell und einfach erstellen und konfigurieren, d.h. allen Komponenten ihre spezifischen Eigenschaften zuweisen. Sogar zukünftige Technologien ließen sich ohne weitere Software-Entwicklung einbauen.

Die nächste Herausforderung bestand darin, dass Iqony sehr detaillierte Berechnungsergebnisse im Jahresraster benötigte – und zwar für jede Anlage, jede Technologie, jeden Standort und jede Rohrverbindung. Gefordert waren für jeden Standort die

- installierte sowie maximal abgerufene thermische Leistung,
- erzeugte Mengen an Brennstoff, Strom, Wärme, CO₂ sowie
- Kosten und Erlöse

sowie für jede Rohrverbindung die

- maximal verfügbare Kapazität,
- maximal in Anspruch genommene Kapazität und
- die transportierte Wärmemenge.

Wärmeerzeugung			Wärmespeicher
Strom 	Oberflächen-nahe Geothermie 	Tiefengeo-thermie 	Thermochemischer Speicher 
Biomasse 	Industrielle Abwärme 	Siedlungs-abfälle 	Latenz-wärmespeicher 
Solar-thermie 	Konzentrierende Solarthermie 	Synthetische Gase u. E-Fuels 	Sensible Wärmespeicher 
Biomethan 	Grubengas 		Sorptive Wärmespeicher 

Abb. 2 Erzeugungs- und Speichertechnologien, die bei der Iqony zur Planung und Transformation des Fernwärmesystems zur Verfügung stehen Quelle: Iqony

Zusätzlich mussten die Software-Experten von KISTERS noch kleinere Herausforderungen wie die Implementierung von Schnittstellen sowie die Einrichtung eines Workflows zum vollautomatischen Import, Berechnung, Plausibilisierung und Export von Szenarienrechnungen für beliebige Zeitbereiche bis 2050 meistern.

Viele Varianten in kurzer Zeit durchspielen

Insgesamt waren also für neun unterschiedliche Transformationspfade die Jahreswerte über 28 Jahre für 165 Anlagen inklusive Speicher mit 15 Technologien gefordert. Insbesondere der Einsatz von Speichern macht die Berechnungen aufwändig, da sie mehrere Zeitschritte koppeln und für neue Abhängigkeiten sorgen, die es abzubilden und zu berechnen gilt.

Wenn sich ein von der Iqony erstellter potenzieller Transformationspfad auf das gesamte Fernwärmesystem bezieht, müsste man zur Berechnung das komplette Modell nutzen und es entstände eine Aufgabe, die theoretisch sehr lange Rechenzeiten von mehreren Stunden und/oder extrem leistungsstarke Berechnungsserver erfordern würde. Beides würde die Performance anderer Anwendungen (u.a. tägliche Einsatzplanung der Anlagen) beeinträchtigen und ist daher nicht akzeptabel.

Um die Rechenzeiten bei großen Optimierungsproblemen im Zaum zu halten, verfügt BelVis ResOpt über intelligente Aggregationsalgorithmen, um ein Berechnungsproblem sinnvoll zu vereinfachen ohne nennenswert an Genauigkeit einzubüßen (vgl. Abb. 3):

Rechnet man beispielsweise Ausbauszenarien für ein Jahr im Stundenraster, ergeben sich 8.760 Zeitschritte. Der mathematische Solver muss in einem Lösungsraum, der bis zu 100 Mio. gültige Lösungen enthalten kann, nach der optimalen Lösung suchen, was selbst mit sehr leistungsstarken Rechnern zu sehr langen Rechenzeiten führen kann. Über Aggregationsalgorithmen reduziert das Optimierungssystem die Zeitschritte in verschiedenen Stufen (vgl. Abb. 3) – im ersten Schritt in Großintervalle (z.B. Sommer, Winter, Übergangszeit), im zweiten Schritt in ähnliche Tage innerhalb der Großintervalle (z. B. Werktage, Wochenenden) und zuletzt in Zeitschritte innerhalb der charakteristischen Tage, in denen sich die Wärmelast kaum ändert (z.B. die Stunden von 0 bis 5:00 Uhr morgens). So reduzieren sich die ursprünglichen 8.760 Zeitschritte auf wenige hundert und der Solver kann das Optimierungsproblem in wenigen Minuten statt in Stunden lösen. Entsprechend mehr Varianten für die Transformation der Fernwärme kann man in kurzer Zeit durchspielen.

Der Anwender kann beeinflussen, dass durch die Aggregation nicht zu viel an Genauigkeit verloren geht, und so ein optimales Verhältnis zwischen Rechenzeit und Genauigkeit finden. Testrechnungen zeigen außerdem, dass der Genauigkeitsverlust durch Aggregation vernachlässigbar ist, verglichen mit den Unschärfen, die durch die nötige Abschätzung von zukünftigen Lasten, Temperaturen und Preisen entstehen.

Ein weiterer Ansatz, damit die Rechenzeiten bei der Berechnung komplexer Optimierungsaufgaben und umfangreicher Szenarien nicht aus dem Ruder laufen, wäre das Auslagern des Systems in die KISTERS-cloud als Software as a Service. Dort können Kunden die Hochleistungsserver im KISTERS-Rechenzentrum nutzen, so dass die kunden-eigenen Server nicht beeinträchtigt werden. Iqony hat von dieser Möglichkeit keinen Gebrauch gemacht; BelVis ResOpt läuft on premise auf ihren Servern.

Ergebnis: eine IT-Lösung zur Transformationsplanung bis 2050

Nach Fertigstellung des Modells hat Iqony nicht nur die zuvor definierten neun Transformationspfade gerechnet, sondern insgesamt über 200 Pfade. Aufgrund des flexiblen Modellaufbaus war dies ohne Anpassungen möglich. Über das Baukastensystem von BelVis ResOpt lassen sich beispielsweise Änderungen von Preissignalen oder Technologien einfach berücksichtigen und modellieren. Um das Ziel der klimaneutralen Fernwärmeerzeugung bis 2040 zu untersuchen und auch langfristige Investitionsentscheidungen treffen zu können, wurden die Transformationspfade in einem Optimierungsmodell mit einem Zeithorizont bis 2050 berechnet. Dank der intelligenten Aggregationsalgorithmen können diese langfristigen Rechnungen bei Iqony parallel zum produktiven Modell zur Einsatzplanung laufen, ohne dass sich die Berechnungsprozesse gegenseitig beeinträchtigen und verlangsamen.

Die Berechnung von verschiedenen Transformationspfaden läuft, ohne dass KISTERS unterstützen muss. Iqony muss lediglich ein im Projekt abgestimmtes Import-Format einhalten und das Modell mit Daten befüllen. Die Berechnung und der Export laufen über Workflows vollautomatisch ab.

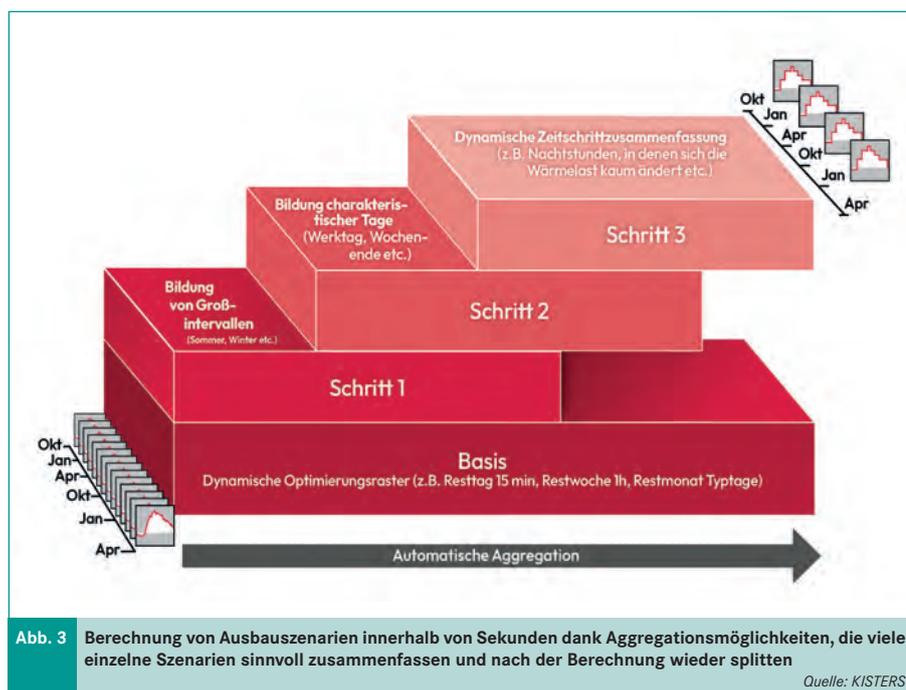


Abb. 3 Berechnung von Ausbauszenarien innerhalb von Sekunden dank Aggregationsmöglichkeiten, die viele einzelne Szenarien sinnvoll zusammenfassen und nach der Berechnung wieder splitten

Quelle: KISTERS

Schlussfolgerungen/Ausblick

Um die nötigen hohen Investitionen in die Fernwärmetransformation durch Entwicklungsmöglichkeiten zu begründen und abzusichern, sind mathematische Optimierungssysteme, die heute schon von fast allen Betreibern zur täglichen Einsatzplanung verwendet werden, eine gute Grundlage. Sie können ökonomisch und ökologisch sinnvolle Ausbaumöglichkeiten aufzeigen und bei der Bewertung und Auswahl möglicher Transformationspfade unterstützen. Aus der Vielzahl an berechneten

Transformationspfaden konnte Iqony bereits heute einige wesentliche Erkenntnisse für eine erfolgreiche Transformation ziehen: So hat sich beispielsweise herausgestellt, dass bestimmte Preiskonstellationen von Energieträgern dazu führen können, dass einzelne Energieträger in größeren Mengen benötigt werden, die praktisch nicht beschafft werden können. Besonders interessant war, dass eine Bevorzugung von Wasserstofftechnologien in den Berechnungen unter den Preisprämissen, die den Transformationspfaden der Iqony zugrunde liegen, nicht belegt werden konnte.

Durch den Einsatz von Optimierungssystemen erhalten Fernwärmebetreiber einen datenbasierten Einblick in ihr Fernwärmesystem, aussagekräftige Analysen und Entscheidungshilfen zur Bewertung möglicher Transformationspfade und eine solide Basis für ihre Investitionen.

*A. Sokol, Einsatzoptimierung, Iqony Fernwärme GmbH, Essen; D. Funken, Product Owner BelVis ResOpt, A. Beckers, Leiterin Marketing, KISTERS AG, Aachen
Kontakt: Astrid.beckers@kisters.de*

EUROHEAT&POWER Newsletter



www.ehp-magazine.com



Find out about the magazine content and the news of the industry.

✓ Print ✓ E-Magazine ✓ Newsletter

energie.de

Subscribe now!