

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

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

Einführung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „LowEx-Fernwärme: Multilevel District Heating“ (MDH)¹ 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.

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

Die Temperaturabsenkung im Fernwärmenetz bewirkt in jedem Fall eine Verringerung der Wärmeverluste und einen positiven Effekt zur Steigerung des Nutzungsgrades von Solarthermieanlagen bei Netzeinspeisung. 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

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

Stromerzeugung/Stromverbrauch jedoch, wie in Bild 1 dargestellt, differenziert betrachtet werden.

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.

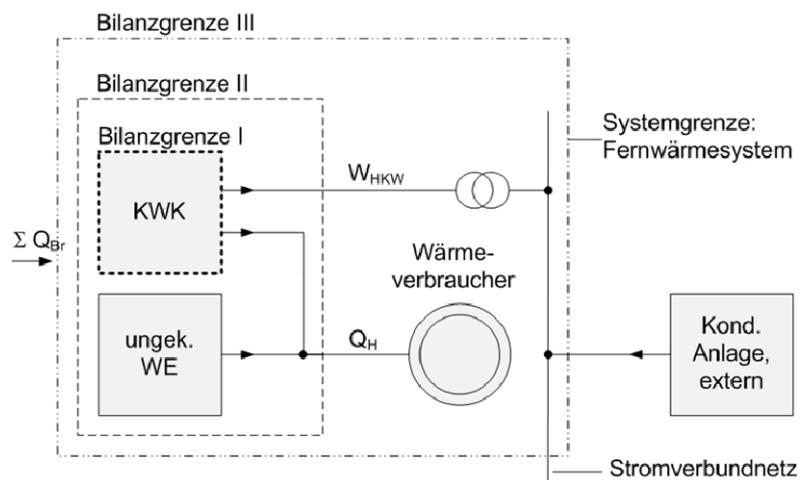


Bild 1 Bilanzgrenzen der LowEx-MDH-Untersuchungen
(ungek. WE – ungekoppelte Wärmeeinheiten; ΣQ_{Br} – Summe Brennstoffbedarf)

TT 1 - Komplexanalyse Low Temperature & CHP

Mit Hilfe des Kraftwerkssimulationstool EBSILONProfessional[®] 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.

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.

Beispielhaft werden die Wirkungen anhand des so erstellten P-Q-Diagramms einer GuD-Anlage ausgehend von $\dot{Q}_{FW} = 50 \text{ MW}$ ($t_V/t_R = 120/60 \text{ °C}$; $P_{el} = 16,5 \text{ MW}$) 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_{el} (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 ΔP_{el} unabhängig davon, ob die Einspeisung in den Vorlauf erfolgt oder eine Rücklaufanhebung stattfindet.

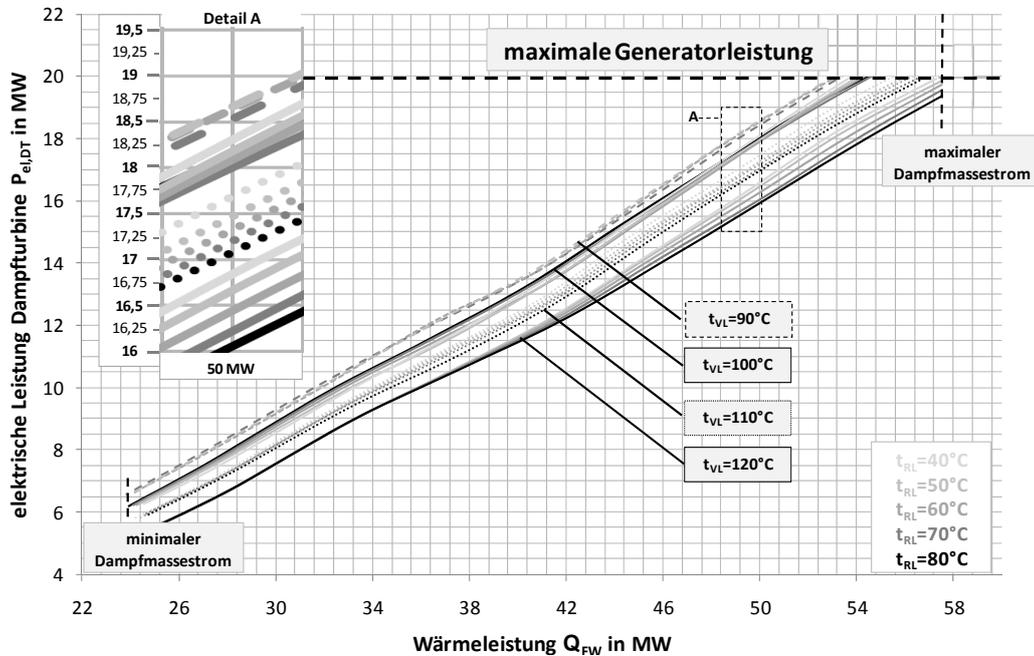


Bild 2 P-Q-Diagramm einer GuD-Anlage

Die vorgenannten Effekte einer erhöhten Stromproduktion durch LowEx-Fahrweise sind grundsätzlich für Erzeugeranlagen mit Dampfturbinen zutreffen, 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.

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 effizien-

teren Solarthermiejeeinspeisung – 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 3 charakterisiert die Variationsbreite der Fahrweisen.

Für eine fixierte Strahlennetzstruktur 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).

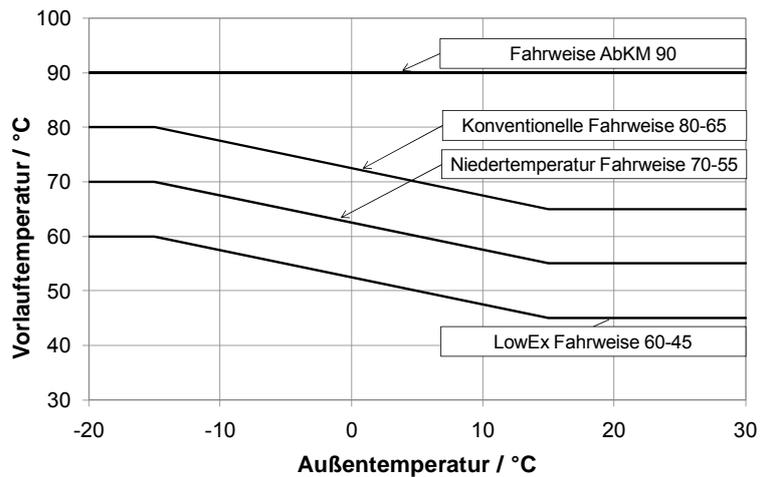


Bild 3 Fahrkurven Fernwärme - Vorlauftemperatur

Der Einsatz von Wärmepumpen zur dezentralen Nacherhitzung in der TWE bei unzureichend hohen t_v ermöglicht nach Bild 4 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.

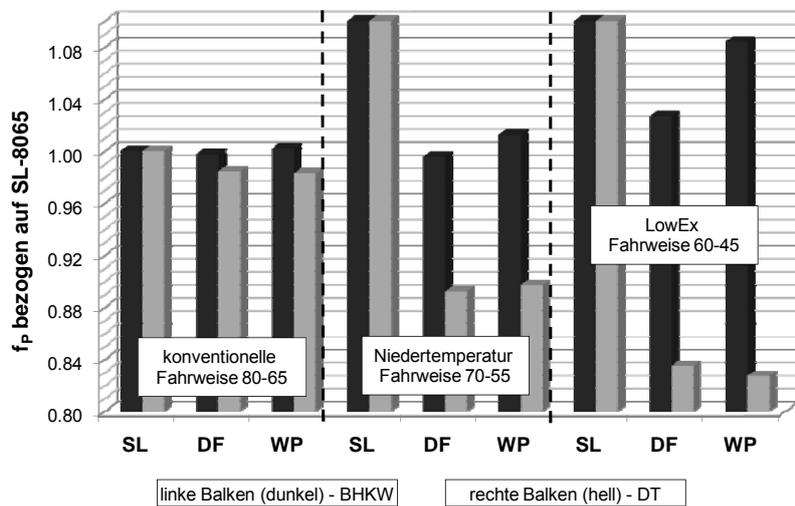


Bild 4 Vergleich der normierten Primärenergiefaktoren f_p

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 Nachheizung 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 5 zeigt, wirkt die Verdrängung von KWK mit $\eta_{el,TL,m} < \eta_{el,KondKW}$ 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.

Vergleicht man für die Varianten mit echter Brennstoffeinsparung die Primärenergiefaktoren für LowEx- und konventionelle Fahrweise (Bild 6), 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.

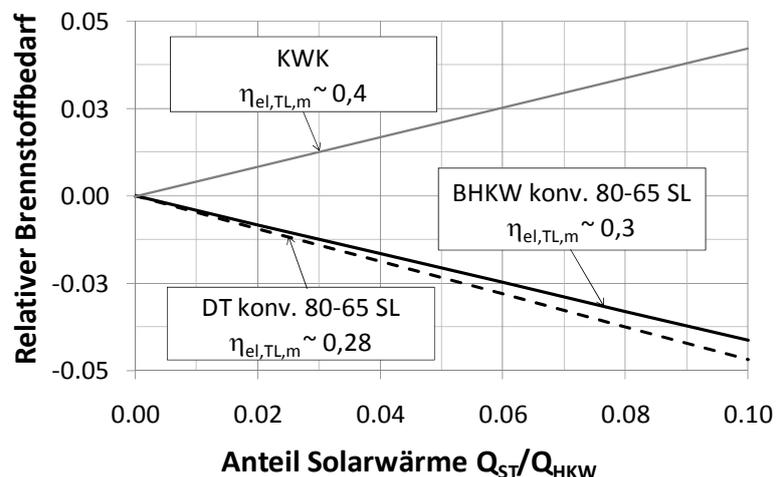


Bild 5 Rel. Brennstoffbedarf bei solarer Nahwärme mit KWK für unterschiedliche KWK-Jahresnutzungsgrade

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.

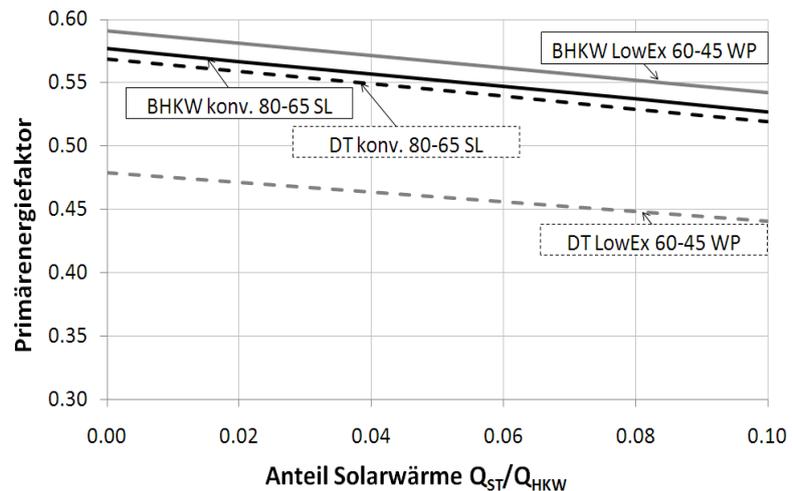


Bild 6 Primärenergiefaktor bei solarer Nahwärme mit KWK für konventionelle und LowEx-Fahrweise

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:

- *STEFaN²*: Netz-Optimierung für die Ausbauplanung
- *FreeOpt³*: 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.

Ausblick

Der vorliegende Beitrag kann nur ausgewählte Ergebnisse des Forschungsvorhabens darstellen. Der Endbericht, der auch neue Sichtweisen auf das Thema Solarthermie und KWK vermittelt, ist ab Mitte 2010 verfügbar.

² Für: "Software zur "T"rasse-"E"rschließung "F"ernwärme für"a"llgemeine freie "N"utzung"

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