



## LowEx Fernwärme

## Multilevel District Heating

- Zusammenfassung -

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann; Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Dittmann

Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang Richter

Dr.-Ing. Karin Rühling; Dr.-Ing. Stefan Gnüchtel; Dr.-Ing. Thomas Sander

Dipl.-Ing. Martin Rhein; Dipl.-Ing. (FH) Andreas Wirths

Dipl.-Ing. Steffen Robbi; Dipl.-Ing. (FH) Dominik Haas

Dipl.-Ing. Elisabeth Eckstädt

Dr.-Ing. Martin Knorr; Dipl.-Ing. Andrea Meinzenbach

Dipl.-Math. Sebastian Groß; Dipl.-Inform. Regina Rothmann

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

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>EINFÜHRUNG .....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>BEWERTUNGSMETHODEN, BILANZGRENZEN .....</b>  | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>KOMPLEXANALYSE LOW TEMPERATURE &amp; CHP /MDH 10A/ .....</b>                                   | <b>7</b>  |
| 3.1      | UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND .....   | 7         |
| 3.2      | BESCHREIBUNG DER SIMULATIONSMODELLE .....   | 9         |
| 3.3      | THERMISCHE ANALYSE VON FERNWÄRMESYSTEMEN – VEREINFACHTE BESTIMMUNG DER<br>NETZWÄRMEVERLUSTE ..... | 10        |
| 3.4      | BEWERTUNG DES STROMBEDARFS FÜR UMWÄLZPUMPEN IM FERNWÄRMESYSTEM .....                              | 13        |
| 3.5      | MODELLIERUNG DER KRAFTWERKSPROZESSE MIT EBSILON .....   | 14        |
| 3.5.1    | <i>Allgemeines</i> .....  | 14        |
| 3.5.2    | <i>Dampfturbine</i> .....   | 15        |
| 3.5.3    | <i>Gas turbine</i> .....  | 21        |
| 3.5.4    | <i>HKW mit Gas- und Dampfturbinen (GuD)</i> .....   | 22        |
| 3.5.5    | <i>DREGID</i> .....   | 23        |
| 3.5.6    | <i>Vergleichende Betrachtung zu KWK großer Leistung</i> .....                                     | 25        |
| 3.6      | MIKRO-KWK-ANLAGEN .....   | 29        |
| 3.6.1    | <i>Aktuelle Bedeutung, Vorgehensweise</i> .....   | 29        |
| 3.6.2    | <i>Bilanzgrenzen und Randbedingungen</i> .....  | 30        |
| 3.6.3    | <i>Energiewirtschaftliche Bewertung von Mikro-KWK-Anlagen</i> .....                               | 31        |
| 3.6.4    | <i>Energetische Bewertung</i> .....   | 32        |
| 3.6.5    | <i>Bewertung nach Exergie</i> .....   | 34        |
| 3.6.6    | <i>Bewertung nach harmonisierten Wirkungsgraden</i> .....   | 34        |
| 3.6.7    | <i>CO<sub>2</sub>-Einsparung gegenüber getrennter Erzeugung</i> .....                             | 35        |
| 3.7      | ZUSAMMENFASSUNG .....   | 36        |
| <b>4</b> | <b>MULTIFUNKTIONALE FERNWÄRMESYSTEME /MDH 10B/ .....</b>  | <b>41</b> |
| 4.1      | UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND .....   | 41        |
| 4.2      | ANALYSE AUSGEWÄHLTER FERNWÄRMENETZE .....   | 44        |
| 4.2.1    | <i>Untersuchte Netze</i> .....  | 44        |
| 4.2.2    | <i>Solares Nahwärmenetz München-Ackermannbogen</i> .....  | 44        |
| 4.2.3    | <i>Gartenheimsiedlung Dresden</i> .....   | 45        |
| 4.2.4    | <i>Nahwärmenetz Herrenhut</i> .....   | 47        |
| 4.3      | SIMULATIONSWERKZEUGE .....  | 50        |
| 4.3.1    | <i>Entwicklung von LowExNetz</i> .....  | 50        |
| 4.3.2    | <i>Vergleich mit anderen Fernwärme-Softwareentwicklungen</i> .....                                | 53        |
| 4.4      | LASTPROFILE ZUR SIMULATION VON FERNWÄRMENETZEN .....  | 55        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.4.1    | <i>Ausgangssituation</i> .....   | 55         |
| 4.4.2    | <i>Erstellen normierter Referenzlastprofile aus Messwerten</i> .....                     | 56         |
| 4.5      | <b>NETZSTRUKTUREN FÜR EINE GEKOPPELTE WÄRMEVERSORGUNG UND WÄRMEENTSORGUNG</b> .....      | 60         |
| 4.5.1    | <i>Einführung</i> .....  | 60         |
| 4.5.2    | <i>Bilanzräume</i> .....   | 61         |
| 4.5.3    | <i>Kompressionswärmepumpen in Fernwärmenetzen</i> .....                                  | 61         |
| 4.5.4    | <i>Wärmesenken im Netzurücklauf – sogenannte Rücklaufanlagen</i> .....                   | 67         |
| 4.5.5    | <i>Wärmesenken im Netzurücklauf - Einsatz von Kompressionswärmepumpen</i> .....          | 72         |
| 4.6      | <b>LOWEX-NETZE</b> .....   | 77         |
| 4.7      | <b>KWK UND SOLARTHERMIE</b> .....  | 81         |
| 4.8      | <b>AUSBLICK</b> .....  | 83         |
| <b>5</b> | <b>EINFLUSS SINKENDER VORLAUFTEMPERATUREN AUF DIE GEBÄUDETECHNIK /MDH 10C/ ..</b>        | <b>84</b>  |
| 5.1      | <b>UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND</b> .....   | 84         |
| 5.2      | <b>BEWERTUNGSKRITERIEN FÜR DIE ANLAGENTECHNIK IM GEBÄUDE</b> .....                       | 85         |
| 5.2.1    | <i>Bilanzgrenze</i> .....  | 85         |
| 5.2.2    | <i>Energetische Bewertung</i> .....  | 86         |
| 5.3      | <b>HAUSANSCHLUSSSTATION (HAST)</b> .....   | 88         |
| 5.4      | <b>UNTERSUCHUNGSMETHODIK</b> .....   | 91         |
| 5.5      | <b>EINFLUSSGRÖßEN AUF DAS RÜCKLAUFTEMPERATURNIVEAU</b> .....                             | 91         |
| 5.6      | <b>SCHLUSSFOLGERUNGEN</b> .....  | 93         |
| 5.7      | <b>HAST FÜR LOWEX-FERNWÄRMESYSTEME</b> .....   | 94         |
| 5.8      | <b>ERMITTLUNG CHARAKTERISTISCHER LASTGÄNGE</b> .....                                     | 96         |
| 5.9      | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....   | 101        |
| <b>6</b> | <b>SOFTWARE ZUR VERBESSERUNG DER EINSATZCHANCEN VON FERNWÄRMESYSTEMEN /MDH 10D/.....</b> | <b>105</b> |
| 6.1      | <b>UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND</b> .....   | 105        |
| 6.2      | <b>ENTWICKELTE SOFTWARE-PRODUKTE</b> .....   | 107        |
| 6.2.1    | <i>Programm STEFaN zur Netz-Optimierung für die Ausbauplanung</i> .....                  | 107        |
| 6.2.2    | <i>FreeOpt - Optimierungs-Baustein für die Einsatzplanung von Wärme-Erzeugern</i> .....  | 112        |
| <b>7</b> | <b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....   | <b>119</b> |
| <b>8</b> | <b>FORMELZEICHEN, INDIZES, ABKÜRZUNGEN</b> .....   | <b>125</b> |
|          | <b>FORMELVERZEICHNIS</b> .....   | <b>125</b> |
| <b>9</b> | <b>LITERATUR</b> .....   | <b>128</b> |