

# **LowEx-Fernwärme - Absenkung der Netztemperatur zur Verbesserung der**

## **Einsatzchancen regenerativer Energien**

Dr.-Ing. Karin Rühling; Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann; Dr.-Ing. Stefan Gnüchtel,  
Dipl.-Ing. Martin Rhein; Dipl.-Ing. Steffen Robbi; Dipl.-Math. Sebastian Groß

Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik  
Professur für Energiesystemtechnik und Wärmewirtschaft; 01062 Dresden

Tel.: +49 (0) 351/ 463 – 32145; Fax.: +49 (0) 351/ 463 – 37076

E-Mail: [ensys@metrs1.mw.tu-dresden.de](mailto:ensys@metrs1.mw.tu-dresden.de)

Internet: <http://tu-dresden.de/mw/iet/ew>

### **Einführung**

Die im Sinne der Ressourcenschonung zeitparallel notwendige, signifikante Steigerung der Anteile von Solarthermie und Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an der Energieversorgung ist zwingend an die gemeinsame Nutzung von Fernwärmenetzen sowie deren Um-, Aus- und Neubau gekoppelt. Die Wahl des Exergieniveaus der Netze in Auslegungsfall und Jahresgang stellt dabei ein komplexes Optimierungsproblem dar, das eine geschlossene Betrachtung der Kette WÄRMEERZEUGUNG - WÄRMEVERTEILUNG – WÄRMEÜBERGABE – WÄRMENUTZER erfordert, in der die Bauhülle im Sinne der Entscheidungsfindung zentrale oder dezentrale Erzeugung als flexible Bilanzgrenze einzuordnen ist.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „LowEx-Fernwärme: Multilevel District Heating“ (MDH)<sup>1</sup> wurden dazu folgende Teilthemen bearbeitet.

TT 1: Komplexanalyse Low Temperature & CHP

TT 2: Multifunktionale Fernwärmesysteme

TT 3: Einfluss sinkender Vorlauftemperaturen auf die Gebäudetechnik

TT 4: Software zur Verbesserung der Einsatzchancen von Fernwärmesystemen

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf Fernwärmesysteme mit mindestens einer erdgasbasierten KWK-Anlage. Neben Fragen, die spezielle technologische Lösungen erfordern, kann man den Einfluss der Verringerung der Vor- und ggf. Rücklauftemperatur in Fernwärmesystemen in mindestens vier Kategorien einteilen.

---

<sup>1</sup> Forschungsvorhaben gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages; FKZ: 0327400B

- Wärmeverluste
- Effizienz von KWK, Solarthermie/ anderen regenerativen Energiequellen
- Energiebedarf für die Netzumwälzung
- Flexibilität bei kurz-, mittel- und langfristigen Änderungen der Wärmeabnahme

Auf der Hand liegen der in jedem Fall positive Beitrag zur Verringerung der Wärmeverluste der Heiznetze und ein positiver Effekt zur Steigerung des Nutzungsgrades von Solarthermie-Anlagen. Alle anderen Effekte sind komplex zu betrachten.

## Bilanzgrenzen und Bewertungsmethoden

Da die Wärmeversorgung immer innerhalb eines lokal begrenzten Gebietes erfolgt, ist deren Bilanzgrenze eindeutig durch das hydraulische Fernwärmeverbundsystem definiert (DIN V 18599-1). Auf Grund des freien Stromhandels muss die Bilanzgrenze Stromerzeugung/Stromverbrauch jedoch differenziert betrachtet werden (s. a. Bild 1):

- *Bilanzgrenze I:* Schnittstelle Kraftwerksgrenze  
Es werden nur kraftwerksinterne Vorgänge betrachtet und das Fernwärmenetz wird nicht berücksichtigt.
- *Bilanzgrenze II:* Fernwärmesystem  
Der Hilfsenergiebedarf aller Komponenten innerhalb des Fernwärmesystems wird berücksichtigt.
- *Bilanzgrenze III:* Bilanzschließendes Kondensations-Kraftwerk  
Bei der Bewertung der Verdrängung von Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) wird das bilanzschließende Kondensationskraftwerk inbegriffen.

Zu berücksichtigende Systemgrößen innerhalb der Bilanzgrenze sind der Primärenergiebedarf und die Umwandlungsprodukte elektrische und thermische Energie in Form von Strom und Wärme. Dies beinhaltet Strom- und Wärmeverluste sowie den Hilfsenergiebedarf sämtlicher Komponenten.

Die verwendeten Bewertungsmodelle sind:

- Energetische (kalorische) Bewertung
- Exergetische Bewertung
- Berechnung des Primärenergiefaktors nach DIN V 18599
- Vergleich von KWK gegenüber getrennter Erzeugung von Strom und Wärme

Die CO<sub>2</sub>-Bewertungen der Kraftwerksprozesse werden anhand der Gesamtemissionen, d. h. in Bezug auf die CO<sub>2</sub>-Emission des benötigten Brennstoffes, vorgenommen.

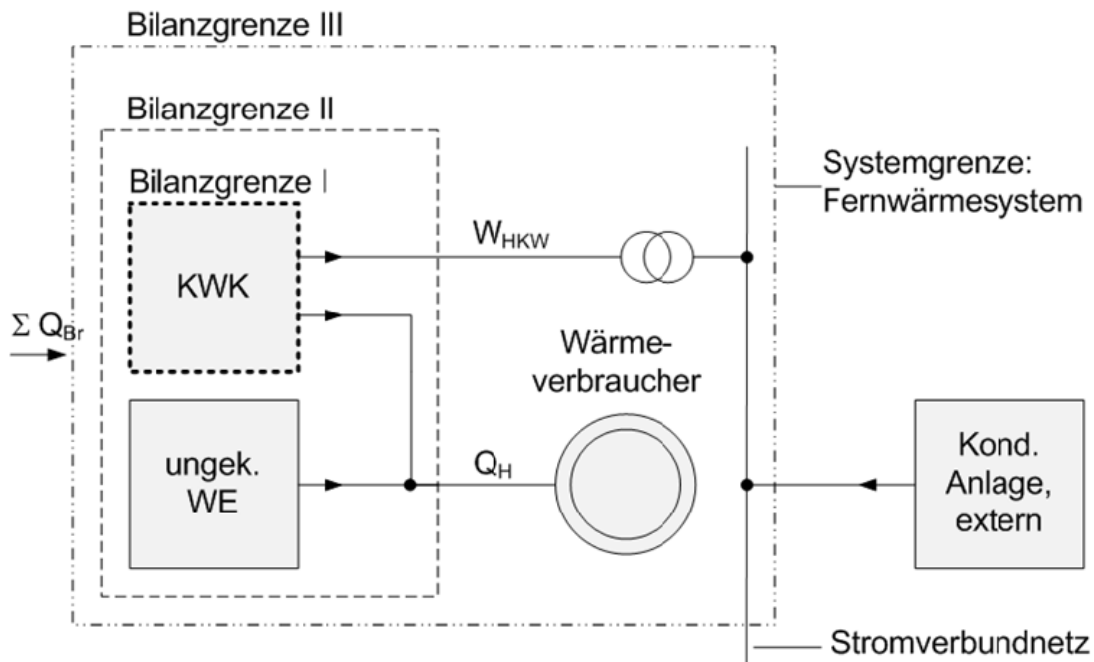


Bild 1 Bilanzgrenzen der LowEx-MDH-Untersuchungen

(ungek. WE – ungekoppelte Wärmeerzeuger;  $\Sigma Q_{Br}$  – Summe Brennstoffbedarf)

## TT 1 - Komplexanalyse Low Temperature & CHP

Mit Hilfe des Kraftwerkssimulationstool EBSILONProfessional<sup>®</sup> können thermodynamisch korrekt KWK-Kraftwerksprozesse (Bilanzgrenze I) abgebildet und analysiert werden. Die Quantifizierung des Einflusses auf Wärmeauskopplung und Stromerzeugung erfolgte für Anlagen mit Dampfturbinen (Gegendruck- und Entnahmegegendruck-Heizkraftwerke), Entnahmekondensations-Heizkraftwerke, Kombiprozess (GuD-Anlagen), Gasturbinen und verbrennungsmotorische BHKW sowie Mikro-KWK-Anlagen. Die erzielten Ergebnisse konnten anhand früher Veröffentlichungen /ASUE 01/ bzw. /JOHÄNNTGEN 97/ verifiziert werden.

Zur komplexen Betrachtung der Wirkungen von Rückbau (Sanierung, Wegfall von Abnehmern), Optimierung sowie Aus- und Neubau von Fernwärmesystemen auf die KWK-Erzeugung (elektrische Leistung  $P_{el}$ , Brennstoffbedarf  $\dot{Q}_{BS}$ , elektrischen und Gesamtwirkungsgrad) sind ausgehend von einer Referenzauslegung für das Fernwärmesystem Massestrom  $\dot{m}_{HN}$ , Vorlauftemperatur  $t_V$  und Rücklauftemperatur  $t_R$  einzeln bzw. in Kombination zu variieren.

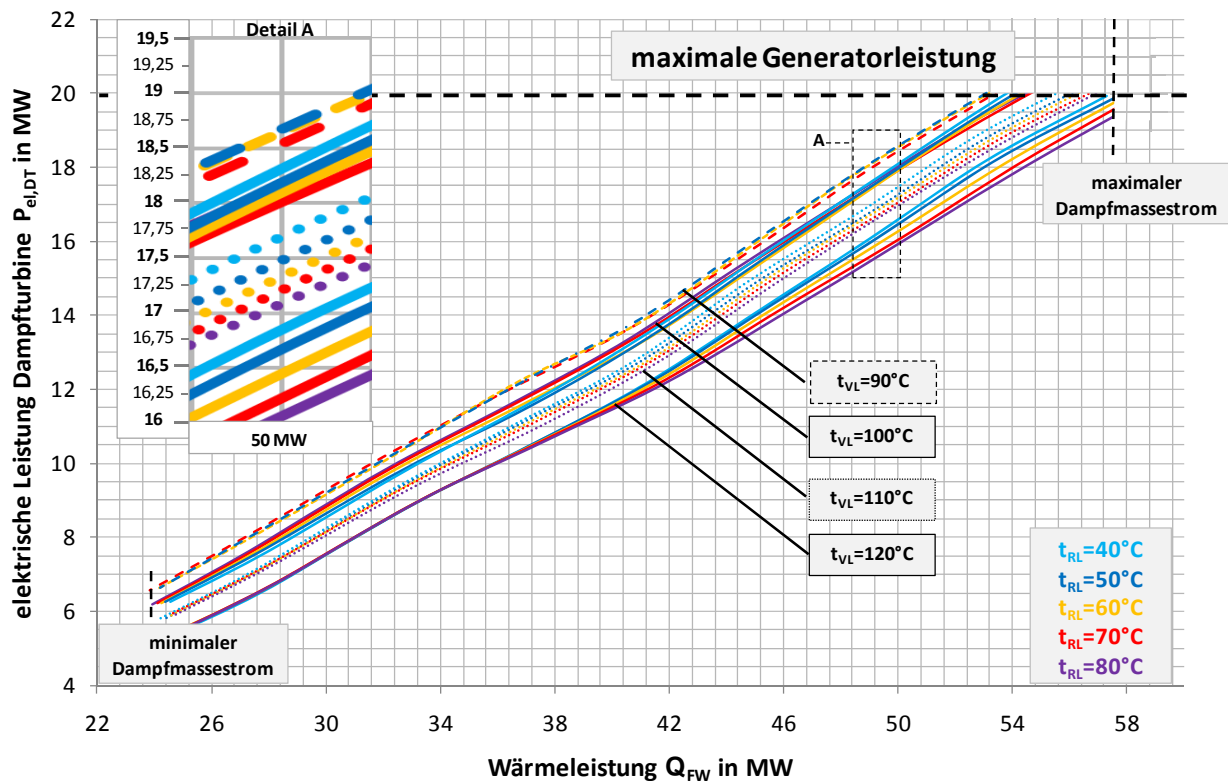


Bild 2 P-Q-Diagramm einer GuD-Anlage

Beispielhaft seien die Wirkungen anhand des so erstellten P-Q-Diagramms einer GuD-Anlage ausgehend von  $\dot{Q}_{FW} = 50 \text{ MW}$  ( $t_v/t_R = 120/60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $P_{el} = 16,5 \text{ MW}$ ) diskutiert (Bild 2).

- Aus Variation von  $t_v/t_R$  für  $\dot{Q}_{FW} = 50 \text{ MW}$  resultiert ein  $\Delta P_{el} \leq +14 \%$  (2,25 MW)
- Ersetzt man z. B. solarthermisch 0,5 MW, so werden gleichzeitig mindestens 0,25 MW<sub>el</sub> (bei Rücklaufanhebung bis zu 0,05 MW mehr) in die ungekoppelte Stromerzeugung verdrängt.
- Mit abnehmender Wärmeauskopplung aus dem GuD bzw. im ohnehin eintretenden sommerlichen Teillastfall tendiert der Einfluss von  $t_R$  gegen Null und nur noch  $t_v$  ist relevant. ( $\dot{Q}_{FW} = 30 \text{ MW}$ ;  $\Delta P_{el} \leq +23 \%$   $\cong 1,75 \text{ MW}$ ). Ersetzt man jetzt 0,5 MW solarthermisch, so ist  $\Delta P_{el}$  unabhängig davon, ob die Einspeisung in den Vorlauf erfolgt oder eine Rücklaufanhebung stattfindet.

Die vorgenannten Effekte einer erhöhten Stromproduktion durch LowEx-Fahrweise sind grundsätzlich für Erzeugeranlagen mit Dampfturbinen zutreffen (s. a. Bild 3), sodass primärenergetische Freiheitsgrade für Hilfsprozesse zur Anhebung des Exergieniveaus beim Kunden (Wärmepumpen, elektrische Nachheizung) oder erhöhten Pumpstrombedarf im FW-Netz bestehen. Für Gasturbinen und motorische BHKW trifft dies nicht zu.

Variante	Beispiel	$m_{\text{Heiznetz}}$	$Q_{\text{HN}}$	$P_{\text{el}}$	$Q_{\text{Brennstoff}}$	$\eta_{\text{el}}$	$\eta_{\text{ges}}$
<b>Gegendruckturbine</b>							
Vorlauftemperaturabsenkung	Rückbau	konstant	↓	↓	↓	↑	↓
	Thermische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
Rücklauftemperaturabsenkung	Ausbau	konstant	↑	↑	↑	↑	→
	Hydraulische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
<b>Entnahme-Gegendruckturbine</b>							
Vorlauftemperaturabsenkung	Rückbau	konstant	↓	↓	↓	↑	↓
	Thermische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
Rücklauftemperaturabsenkung	Ausbau	konstant	↑	↑	↑	↑	→
	Hydraulische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
<b>Kondensationsturbine</b>							
Vorlauftemperaturabsenkung	Rückbau	konstant	↓	↑	→	↑	↑
	Thermische Optimierung	variabel	⇔	↑	→	↑	↑
Rücklauftemperaturabsenkung	Ausbau	konstant	↑	↑	↑	↑	→
	Hydraulische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
<b>Gasturbine</b>							
Vorlauftemperaturabsenkung	Rückbau	konstant	↓	→	→	→	↓
	Thermische Optimierung	variabel	⇔	→	→	→	→
Rücklauftemperaturabsenkung	Ausbau	konstant	↑	→	→	→	↑
	Hydraulische Optimierung	variabel	⇔	→	→	→	→
<b>Gas- und Dampfturbine</b>							
Vorlauftemperaturabsenkung	Rückbau	konstant	↓	↓	↓	↑	↓
	Thermische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑
Rücklauftemperaturabsenkung	Ausbau	konstant	↑	↑	↑	↑	→
	Hydraulische Optimierung	variabel	⇔	↑	↑	↑	↑

**Legende:**

- ↑ steigend
- ↓ fallend
- ⇔ konstant
- negativ
- konstant
- positiv

Bild 3 Einfluss des Fernwärme-Exergieniveaus auf ausgewählte KWK-Anlagen

## TT 2 - Multifunktionale Fernwärmesysteme

Unter dem Oberbegriff „Multifunktionale Fernwärmesysteme“ wird der LowEx-Gedanke im eigentlichen Sinne aufgegriffen.

Kundenseitig werden LowEx-Raumheizungen vorausgesetzt, sodass das Temperaturniveau der Trinkwassererwärmung das Exergieniveau im Fernwärmenetz bestimmt. LowEx-Fernwärme heißt dann auch, dass die Trinkwassererwärmung (TWE) nicht in allen Lastfällen durch das Fernwärmesystem sichergestellt ist. Vielmehr werden die FW- Vorlauftemperaturen ganzjährig oder teilweise soweit gesenkt, dass elektrische Nachheizung bzw. Wärmepumpeneinsatz für die TWE erforderlich sind.

Sind die sommerlichen Netztemperaturen niedrig genug, so entsteht im Umkehrschluss die Möglichkeit der Wärmeentsorgung aus Kältemaschinen und der effizienteren Solarthermieeinspeisung – also die Multifunktionalität. Wärmeversorgung der

Sorptionskältemaschinen mit den bekannten hohen heizseitigen Temperaturen und geringen Spreizungen ist der Alternative Kompressionskältemaschine und Rückkühlung über LowEx Fernwärme gegenüberzustellen.

Für die detaillierte Simulation in den Bilanzgrenzen II und III war das Programm TRSNYS-TUD hinsichtlich der Anwendung auf Fernwärmesysteme zu erweitern und um alle notwendigen Komponenten, wie z.B. LowEx-Hausanschlussstationen, Rücklaufanschlüsse, Wärmepumpen/Kältemaschinen, etc. zu ergänzen (Modul „LowEx Netz“). Bild 4 charakterisiert die Variationsbreite der Fahrweisen.

### Wärmepumpeneinsatz in der Fernwärme

Für eine fixierte Strahlen-netzstruktur und bekannte Wärme- und Trinkwarmwasserbedarfswerte wurden die Art der TWE und der Typ der KWK-Anlage variiert. Referenzvariante ist die konventionelle Fahrweise bei TWE im Speicherladeprinzip (SL 80-65).

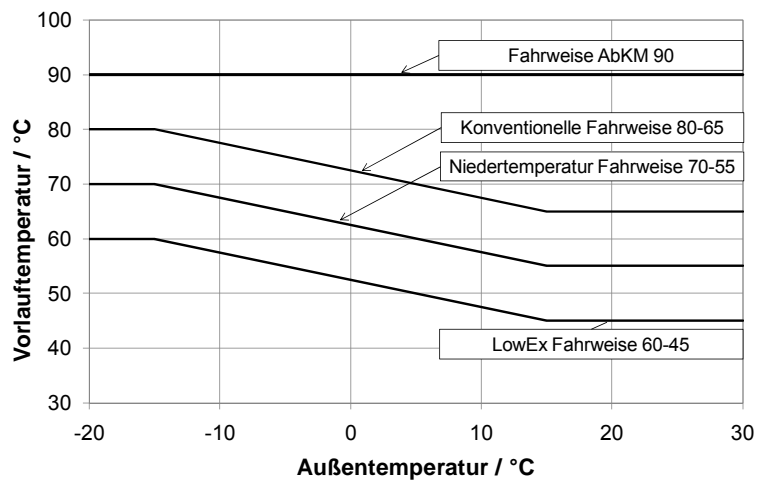


Bild 4 Fahrkurven Fernwärme - Vorlauftemperatur

Der Einsatz von Wärmepumpen zur dezentralen Nacherhitzung in der TWE bei unzureichend hohen  $t_v$  ermöglicht nach Bild 5 dann signifikante primärenergetische Verbesserungen gegenüber einer konventionellen Betriebsweise, wenn die sinkenden Netztemperaturen Effizienzsteigerungen in der KWK bewirken, wie dies bei Dampfturbinen-HKW der Fall ist.

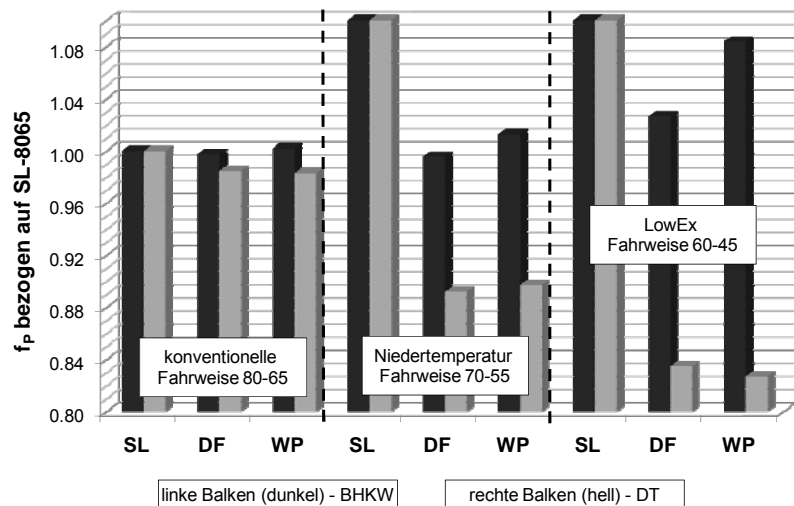


Bild 5 Vergleich der normierten Primärenergiefaktoren  $f_p$

TWE: SL..Speicherladesystem zentral, DF..Durchflusssystem dezentral, WP.. Speicherladesystem zentral und Wärmepumpe

KWK: BHKW..Blockheizkraftwerk, DT..Gegendruck-Dampfturbine,

Im gewählten Beispiel ergeben sich bei elektrischer Nachheizung für die DF-Varianten Primärenergieeinsparungen in gleicher Größenordnung.

Da der Übergang zur LowEx-Fahrweise die elektrische BHKW-Effizienz nicht beeinflusst, bewirken die elektrischen Anteile der TWE immer steigende  $f_p$ . Das Sinken der Netzwärmeverluste auf Grund sinkender Einspeisetemperaturen rechtfertigt somit die dezentrale Nacherhitzung aus energetischer Sicht nicht. Nur die Variante DF (dezentr. Durchflussprinzip der TWE) bei der Niedertemperaturfahrweise, die ohne elektrische Nachheizung auskommt, führt zu leicht sinkendem  $f_p$ .

### KWK und Solarthermie

Neue Sichten auf das Thema „KWK und Solarthermie – Pro oder Kontra“ ergeben sich nicht zuletzt durch den dezentralen KWK-Ausbau. Die jahresmittleren elektrischen Wirkungsgrade  $\eta_{el,TL,m}$  der Erzeuger fallen dort oft geringer aus als in zentraler Hocheffizienztechnologie (Bauart und –größe; intermittierende Betriebsweise). Jedoch sind in den letzten Jahren die elektrischen Nutzungsgrade der bilanzschließenden Kondensations-Kraftwerke auf gegenwärtig  $\eta_{el,KondKW} = 38\%$  angestiegen.

Die Jahressimulationen mit dem TRNSYS-TUD-Modul LowEx Netz erfolgten bspw. für ein Netz mit zentraler KWK-Anlage und zunehmenden Anteilen solarthermischer Einspeisung für konventionelle sowie LowEx-Fahrweise und unter Annahme der Trinkwassererwärmung im Durchflussprinzip.

Wie Bild 6 zeigt, wirkt die Verdrängung von KWK mit  $\eta_{el,TL,m} < \eta_{el,KondKW} = 0,38$  durch Solarthermie mit  $f_p = 0$  bzgl. relativem Brennstoffbedarf im Sinne einer echten Primärenergieeinsparung.

Anders bei der KWK-Anlage mit  $\eta_{el,TL,m} = 0,4$ . Durch die Verdrängung in die ineffizienteren Kondensations-Kraftwerke steigt der relative Brennstoffbedarf.

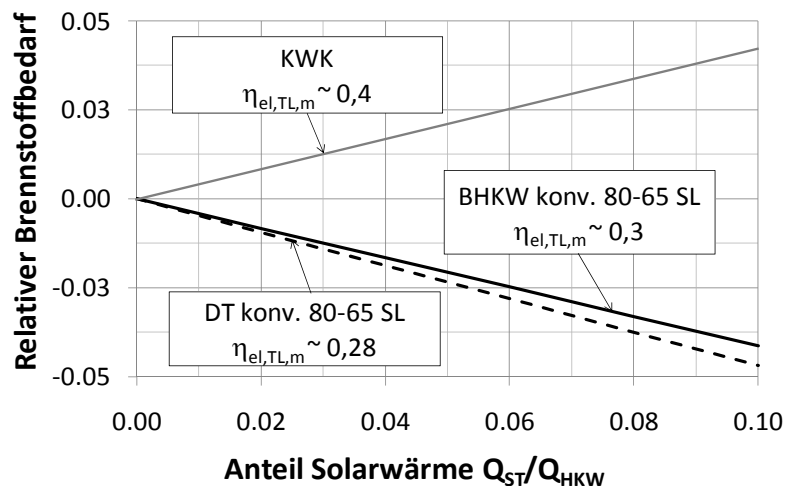


Bild 6 Rel. Brennstoffbedarf bei solarer Nahwärme mit KWK für unterschiedliche KWK-Jahresnutzungsgrade

Vergleicht man für die Varianten mit echter Brennstoffeinsparung die Primärenergiefaktoren für LowEx- und konventionelle Fahrweise, so steigt für BHKW der Primärenergiefaktor sogar an, da bei LowEx-Fahrweise  $W_{el,BHKW}$  nicht erhöht wird, jedoch Strombezug für die TWE über Wärmepumpe erforderlich ist (Bild 7).

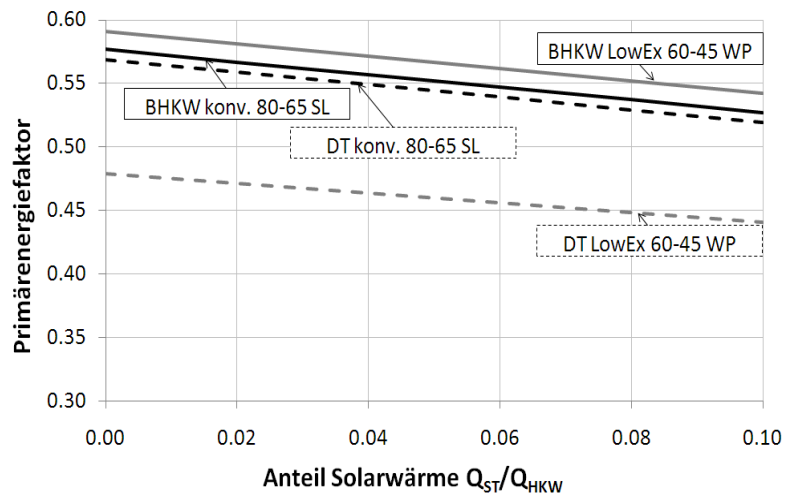


Bild 7 Primärenergiefaktor bei solarer Nahwärme mit KWK für konventionelle und LowEx-Fahrweise

Hingegen überkompensiert die durch LowEx-Fahrweise erhöhte Stromerzeugung der Dampfturbinen-KWK den Bedarf der Wärmepumpen für die Trinkwassererwärmung, sodass der Primärenergiefaktor bei 10 % Solaranteil sogar um 0,8 sinkt und ein adäquater Freiraum für die Erreichung der Wirtschaftlichkeit zur Verfügung steht.

#### TT 4 - Software zur Verbesserung der Einsatzchancen von Fernwärmesystemen

Die Fernwärme- und Solarthermie-Ausbauziele sind nur über die Erschließung von Gebieten mit niedriger Wärmedichte und/oder geringer örtlicher Ausdehnung zu erreichen.

Auf Grund der Komplexität der in der Fernwärme zu berücksichtigenden Faktoren bestehen aber gerade im kleinen Leistungsbereich Vorbehalte auf der Entscheidungsebene (Kommunen, kleinere Planungsbüros). Eine Ursache ist im Fehlen geeigneter Planungshilfsmittel zu sehen, weshalb zwei vergleichsweise unkompliziert bedienbare Software-Werkzeuge entwickelt und bereitgestellt werden:

- *STEFaN<sup>2</sup>*: Netz-Optimierung für die Ausbauplanung
- *FreeOpt<sup>3</sup>*: Optimierung der Einsatzplanung von Wärme-Erzeugern

Beide kostenfrei nutzbare Windows-Programme sollen bei Neubau eine Entscheidung zugunsten der Fernwärmeversorgung unterstützen, können darüber hinaus aber auch zur Nachrechnung bestehender Systeme im operativen Betrieb eingesetzt werden. Die externen und internen Datenschnittstellen sind so gestaltet, dass sich die verwendeten Module auch für die Integration in andere Systeme eignen.

<sup>2</sup> Für: "S"oftware zur "T"rasse-"E"rschließung "F"ernwärme für "a"llgemeine freie "N"utzung"

<sup>3</sup> Für: frei („free“) nutzbare Software zur „Opt“imierung des Erzeugereinsatzes



## **STEFaN Netz-Optimierung für die Ausbauplanung**

Durch die relativ hohen Netzkosten von Fernwärmesystemen ist es (neben dem Einsatz von effektiven Verlegungs-Verfahren) erforderlich, die Netze hinsichtlich ihrer Auslegungsparameter, insbesondere der Rohr-Durchmesser und der Trassenführung, zu optimieren. Dafür wurde das Software-Werkzeug *STEFaN* zur Trassen- und Durchmesser-Optimierung geschaffen, welches über Schnittstellen zu Geografischen Informations-Systemen (GIS) verfügt und sich mit diesen ergänzt. Die Hilfe-Datei dieses Programmes enthält ausführliche Anleitungen zur seiner Bedienung und zur Projektbearbeitung, die typischerweise in den 6 unten aufgeführten und am Beispiel in Bild 8 demonstrierten Arbeitsschritt erfolgt

Als Schritt1 werden mit dem GIS Ebenen mit georeferenzierten Informationen (Knoten für Erzeuger und Abnehmer sowie Kanten für bestehende und mögliche Trassen) angelegt und in einem speziellen standardisierten Format (MIF<sup>4</sup>) exportiert. Die nichtgeografischen Daten werden im Schritt 2 durch einen externen Editor<sup>5</sup> bereit gestellt. Im Schritt 3 wird nach dem Import der vom GIS angelegten Dateien vom Programm die Netztopografie der möglichen Trassen erzeugt. Lücken bei den eingegebenen Trassen werden vom Programm zu einer vollständigen und vielfältigen Erschließung ergänzt. Diese erstellte Netztopografie kann als Schritt 4 mit dem GIS verifizieren werden.

Im Schritt 5 wird die Optimierung vom Programm durchgeführt, dabei kommen unterschiedliche mathematischen Verfahren zum Einsatz:

- a) Die klassische nichtlineare Optimierung
- b) Topologische Optimierungen zur Bestimmung von kürzesten Wegen (shortest path) und kürzesten Netzen (spanning tree)
- c) Stochastische Verfahren zur Verbesserung der Optimierungsergebnisse der Verfahren unter b): Eine spezielle Implementierung der MCM (Monte-Carlo-Methode) und eine spezielle Implementierung der EA (evolutionärer Algorithmus).

Die Ergebnisse werden im Schritt 6 durch das GIS und externe Programme ausgewertet.

---

<sup>4</sup> MapInfo Interchange Format

<sup>5</sup> Zur Zeit wird ein programminterner Editor ins Programm integriert



(mit Entnahme-Gegendruckturbinen oder Entnahme-Kondensationsturbinen), Heizwerke bzw. Kessel, solarthermische Anlagen und Wärmepumpen soll unter Vorgabe der Bedarfswerte der thermischen und ggf. der elektrischen Leistung innerhalb vorgegebener Zeitabschnitte (von Stunden bis zu einem Jahr) die kostenoptimale Fahrweise ermittelt werden, wobei Strombezugs- und Lieferverträgen und die KWK-Vergütung berücksichtigt werden und thermische Speicher eingebunden werden können.

Zur Entwicklung des Tools und für Vergleichszwecke wurden kommerzielle Software-Produkte eingesetzt: die algebraische Modellierungssprache GAMS, um das mathematische Modell kompakt zu formulieren, und der Solver CPLEX für die Lösung. Um das Softwaretool kostenfrei zu gestalten wurde nach umfangreicher Recherche Open-Source-Software<sup>6</sup> aus dem Projekt COIN-OR<sup>7</sup> (Computational Infrastructure for Operations Research) verwendet: als algebraische Modellierungssprache GMPL (GNU MathProg Language) und als Solver CBC (COIN-OR Branch and Cut).

Alle im Modell verwendeten Restriktionen (z.B. Kennlinien) sowie die Zielfunktion (Summe aller Einzelkosten) werden als (zumindest stückweise) linear angenommen. Da neben kontinuierlichen Variablen auch binäre benötigt werden, gehört das erstellte Problem in die Klasse der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung, was im Vergleich zu rein linearen Problemen erhöhte Rechenzeiten mit sich bringt. Dies bildet gegenwärtig eine Grenze für die Problemgröße (Zeitbereich und zeitliche Auflösung sowie Systemvielfalt).

Mit Hilfe mathematischer Optimierungsverfahren erfolgt durch die Minimierung der Gesamtbetriebskosten die Ermittlung des kostenoptimalen Fahrplans: Wann wird welcher Erzeuger in welcher Form eingesetzt, wie werden die Speicher gefahren und welches Volumen der Stromverträge wird genutzt. Bereits bei kleineren Erzeugerparks ist die Zahl der möglichen Betriebsweisen sehr groß, so dass die rechnergestützte Entscheidung wirtschaftliche Potentiale aufzeigen kann. FreeOpt dient daher als Entscheidungs- und Planungshilfe für bestehende oder neue Fernwärmesysteme. Bei letzteren können mit Hilfe einer zusätzlichen Investitionskostenabschätzung der Anlagen die Gesamtkosten genauer bestimmt werden. Außerdem fungieren die durch FreeOpt ermittelten minimalen Betriebskosten als Bewertungsgröße für die Fahrweise des Erzeugerparks.

---

<sup>6</sup> Deren Lizenzbedingungen GPL sind jedoch zu beachten.

<sup>7</sup> <http://www.coin-or.org/>

Derzeit befindet sich *FreeOpt* in einer ersten Testphase bei kleinen Stadtwerken. Nebenstehende Grafik zeigt recht deutlich, dass insbesondere in den Sommer- und Übergangsmonaten eine Senkung der Gesamtbetriebskosten um 1 bis 2 TEUR je Woche möglich ist.

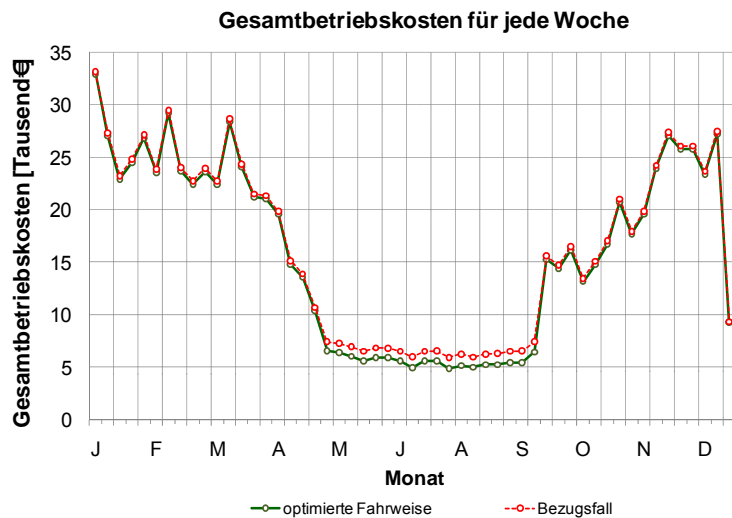


Bild 9 Vergleich der Betriebskosten (je Woche) von realisierter (rot) und optimierter Fahrweise (grün)

### Ausblick

Der vorliegende Beitrag kann nur ausgewählte Ergebnisse Forschungsvorhabens „LowEx-Fernwärme: Multilevel District Heating“ (MDH) darstellen. Der Endbericht, der auch neue Sichtweisen auf das Thema Solarthermie und KWK vermittelt, ist ab Mitte 2010 verfügbar.

### Schrifttum

- /ASUE 01/ ASUE, Optimierung von Wärmenetzen bei KWK-Anlagen, 2001
- /JOHÄNNTGEN 97/ JOHÄNNTGEN, U.: Wirkungsgraderhöhung von Dampfkraftwerken durch kühlwasserseitige Bypassschaltung zur Optimierung des Kalten Endes, VDI Forschungsberichte, 1997
- /Theeg 97/ Hartmut Theeg, Stefan Gnüchtel, und Thomas Sander. 1997. Einsatzoptimierung von Erzeuger und Speicher in Fernwärmesystemen. Euroheat & Power. 26. Jg., 1997, Heft 6.