

Klimaneutrales Fernwärmesystem bis 2045: Wirtschaftliche Möglichkeiten für die Dekarbonisierungsstrategie aufdecken und bewerten

Ulli Drescher und Astrid Beckers

Welche Investitionen sind langfristig zielführend und welche nicht? – Von dieser Frage hängt maßgeblich der Geschäftserfolg von Fernwärmebetreibern ab. Denn zur Transformation eines bestehenden Fernwärmesystems hin zu einer klimaneutralen Erzeugung gibt es unzählige, miteinander verwobene Möglichkeiten, von denen viele potenziell sehr kostspielig sind. In großen Fernwärmesystemen sind die Zusammenhänge für die Entscheider nur noch schwer bis ins letzte Detail über jahrzehntelange Zeiträume erkennbar. Bei der Beantwortung der Frage nach der Wirtschaftlichkeit avisierten Klimaschutzinvestitionen bietet der Einsatz einer modellbasierten Optimierungslösung zur Berechnung der Wärmeerzeugungskosten wertvolle Unterstützung.

Investitionen in die Dekarbonisierung absichern

Als eines der 20 größten Fernwärmeunternehmen in Deutschland erzeugt eins energie in sachsen mit Sitz in Chemnitz pro Jahr rund 1.000 GWh Wärmeenergie, die zum großen Teil aus der Verbrennung von Erdgas gewonnen und über das 280 km umfassende Fernwärmenetz verteilt werden. Um den ambitionierten Klimazielen näher zu kommen – und auch, um Gesetze im Kontext der Energiewende zu erfüllen – hat der Infrastrukturdienstleister eine umfangreiche Dekarbonisierungsstrategie erarbeitet. Das Ziel: in 2045 den gesamten Fernwärmebedarf aus erneuerbaren Energien zu decken, also komplett klimaneutrale Fernwärme bereitstellen zu können. Wichtige Meilensteine auf dem Weg dahin sind 30 % der Fernwärme aus erneuerbaren Energien bis 2030 und 80 % bis 2040. Der Dekarbonisierungspfad von eins sieht vor, die Erzeugung zu flexibilisieren, um den CO₂-Ausstoß zu senken, und darüber hinaus das Fernwärmenetz auszubauen, die Vorlauftemperaturen abzusenken und weitere Ringschlüsse einzubauen, um die Leistung zu steigern, Verluste zu minimieren und die Versorgungssicherheit zu erhöhen.

In einigen Punkten sind bereits Investitionsentscheidungen gefallen, andere stehen noch aus: Beispielsweise gibt es schon konkrete Vorstellungen, welche Anlagen zugebaut werden sollen. Außerdem möchte eins auf Sektorenkopplung (Wärme aus Strom) setzen sowie perspektivisch eine Umstellung von Erdgas auf Wasserstoff in Betracht ziehen. Aufgrund der Bundesförderung Erneuerbare Wärmenetze (BEW) muss das



Solarspeicher der eins energie in sachsen GmbH & Co

Bild: eins

Unternehmen einige Restriktionen einhalten, z.B. dass der Anteil Biomasse max. 15 % im Jahr 2045 betragen und auch Wasserstoff nur eingeschränkt zur Erzeugung eingesetzt werden darf.

Gesucht wird nun der beste Weg, die ehrgeizigen Ziele möglichst wirtschaftlich umzusetzen und die Investitionen in den Klimaschutz abzusichern. Konkret möchten die Entscheider u.a. folgende Fragen beantworten:

- Wie erreichen wir optimal 30 % erneuerbare Wärme bis 2030?
- Sind die neuen Erzeuger nachhaltig?
- Was ist der optimale Anteil an KWK-Anlagen im Fernwärmesystem?
- Besser auf Kompressions- oder Absorptionskältemaschinen setzen?

Hinsichtlich der Entwicklung von Preisen und Wärmelasten gibt es bei eins mehrere unterschiedliche Szenarien, die die möglichen Transformationspfade maßgeblich beeinflussen.

Den optimalen Pfad mit hoher Sicherheit zu finden, ist für Entscheider schwierig bis unmöglich. Ohne Software-Unterstützung wären die Größe und Komplexität des Fernwärmesystems und Erzeugungsparks, die Vielzahl an technischen, vertraglichen und legislativen Restriktionen, der lange Betrachtungszeitraum und die Menge an zu berücksichtigenden Daten nicht handhabbar. Insbesondere die Wechselwirkungen der Anlagen untereinander sowie der Einsatz von Speichern erhöhen die Komplexität.

Modellgestützter Vergleich von Technologieoptionen und Transformationspfaden

Um zu eruieren und analysieren, wie eine klimaneutrale Fernwärmeerzeugung bis 2045 gelingen kann, und mögliche Transformationspfade durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen auf Basis von Daten und modellbasierten Berechnungen zu bewerten, holte eins sich Software-Unterstützung beim IT-Anbieter KISTERS, der solche strategischen Langfriststudien bereits häufiger unterstützt hat – nicht nur für Fernwärme, sondern auch für weitere Commodities inklusive Sektorenkopplung. Mit der KISTERS Optimierungslösung BelVis ResOpt lassen sich die Kosten der anvisierten Transformations- und Ausbaumöglichkeiten mit einem mathematischen Modell bestimmen und dabei eine Vielzahl von technischen, ökonomischen, wettbewerblichen und regulatorischen Randbedingungen berücksichtigen. eins erhält damit eine datenbasierte Entscheidungshilfe, um in der Vielzahl an Möglichkeiten und Restriktionen die langfristig beste Lösung für den Erzeugungspark und das Fernwärmesystem zu finden. Diese software-gestützte Berechnung und anschließende Bewertung hilft, Investitionen auf eine solide Basis zu stellen.

Bei eins ist BelVis ResOpt bereits seit mehreren Jahren im Einsatz, um den vorhandenen Anlagenpark zur Wärmeerzeugung kostenoptimal zu planen. ResOpt unterstützt die Day-Ahead-Planung bei der Erstellung der Gebote für die Bereitstellung von Regelenergie (sekundär und tertiär) und die Day-Ahead-Auktion. Dabei werden jeweils die Geschäfte jeder Handelsaktivität in der nächsten Vermarktungsstufe berücksichtigt. Die abschließende Day-Ahead-Fahrplanberechnung lastet die Anlagen kostenoptimal gemäß der Handelsergebnisse aus und bildet die Basis für die Intraday-Vermarktung. Zur Unterstützung des Intraday-Handels berücksichtigt die IT-Lösung Prognoseänderungen des Wärmeabsatzes sowie aktuelle Anlagenverfügbarkeiten. In Kürze soll sie zusätzlich den Redispatch-Prozess bei eins unterstützen.

Durch positive wirtschaftliche und betriebliche Effekte hat sich das Vertrauen in die vom Optimierungssystem vorgeschlagenen Aktio-



nen und Strategien gefestigt. „Für uns war es naheliegend, das KISTERS-Tool auch zur langfristigen Planung unseres Fernwärmesystems und Erzeugungsparks einzusetzen, da wir es als Entscheidungshilfe im Handel sehr zu schätzen wissen, und weil wir die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von KISTERS als sehr kompetent und hilfsbereit kennengelernt haben“, so Babette Peter, Mitarbeiterin in der Strategieabteilung der Erzeugung bei eins. „Insbesondere weil Wärmerestriktionen in ResOpt berücksichtigt sind, sind die Berechnungen der tatsächlich vermarkteten elektrischen Leistung sehr genau.“ Hilfreich ist zusätzlich, dass die Prozesse in ResOpt weitestgehend automatisiert sind, so dass viele manuelle Arbeiten inzwischen entfallen.

Realitätsnahes Modell als Berechnungsbasis

Zunächst haben die Optimierungsexperten von eins und KISTERS gemeinsam aus dem bereits in BelVis ResOpt vorhandenen mathematischen Modell ein vereinfachtes Modell abgeleitet, das für die bestehenden Anlagen (Heizwerke, BHKW- und PtH-Anlagen) sowie für die beiden Wärmespeicher nur noch die für die Langfristplanung relevanten Details enthält. Anschließend wurde das Anlagen-

portfolio um alle möglichen zukünftigen Technologien, beispielsweise Holzheizkraftwerk, Holzheizwerk, Biogas (falls ausreichend verfügbar), Solarthermie, Gasturbinen, Abfallheizkraftwerk, Wärmepumpen mit unterschiedlichen Wärmequellen (u.a. Flusswasser, Kläranlagenablaufwasser, Abwärme, Luft) und Wärmespeicher, inklusive ihrer Verteilung auf acht Standorte, ergänzt. Neben dem Wärmenetz ist im Modell auch ein Kältenetz mit Kompressions- und Absorptionskältemaschinen sowie einem Kältespeicher eingebaut.

Damit ermöglicht das angelegte Modell den Verantwortlichen größtmögliche Flexibilität beim Durchspielen unterschiedlicher Zukunftsszenarien und die Beantwortung vieler „Was wäre, wenn ...?“-Fragen. Sie können alle Kombinationen an Technologien und Standorten berechnen, auch für mögliche zukünftige Szenarien, z.B. „Was wäre, wenn wir in 2045 nur noch Wasserstoff als Brennstoff für die Motoren, Gasturbine, Heizwerke einsetzen würden?“

In das Modell gehen sämtliche variable Kosten und Erlöse für die in den Transformationspfaden vorgesehenen Technologien ein. Auch sich dynamisch ändernde externe Restriktionen (technisch, vertraglich, gesetzlich, ökonomisch) werden im Modell berücksichtigt, darunter u.a. Preise für Brennstoffe, CO₂, Strom, Gas, Wasserstoff, Holz sowie die Netzentgelte (abhängig von Betriebsstunden), Umgebungs- und Wassertemperaturen für Wärmepumpen, maximale Kapazität von Rohrverbindungen, Prognosen von Einspeisern (Solarthermie, industrielle Abwärme, Prognosen für Klärschlamm), Wärmebezugsverträge und vieles mehr. Beispielsweise sind bei den Flusswasserwärmepumpen strikte Bedingungen eingebaut, um die Ökologie des Flusses nicht zu beeinträchtigen: Das Flusswasser darf nicht um mehr als 3 °C abgekühlt werden, und wenn die Flusswassertemperatur bereits weniger als 3 °C beträgt, ist überhaupt keine Abkühlung erlaubt.

Beim Aufbau des Modells konnten sich die Verantwortlichen aus dem ResOpt-Baukasten bedienen, der standardmäßig viele fernwärmespezifische Makrokomponenten enthält, die man in der grafischen Oberfläche schnell und einfach zusammenfügen und konfigurieren kann, d.h. allen Komponen-

ten ihre spezifischen Eigenschaften zuweisen. Über Verfügbarkeiten lassen sich die Anlagen im Modell an- und abschalten, so dass man mit ein- und demselben Modell unterschiedliche Anlagenkombinationen in den einzelnen Stützjahren berechnen und auch den zeitlich über die Jahre erfolgenden Zubau darstellen kann. Verschiedene Preis- und Wärmeszenarien lassen sich durch das Einspielen entsprechender Zeitreihendaten abbilden.

Szenarienrechnungen und detaillierte Ergebnisse

Basierend auf dem detaillierten Modell berechnen die Verantwortlichen von eins nun Referenzszenarien für die Ausbaujahre 2030, 2035, 2040 und 2045 und lassen sich die Ergebnisse pro Jahr sehr detailliert im Stundenraster anzeigen, und zwar:

- Stromerzeugung und -bezug,
- Wärmeerzeugung,
- CO₂-Mengen,
- Kosten,
- spezifische Wärmeerzeugungskosten,
- Anteil der erneuerbaren Wärmeerzeugung und
- Deckungsbeitrag.

Die eins-Mitarbeiter können die Szenarien selbst nach ihren Wünschen anpassen und aus den Berechnungsergebnissen Aussagen zur Machbarkeit der Transformationspfade ableiten. Eine Unterstützung durch KISTERS zur Erstellung und Konfiguration neuer Szenarien ist nicht erforderlich. An den Ergebnissen erkennen die Mitarbeiter u.a., welche Auswirkungen der Einsatz neuer Technologien hat, wo Abhängigkeiten bestehen, zu welcher Jahresperiode welcher Typ Anlage eingesetzt werden sollte, welche Anlagen der Chemnitzer Infrastrukturdienstleister braucht, um die Spitzenlast im Winter decken zu können, welchen Einfluss die Größe eines Speichers auf die Wahl der Anlagen hat – und nicht zuletzt welche Investitionen Sinn machen. Da man anhand der Optimierungssimulation Aussagen über die Benutzungsstunden der Anlagen treffen und dann die Investitionskosten auf die Vollbenutzungsstunden umrechnen kann, erhält man vergleichbare Aussagen zu den einzelnen Anlagen als spezifische Kosten (€/MWh) in einem Jahr.

Die für jedes Jahr zu lösende Optimierungsaufgabe ist umfangreich und komplex: Der lange Betrachtungszeitraum, die Vielzahl an Technologien und Randbedingungen, der gewünschte Detaillierungsgrad der Ergebnisse sowie insbesondere der Einsatz von Speichern machen die Berechnungen aufwändig. Denn Speicher koppeln mehrere Zeitschritte und sorgen für neue Abhängigkeiten, die es abbilden und zu berechnen gilt. Folglich beträgt die Rechenzeit für ein Ausbaujahr bei eins einige wenige Stunden (< 3 h).

BelVis ResOpt verfügt über intelligente Aggregationsalgorithmen, die die Rechenzeit signifikant von mehreren Stunden auf wenige Minuten reduzieren, ohne zu viel an Genauigkeit einzubüßen. Es liegt natürlich im Ermessen des Anwenders, ob er diese Algorithmen einsetzt oder lieber etwas länger auf das präzisere Ergebnis wartet. Im Tool lässt sich definieren, wie hoch die Einbuße an Genauigkeit sein darf.

Schlussfolgerungen für die Transformation des Fernwärmesystems

Zur Langfristplanung des Fernwärmesystems hat eins zunächst mit Hilfe von BelVis ResOpt für bestimmte Szenarien und Jahre die Deckungsbeiträge berechnet und davon interessante Zubauoptionen abgeleitet. Darauf basierend werden die Verantwortlichen den optimalen Transformationspfad wählen und konkrete Handlungsvorschläge und Aktionen ableiten. Zur Detailbetrachtung wird die Netobarwertmethode herangezogen, um die Gesamtwirtschaftlichkeit aus Investitions- und Betriebskosten zu erfassen und zu bewerten.

Aus den Berechnungsergebnissen konnten die Verantwortlichen bei eins einige wesentliche Erkenntnisse für einen wirtschaftlichen Ausbau und die Transformation ziehen: So konnten sie beispielsweise klar erkennen, dass die Strompreisprognose den größten Einfluss auf die Ergebnisse hat und somit entscheidend für die Bewertung der Szenarien ist. Die Sensitivität wird durch die Berechnung mit unterschiedlichen Preisszenarien ermittelt. Zusätzlich hat sich herausgestellt, dass in puncto Kälteerzeugung Absorption weiterhin wirtschaftlich ist. Für die aktuelle Planung bis 2030 haben die Ergebnisse gezeigt, dass der Zubau zweier Wärmepumpen

mit einer Kapazität von jeweils ca. 40 MW und eines Holzheizkraftwerks wirtschaftlich Sinn machen. Auch Auswirkungen auf den Stromhandel lassen sich mit BelVis ResOpt aufdecken, so zum Beispiel, ob und wie stark man bei eins die langfristige Beschaffung reduzieren kann – vorausgesetzt, dass man dies mit einem entsprechenden Risikomanagement absichert.

Ausblick

Folglich planen die Verantwortlichen bei eins, BelVis ResOpt zusätzlich stärker für die Mittelfristplanung hinsichtlich der Beschaffung für die nächsten fünf Jahre einzusetzen. Darüber hinaus wird es bald das bisherige Optimierungssystem zur Langfristplanung unternehmensweit ersetzen und dann auch die mittelfristige Beschaffung unterstützen. In der Lösung selbst soll das Modell dahingehend weiterentwickelt werden, dass mehrere Varianten in einer einzigen Rechnung berechnet werden können und folglich weniger Einzelrechnungen angestoßen werden müssen (Stapelverarbeitung), beispielsweise zur Dimensionierung von (potenziellen) Anlagen. Prinzipiell ist diese Funktionalität bereits in ResOpt vorhanden; es bedarf lediglich noch einiger Anpassungen des Modells bei eins.

Insgesamt erhalten Fernwärmebetreiber wie die eins energie in sachsen GmbH & Co. KG durch den Einsatz von Optimierungssystemen einen datenbasierten Einblick in die Zukunft ihres Fernwärmesystems, aussagekräftige Analysen und Entscheidungshilfen zur Bewertung möglicher Transformationspfade und eine solide Basis für ihre Investitionen.

Solche mathematischen Systeme werden heute ohnehin schon von fast allen Betreibern zur täglichen Einsatzplanung verwendet. Basierend auf dem gleichen System kann beispielsweise die Berechnung von Transformationspfaden mit definierten Zielen zur Emissionsreduktion pro Jahr, sogar mit gewichteten Zielen für Kosten und CO₂ (multikriterielle Optimierung, Pareto-Front), durchgeführt werden.

Dr. U. Drescher, Projektingenieur Stabsabteilung Energieprojekte, eins energie GmbH, Chemnitz; A. Beckers, Leiterin Marketing, KISTERS AG, Aachen
Kontakt: astrid.beckers@kisters.de