Abhandlungen aus dem
Industrieseminar der Universität Mannheim

Heft 52

Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung

Von

Stefan Zickgraf

Duncker & Humblot · Berlin

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

STEFAN ZICKGRAF

Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim

früher unter dem Titel
Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität zu Köln
begründet von Prof. Dr. Dr. h. c. Theodor Beste

Herausgegeben von

Prof. Dr. Gert v. Kortzfleisch, Prof. Dr. Heinz Bergner
und Prof. Dr. Peter Milling

Band 52

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung

Von

Stefan Zickgraf

Duncker & Humblot · Berlin

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Zickgraf, Stefan:
Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsanalyse dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung / von Stefan Zickgraf. – Berlin : Duncker und Humblot, 1998
(Abhandlungen aus dem Industrieseminar der Universität Mannheim ; H. 52)
Zugl.: Mannheim, Univ., Diss., 1997
ISBN 3-428-09230-9

Alle Rechte vorbehalten
© 1998 Duncker & Humblot GmbH, Berlin
Fotoprint: Berliner Buchdruckerei Union GmbH, Berlin
Printed in Germany

ISSN 0935-381X
ISBN 3-428-09230-9

Gedruckt auf alterungsbeständigem (säurefreiem) Papier
entsprechend ISO 9706 ♾

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Meinen Eltern gewidmet

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Inhaltsverzeichnis

A. Dezentrale KWK vor energiepolitischen Herausforderungen 17
I. Dezentrale KWK in der öffentlichen Energieversorgung 23
1. Einsatzfelder in der öffentlichen Nahwärmeversorgung 30
2. Nahwärme als Baustein örtlicher Energieversorgungskonzepte 32
3. Finanzierungs- und Organisationskonzepte 35

II. Nahwärme im Kontext von Energiepolitik und Energiewirtschaft 39
1. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen 44
2. Hemmnisse der Nutzung von Nahwärmepotentialen 49

III. Nahwärmesimulator als Planungs- und Analyseinstrument 52
1. Anspruch an einen computergestützten Nahwärmesimulator 56
2. Methodische Grundlagen des System-Dynamics-Ansatzes und der Modellbildung 58

B. Problemstellungen und Konstruktion des Nahwärmesimulators 63
I. Merkmale eines lokalen Nahwärmemarkts 64
1. Entscheidungsfaktoren für die Wahl eines Heizungssystems 69
2. Preisbildung auf dem lokalen Wärmemarkt 73

II. Technische Ausgestaltung einer Nahwärmeversorgung 75
1. Komponenten einer Nahwärmeversorgung 76
2. Die Kapazitätsplanung der Anlagekomponenten 80
3. Der Zubau von Wärmekapazitäten 90

III. Methodische Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse 94
1. Wirtschaftliche Erfolgsgrößen der Nahwärmeversorgung 98
2. Ermittlung der Wärmegestehungskosten 99
3. Determinanten der Wirtschaftlichkeit 101

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

C. Die Programmgleichungen der Modellsektoren 107
I. Der Marktsektor 107
1. Die Nachfrage nach Wärme 109
2. Der anlegbare Wärmepreis 117

II. Der Kapazitätssektor 121
1. Auslegung der Anlagekomponenten 121
2. Kapazitätserweiterung 127
3. Der Produktionsbereich 134

III. Das Finanz- und Rechnungswesen 138
1. Investitionsrechnung 138
2. Finanzmittelherkunft für Anlageinvestitionen 147
3. Kosten- und Leistungsrechnung 150
4. Kalkulation des Wärmepreises 163
5. Die Gewinn- und Verlustrechnung 170
6. Bilanzierung 171

D. Wirtschaftlichkeitsanalyse durch den Nahwärmesimulator 175
I. Validierung des Simulationsmodells 177
1. Test des Nahwärmesimulators anhand eines Referenzfalls 179
2. Vergleich des Modellverhaltens mit einem realen Anwendungsfall 186

II. Nahwärmeversorgung unter Ausschluß von Wettbewerb 189
1. Diskussion der Versorgungsvarianten 189
2. Der Einfluß exogener Rahmenbedingungen 196
3. Planung einer BHKW-Anlage 202

III. Dezentrale Nahwärme im Wettbewerb 206
1. Auslegung der Motoranlage bei unsicherer Bedarfslage 212
2. Auswirkung exogener Rahmenbedingungen 215

IV. Formulierung von Maßnahmen zur Förderung von Nahwärme 222
1. Auswirkung einer Energie/CO_2-Steuer 222
2. Subventionierung von Nahwärmeprojekten 226

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

E. Anhang 230

I. Modellgleichungen 230

II. Externe Datensätze 253

III. Vensim-Funktionen 255

Literaturverzeichnis 257

Sachwortregister 268

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Benutzungsstunden und Streckfaktoren ausgesuchter Versorgungsvarianten 89

Tabelle 2: Beschreibung der Versorgungsvarianten 175

Tabelle 3: Investitionskosten für das Blockheizkraftwerk und die Wärmeverteilung 184

Tabelle 4: Gegenüberstellung technischer und betriebswirtschaftlicher Parameter von Modell und Realsystem (2. Betriebsjahr) 188

Tabelle 5: Steuersätze auf fossile Energieträger 222

Tabelle 6: Energie/CO_2-Steuer auf Strom bei unterschiedlichem Energieeinsatz 223

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einsparung an Primärenergie durch Kraft-Wärme-Kopplung..... 18

Abbildung 2: Aufbau eines BHKW-Moduls..... 20

Abbildung 3: Anteil der Betreibergruppen an der öffentlichen Nahwärmeversorgung 27

Abbildung 4: Ausgestaltung eines Contractingmodells..... 38

Abbildung 5: Unternehmensumfeld einer Nahwärmeversorgung..... 39

Abbildung 6: Entwicklung der Preise für Rohöl und Erdgas..... 49

Abbildung 7: Umfeld eines Energieversorgers auf einem wettbewerbsorientierten Energiemarkt..... 52

Abbildung 8: Teilbereiche des Nahwärmesimulators..... 58

Abbildung 9: Struktur eines Regelkreises..... 61

Abbildung 10: Der Modellbildungsprozeß..... 61

Abbildung 11: Grundstruktur des Simulationsmodells..... 63

Abbildung 12: Flußdiagramm zur Abbildung eines lokalen Wärmemarktes..... 68

Abbildung 13: Bestimmungsfaktoren der Akzeptanz für Nahwärme..... 70

Abbildung 14: Prozeß der Akzeptanzbildung..... 72

Abbildung 15: Aufbau einer dezentralen Nahwärmeversorgung..... 77

Abbildung 16: Einfluß der Auslegung einer Motoranlage auf die Wärmegestehungskosten..... 81

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 17: Auslegung der Motoraggregate anhand der geordneten Wärmelastkurve 86

Abbildung 18: Geordnete Jahreskurve der Wärmelast für verschiedene Versorgungsobjekte 88

Abbildung 19: Kausaler Zusammenhang des Zubaus von Kapazitäten der BHKW-Anlage 91

Abbildung 20: Folgewirkung des Zubaus von Motoraggregaten 93

Abbildung 21: Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, Wärmepreis und Wärmegestehungskosten 96

Abbildung 22: Einfluß der Motordimensionierung auf die Wirtschaftlichkeit 103

Abbildung 23: Die Auswirkung des Kapazitätszubaus auf die Wirtschaftlichkeit 105

Abbildung 24: Bedeutung der Preisgestaltung im freien Wettbewerb 106

Abbildung 25: Der Marktsektor 108

Abbildung 26: Gewichtung preisbedingter Einflußfaktoren und des Ansehens von Nahwärme 114

Abbildung 27: Bereitschaft zum Ersatz oder Umrüstung einer Heizungsanlage. 117

Abbildung 28: Anlegbarer Wärmepreis 118

Abbildung 29: Streckfaktor im Bereich der privaten Haushalte 126

Abbildung 30: Zubau an Wärmekapazität 128

Abbildung 31: Die Investitionsrechnung 139

Abbildung 32: Spezifische Investitionskosten der Heizkesselanlage 143

Abbildung 33: Spezifische Investitionskosten der Motoranlage 144

Abbildung 34: Spezifische Verlegekosten der Hauptleitung 144

Abbildung 35: Spezifische Investitionskosten für Blockheizkraftwerke 146

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 36: Spezifische Hausanschlußkosten für unterschiedliche Anschlußwerte 147

Abbildung 37: Finanzmittelherkunft für Anlageinvestitionen 148

Abbildung 38: Die Kosten- und Leistungsrechnung 151

Abbildung 39: Wartungs- und Instandhaltungskosten der Motoraggregate 153

Abbildung 40: Aufschlag auf den anlegbaren Wärmepreis bei kostenorientierter Preisbildung 165

Abbildung 41: Die Gewinn- und Verlustrechnung 171

Abbildung 42: Bilanzierung 172

Abbildung 43: Anschlußgradentwicklung und Wärmehöchstlast 181

Abbildung 44: Auslastung der Motoraggregate gemäß der geordneten Wärmelastkurve 182

Abbildung 45: Nachgefragte Wärmeleistung und installierte Wärmelast 183

Abbildung 46: Periodenbezogenes sowie kumuliertes und verzinstes Betriebsergebnis 184

Abbildung 47: Eigen- und Fremdkapital sowie Eigenkapitalanteil 186

Abbildung 48: Vergleich des Simulationsmodells mit einem realen Anwendungsfall 187

Abbildung 49: Bau einer Heizzentrale oder Raumnutzung (Verbrauchsschwerpunkt) 190

Abbildung 50: Anlegbarer Wärmepreis und spezifische Wärmebereitstellungskosten (Verbrauchsschwerpunkt) 192

Abbildung 51: Zusammenhang von Wirtschaftlichkeit und Streckenlast (Neubaugebiet) 192

Abbildung 52: Anlegbarer Wärmepreis und spezifische Wärmebereitstellungskosten nach 10 Betriebsjahren (Neubaugebiet) 193

Abbildung 53: Vergleich von gekoppelter (BHKW) und ungekoppelter (Heizwerk) Wärmeerzeugung bei einem Nahwärmeverbund 194

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 54: Einfluß der Wärmebedarfsstruktur eines Verbrauchsschwerpunktes in einem Nahwärmeverbund 195

Abbildung 55: Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen durch Nahwärme... 196

Abbildung 56: Einfluß der Strombewertung abhängig vom Anschlußwert (Nahwärmeverbund) 197

Abbildung 57: Eigennutzung des KWK-Stroms in einem Verbrauchsschwerpunkt (Krankenhaus) 198

Abbildung 58: Einfluß der Stromvergütung auf das wirtschaftliche Ergebnis (Neubaugebiet) 200

Abbildung 59: Auswirkung einer Energiepreissteigerung (Nahwärmeverbund). 201

Abbildung 60: Einfluß eines rückläufigen Energiebedarfs auf die Wirtschaftlichkeit (Nahwärmeverbund) 202

Abbildung 61: Einfluß von Mindestlaufzeit und Motorleistung auf den wirtschaftlichen Erfolg 203

Abbildung 62: Auslegung der Motoranlage in Abhängigkeit der Stromvergütung (Wärmeverbund) 204

Abbildung 63: Spezifische Stromvergütung in Abhängigkeit der Motorlaufzeit. 205

Abbildung 64: Break-even-Punkt und projektbezogene EK-Rendite in Abhängigkeit der gewünschten EK-Quote 206

Abbildung 65: Entwicklung der Akzeptanz im Wettbewerbsfall bei einer Preisgestaltung nach dem Anlegbarkeitsprinzip 208

Abbildung 66: Nachgefragte Wärmeleistung und installierte Wärmelast im Wettbewerbsfall 208

Abbildung 67: Spezifische Wärmegestehungskosten und mittlerer anlegbarer Wärmepreis 209

Abbildung 68: Periodenbezogenes sowie kumuliertes und verzinstes Betriebsergebnis 209

Abbildung 69: Nahwärmeverbund unter Anschlußzwang und im freien Wettbewerb 210

Abbildung 70: Neubaugebiet unter Anschlußzwang und im freien Wettbewerb. 211

Abbildung 71: Tatsächlicher und erwarteter Anschlußgrad in einem Neubaugebiet 212

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abbildung 72: Zeitdauer des Break-even in Abhängigkeit der Wettbewerbssituation und der Energiepreisentwicklung (Nahwärmeverbund)... 214

Abbildung 73: Motordimensionierung in Abhängigkeit der Wettbewerbssituation bei einer Strombewertung nach der Verbändevereinbarung (Nahwärmeverbund)... 215

Abbildung 74: Break-even-Punkt und Streckenlast in Abhängigkeit der Netzlänge (Neubaugebiet)... 216

Abbildung 75: Auswirkung der Strombewertung und der Wettbewerbssituation (Neubaugebiet)... 217

Abbildung 76: Zeitpunkt des Break-even in Abhängigkeit des Stromeigenanteils unter EVU-Beteiligung... 218

Abbildung 77: Strombewertung nach der Verbändevereinbarung (Nahwärmeverbund)... 219

Abbildung 78: Einfluß von Umweltbewußtsein und Energiepreissteigerung (Neubaugebiet)... 220

Abbildung 79: Einfluß von Stromgutschrift, Energiepreissteigerung, Netzlänge und Umweltbewußtsein auf die Wirtschaftlichkeit (Neubaugebiet)... 221

Abbildung 80: Auswirkung einer CO_2-/Energiesteuer bei einem Verbrauchsschwerpunkt (Klinik)... 224

Abbildung 81: Auswirkung einer CO_2-/Energiesteuer (Wärmeverbund)... 225

Abbildung 82: Vergleich einer emissionsbezogenen Steuer mit einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer (Wärmeverbund)... 225

Abbildung 83: Förderung der BHKW-Anlage einer Klinik... 227

Abbildung 84: Einfluß von Fördermaßnahmen auf den Break-even (Nahwärmeverbund)... 228

Abbildung 85: Förderung eines Neubaugebiets mit einem Förderanteil von 25%... 228

Abbildung 86: Wirkung von Fördermaßnahmen unter Wettbewerb bei Erhebung einer CO_2-/Energiesteuer (Neubaugebiet)... 229

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Abkürzungsverzeichnis

BHKW	Blockheizkraftwerk
dmls	dimensionslos
el	elektrisch
En.-steuer	Energiesteuer
EVU	Energieversorgungsunternehmen
GJ	Gigajoule
GWh	Gigawattstunde
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MW	Megawatt
Steuer ges.	gesamter Steuerbetrag
spez.	spezifisch
th	thermisch
VDI	Vereinigung deutscher Ingenieure

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

A. Dezentrale KWK vor energiepolitischen Herausforderungen

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich in einer freiwilligen Vereinbarung zur Reduktion der CO_2-Emissionen als klimarelevantes Spurengas verpflichtet[1]. Ansatzpunkt für eine CO_2-Minderungsstrategie ist die Verbesserung der Energieeffizienz bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Im Rahmen einer Klimaschutzstrategie nimmt der Markt für Niedertemperaturwärme mit einem Temperaturniveau unter 150°C vor dem Hintergrund eines wachsenden Umweltbewußtseins sowie knapper werdender Rohstoffe eine herausragende Stellung ein. Gemessen am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland entfällt allein auf die Raumwärme in den drei Sektoren Haushalt, Kleinverbrauch und Industrie ein Anteil von ca. 32,5%[2]. Auf den Primärenergieaufwand der privaten Haushalte hochgerechnet hat der Raumwärmebedarf einen Anteil von 63%[3].

Als wichtiger Beitrag einer CO_2-Minderung wird der rationelle Energieeinsatz durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gesehen[4]. Anders als bei Kraftwerken konventioneller Bauweise wird durch Kraft-Wärme-Kopplung die bei der Stromerzeugung anfallende Abwärme nicht an die Umgebung abgeleitet, sondern einer weiteren Verwendung zugeführt. Die Einspeisung in ein Wärmenetz ermöglicht eine Nutzung zur Raumbeheizung und der Bereitung von Warmwasser.

Durch Kraft-Wärme-Kopplung können aufgrund der gleichzeitigen Verwertung von Strom und Wärme gegenüber konventionellen Systemen höhere Wirkungsgrade erzielt werden, so daß eine Einsparung an Primärenergie bis zu 40% möglich ist[5]. Die rationelle Energieverwendung im Koppelprozeß trägt

---

[1] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft: Energiepolitik für das vereinte Deutschland, BMWi, März, 1992, S. 55ff.

[2] Vgl. RWE Energie AG: Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland. In: Energie Spektrum, September 1993, S. 8.

[3] Vgl. *Geiger*, Bernd/ *Kleeberg*, Heinrich/ *Wagner*, Ulrich: Sektor Haushalte - Erreichtes, Hemmnisse und Perspektiven, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 8, S. 484-489.

[4] Vgl. Enquete-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz, Economica Verlag, 1995, S. 152ff.

[5] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW-Fibel, Energiesparende Blockheizkraftwerke - intelligente Technik für die Umwelt, o.J. , Hamburg, S. 7.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

zu einer Verminderung der Schadstoffemissionen und damit zur Umweltentlastung bei. In Abbildung 1 ist anhand eines Energieflußbildes der Energieeinsatz jeweils bezogen auf die gleiche Menge Nutzwärme und Elektrizität für die getrennte Erzeugung von Strom in einem Kraftwerk und Wärme in Zentralheizungen dem KWK-Prozeß in einem Heizkraftwerk gegenübergestellt. Im gewählten Beispiel wird eine Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung von 31 % erreicht[6]. Der Einspareffekt ist jedoch von den Voraussetzungen abhängig. Durch moderne Entwicklungsreihen ist eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades von Großkraftwerken auf über 45 % zu erwarten, so daß sich die Einsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung reduziert.

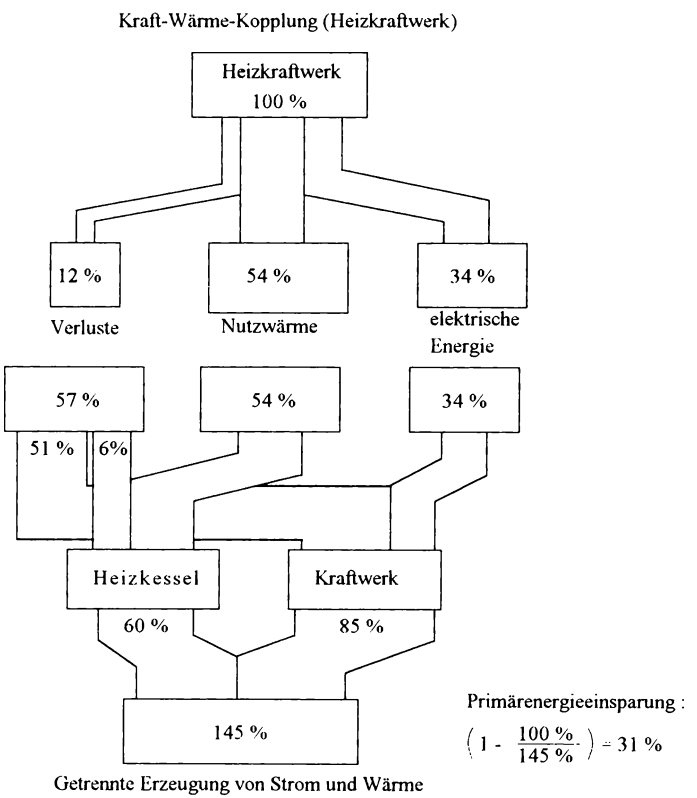

Abb. 1: Einsparung an Primärenergie durch Kraft-Wärme-Kopplung

[6] Für das Stromkraftwerk wird ein Wirkungsgrad von 40 % angenommen. Dem Heizkraftwerk liegt ein elektrischer Wirkungsgrad von 35 % zugrunde. Der thermische Wirkungsgrad des Heizkraftwerks beträgt 54 %. Für den thermischen Wirkungsgrad hausbezogener Heizkessel werden 90 % vorgegeben.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Blockheizkraftwerke (BHKW) stellen einen Spezialfall der Kraft-Wärme-Kopplung dar[7]. Sie entsprechen kleinen, fest installierten KWK-Anlagen. BHKW-Anlagen basieren auf stationären Verbrennungsmotoren oder Gasturbinen, wie sie im Flugzeugbau Anwendung finden. Das Funktionsprinzip eines motorbetriebenen Blockheizkraftwerks gleicht dem eines Fahrzeugmotors[8]. Mit Hilfe der mechanischen Energie des Motors wird ein Generator angetrieben, der Elektrizität erzeugt. Durch einen Wärmetauscher wird aus der Abwärme des Kühlwassers und des Abgasstroms Nutzwärme gewonnen[9]. Die Abwärme von Blockheizkraftwerken wird zum Zwecke der Raumbeheizung und der Erwärmung von Brauchwasser mit Heizwassertemperaturen von 70°C bis 90°C in ein Wärmenetz eingespeist. Wegen der unterschiedlichen Prämissen im erzeugungstechnischen Bereich müssen Gasturbinen- und Motoranlagen voneinander abgegrenzt werden. Die Studie konzentriert sich aufgrund des hohen Entwicklungspotentials auf motorbetriebene Blockheizkraftwerke.

Der Aufbau einer motorbetriebenen BHKW-Anlage erfolgt in Modulbauweise. Als Modul wird ein Kompaktaggregat bezeichnet, welches eine Motor-Generator-Einheit umfaßt (Abbildung 2). In einem Blockheizkraftwerk sind ein oder mehrere Module untergebracht. Die "Mehrmotortechnik" bietet eine Reihe von Vorteilen. Ein modulweiser Kapazitätsausbau erlaubt die Anpassung an die Entwicklung des Wärmebedarfs eines Versorgungsobjekts. Zudem verbessert sich die Verfügbarkeit der thermischen und elektrischen Leistung, indem der Ausfall einzelner Motoraggregate kompensiert wird. Zu den weiteren Komponenten eines Blockheizkraftwerks zählen eine Kesselanlage, der bauliche Teil einer Heizzentrale sowie die stromtechnische Einbindung mit der Motorsteuerung.

Der mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom wird in das vorgelagerte Netz eines kommunalen bzw. regionalen Energieversorgers eingespeist oder vom Betreiber der BHKW-Anlage selbst genutzt. Blockheizkraftwerke zeichnen sich durch die hohe Ausnutzung des Primärenergieeinsatzes aus. BHKW-Anlagen mit Otto-Motoren erreichen elektrische Wirkungsgrade von 30 % bis 35 %[10]. Mit der Wärmeauskopplung werden Wirkungsgrad zwischen 50 % und 55 % erzielt. Daraus resultiert ein Gesamtwirkungsgrad von 85 % bis 90% bezogen auf den Primärenergieeinsatz. Die effiziente Energienutzung

---

[7] Der Begriff des Blockheizkraftwerks läßt sich auf den Beginn der Elektrifizierung zurückführen, als kleinere Kraftwerksanlagen für die Stromversorgung einzelner Häuserblocks oder eines begrenzten Gebietes zuständig waren.

[8] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil I, Der Verbrennungsmotor als Energiewandler, Düsseldorf 1988, S. 27.

[9] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 15.

[10] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf, 1991, S. 2.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bewirkt eine Verringerung der Kohlendioxidemissionen. Die Schadstoffreduktion von BHKW-Anlagen umfaßt zudem eine Herabsetzung von Stickoxid- (NO_X) und Schwefeldioxid-Emissionen(SO_2)[11].

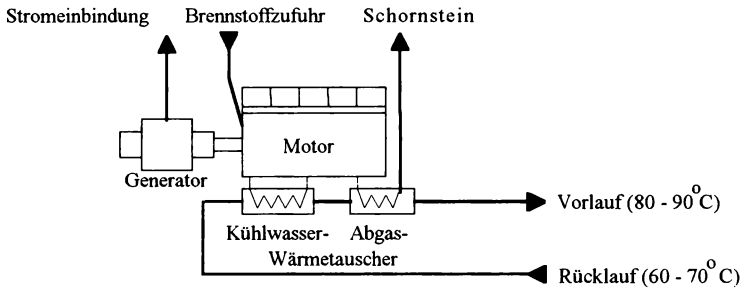

Abb. 2: Aufbau eines BHKW-Moduls

BHKW-Anlagen gibt es in einem breiten Leistungsspektrum. Die Palette der Motorleistungen reicht von Anlagen im oberen Leistungsbereich mit mehreren MW elektrischer Leistung bis zu Klein-Blockheizkraftwerken. Die untere Leistungsgrenze bilden Kleinaggregate mit 5 kW elektrischer Leistung und einer Wärmeleistung von 12 kW. Diese Kompakt-Motoranlagen wurden zur Beheizung von Einfamilienhäusern entwickelt[12].

Als Brennstoffe für Blockheizkraftwerke eignen sich eine ganze Reihe unterschiedlicher Energieträger. In Verbrennungsmotoren werden im wesentlichen flüssige Brennstoffe, wie Heizöl oder Dieselkraftstoffe und gasförmige Brennstoffe verwendet[13]. Dank eines gut ausgebauten Verteilungsnetzes und der sicheren Bereitstellung hat sich Erdgas als wichtigster Primärenergieträger durchgesetzt. Durch seine schadstoffarme Verbrennung eignet sich Erdgas für eine umweltfreundliche Bereitstellung von Nutzenergie[14]. In der öffentlichen Versorgung werden 74 % aller Anlagen mit Erdgas oder einer Kombination aus Erd- und Flüssiggas betrieben[15]. Dieselkraftstoff bzw. Heizöl wird mit einem Anteil von ca. 12,5 % nur eine untergeordnete Rolle beigemessen.

---

[11] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf, 1991, S. 2.

[12] Vgl. o.V.: KWK vom Kleinsten, Energie Spektrum, Januar 1994, S. 28.

[13] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil I, Der Verbrennungsmotor als Energiewandler, Düsseldorf, 1988, S. 24.

[14] Vgl. *Henkel*, Hartmut: Blockheizkraftwerke und Umwelt, GASWÄRME International, Jg. 41 (1992), Heft 11, S. 480-486.

[15] Vgl. *Rumpel*, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland - Ergebnisse der VDEW - Erhebung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S.100-107.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Weitere 10 % der Anlagen können wahlweise mit Erdgas und Heizöl betrieben werden.

Ein breites Einsatzspektrum eröffnet sich Blockheizkraftwerken in der umweltschonenden Verbrennung von Klär- und Deponiegasen sowie von Schwelgasen aus der Müllverwertung[16]. Gleichfalls ein Beispiel für innovative BHKW-Technik ist die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, wie sie bereits in Form von Pflanzenöl als Energiequelle zur Verfügung stehen[17]. Neue Entwicklungslinien basieren auch auf der Wärmeerzeugung durch Stirling-Motoren. Sie weisen höhere Wirkungsgrade als Verbrennungsmotoren auf und ermöglichen den Einsatz einer Vielzahl von Brennstoffen und Wärmequellen wie Erd- und Biogas, Biomasse und Solarwärme[18].

Nahwärme kann mittel- und langfristig als "Übergangstechnologie" zur Einführung alternativer und regenerativer Energienutzung betrachtet werden. So ist die Umrüstung auf eine neue Technologie zur Wärmeerzeugung wesentlich einfacher und kostengünstiger als die Modernisierung einer Vielzahl hausbezogener Zentralheizungen. Eine Nahwärmeversorgung auf Basis einer BHKW-Anlage bietet daher die Perspektive für den Einsatz alternativer Brennstoffe.

Durch die Verwendung von Solarwärme in Nah- und Fernwärmenetzen ist eine allmähliche Abkehr von einer fossilen Energienutzung zu einer solaren Wärmegewinnung für Gebäudebeheizung und Warmwasserbereitung denkbar[19]. Getestet wird auch der Verbund von Photovoltaikanlagen und Blockheizkraftwerken[20]. Optionen eröffnen sich im Einsatz von Wasserstoff in Brennstoffzellen. In einer Solar-Wasserstoff-Wirtschaft könnten Brennstoffzellen-Heizkraftwerke für die Umwandlung von durch Solarenergie erzeugtem und gespeicherten Wasserstoff in Wärme und Elektrizität unentbehrlich werden[21]. Sowohl wasserstoff- als auch gasbetriebene Brennstoffzellen versprechen eine Steigerung des elektrischen Wirkungsgrades auf 40%[22].

---

[16] Vgl. *Doll*, C.: Nutzung von Deponie- und Klärgas in einem Blockheizkraftwerk. In: VDI-Berichte Nr. 1019: Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen - Zukunftsmärkte der Technik, 1993, S. 147-163.

[17] Vgl. *Bußmann*, Werner: Fernwärme vom Acker, Pflanzenöl-BHKW-Projekt Jürgenstorf, Energie Spektrum, Heft 1, 1995, S. 40-43.

[18] Vgl. o. V.: Comeback im Kleinen, Energie Spektrum, Heft 3, 1995, S. 50-53.

[19] Vgl. *Brüning*, Dietlinde/ *Naehring*, Friedrich/ *Rindelhardt*, Udo: Einspeisung von Solarwärme in konventionelle Fern- und Nahwärmesysteme, Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg., Heft 11, November 1994, S. 445-448.

[20] Vgl. *Edwin*, Kurt/ *Kreusel*, Jochen: Kraft-Wärme-Kopplung und Photovoltaik - Energiepolitische Utopie, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 41. Jg. (1991), Heft 3, S.143-152.

[21] Vgl. *Ahn*, Joachim/ *Brammer*, Fritz/ *Wendt*, Hartmut: Energieversorgung mit Brennstoffzellen Heizkraftwerk, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 25, S.1748-1753.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Zusammen mit der Wärmeauskopplung können Gesamtwirkungsgrade bis zu 95% erzielt werden. Mit der Marktreife ist jedoch nicht vor der ersten Dekade des nächsten Jahrhunderts zu rechnen[23].

Die Ausschöpfung ökologisch sinnvoller Potentiale einer Wärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke wird durch wirtschaftliche Restriktionen eingeschränkt. Nutzwärme muß vom Standort der Kraftwerksanlage zu den Verbrauchern transportiert werden, was zusätzliche Investitionen in ein Leitungsnetz erfordert. Zudem fallen bei Blockheizkraftwerken höhere Investitionen als für Kesselanlagen an, welche durch die Vergütung des im KWK-Prozeß erzeugten Stroms finanziert werden müssen.

Bei Kraftwerksanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung handelt es sich um langfristige Investitionen, so daß sorgfältige Untersuchungen unter Berücksichtigung der energie- und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen nicht nur die technische und ökologische, sondern auch die wirtschaftliche Eignung eines Projektes ausweisen müssen.[24] Bei der Planung von Blockheizkraftwerken sind eine Vielzahl energie- und wirtschaftspolitischer Einflußgrößen in eine wirtschaftliche Kalkulation einzubeziehen. Die falsche Einschätzung und Bewertung maßgeblicher Rahmenbedingungen kann schnell zu einer Fehlinvestition führen.

In der Energiewirtschaft zeichnen sich einschneidende Veränderungen ab.[25] Die Auflösung monopolistischer Strukturen als Folge einer Deregulierung der Energiemärkte führt zu einer verschärften Konkurrenzsituation. Von diesem Wandel bleiben auch Unternehmen der Versorgungswirtschaft nicht unberührt. Der zusätzliche Wettbewerbsdruck erschwert die ökonomische Beurteilung einer Wärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke. Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist die Analyse von BHKW-Projekten aus betriebswirtschaftlicher Sicht unter Einbeziehung freien Wettbewerbs auf einem örtlichen Wärmemarkt.

Der aktuelle Problemdruck fordert in Anbetracht der beträchtlichen Umwälzungen in der Energiewirtschaft neue Untersuchungsansätze. Ziel der Studie ist die Entwicklung eines Untersuchungsinstruments, das verschiedene Szena-

---

[22] Vgl. *Knappstein*, H./ *Nymoen*, H./ *Wissmann*, G./ *Droste*, W./ *Wolf*, D.: 200 kW-BHKW mit Brennstoffzellen - Stand der Ruhrgas/Thyssen -Demonstrationsvorhaben. In: VDI-Berichte Nr. 1019: Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen - Zukunftsmärkte der Technik, 1993, S. 231 - 251.

[23] Vgl. o.V.: Zukunftstechnik, Brennstoffzellen - BHKW, Energie-Spektrum, Heft 9, 1994, S. 24-29.

[24] Vgl. *Pruschek*, R./ *Bock*, J.: Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung - Potentiale und Grenzen. In: VDI-Bericht 923: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, 1991, S. 36.

[25] Vgl. *Bozem*, Karlheinz/ *Schulz*, Rolf: Dynamischer Wandel in der Versorgungswirtschaft - Erfahrungen mit deregulierten Energiemärkten, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 3, S. 124-133.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

rien der Entwicklung energie- und wirtschaftspolitischer Vorgaben vor dem Hintergrund einer veränderten Marktsituation betrachtet. In Erweiterung klassischer Methoden zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt der gewählte methodische Ansatz die vielfältigen Wechselwirkungen innerhalb eines Versorgungssystems auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung. Dazu wird ein computergestütztes Simulationsmodell zur Abbildung einer Wärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke anhand maßgeblicher Problemstellungen entwickelt.

Mit Hilfe des Computermodells wird das grundlegende Systemverhalten untersucht. Das Verständnis der Zusammenhänge in einer Wärmeversorgung auf Basis der BHKW-Technik soll helfen, Strategien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zu erarbeiten. Dazu werden im Rahmen der Untersuchung zwei unterschiedliche Versorgungssituationen auf einem lokal begrenzten Wärmemarkt betrachtet. Zum einen wird ein geschlossener Wärmemarkt angenommen, dessen Verbraucher durch die Verordnung eines Benutzungszwanges zu einem Anschluß an das Wärmenetz eines Versorgungsunternehmens verpflichtet sind. Andererseits wird ein freier Wettbewerb vorausgesetzt, so daß sich die Verbraucher eigenständig für ein Heizungssystem entscheiden können.

I. Dezentrale KWK in der öffentlichen Energieversorgung

Die BHKW-Technik wird überall dort eingesetzt, wo maßgeschneiderte Energieversorgungskonzepte gefragt sind[26]. Blockheizkraftwerke können wegen des modularen Aufbaus durch einen stufenweisen Ausbau der Kapazität flexibel an die Entwicklung des Energiebedarfs sowie an die Anforderungen eines Versorgungsobjekts angepaßt werden[27]. Angestrebt wird ein verbrauchsnaher und objektbezogener Einsatz[28].

Aufgrund der guten Voraussetzungen stellt die Kraft-Wärme-Kopplung in Blockheizkraftwerken eine intensiv diskutierte Technik für eine dezentrale Energieversorgung dar[29]. Das Schlagwort der "Dezentralisierung" in der Energiewirtschaft ist jedoch vor dem Hintergrund des Einsatzes der Kernenergie und der verstärkten Nutzung regenerativer Energieträger zum Gegenstand einer polemisch geführten Diskussion in der Öffentlichkeit geworden. Eine

---

[26] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW-Fibel, Energiesparende Blockheizkraftwerke - intelligente Technik für die Umwelt, o. J., Hamburg, S. 27.

[27] Vgl. ebd., S. 17.

[28] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524.

[29] Vgl. *Schaefer*, H./ *Hartmann*, D./ *Jensch*, W.: Dezentrale Energieversorgung - Aspekte und Chancen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 36. Jg. (1986), Heft 8, S.610-619.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Grenzziehung zwischen dezentraler und zentraler Energieversorgung ist meist von der jeweiligen Sichtweise des Betrachters abhängig.

Als Kriterium zur Abgrenzung von zentralen und dezentralen Versorgungssystemen kann zum einen die elektrische Leistung einer Energieerzeugungsanlage angeführt werden. In der Stromerzeugung wird als Grenzbereich eine installierte elektrische Leistung von 100 MW_{el} bis 150 MW_{el} vorgeschlagen[30]. Großanlagen, die Strom in ein überregionales Verbundnetz einspeisen, werden einer zentralen Energieversorgung zugerechnet. Dagegen werden unter dezentralen Energieerzeugungsanlagen kleinere Anlagen in örtlicher oder kommunaler Trägerschaft verstanden, welche den örtlichen Gegebenheiten angepaßt sind[31]. Planungsgrundlage eines Blockheizkaftwerks in der öffentlichen Versorgung ist in der Regel der Wärmebedarf eines Gebäudes oder eines Versorgungsgebiets. In diesem Sinne entspricht eine leitungsgebundene Wärmeversorgung durch ein Blockheizkraftwerk einer dezentralen Energieversorgung, auch wenn der erzeugte Strom in das Verbundnetz eingespeist wird.

Der eingesetzte Brennstoff oder eine bestimmte Energietechnik stellen dagegen kein hinreichendes Kriterium dar. Als dezentral eingestufte Systeme zur regenerativen Energienutzung, wie Wasserkraftwerke, Windenergiekonverter oder Photovoltaikanlagen liefern den erzeugten Strom in der Regel nicht nur an die Verbraucher, sondern speisen ihn in das elektrische Verbundnetz ein[32]. In diesem Fall kann nicht von einer dezentralen Energieversorgung gesprochen werden.

Da die Wärmeversorgung aus BHKW-Anlagen gegenüber einer Fernwärmeversorgung durch Wärmeauskopplung aus Großkraftwerken zunehmend an Bedeutung gewinnt, wurde zur Unterscheidung der Begriff der Nahwärme geprägt. Im Gegensatz zur Fernwärme ist der Wärmebedarf eines Nahwärmeprojekts aufgrund der objektbezogenen Versorgung und der Begrenzung auf eine von vornherein bestimmte Anzahl von Kunden weitgehend bekannt[33]. Dies schließt nicht aus, daß sich der Konsumentenkreis einer Nahwärmeversorgung im Zeitverlauf erweitert, oder neue Kunden im Wettbewerb gewonnen werden. Zur Planung wird jedoch von einer fixen Abnehmerzahl ausgegangen, wobei die Wärmequelle auf die speziellen Anforderungen des Projektes auszurichten ist. Die Wärmeverteilung erfolgt unmittelbar ausgehend von der Erzeugungsanlage in die einzelnen Versorgungsobjekte bzw. in die privaten Haushalte,

---

[30] Vgl. *Grawe*, Joachim: Dezentrale Stromerzeugung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 39. Jg. (1989), Heft 4, S. 186-189.

[31] Vgl. Hessisches Energiegesetz: § 5, Gesetz über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen, 03.07.1985, GVBI Hessen, S. 101 ff.

[32] Vgl. Deutsches Atomforum e.V.: Dezentrale Energieversorgung - Mehr als ein Schlagwort? INFORUM Verlags- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Bonn, 1993, S. 2.

[33] Vgl. *Eckert*, Lutz: Versuch einer Abgrenzung Nahwärme/Fernwärme. In: Nahwärme, Konzepte - Ausführungen, Betriebserfahrungen: Nr. 9 der ASUE Schriftenreihe, Essen, 1985, S. 119.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

weshalb synonym auch von Direktwärme gesprochen wird. Nahwärmenetze kommen ohne Transport- und Hauptverteilungsleitungen aus, so daß die Verteilungskosten günstiger als bei Fernwärme liegen.

Fernwärme liegt dann vor, wenn die Wärmeversorgung einer größeren Versorgungsfläche, beispielsweise einem örtlichen Versorgungsgebiet, vorgenommen wird[34]. Das Absatzpotential der Fernwärmeversorgung kann erst durch ein möglichst flächendeckendes Verteilungsnetz und der Schaffung einer entsprechenden Anschlußdichte herbeigeführt werden[35]. Deshalb verfügt Fernwärme in der Regel über ein ausgedehntes Verteilungsnetz mit der Unterscheidung zwischen Transport- und Anschlußleitungen. Fernwärme wird in der Regel durch Kraft-Wärme-Kopplung aus Kraftwerken gewonnen, welche primär der Stromerzeugung dienen. Eine Ausnahme bilden Heizwerke ohne Kraft-Wärme-Kopplung, die nach dem erwarteten Wärmebedarf des Versorgungsgebietes ausgelegt werden. Gemein ist sowohl Fern- und Nahwärme, daß sie, gleichfalls wie Gas oder Elektrizität, auf ein Verteilungsnetz angewiesen sind, und deshalb leitungsgebundene Energien darstellen.

Dezentrale Nahwärme kann nicht mit der Wärme- und Stromauskopplung aus Großkraftwerken konkurrieren. Ein verminderter Wärmebedarf in den Sommermonaten führt in der Regel zu höheren Kosten der Wärmeerzeugung als für die Bereitstellung einer ganzjährigen Grundlast in größeren zentralen Kraftwerksanlagen. Wo jedoch entsprechende versorgungstechnische und energiepolitische Rahmenbedingungen erfüllt sind, stellen BHKW-Anlagen eine sinnvolle Ergänzung zu Großkraftwerken dar. Der dezentrale Einsatz von Blockheizkraftwerken ist nicht an ein ausgedehntes Wärmeverteilungsnetz gebunden. In der Folge treten vergleichsweise niedrige Verteilungsverluste auf[36]. Außerhalb von fernwärmeversorgten Gebieten wird in Zukunft die Bedeutung von Blockheizkraftwerken zur objektbezogenen Wärmeversorgung als additives Element der Energieversorgung noch zunehmen[37]. Dagegen kann Nahwärme nur schwer eine bestehende Gasversorgung verdrängen[38]. Da der Wärmemarkt in den Städten weitgehend zwischen Gas- und Fernwärmeversorgung aufgeteilt ist, muß Nahwärme im Wohnungsbau vor allem Neubaugebiete erschließen.

---

[34] Vgl. §§ 8 und §§ 9 der Verordnung über die Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV) vom 20.06.1980 (BGBl. I S.742).

[35] Vgl. *Eckert*, Lutz: Versuch einer Abgrenzung Nahwärme/Fernwärme. In: Nahwärme, Konzepte - Ausführungen, Betriebserfahrungen: Nr. 9 der ASUE Schriftenreihe, Essen, 1985, S. 119.

[36] Vgl. *Henkel*, Hartmut: Umweltschonender Erdgaseinsatz in KWK-Anlagen. In: *Suttor*, W/ *Suttor*, K.H.: Praxis der Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Umfeld und Realisation von KWK-Anlagen, Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung vom März 1993, Karlsruhe.

[37] Vgl. *Hoffmann*, Thomas: BHKW auf dem Prüfstand, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95, (1996), Heft 3, S. 99.

[38] Vgl. *Schönberg*, Ingo: Gut und teuer ? KWK-Spektrum, März 1996, S. 3-9.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die vorgestellte Studie ist auf eine öffentliche Nahwärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke fokusiert. Der öffentlichen Versorgung werden Kraftwerksanlagen zugeordnet, die nicht einer Bereitstellung industrieller Prozeßwärme und Strom dienen. Gewerbliche und industrielle Konzepte unterscheiden sich durch deren Zielsetzungen erheblich von öffentlichen Versorgungskonzepten. Gemessen an der gesamten installierten elektrischen Leistung aller Blockheizkraftwerke entfällt auf derartige Anlagen ein Leistungsanteil von 57%[39].

Einer öffentlichen Nahwärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke wird sowohl die objektbezogene Wärmeversorgung ohne ausgedehntes Leitungsnetz als auch die Wärmebereitstellung für Versorgungsgebiete zugerechnet. So bedarf es in der Regel eines Leitungsnetzes, um alle Gebäude auf dem Gelände eines Krankenhauses an Nahwärme anzubinden. Die Wärmebereitstellung für einzelne Wohngebäude durch "Klein-Blockheizkraftwerke" werden in der Studie jedoch nicht als öffentliche Nahwärmeversorgung eingestuft. BHKW-Anlagen zur Nutzung von Deponie- und Klärgasen finden zum Betrieb einer Mülldeponie oder einer Kläranlage Anwendung. Da solche Anlagen meist in größerer Entfernung von Wohnsiedlungen errichtet werden, ist eine Wärmenutzung nicht möglich[40]. Sie können aufgrund dessen ebenfalls nicht als öffentliche Nahwärmeversorgung verstanden werden. Im öffentlichen Bereich betriebene Blockheizkraftwerke werden zur Bereitstellung von Nutzwärme zur Raumbeheizung und der Bereitung von Warmwasser im Niedertemperaturbereich unterhalb von 200°C eingesetzt. Für die Verwendung zur Raumheizung und als Brauchwasser ist ein Temperaturniveau unter 100°C ausreichend[41].

In Deutschland ergaben Hochrechnungen für das Jahr 1995 fast 3000 Blockheizkraftwerke mit einer installierten elektrischen Leistung von 4.600 MW_{el}[42]. Daraus resultiert ein Anteil der Blockheizkraftwerke an der deutschen Stromerzeugung von rund 3,8 %[43]. Auf Gasturbinen entfallen etwa zwei Drittel der elektrischen Leistung. Gasturbinen werden aufgrund ihrer Leistungsstärke in der Regel zur Versorgung größerer Wärmenetze eingesetzt. Motorbetriebene Blockheizkraftwerke im Rahmen einer dezentralen Nahwärmeversorgung machen mit 91 % aller BHKW-Anlagen nur 32 % der installierten elektrischen Leistung von 1.450 MW_{el} aus[44].

---

[39] Vgl. *Rumpel*, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S. 100 - 107.

[40] Vgl. *Müh*, Helmut/ *Sonntag*, Joachim: Perspektiven von Blockheizkraftwerken, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 420-424.

[41] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, München, 1985, S 261 ff.

[42] Vgl. o. V.: Leistungsverdopplung in drei Jahren - Zahlen und Trends zur Entwicklung des deutschen BHKW-Marktes, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 425-427.

[43] Vgl. ebd., S. 425.

[44] Vgl. o. V.: Leistungsverdopplung in drei Jahren - Zahlen und Trends zur Entwick-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

In der öffentlichen Nahwärmeversorgung bilden Energieversorgungsunternehmen mit einem Leistungsanteil von 71,2 % die größte Betreibergruppe (Abbildung 3)[45]. Versorgungsprojekte, an denen Energieversorger als Vertragspartner beteiligt sind, liegen mit rund 19,3 % an zweiter Stelle. Erst auf dritter Position folgen öffentliche Einrichtungen wie Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude. Deren Leistungsanteil von 8,2 % ist aufgrund der problematischen finanziellen Situation der öffentlichen Hand seit 1988 rückläufig. Zunehmend werden Blockheizkraftwerke in Privateigentum zur objektbezogenen Wärmeversorgung beispielsweise von privaten Kliniken oder Wohngebäuden unterhalten. Derartige Anlagen gewinnen trotz ihres niedrigen Leistungsanteils von 1,3 % an der BHKW-Gesamtleistung in der öffentlichen Versorgung zunehmend an Bedeutung[46].

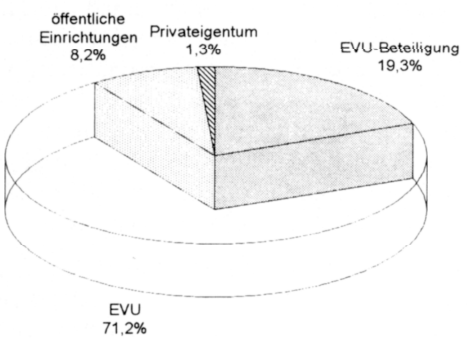

Abb. 3: Anteil der Betreibergruppen an der öffentlichen Nahwärmeversorgung

Schwerpunkte des BHKW-Einsatzes liegen in Baden-Württemberg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern[47]. Spitzenreiter war im Jahr 1991 Baden-Württemberg, das zu diesem Zeitpunkt einschließlich der industriellen Nutzung 22 % aller Anlagen und 18 % der elektrischen Leistung aller in Deutschland betriebenen Blockheizkraftwerke aufwies[48]. Aus den 199 der

lung des deutschen BHKW-Marktes, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 425-427; Der Erzeugungsblock eines Kernkraftwerks erbringt zum Vergleich eine elektrische Leistung von 1000 MW_{el} bis 1300 MW_{el}.

[45] Vgl. *Rumpel*, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland - Ergebnisse der VDEW - Erhebung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S.100-107; Die Erhebung der VDEW bezieht sich ausschließlich auf motorbetriebene Blockheizkraftwerke mit fossilem Brennstoffeinsatz;

[46] Vgl. ebd., S.102.

[47] Vgl. ebd., S.104.

[48] Vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, Juni 1994, S. 4.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

öffentlichen Versorgung zurechenbaren Anlagen konnten in Baden-Württemberg 7 % der Wärme und 13 % des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms bereitgestellt werden[49].

Blockheizkraftwerke verzeichnen in den letzten Jahren kräftige Zuwachsraten. So hat sich im öffentlichen Sektor die Anzahl der motorbetriebenen BHKW-Anlagen allein in einem Zeitraum von 1992 bis 1994 von 1689 auf 2355 erhöht[50]. Dies entspricht einer Steigerung der installierten elektrischen Leistung um 51 %. Im gleichen Zeitraum ist die Stromerzeugung aus EVU-eigenen Blockheizkraftwerken und jenen, an denen Energieversorger beteiligt sind, um rund 38 % angestiegen[51].

Eine positive Entwicklung verzeichnen auch die neuen Bundesländer, in denen vor der Wiedervereinigung keine Blockheizkraftwerke betrieben wurden. Vor allem unwirtschaftliche Heizwerke wurden durch Blockheizkraftwerke ersetzt. Im Jahr 1994 wurden im öffentlichen Bereich einschließlich der im Bau befindlichen BHKW 51 Anlagen auf Motorbasis registriert. Dies entspricht einer installierten elektrischen Leistung von 85 MW_{el}[52]. Die Energieversorger unterhalten davon 28 Anlagen mit einem Leistungsanteil von 60 %. Maßgeblich zum Erfolg beigetragen haben durch Bund-Länderprogramme initiierte Fördermittel für "erhaltenswürdige Fernwärmesysteme"[53]. Bis zum Jahr 2000 wird der Bestand auf über 100 Blockheizkraftwerke geschätzt[54].

Aufgrund des hohen Einsparpotentials an Primärenergie verbunden mit betriebswirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen gewinnen Blockheizkraftwerke zunehmend an Bedeutung[55]. Führende Anbieter von Energiesystemen

---

[49] Vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Stuttgart, Juni 1994, S. 1.

[50] Vgl. o. V.: Leistungsverdopplung in drei Jahren - Zahlen und Trends zur Entwicklung des deutschen BHKW-Marktes, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 425- 427.

[51] Vgl. *Rumpel*, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland - Ergebnisse der VDEW-Erhebung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S. 100-107.

[52] Vgl. *Muders*, Herbert: Entwicklung der Blockheizkraftwerke in den neuen Bundesländern, Stand 1994, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 93 (1994), Heft 14, S. 772-774.

[53] Beispielsweise werden durch das Land Brandenburg Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung und Fernwärmeanschlüsse mit einem Investitionszuschuß bis zu 30 % gefördert; vgl. Richtlinie des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg über die Gewährung von Zuwendungen für die rationelle Energieverwendung vom 8.3.1991.

[54] Vgl. *Geiger*, Robert/ *Nebel*, Ulrich/ *Schlosser*, Wolfgang: Kraft-Wärme-Kopplung in den neuen Bundesländern, Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg., Heft 6, 1994, S. 227-228.

[55] Vgl. *Hirschbichler*, Franz: Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasmotoren, Eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative, Sonderdruck aus "forschen, planen und

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

beziffern im Markt für dezentrale Energieerzeugung weltweit den Bedarf an neuen Anlagen auf rund 42.000 MW an elektrischer Leistung[56]. Dezentrale Energiesysteme können daher als Wachstumsmarkt eingestuft werden. Das wirtschaftlich erschließbare Potential an Blockheizkraftwerken wird in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung eines mäßigen Ausbauszenarios auf eine installierte Kraftwerksleistung von 400 MW_{el} bis zum Jahr 2010 geschätzt[57]. Bei einer günstigen Entwicklung der Rahmenbedingungen wird ein Potential der installierten elektrischen Leistung von über 750 MW_{el} prognostiziert, was rund 5 % der gesamten in Baden-Württemberg installierten Kraftwerkskapazität entspräche[58].

Eine Hochrechnung der Zahlen für Baden-Württemberg bezogen auf das gesamte Bundesgebiet ergibt ein technisches Zuwachspotential in der öffentlichen Versorgung um das 4,8 fache. Dies entspricht einer installierten elektrischen Leistung von 2.400 MW_{el}. Unter Berücksichtigung eines günstigen Ausbauszenarios könnte bundesweit ein wirtschaftliches Potential bei Blockheizkraftwerken von über 4.600 MW_{el} analog dem mehr als 9-fachen des heutigen Wertes erschlossen werden. Im gesamten Bundesgebiet könnte, angesichts der Erfahrungen in anderen europäischen Ländern, ein Anteil von 10 % der Stromerzeugung durch Blockheizkraftwerke befriedigt werden[59].

Der derzeitige Boom bei Blockheizkraftwerken ist vor allem auf "Rosinenpickerei" zurückzuführen, wobei sich der Ausbau auf lukrative Einzelobjekte konzentriert[60]. Es muß jedoch festgestellt werden, daß auf vielen Anwendungsgebieten wirtschaftlich interessante Nahwärmepotentiale bereits erschlossen wurden, so daß es immer schwieriger wird, neue Projekte unter den derzeitigen Rahmenbedingungen in Angriff zunehmen.

---

bauen" Ausgabe 1994/95, 1995, S. 9.

[56] Vgl. *Voss*, Karlheinz: Markterfolge nur durch eine weltweite Präsenz: Handelsblatt, 28.09.1995; Die gesamte elektrische Kraftwerksleistung in der Bundesrepublik Deutschland beträgt zum Vergleich 122.000 MW_{el} oder rund 100 Kernkraftwerksblökke vom Typ Biblis A.

[57] Vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg, Juni 1994, S. 4ff.

[58] Vgl. *Böhnisch*, Helmut/ *Langniß*, Ole/ *Nitsch*, Joachim/ *Staiß*, Frithjof: Einsatzbereich und Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Kommunen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 4, S. 145-152.

[59] Die Schätzungen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke umfassen Blockheizkraftwerke sowohl auf Motoren- als auch auf Gasturbinenbasis; vgl. *Pick*, Hartmut: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie- und Umweltpolitik, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 416-419.

[60] Vgl. *Schönberg*, Ingo: Gut und teuer? KWK Spektrum, März 1996, S. 3-9.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

1. Einsatzfelder in der öffentlichen Nahwärmeversorgung

Die technische Entwicklung hat zu einer großen Leistungspalette der auf dem Markt angebotenen BHKW-Module geführt. Dadurch konnten die Einsatzmöglichkeiten von Blockheizkraftwerken in den letzten Jahren wesentlich erweitert werden[61]. Die Entwicklung kleinerer Motoraggregate ermöglicht die Wärmeversorgung von Einzelobjekten. Die Spannbreite einer objektbezogenen Versorgung reicht von Krankenhäusern, Schwimmbädern bis zum Betrieb von Klär- und Deponieanlagen.[62] Aufgrund des Angebots von BHKW-Modulen mit hoher thermischer Leistung können verdichtete Stadtzentren, Blockbebauung an Stadträndern sowie Neubaugebiete mit einer Wärmeleistung im Bereich bis 10 MW_{th} durch Nahwärmenetze erschlossen werden.

Günstige Voraussetzungen für die Anwendung von Blockheizkraftwerken findet man überall dort, wo über das gesamte Jahr ein gleichmäßiger Bedarf an Wärme vorhanden ist[63]. In Krankenhäusern erschließt sich wegen des hohen Anteils an Wärmegrundlast ein ideales Anwendungsfeld für einen BHKW-Einsatz[64]. Der Energiebedarf umfaßt neben der Raumwärme die Bereitung von Warmwasser, die Unterhaltung der Wäscherei, die Sterilisation der Geräte und die Küche[65]. Ungünstige Randbedingungen liegen hingegen bei Verwaltungsgebäuden, öffentliche Einrichtungen und Schulen vor, deren Wärmeabnahmestruktur im wesentlichen durch Öffnungs- und Dienstzeiten festgelegt werden[66].

Falls der Wärmekunde stromtechnisch direkt an das Blockheizkraftwerk angebunden ist, kann er den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom selbst nutzen. Überschüssiger Strom wird in das öffentliche Netz eingespeist. In der Regel erzeugen Blockheizkraftwerke mehr Strom als von den Wärmekunden verbraucht wird. Ein gleichbleibendes Verhältnis des Strom- und Wärmebedarfs eines Einzelobjektes oder eines Versorgungsgebiets sichert die Nutzung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms. Vorteilhaft ist ein möglichst paralleler Verlauf von Strom- und Wärmebedarf. Auf diese Weise wird die wesentlich ungünstiger bewertete Einspeisung von überschüssigem Strom in das öffentliche Leitungsnetz vermieden. Auch hier bieten Krankenhäuser

[61] Vgl. *Böhnisch*, Helmut/ *Langniß*, Ole/ *Nitsch*, Joachim/ *Staiß*, Frithjof: Einsatzbereich und Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Kommunen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 4, S. 145-152.

[62] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW-Fibel, Energiesparende Blockheizkraftwerke - intelligente Technik für die Umwelt, o. J., Hamburg, S. 27.

[63] Vgl. *Weingarten*, Ingolf/ *Roth*, Bernhard/ *Fuchs*, Peter: Blockheizkraftwerke - Patente für eine dezentrale Energieversorgung? Badenwerk AG, 1987, S.13

[64] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW in Krankenhäusern, o. J., Hamburg, S. 2.

[65] Vgl. *Suding*, Paul H./ *Gummersbach*, M.: Energie für Wärmezwecke im Kleinverbrauchermarkt, München, 1986, S. 73.

[66] Vgl. *Kleih*, Gerhard/ *Kaintzyk*, Norbert: Einsatz von BHKW in der kommunalen Versorgung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 44. Jg. (1994), Heft 5, S. 292- 295.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

ideale Voraussetzungen für den Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen[67]. Darüber hinaus kann eine BHKW-Anlage im Krankenhausbereich den Bedarf an Notstrom decken, so daß Investitionen in eine Zusatzanlage entfallen.

Im Wohnungsbereich mit einem vergleichsweise niedrigen Grundbedarf und niedrigerer Wärmedichte war bisher aufgrund der Charakteristik des Strom- und Wärmebedarfs eine ausreichende Wirtschaftlichkeit in der Regel nicht gegeben[68]. Größere Stückzahlen für Blockheizkraftwerke führten in den letzten Jahren jedoch zu niedrigeren spezifischen Kosten, so daß die Preisentwicklung deutlich nach unten tendiert[69]. Neue Methoden der Leitungsverlegung reduzieren die Investitionskosten in Wärmeverteilungsnetze. Dadurch erweitern sich die Nutzungspotentiale auch in Neubaugebieten mit geringeren Anschlußwerten.

Die Entwicklung der BHKW-Technik im Wohnungsbau steht erst am Anfang[70]. Eine flächendeckende Versorgung von Wohngebieten ist unter den gegebenen Rahmenbedingungen auch in Zukunft nicht zu erwarten. Mit der Verschärfung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz reduziert sich der Energieverbrauch zu Heizzwecken[71]. In Siedlungsgebieten mit Niedrigenergiehausstandard ist von einer Halbierung des spezifischen Heizenergieverbrauchs auf weniger als 50 kWh/m^2 pro Jahr auszugehen. Die meist lockere Bebauung verbunden mit modernen Wärmeschutzstandards bedingt einen geringen Wärmebedarf. Erschließungszeiten eines Wohngebiets von fünf bis zehn Jahren verursachen zudem höhere Wärmegestehungskosten als die hausbezogene Einzelversorgung mit Öl- oder Gasheizungen[72].

Die Bereitstellung von Nahwärme durch BHKW-Anlagen konzentrierte sich bisher auf Bedarfsschwerpunkte mit einer hohen Grundlast des Wärmebedarfs. Die Verknüpfung benachbarte Objekte mit unterschiedlicher Struktur des Wärmebedarfs zu einem Verbund ermöglicht eine gleichmäßigere Wärmenachfrage[73]. So ist ausgehend von einem Verbrauchsschwerpunkt die Anbindnung umliegender Wohngebäude durch ein Nahwärmenetz denkbar. Perspektiven eröffnen sich in einer Vernetzung von Krankenhäusern und angren-

---

[67] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW in Krankenhäusern, o. J., Hamburg, S. 2.

[68] Vgl. *Weingarten*, Ingolf/ *Roth*, Bernhard/ *Fuchs*, Peter: Blockheizkraftwerke - Patente für eine dezentrale Energieversorgung? Badenwerk AG, 1987, S. 13.

[69] Vgl. o. V.: Im Boom purzeln die Preise, Energie & Management, 7/95.

[70] Vgl. *Meyer*, Rolf: Blockheizkraftwerke im Wohnungsbau, Gas, Heft 6, 1993, S.25-28.

[71] Vgl. Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV), Bundesdrucksache 345/93, Bonn, 19. Mai 1993.

[72] Vgl. *Müh*, Helmut/ *Sonntag*, Joachim: Perspektiven von Blockheizkraftwerken, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 420-424.

[73] Vgl. *Jarass*, Lorenz: Bewertungshilfen für Kraft-Wärme-Kopplung, BWK, Bd. 45 (1993), Nr. 1/2 Januar/Februar, S. 45-48.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

zenden Wohngebieten. Ebenso kann die nachteilige Wärmeabnahmestruktur von öffentlichen Einrichtungen durch Einbeziehung nahe zusammenliegender Wärmeverbraucher verbessert werden[74].

Für eine bessere jährliche Nutzung von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung ist neuerdings die "Fernkältetechnik" zur Klimatisierung in den Sommermonaten von Interesse. Die Abwärme eines Blockheizkraftwerks, welche im Winter zur Beheizung dient, wird in den Sommermonaten zum Betrieb einer Absorbtionskältemaschine eingesetzt[75]. Pilotprojekte zur Klimatisierung von Kaufhäusern und Einkaufszentren haben die technische Machbarkeit entsprechender Versorgungskonzepte unter Beweis gestellt. In den Sommermonaten eignen sich zur Deckung des Kältebedarfs neben Einkaufszentren gleichfalls Verwaltungsgebäude, Krankenhäuser und Hotels. In der Studie wird auf die Fernkältetechnik nicht näher eingegangen, da sich die Verbrauchscharakteristik der zu versorgenden Objekte mit Klimatisierung deutlich von der einer ausschließlichen Wärmeversorgung unterscheidet.

2. Nahwärme als Baustein örtlicher Energieversorgungskonzepte

Die Erstellung örtlicher und regionaler Energieversorgungskonzepte muß in engem Zusammenhang mit den Veränderungen der energie- und wirtschaftspolitischen Rahmenbedingungen und der darauf reagierenden Energiepolitik gesehen werden[76]. Versorgungskonzepten wird die Aufgabe zugewiesen, versorgungswirtschaftliche sowie kommunale Planungsbereiche, wie Raumordnung und Stadtentwicklungsplanung aufeinander abzustimmen, so daß die Entwicklung von Siedlungsstrukturen bzw. Gebäudebestand sowie das Energieangebot unter Einsparaspekten koordiniert werden kann[77]. Es gilt technisch, ökonomisch und ökologisch akzeptable Lösungen zu erarbeiten, welche die unterschiedlichen Zielgruppen wie Versorgungsunternehmen, Stadtverwaltungen und Verbraucher mittragen[78].

Örtliche und regionale Energiekonzepte stellen ein wirkungsvolles Instrument der Umweltplanung dar. Im Rahmen einer Dezentralisierungsstrategie

---

[74] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J., Hamburg, S.16.

[75] Vgl. *Meboldt*, Hansjörg: Kälteerzeugung mit Fernwärme-Heizwasser, FWI, Jg. 22 (1993), Heft 4, S. 152-160.

[76] Vgl. Prognos AG, Energieversorgungskonzepte : Von der Planung zur Praxis - Ausgestaltung und Umsetzung vorliegender örtlicher und regionaler Energieversorgungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf den Energie- träger-Wettbewerb, 1986, S. 13.

[77] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, München, 1985, S. 49.

[78] Vgl. *Rath-Nagel*, Stefan: Aufbau kommunaler Energiekonzepte, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg. (1992), Heft 1/2, S. 73-77.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

erfolgt eine Anpassung an die örtlichen Verhältnisse unter der Devise des globalen Denkens und lokalen Handelns[79]. Zu einem gestiegenen Selbstverständnis der Kommunen gehört die Verantwortung gegenüber einer Reduktion der CO_2-Emissionen im Rahmen einer wirksamen Klimaschutzpolitik. Etwa 60 deutsche Städte und Gemeinden haben kommunale Klimaschutz- und CO_2-Minderungsprogramme beschlossen[80]. Weitere 150 Städte arbeiten in einem Klimabündnis mit, das sich eine Reduktion der CO_2-Emissionen um 50 % bis zum Jahr 2010 zum Ziel gesetzt hat[81].

Als kommunales Handlungsfeld zum Klimaschutz wird der Ausbau leitungsgebundener Energieträger im Wärmemarkt, wie die Gas- und Fern-/Nahwärmeversorgung angesehen[82]. Der Einsatz hocheffizienter Techniken auf Basis dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung bietet sich als ökologisch und ökonomisch sinnvolles Instrument an[83]. Blockheizkraftwerke sind aufgrund ihrer sehr günstigen Wirkungsgrade für eine Energieeinsparung und eine Umweltentlastung geeignet[84]. Der Betrieb und die Verdichtung von Nahwärmenetzen reiht sich in ein Bündel von Maßnahmen zur preisgünstigen, rationellen und umweltschonenden Energienutzung ein[85].

Energieversorgungsunternehmen sind auf regionaler und kommunaler Ebene erheblichen Marktveränderungen ausgesetzt. Das klassische Geschäftsfeld des Verkaufs von Energien stagniert, nachdem Potentiale, z. B. in der Gasversorgung, weitgehend erschlossen wurden. Geändertes Verbraucherverhalten und rückläufige spezifische Wärme- und Stromverbräuche aufgrund verbesserten Wärmeschutzes verstärken diesen Trend. Zudem wird der europäische Binnenmarkt zukünftig die deutsche Energieversorgung prägen. Bestrebungen in der Neugestaltung des politischen Ordnungsrahmens führen zu einem verschärften Wettbewerb. Gesättigte Absatzmärkte in Verbindung mit verstärkten Wettbewerbstendenzen bergen für Energieversorger zunächst erhebliche

---

[79] Vgl. *Speer*, F.: Energieversorgungskonzepte als Instrumente kommunalen Umweltschutzes. In: VDI-Berichte 543: Umweltschutz in der kommunalen Energieversorgung, 1986.

[80] Vgl. Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz, Economica Verlag, 1995, S. 155.

[81] Vgl. ebd., S. 155, sowie *Fiebig*, Karl-Heinz/ *Kallen*, Carlo: Kommunaler Klimaschutz, Der Städtetag, Heft 5, 1994, S. 334-340.

[82] Vgl. *Fiebig*, Karl-Heinz/ *Kallen*, Carlo: Kommunaler Klimaschutz, Entwicklung von Programmen und konsequente Umsetzung, Der Städtetag, Heft 7, 1994, S. 476-480.

[83] Vgl. o. V.: Überzeugende Bilanz auf allen Linien - Blockheizkraftwerke als lokales Klimaschutz - Instrument, ZfK, April 1996, S. 26.

[84] Vgl. *Henkel*, Hartmut: Blockheizkraftwerke und Umwelt, GASWÄRME International, 41 (1992), Heft 11, November, S. 480-486.

[85] Vgl. *Just*, Wolfgang: Kommunale Energiekonzepte - Eine Dienstleistungsaufgabe für Energieversorgungsunternehmen, Der Städtetag, Heft 11, 1994, S. 757 -762.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Risikofaktoren in sich. Durch die strategische Neuorientierung infolge des strukturellen Umbruchs eröffnen sich jedoch über das traditionelle Versorgungsgeschäft hinaus Chancen durch das Erschließen neuer Märkte[86].

Vor dem Hintergrund der Wettbewerbsintensivierung auf den Energiemärkten gewinnt die Entwicklung wettbewerbsfähiger Dienstleistungen zunehmend an Bedeutung. Kommunale Versorgungsunternehmen begegnen dieser Herausforderung mit neuen Strategien. Um den geänderten Anforderungen gewachsen zu sein, bedarf es anspruchsvoller Instrumente[87]. Angesichts einer künftigen Wettbewerbssituation gewinnt die Nähe zu den Kunden immer mehr an Bedeutung. Verbraucher erwarten zusätzlichen Nutzen in Form innovativer Dienstleistungen, die den ökologisch und ökonomisch sinnvollen Einsatz von Energie unterstützen[88]. Energieversorgungsunternehmen haben eine breite Angebotspalette von Dienstleistungsprodukten entwickelt, um flexibel auf Kundenwünsche eingehen zu können. Mit Nahwärme steht ein weit gefächertes Leistungspaket zur Verfügung[89]. Im Rahmen eines "Wärme-Direkt-Service" erfolgt nicht nur die Lieferung von Energie, sondern es wird Wärme und der damit verbundene Nutzen inklusive Planung, Bau und Wartung bereitgestellt[90]. Daneben werden auch Finanzierungsmodelle angeboten[91].

Durch die engere Kundenbindung eröffnet sich Energieversorgern die Möglichkeit der Wettbewerbssicherung gegenüber anderen Dienstleistungsanbietern. Dazu ist ein vorwiegend projektbezogenes Vorgehen erforderlich, bei dem moderne technische Lösungen den Kundenwünschen entsprechend eingesetzt werden sollen. Eine Orientierung an den Kundenwünschen ist jedoch kein Garant für den Erfolg eines Nahwärmeprojekts. Energiedienstleistungen sind kein Ersatz für eine sorgfältige Planung unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen.

---

[86] Vgl. *Asmuth*, Peter/ *Schlusche*, Kai-Hendrik: Strategische Neuorientierung eines Regionalversorgers, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 5, S.270-273.

[87] Vgl. *Weber*, Wolfgang: Dienstleistungsorientierung von Versorgungsunternehmen als Voraussetzung eines erfolgreichen BHKW-Marketings, Zusammenfassung des Vortrags zur Fachtagung Blockheizkraftwerke, 6. März 1996 in Bonn.

[88] Vgl. *Bammert*, Ulrich/ *Stadler*, Andreas: Der neue Dienst am Kunden - Auf dem Weg zum innovativen Energiedienstleistungsunternehmen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 436-439.

[89] Vgl. *Weber*, Wolfgang: Dienstleistungsorientierung von Versorgungsunternehmen als Voraussetzung eines erfolgreichen BHKW-Marketings, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 410-414.

[90] Vgl. ebd. S. 410ff.

[91] Siehe dazu den Wärme-Direkt-Service der Stadtwerke Saarbrücken; vgl. *Klopfleisch*, Reinhard: Vom örtlichen Versorgungskonzept zum Saarbrücker Zunkunftskonzept Energie. In: *Leonhardt*, Willy/ *Klopfleisch*, Reinhardt/ *Jochum*, Gerhard: Kommunales Energie-Handbuch, Karlsruhe, 1989, S. 24.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Der Wandel infolge eines immer schärferen Wettbewerbs bedingt neue Strukturen in der Versorgungswirtschaft. Neben horizontal operierenden Versorgungsunternehmen mit dem Bestreben einen möglichst hohen Marktanteil zu erzielen, und vertikal operierenden Versorgern, die sich durch getrennte und unabhängige Geschäftsbereiche auszeichnen, werden zukünftig auch "Nischenversorger" in den Energiemarkt drängen[92]. Derartige Unternehmen zeichnen sich durch die Ausnutzung von Wettbewerbsvorteilen in einem speziellen Sektor der Energieerzeugung, einem Kundensegment oder einer Region aus. Neue Modelle von Kooperationen helfen, die Energiebereitstellung und -nutzung in einem Versorgungsgebiet unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten zu optimieren. Beispielsweise werden Blockheizkraftwerke durch speziell gegründete Gesellschaften für Heizzentralen von Wohnungsbaugesellschaften oder in öffentlichen Gebäuden betrieben.

Gasversorgungsunternehmen eröffnen sich durch erdgasbetriebene Blockheizkraftwerke die Chance, neue Geschäftsfelder zu erschließen und die eigene Marktposition zu sichern[93]. Vor diesem Hintergrund werden Gasversorgungsunternehmen in noch stärkerem Maß von der Funktion des Erdgaslieferanten zu der eines Energiedienstleisters übergehen[94]. Im Einsatz von Erdgas in Blockheizkraftwerken sieht die deutsche Gaswirtschaft eine Signalwirkung für eine effiziente Wärme-Strom-Erzeugung[95].

3. Finanzierungs- und Organisationskonzepte

Für den Bau und Betrieb einer dezentralen Nahwärmeversorgung gibt es unterschiedliche Trägermodelle. Die Spannbreite reicht von der Eigeninitiative des Nutzers über Energiedienstleistungen hin zu diversen Formen von Finanzierungsmodellen. Der Betreiber kann gleichzeitig als Energienutzer oder als Anbieter von Nutzenergie auftreten. Für den Betrieb einer BHKW-Anlage kommen folgende Finanzierungs- und Organisationsformen in Frage[96] :

- Mischfinanzierung aus Eigen- und Fremdkapital; der Betrieb der Anlage mit Eigenstromerzeugung erfolgt durch den Nutzer;
- Bau und Betrieb durch das örtliche Energieversorgungsunternehmen (Stadtwerke);

---

[92] Vgl. *Bozem*, Karlheinz/ *Schulz*, Rolf: Dynamischer Wandel in der Versorgungswirtschaft - Erfahrungen mit deregulierten Energiemärkten, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 3, S. 124-133.

[93] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524.

[94] Vgl. Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW): Strategien zur Milderung des Treibhauseffektes, Bonn, März 1991, S. 8.

[95] Vgl. ebd., S. 5.

[96] Vgl. *Klien*, Jobst: Planungshilfe Blockheizkraftwerke, 1991, S. 49.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- Bau und Betrieb durch ein Gemeinschaftsunternehmen unter Beteiligung des Nutzers, eines Energieversorgungsunternehmens und des Anlageherstellers;
- Bau und Betrieb der Anlage durch Dritte ohne Beteiligung des Nutzers;

In Anbetracht der engen Haushaltslage der Kommunen wird die Bereitstellung der notwendigen finanziellen Mittel für einen rationellen Energieeinsatz zunehmend schwieriger. Vor diesem Hintergrund haben sich neue Finanzierungsformen unter dem Oberbegriff des "Contracting" herausgebildet. Contracting vereint unterschiedliche Formen der Finanzierung von Energieinvestitionen sowohl in der kommunalen als auch in der industriellen Energieversorgung. Mit Contracting können Energiedienstleistungen über Dritte finanziert werden[97]. Der Contraktor bietet dem Kunden ein Gesamtkonzept an, zu dem neben der Beratung, Planung sowie Bau und Installation auch die Finanzierung und der Betrieb einer BHKW-Anlage zählt. Folglich handelt es sich um eine vertragliche Vereinbarung, die ein Bündel von zu erbringenden Dienstleistungen umfaßt.

Contracting ist prinzipiell für alle Energieprojekte geeignet. Im Vordergrund stehen Projekte mit einem erheblichen Energiesparpotential, die zu einer deutlichen Senkung der Energiekosten eines Nutzers beitragen[98]. Dazu zählen vor allem Kraft-Wärme-Kopplung. Zum Zwecke der Wärmelieferung werden eigens Gesellschaften gegründet. Der Energienutzer kann sowohl als Gesellschafter auftreten, als auch ohne finanzielle Beteiligung ausschließlich als Bezieher von Wärme oder Strom fungieren. Durch Contracting können Energieinvestitionen auch bei Mittelknappheit des Energienutzers realisiert werden. Ebenso kann das Finanzierungsrisiko auf mehrere Beteiligte verteilt, sowie das von der jeweiligen Interessengruppe eingebrachte Know-how gebündelt werden[99]. Contracting gewinnt daher zunehmend an Bedeutung[100].

Aufgrund des verschärften Wettbewerbs wird zukünftig die Erhaltung der eigenen Marktstellung zu einer Beteiligung an solchen Konzepten zwingen. Contracting wird sich in Zukunft als Finanzierungsform für Nahwärmeprojekte anbieten. Ideal erscheint eine Lösung, für die EVU, Betreiber und Gasversorger als beteiligte Partner auftreten. Gerade vor dem Hintergrund wett-

---

[97] Vgl. *Braunmühl von*, Wilhelm: Contracting - Idee, Umsetzung, Erfahrung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 44. Jg. (1994), Heft 6. S. 354-360.

[98] Vgl. ASUE (Hrsg.): Contracting in der kommunalen und industriellen Energieversorgung, o. J., Hamburg, S. 2.

[99] Vgl. ebd., S. 2ff.

[100] Für Unternehmen, wie EUD Heidelberg (ehemals Energieconsulting Heidelberg) als Consultingunternehmen für die Ausarbeitung und Betreuung von Energieprojekten im Bereich dezentraler Nahwärme, macht das Geschäft mit Contractinganlagen 50 % aus; vgl. *Kaier*, Ulrich: Was ist Contracting. In: Chancen mit Contracting: Finanzierung, Bau und Betrieb von Energieerzeugungsanlagen für Industrie und Kommunen, 1992, S. 20.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bewerbsorientierter Energiemärkte eröffnet sich Nahwärmeversorgern durch Contractingmodelle die Chance, in bisher abgeschlossene Versorgungsgebiete einzudringen.

Contractingmodelle gibt es in vielfältigen Variationen[101]. Eine der gängisten Formen ist der Zusammenschluß der Kooperationspartner zu einer Projekt- oder einer Betreibergesellschaft, wie in Abbildung 4 dargestellt. Zu den "Contractoren" gehören die verschiedenen an einem Energieprojekt beteiligten Unternehmen. Dazu zählen Energieversorgungsunternehmen, Anlagen- und Komponentenhersteller, Ingenieurbüros, Banken und Versicherungen sowie der Energienutzer selbst[102]. Versorgungsunternehmen spielen aufgrund ihrer Erfahrungen als Vertragspartner eine wichtige Rolle, da sie als Brennstofflieferant fungieren und die Versorgung mit Reservestrom sowie die Abnahme des in der BHKW-Anlage erzeugten Stroms garantieren.

Im Falle einer Projektgesellschaft handelt es sich um eine eigens für ein bestimmtes Projekt gegründete Gesellschaft[103]. Eine zeitlich befristete Objektgesellschaft und die Auslagerung aus dem eigenen Unternehmen bietet dem Nutzer den Vorteil, das Finanzierungsrisiko einer Wärmeversorgung auf mehrere Beteiligte zu verteilen. Der Energienutzer ist als Gesellschafter mitverantwortlich und erbringt selbst Leistungen, in der Regel durch Bereitstellung eines Grundstücks oder Gebäudes. Die Leistungen werden über den Wärmepreis abgerechnet. Eine Projektgesellschaft kann als Personengesellschaft mit beschränkter Haftung durch Gesellschafter geführt werden.

Die Hinzunahme eines Energieversorgers erleichtert die Genehmigung einer energietechnischen Anlage zur Belieferung Dritter mit Elektrizität auf der Grundlage von § 5 des Energiewirtschaftsgesetzes[104]. Der Contractor bietet eine umfassende Betreuung von der Planung und Finanzierung bis zum Bau, Betrieb und Wartung der Anlage. Als Beteiligte kommen neben den lokal agierenden Versorgungsunternehmen auch Wohnungsbaugesellschaften, private Bauherren und die öffentliche Hand in Frage. Die Finanzierung erfolgt in der Regel durch den Kapitalmarkt.

---

[101] Vgl. *Weise*, Matthias: Contracting-ABC, Energie Spektrum, Juni 1994, S. 35-39.

[102] Vgl. ASUE (Hrsg.): Contracting in der kommunalen und industriellen Energieversorgung, o. J., Hamburg, S. 2ff.

[103] Vgl. *Meyer-Renschhausen*, Martin: Organisations- und Finanzierungsformen energieeffizienter Energieerzeugungsanlagen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg., Heft 10, 1992, S. 678 - 684.

[104] Vgl. Gesetz zur Förderung der Energiewirtschaft (Energiewirtschaftsgesetz) vom 13.12.1935- RGBl. 1935 Bd. I S.1451, zuletzt geändert durch das Gesetz vom 19.12.1977 BGBl. 1977 Bd.I S. 2750 §5 (1) Aufnahme der Energieversorgung (Genehmigungspflicht).

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

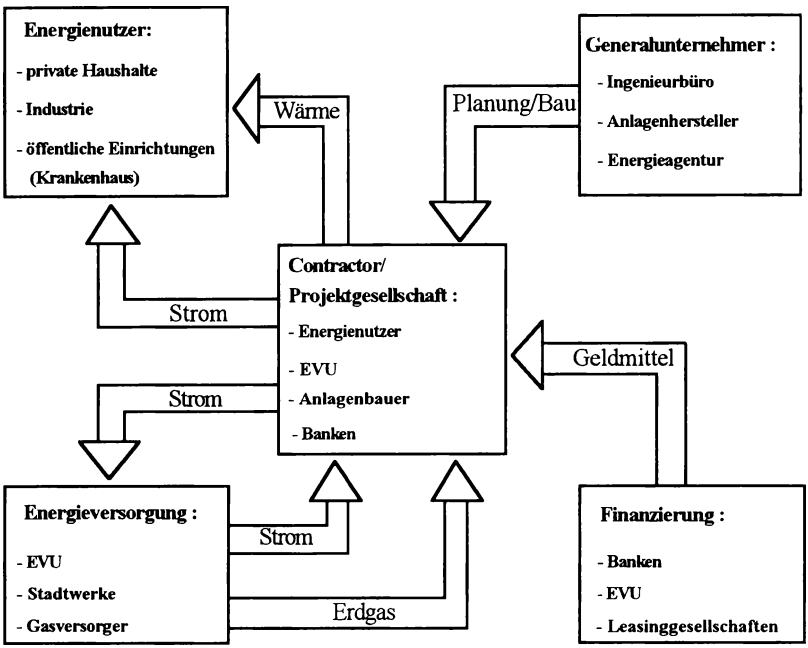

Abb. 4: Ausgestaltung eines Contractingmodells

Im Gegensatz zu einer Projektgesellschaft kauft der Energienutzer im Rahmen eines Betreiber- oder Miet-/Leasingmodells von einer Energie-Service-Gesellschaft Wärme und Strom zu. Gegenstand solcher Gesellschaften ist der Bau und Betrieb sowie die Finanzierung von rationellen Energieerzeugungsanlagen. Dabei handelt es sich nicht um Ein-Projekt-Unternehmen[105]. Bei einem Betreibermodell befindet sich die Anlage im Eigentum des Contractors. Kunde und Contractor sind durch einen Energielieferungsvertrag gebunden. Die Finanzierung von energiesparenden Technologien kann durch Transfer der erzielten Einsparungen an den Contractor bis zur Amortistion des eingesetzen Kapitals erfolgen oder zwischen Betreiber und Energiekunden aufgeteilt werden.

[105] Vgl. *Meyer-Renschhausen*, Martin: Organisations- und Finanzierungsformen energieeffizienter Energieerzeugungsanlagen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg., Heft 10, 1992, S. 678 - 684.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

II. Nahwärme im Kontext von Energiepolitik und Energiewirtschaft

Eine dezentrale Nahwärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke steht aufgrund der gekoppelten Produktion von Strom und Wärme im Schnittpunkt wesentlicher Problemfelder der Energiewirtschaft (Abbildung 5). Die Basis strategischer Entscheidungen und die Beurteilung des wirtschaftlichen Erfolgs eines Nahwärmeprojekts muß vor dem Hintergrund eines komplexen Unternehmensumfeldes gesehen werden.

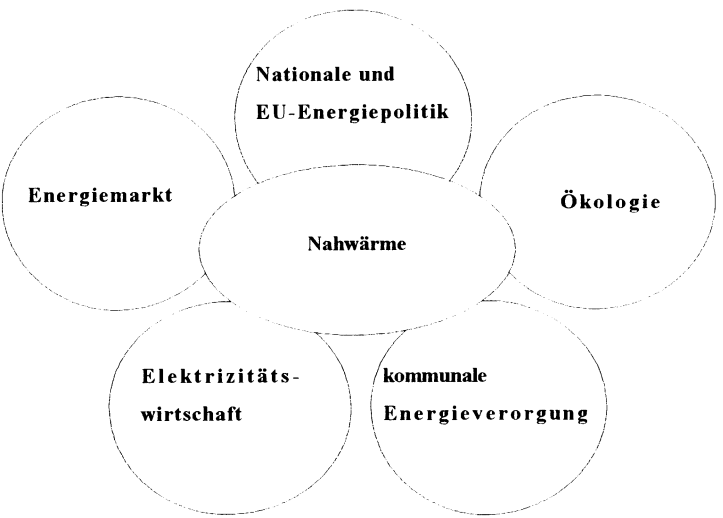

Abb. 5: Unternehmensumfeld einer Nahwärmeversorgung

Im Unterschied zu Wärme, die nur auf einem eng begrenzten Markt angeboten wird, ist Elektrizität nicht ortsgebunden[106]. Dezentrale Kraftwerksanlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung werden in der Regel in das Stromverbundnetz einbezogen, so daß enge Verknüpfungspunkte mit der Elektrizitätswirtschaft bestehen. Aus diesem Grund bleibt der dynamische Wandel auf dem Elektrizitätsmarkt für Nahwärme nicht ohne Folgen[107].

Mit Beginn des Jahres 1993 wurde der europäische Binnenmarkt verwirklicht, der die Freizügigkeit von Waren und Dienstleistungen gewährleisten

[106] Vgl. *Pfaffenberger*, Wolfgang: Elektrizitätswirtschaft: R. Oldenburg, München, 1993, S. 270.

[107] Vgl. *Scheele*, Ulrich: Regionale Auswirkung des Europäischen Binnenmarktes am Beispiel Energiewirtschaft, Diskussionsbeitrag Nr. V - 133 - 94, Volkswirtschaftliche Reihe des Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Oldenburg, 1994, S. 27ff.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

soll. In der Elektrizitätswirtschaft und der Gasversorgung hat dieser Prozeß erhebliche Anpassungen und Strukturverschiebungen zur Folge[108]. Das Binnenmarktkonzept der EU-Kommission zielt durch eine bessere Marktintegration vorrangig auf Effizienz und Kostenersparnis im Energieangebot, der Energieverteilung und der Energieverwendung ab[109]. Diese Vorgaben sollen durch eine Intensivierung des Wettbewerbs umgesetzt werden. Wichtige Voraussetzung ist die Liberalisierung der Energiemärkte, d.h. der freie Marktzugang durch den Abbau physischer und technischer Grenzbarrieren für den Anbieter und Abnehmer von Energie.

Im Bereich der leitungsgebundenen Energieversorgung soll der Forderung nach mehr Wettbewerb auf dem EU-Binnenmarkt durch den Abbau monopolistischer Strukturen Nachdruck verliehen werden. Eine gemeinsame durch die Energieminister der Europäischen Union vereinbarte Regelung zur Liberalisierung des Strombinnenmarktes betrifft die freie Wahl des Stromlieferanten[110]. Die Öffnung des Energiemarktes ist zunächst für Großabnehmer mit einem Jahresverbrauch von mindestens 40 GWh (Gigawattstunden) vorgesehen. Bis zum Jahr 2000 ist die Herabsetzung der Einstiegsschwelle auf 20 GWh beabsichtigt. Weitergehende Bestrebungen des europäischen Parlaments heben die Verantwortung der Mitgliedstaaten unter dem Stichwort "Service-public" hinsichtlich der öffentlichen Dienstleistungsaufgaben von Elektrizitäts- und Gasversorgungsunternehmen hervor[111].

Die Liberalisierung der europäischen Energiemärkte verlangt wegen des höheren Wettbewerbsdrucks mehr Flexibilität in der Stromversorgung. In der Folge ist ein stärkeres Interesse an dezentraler Energieversorgung zu erwarten[112]. Aufgrund dieser Entwicklung weist der Trend zu Kraftwerksanlagen mit unmittelbarer Nähe zu den Verbrauchern, so daß sich Nahwärme auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung Chancen eröffnen. Mit der Ausweitung des westeuropäischen Verbundnetzes bis nach Rußland entsteht ein europaweiter Strommarkt[113]. Auf diesem Markt werden neue "Player", allem voran unab-

---

[108] Vgl. *Scheele*, Ulrich: Regionale Auswirkung des Europäischen Binnenmarktes am Beispiel Energiewirtschaft, Diskussionsbeitrag Nr. V - 133 - 94, Volkswirtschaftliche Reihe des Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Oldenburg, 1994, S. 2.

[109] Vgl. *Eßer*, Claudia: Die Elektrizität im europäischen Binnenmarkt, Schulz Kirchner, Idstein, 1994, S. 1.

[110] Mit politischen Hindernissen bis zum Erlaß der Richtlinie und der Umsetzung in nationales Recht wird nicht gerechnet; vgl. *Baur*, Jürgen: Die politische Einigung über die Elektrizitäts-Binnenmarkt-Richtlinie, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 8, S. 474-476.

[111] Vgl. *Grawe*, Joachim: Der Europäische Binnenmarkt für Elektrizität - Wo stehen wie heute? StromTHEMEN, 11. Jg. (1994), Heft 3, S. 7.

[112] Vgl. *Kahlert*, Bernhard: Boomige Zeiten für BHKW, Energie Spektrum, August 1994, S. 2 -10.

[113] Vgl. *Hagenmeyer*, Ernst: Strom-Europa dehnt sich aus, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 432-435.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

hängige Stromerzeuger (Independent Power Producer-IPP), regenerative Energieerzeuger und Blockheizkraftwerke gegen Großerzeuger konkurrieren.

Eine durch nationalen Protektionismus geschützte Energiewirtschaft ist einem Schwund nationalstaatlicher Einflüsse infolge wachsender politischer und wirtschaftlicher Globalisierung ausgesetzt[114]. Die Schaffung des EU-Binnenmarktes führt mit einer Verlagerung von Befugnissen nach Brüssel zu einer "Europäisierung" rechtlicher und wirtschaftlicher Problemstellungen[115]. Auf nationaler Ebene sollen Bestrebungen zur Neugestaltung des ordnungspolitischen Rahmens in der Energiewirtschaft den Wettbewerb auf den Energiemärkten verstärken. In diesem Zusammenhang wird die Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkung mit dem Ziel günstigerer Strompreise und damit einer Steigerung der Attraktivität des Wirtschaftsstandortes Deutschland erörtert[116].

Um einen Wettbewerb in Gang zu setzen, soll in einem neugefaßten Energiewirtschaftsgesetz die staatliche Aufsicht auf das "unerläßliche Maß" zurückgeführt werden. Eine Änderung des § 103 GWB sieht vor, daß marktbeherrschende Versorgungsunternehmen die Abnahme des von Stromanbietern eigenerzeugten Stroms nicht unbillig behindern dürfen[117]. Beabsichtigt ist der Abbau bürokratischer Hemmnisse für die Betreiber kleiner Stromerzeugungsanlagen, wie Blockheizkraftwerke.

In der Diskussion stehen auch Vorschläge eines Marktes für Elektrizität nach englischem Vorbild[118]. Mit der Privatisierung der Stromversorgung in Großbritannien wurden die Bereiche Erzeugung und Verbundnetz getrennt[119]. Nach dem sogenannten "Pool-Modell" erfolgt einen Bündelung des Stromangebots und der Nachfrage. Der Pool-Preis wird einheitlich ähnlich einer Börse nach Angebot und Nachfrage ermittelt. Auf diese Weise könnten Erzeugern von umweltschonendem Strom auch ohne eigenes Netz Chancen zur Marktteilnahme eröffnet werden[120]. In den USA wurde für den Bundesstaat Kalifornien die Deregulierung der Strommonopole beschlossen, so daß ab 1998 alle

[114] Vgl. o. V.: Marktdynamik und Dienstleistungsstrategien für EVU, Energie Spektrum, Oktober 1993, S. 54-57.

[115] Vgl. *Kramer*, W./ *Reitz*, P.: Energiewirtschaft braucht neue Strukturen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 43. Jg. (1993), Heft 9, S. 641-642.

[116] Vgl. o. V.: Entwurf zur Energierechtsreform, StromTHEMEN, 10. Jg. (1993), Heft 12, S. 6; die gesetzliche Grundlage bildet § 103 GWB; Vgl. Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.09.1980 (BGBl. I S. 1761); sowie Bundesministerium für Wirtschaft: Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftrechts, Entwurf in der Fassung vom 28. Januar 1994.

[117] Vgl. o. V.: Entwurf zur Energierechtsreform, StromTHEMEN, 10. Jg. (1993), Heft 12, S. 6.

[118] Vgl. o. V.: Merkel votiert für Strompool, Handelsblatt, 29./30.9.1995.

[119] Vgl. *Pfaffenberger*, Wolfgang: Elektrizitätswirtschaft, R. Oldenburg, München, 1993, S. 270.

[120] Vgl. o. V.: Merkel votiert für Strompool, Handelsblatt, 29./30.9.1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Großkunden und ab dem Jahr 2003 alle übrigen Kunden den günstigsten Anbieter wählen können[121].

Vor dem Hintergrund einer geforderten Reduktion der CO_2-Emissionen wird als fiskalische Maßnahme die Einführung einer Energiesteuer bzw. eine Besteuerung der Kohlendioxidemissionen diskutiert. In diesem Zusammenhang hat die Kommission der Europäischen Union im Jahr 1992 den Entwurf einer Richtlinie für eine kombinierte Energie/CO_2-Steuer mit dem Ziel der Stabilisierung von CO_2-Emissionen in der Europäischen Gemeinschaft auf dem Niveau von 1990 vorgelegt[122]. Die Einführung einer Energie/CO_2-Steuer wird als wesentlicher Bestandteil einer Gesamtstrategie zur Förderung sowohl der rationellen Energieverwendung als auch umweltfreundlicher Energiequellen durch eine Änderung des Einsatzes der verschiedenen Energieträger gesehen. Um beide Zielsetzungen zu vereinen, wird als Steuerbemessungsgrundlage der Energieinhalt und die Kohlendioxidemissionen von Erzeugnissen angeführt.

Zur Begrenzung des Einsatzes kohlenstoffhaltiger Energieträger umfaßt der Entwurf eine Steuerkomponente auf die CO_2-Emissionen von Energieerzeugnissen fossilen Ursprungs. Aufgrund dessen verteuert sich auch die Erzeugung von Strom und Wärme auf der Basis kohlenstoffhaltiger Primärenergieträger. Zu den fossilen Energieträgern zählen vor allem Steinkohle, Braunkohle, Erdgas und Mineralöl. Darüber hinaus soll der Einsatz aller Energieträger einschließlich der Kernenergie und Wasserkraftwerke mit einer elektrischen Leistung über 10 MW mit einer Steuer belegt werden. Regenerative Energien sollen von der Steuerpflicht befreit werden.

Um Wettbewerbsverzerrungen innerhalb der Europäischen Union zu verhindern, zielt die EU-Kommission mit dem Richtlinienvorschlag auf eine gemeinschaftsweite Harmonisierung des Steuersystems. Der Richtlinienvorschlag wird indessen heftig diskutiert[123]. Nicht zuletzt werden Nachteile der europäischen Industrie gegenüber anderen OPEC-Staaten befürchtet, sofern diese Staaten keine ähnliche Steuer oder in gleicher Weise wirkende Maßnahmen einführen. Um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft nicht einzuschränken, wird ein nationaler Alleingang ebenfalls ausgeschlossen.[124]

Daneben wurden ein Reihe weiterer Diskussionsvorschläge vorgebracht[125]. Von der Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" sowie vom DIW

[121] Vgl. *Lienhard*, Hubert: Veränderter Energiemarkt - Anforderungen an die Kraftwerkshersteller, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 5, 313-315.

[122] Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Einführung einer Steuer auf Kohlendioxidemissionen und Energie, KOM(92) 226 endg. vom 30.6.1992.

[123] Vgl. o.V.: Klimaschutzziel fast vergessen - EU/Ringen um Konzept für Klimasteuer, Handelsblatt, 4.10.1995.

[124] Vgl. o. V.: Rexrodt : Ökosteuer wird kommen, Handelsblatt, 13.5.1995.

[125] Vgl. *Kohlhaas,* Michael/ *Welsch*, Heinz: Modell einer aufkommensneutralen Energiepreiserhöhung und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen, Teil 1: Modell der Energie-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

wurde jeweils ein Konzept einer ausschließlichen Besteuerung von Energie vorgestellt[126]. Gravierender Nachteil beider Steuervorschläge ist das Fehlen eines gezielten Anreizes zur Brennstoffsubstitution. Ein wesentlicher Vorteil der rationellen Energieverwendung durch Kraft-Wärme-Kopplung im Gegensatz zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme liegt in den geringeren spezifischen CO_2-Emissionen begründet. Zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung bietet sich daher eine verursachungsgerechte Besteuerung auf Basis der CO_2-Emissionen als Bemessungsgrundlage an. Eine derartige Steuer würde konventionelle Wärmeerzeugung durch Öl, Gas und Kohle stärker treffen als der effiziente Energieeinsatz in Blockheizkraftwerken.

Die beiden Ölpreiskrisen der 70er Jahre haben die Abhängigkeit einer entwickelten Volkswirtschaft von Energieeinfuhren aufgezeigt. Infolge dessen wurden in der 3. Fortschreibung des Energieprogramms der Ausbau der Fernwärme auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung und die Abwärmenutzung als vorrangige Ziele benannt[127]. Der Ausbau von Fernwärmenetzen wurde durch Bund-Länderprogramme gefördert. Nachfolgend trat der Aspekt der Verringerung klimarelevanter Gase in den Vordergrund. Fehlende Geldmittel für die Modernisierung veralteter Fernwärmenetze führten in den Neuen Bundesländern zur Gewährung von Zuschüssen. So wurde allein im Jahr 1992 zur Erneuerung und Umstrukturierung der Fernwärmeversorgung in Ostdeutschland ca. eine Milliarde DM investiert[128]. Für die Installation von Blockheizkraftwerken im Rahmen kleinerer Nahwärmenetze werden in Deutschland neben staatlichen Subventionen und Steuererleichterungen folgende Förderprogramme aufgelegt[129] :

- Zuschüsse aus Mitteln für energiesparende Maßnahmen vor allem im Rahmen von Länderprogrammen
- Sanierungszuschüsse
- Forschungsmittel
- Mittel der Europäischen Union
- Zuschüsse nach dem Investitionszulagengesetz § 3 (nur für die neuen Bundesländer)

---

besteuerung und Kompensation, Zeitschrift für Energie, Heft 1, 1995, S. 47-58.

[126] Vgl. Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre": Mehr Zukunft für die Erde - nachhaltige Energiepolitik für einen dauerhaften Klimaschutz, Bundesdrucksache 12/8600 (1994), sowie *Bach*, S./ *Kohlhaas*, M./ *Meinhardt*, V./ *Prätorius*, B./ *Wessels*, H./ *Zwierner*, R.: Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform, DIW, Berlin, 1994.

[127] Vgl. Deutscher Bundestag: Dritte Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesrepublik Deutschland, Bundes-Drucksache 9/893.

[128] Vgl. o.V.: Sanierung geht voran, Energie Spektrum, Januar 1993, S. 38-40.

[129] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 23.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Vor dem Hintergrund der Liberalisierung der Energiemärkte wird jedoch zunehmend die Forderung laut, daß sich Nahwärme im Wettbewerb ohne finanzielle Zuwendung behaupten muß. Nach dem Auslaufen von Fördermaßnahmen zur Unterstützung der rationellen Energieverwendung in Blockheizkraftwerken werden auf Landesebene Fördermittel und Zuschüsse gekürzt. Auch auf Bundesebene ist das Interesses der Politik geschwunden, so daß keine Förderprogramme mehr aufgelegt werden[130]. Als Begründung wird angeführt, daß Energieunternehmen als "Dienstleistungsunternehmen" flexibel auf den sich wandelnden Markt reagieren müssen. Technik, Wirtschaftlichkeit oder fehlende Mittel werden hierbei weniger als entscheidendes Problem gesehen, als viel mehr der "good-will" der Akteure[131].

1. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

Die Wettbewerbsfähigkeit dezentraler Nahwärme ist maßgeblich von energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig. Entscheidend für den wirtschaftlichen Erfolg eines Nahwärmeprojekts ist die Bewertung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms[132]. Betreiber von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen sind auf eine möglichst hohe Vergütung angewiesen. Aus einer unzureichenden Bewertung des KWK-Stroms resultieren niedrige Gutschriften, denen hohe Investitionen in ein Blockheizkraftwerk gegenüberstehen[133]. Zur Bewertung der Stromerzeugung muß prinzipiell unterschieden werden, ob der Strom zur Eigenbedarfsdeckung durch die Nahwärmekunden dient, oder als Überschußstrom in das vorgelagerte Netz eines Energieversorgungsunternehmens eingespeist wird. Die Bewertung des eigengenutzten Stroms erfolgt anhand der verdrängten Strombezugskosten, die bei gleicher Bezugsmenge an das EVU zu entrichten wären.

Weitaus ungünstiger und derzeit sehr kontrovers diskutiert ist die Bewertung von Überschußstrom. Der Vergütung einer Stromeinspeisung liegt das Prinzip der vermiedenen Kosten zugrunde. Als vermiedene Kosten können die eingesparten Strombezugskosten des aufnehmenden Energieversorgungs-

---

[130] Vgl. *Thiele*, Charles: Eiskalter Wettbewerb, Energie Spektrum, Heft 11, 1995, S.46.

[131] Vgl. *Zinn*, Hermann: Strategie der Landesregierung zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend Familie und Gesundheit, Wiesbaden, Januar 1995, S. 12.

[132] Siehe dazu Erläuterungen und Rechenbeispiel in Kapitel B.III.3, Einflußfaktoren der Wirtschaftlichkeit.

[133] Vgl. *Zinn*, Hermann: Strategie der Landesregierung zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, Januar 1995, S. 4.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

unternehmens bezeichnet werden. Sofern das belieferte EVU selbst Strom bezieht, gelten als Vergütungsmaßstab die Kosten für eingesparte Lieferungen von einem Vorlieferanten[134]. Unterhält das EVU eigene Kraftwerkskapazitäten, können unter den vermiedenen Kosten jene Aufwendungen verstanden werden, die den eingesparten Brennstoffkosten und der reduzierten Kraftwerksleistung entsprechen[135]. Über die Höhe der vermiedenen Kosten gibt es keine einheitliche Bemessungsgrundlage. Da es sich bei Energie nicht um ein homogenes Gut handelt, können je nach Tages- und Jahreszeit die Produktionskosten und -preise erheblich variieren[136]. Zudem ist die Frage zu stellen, ob der aufnehmende Energieversorger tatsächlich Kraftwerkskapazitäten einspart, oder die installierte Kraftwerkslast erst langfristig durch den zeitlichen Aufschub notwendiger Investitionen verringert wird.

Um Hemmnisse zur weiteren Ausschöpfung energie- und umweltpolitisch gewünschter Erzeugungspotentiale auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung abzubauen, haben sich im Jahr 1979 in einer freiwilligen Vereinbarung der Bundesverband der Deutschen Industrie (BDI), der Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft (VIK) und die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) zusammengeschlossen[137]. In einer Verbändevereinbarung verpflichteten sich die Vertragspartner den in Eigenanlagen erzeugten Strom abzunehmen, sofern damit eine Reduktion des Primäreenergieverbrauchs erzielt wird. Im Jahr 1984 wurde die Vereinbarung auf alle Eigenerzeuger, z. B. private Haushalte oder Kommunen, erweitert. Die Stromerzeugung durch regenerative Energien wird seit 1990 durch das Stromeinspeisegesetz geregelt.[138] Die Verbändevereinbarung findet seitdem nur noch bei Kraftwerken auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung Anwendung.

Grundlage der Verbändevereinbarung ist die Bandeinspeisung, d.h die ganzjährige Stromlieferung eines Industriekunden mit einer elektrischen Leistung

---

[134] Vgl. o.V.: Zur Bestimmung der Vergütung, die ein regionales Elektrizitätsversorgungsunternehmen an den Betreiber eines Blockheizkraftwerks zu zahlen hat, Schl.-H. OLG, Urteil vom 15.2.1994 - 6 U-Kart. 75/92, in RdE (Recht der Energiewirtschaft), Nr. 5, 1994, S. 199-202.

[135] Vgl. *Bartsch*, Michael/ *Dingeldey*, Thomas: Rechtsprobleme der Einspeisevergütung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 45. Jg. (1995), Heft 4, S. 249-254.

[136] Vgl. o.V.: Zur Bestimmung der Vergütung, die ein regionales Elektrizitätsversorgungsunternehmen an den Betreiber eines Blockheizkraftwerks zu zahlen hat, Schl.-H. OLG, Urteil vom 15.2.1994 - 6 U-Kart. 75/92,in RdE (Recht der Energiewirtschaft), Nr. 5, 1994, S. 199-202.

[137] Vgl. VIK: Grundsätze über die Intensivierung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Elektrizitätsversorgung und industrieller Kraftwirtschaft in der Fassung vom 27.06.1988, VIK-Mitteilungen 4/88, BDI/VIK/VDEW-Verbändevereinbarung 1979/88.

[138] Vgl. Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisegesetz) vom 7. Dezember 1990: Bundesgesetzblatt I Nr. 67 vom 14.12.1990, Seite 2633 bis 2634.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

von 5 MW_{el}. Die Vergütung der Einspeisung orientiert sich an den langfristig vermiedenen (beweglichen) Kosten der Stromerzeugung in der öffentlichen Versorgung und berücksichtigt Einsparungen von Verlusten bei Transport und Verteilung[139]. Im Rahmen der Vereinbarung wird ein Arbeitspreis auf die abgegebene Strommenge angerechnet und die einem Elektrizitätsversorger zur Verfügung gestellte elektrische Leistung honoriert. Da die Laufzeiten der BHKW-Motoren sowohl durch Ausfallzeiten als auch durch geringere Wärmenachfrage in den Sommermonaten begrenzt werden, kann der Anlagebetreiber in der Regel einem Energieversorger nicht dauerhaft eine elektrische Leistung zur Verfügung stellen.

Mit Überarbeitung des Vergütungsmodells wird die zur Verfügung gestellte elektrische Leistung anhand der Dauer der Einspeisung mindestens in Höhe der "Soll-Leistung" bewertet[140]. Als Verbesserung vorangegangener Vergütungsmodelle kann der Anlagebetreiber die elektrische Leistung, mit der er möglichst kontinuierlich in das Netz einspeisen will, selbst benennen. Ein wesentlicher Vorteil insbesondere für die Betreiber kleinerer Anlagen besteht in der Möglichkeit der jahreszeitlichen Differenzierung der angemeldeten Soll-Leistung. Der geringeren Auslastung des Blockheizkraftwerks in den Sommermonaten wird durch Gewichtung des Leistungspreises mit einem Faktor 2/3 im Winter und 1/3 im Sommer Rechnung getragen.

Aufgrund des modularen Aufbaus sowie der großen Anzahl von Blockheizkraftwerken spielt das Ausfallrisiko einer einzelnen Anlage nur eine geringe Rolle[141]. Blockheizkraftwerke tragen dennoch wenig zur Verminderung von Stromspitzen im Rahmen eines Stromverbundes oder im Bereich eines regionalen Energieversorgers bei, da ihr Volumen an der öffentlichen Elektrizitätsversorgung mit 2,5 % zu gering ist. Im Bereich eines kommunalen Energieversorgers vermögen Blockheizkraftwerke hingegen ihren Beitrag zur Verringerung von Spitzenlast leisten. Deshalb wird als Kritikpunkt an der neuen Verbändevereinbarung angeführt, daß die Dauer der Bereitstellung einer Leistung, nicht aber deren tatsächlicher Anteil an der Verminderung von Leistungsspitzen, und somit der Vermeidung von Spitzenlasten honoriert wird. Viele Blockheizkraftwerke erreichen ihre Wirtschaftlichkeit erst durch die Substitution des teueren Strombezugs während der Hochtarifzeit[142]. Auf diese Weise betriebene BHKW-Anlagen stellen ihre Anlagekapazitäten in Zeiten

---

[139] Vgl. *Zybell*, G.: Neue Vergütungsmodelle für Stromeinspeisungen: Kostenorientiert, mit Leistungspreis privatwirtschaftlich vereinbart, Elektrizitätswirtschaft Jg. 94 (1995), Heft 1/2, S. 26.

[140] Vgl. *VIK*: Weiterentwicklung der Verbändevereinbarung über die stromwirtschaftliche Zusammenarbeit vom 27.09.1994. In : VIK-Mitteilung 5/94, VDEW, Frankfurt.

[141] Vgl. *Euler*, Hartmut: Einspeisevergütung für Blockheizkraftwerke: Brauchen wir eine neue Regelung? Fachtagung: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie und Umweltpolitik, Bonn, 6. März 1996, S. 3.

[142] Vgl. ebd., S. 3.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

höchster Leistungsbeanspruchung dem öffentlichen Verbundnetz nicht zur Verfügung.

Gegenwärtig sind die Stromerlöse für die Einspeisung in das vorgelagerte Netz eines Energieversorgers weit niedriger als die Grenzkosten der Stromerzeugung in neuen Kondensationskraftwerken[143]. Aufgrund der niedrigen Bewertung der Stromeinspeisung haben sich bisher Nahwärmeprojekte auf Anwendungsfälle mit einer hohen Eigennutzung des erzeugten Stroms konzentriert[144]. Die höchsten Erlöse erzielen private Betreiber kleinerer Blockheizkraftwerke mit durchschnittlich 23,7 Pfg/kWh$_{el}$ bei vollständiger Eigennutzung. Dagegen können Stadtwerke als Betreiber Erlöse von 13,6 Pfg/kWh$_{el}$ bis 14,5 Pfg/kWh$_{el}$ bei vollständiger Eigennutzung verbuchen[145]. Zur Nutzung gesamtwirtschaftlich sinnvoller Energiesparpotentiale müssen dagegen verstärkt Versorgungsprojekte berücksichtigt werden, deren Eigenbedarf bzw. technische Gegebenheiten die Einspeisung von überschüssigem Strom in das Netz eines kommunalen oder regionalen Stromerzeugers notwendig machen.

Die Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke hat vor dem Hintergrund der Erreichung von Klimaschutzzielen vorgeschlagen, für die Vergütung der Einspeisung von Strom die Bezugspreise eines Weiterverteilers nach Leistung und Arbeit als vermiedene Kosten heranzuziehen (City-Gate-Tarif)[146]. Die Einspeisevergütung entspräche den vermiedenen Bezugskosten eines Letztverteilers, dessen Leitungsnetz den Strom aus einem Blockheizkraftwerk aufnimmt[147]. Daraus resultieren Stromtarife von ca. 14 Pfg/kWh. Unter Berücksichtigung eines Abschlags von 5 % bis 10 % für Netzverluste können Vergütungssätze zwischen 12 Pfg/kWh$_{el}$ und 13 Pfg/kWh$_{el}$ realisiert werden. Im Gegensatz dazu werden im Rahmen der Verbändevereinbarung durchschnittlich 10,98 Pfg/kWh$_{el}$ vergütet[148].

---

[143] Vgl. *Traube*, K./ *Schulz*,W.: Ökologische und ökonomische Wirkung des Zubaus von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, insbesondere von Blockheizkraftwerken, in der Bundesrepublik Deutschland, Bremer Energie-Institut, Bremen, Januar 1995, S. 8.

[144] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524.

[145] Vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden-Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. , Stuttgart, Juni 1994, S. 22.

[146] Vgl. Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke (FG BHKW): Stellungnahme zur Frage: Sollte Kraft-Wärme-Kopplung generell in das Stromeinspeisegesetz einbezogen werden? Anhörung im Bundesministerium für Wirtschaft zum "Erfahrungsbericht zum Stromeinspeisegesetz" am 27. Juli 1995.

[147] Vgl. *Eisenbeis*, Horst: Kampf im Paragraphenwald, Energie Spektrum, 1/95 KWK-Spektrum S.3 -10.

[148] Vgl. *Euler*, Hartmut: Einspeisevergütung für Blockheizkraftwerke: Brauchen wir eine neue Regelung? Fachtagung: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie und Umweltpolitik, Bonn, 6. März 1996.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Ein Vorstoß des Landes Brandenburg zielt auf eine Erweiterung des Stromeinspeisegesetzes auf den Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung[149]. Der Gesetzentwurf sieht eine Eingrenzung auf kleinere Anlagen mit einer elektrischen Leistung unter 5 MW vor. Grundlage der Mindestvergütung bei einer Bandeinspeisung sind 70 % der Durchschnittserlöse, die ein aufnehmender Energieversorger beim Verkauf der gleichen Strommenge an alle Endverbraucher erzielt. Im Bundesdurchschnitt würde sich daraus eine Vergütung von 13Pfg/kWh ergeben.

Ein weiterer wichtiger Einflußfaktor auf die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung ist die Preisentwicklung fossiler Brennstoffe. Aufgrund der Bedeutung als wichtigstem Brennstoff ist vor allem der Preisverlauf von Erdgas mit besonderer Aufmerksamkeit zu beobachten. Eine gesicherte Prognose der Energiepreise ist indessen wegen ungewisser politischer Entwicklungen nicht möglich. Erdgas unterliegt auf dem Wärmemarkt einem harten Substitutionswettbewerb[150]. Dennoch verzeichnet Erdgas einen wachsenden Marktanteil. So wird in Deutschland bis zum Jahr 2010 ein Erdgasanteil am Primärenergieverbrauch von 15 % erwartet[151]. Die Preisbildung für Erdgas erfolgt nach dem Prinzip der Anlegbarkeit[152]. Erdöl spielt, obwohl es gegenüber Erdgas auf den Energiemärkten an Bedeutung verliert, auch mittel- und längerfristig die Rolle eines Preisführers. Als Grund können Vorteile gegenüber anderen fossilen Energieträgern, wie die vielseitige Verwendung, die Transport- und Lagerfähigkeit, hohe Energiedichte sowie die vergleichsweise geringen Umwandlungskosten angeführt werden[153]. Der Erdgaspreis folgt, wenn auch mit zeitlicher Verzögerung, der Entwicklung des Ölpreises. Die Preisentwicklung von Rohöl und Erdgas ist für den Zeitraum von 1973 bis 1994 in Abbildung 6 dargestellt[154].

---

[149] Die Gesetzesinitiative wurde jedoch zurückgestellt, um die Ergebnisse einer neuen Verbändevereinbarung abzuwarten; vgl. Gesetzesantrag des Landes Brandenburg: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gesetzes über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz), Bundesratsdrucksache 186/93 vom 23.03.1993.

[150] Vgl. *Schiffer*, Hans-Wilhelm: Energiemarkt Bundesrepublik Deutschland, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1995, S. 213.

[151] Siehe dazu Aussage des Ruhrgas-Chefs Klaus Liesen anläßlich des Weltenergiekongresses in Tokio; vgl. o.V.: Erdgasverbrauch legt weiter zu, Handelsblatt, 12.10.1995.

[152] Vgl. *Scholz*, L.: Preisentwicklung der Energieträger. In: VDI-Bericht 684: Energietechnische Investitionen - Wirtschaftlichkeit und Finanzierung,VDI-Verlag, Düsseldorf 1988, S. 83.

[153] Vgl. *Eckerle*, Konrad: Energiereport 2010, Prognos AG (Hrsg.), Schäffer Poeschel, Stuttgart, 1992, S. 77.

[154] Vgl. *Schiffer*, Hans-Wilhelm: Energiemarkt Bundesrepublik Deutschland, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1995, S. 228.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

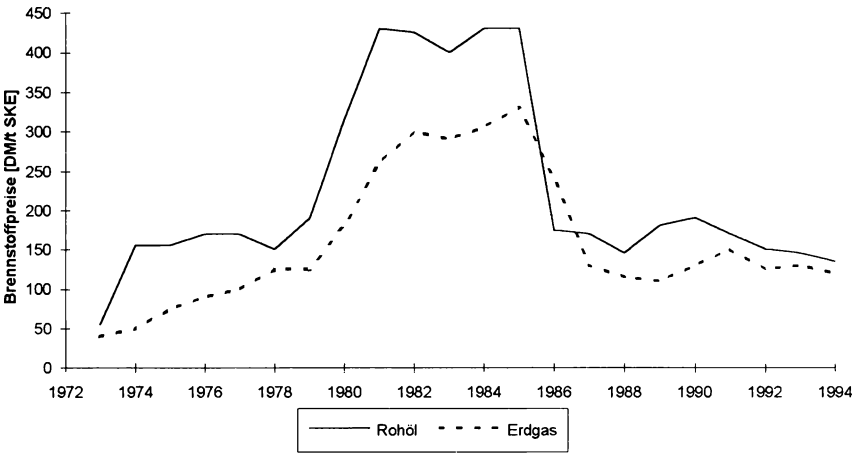

Abb. 6: Entwicklung der Preise für Rohöl und Erdgas

Die Energiepreise sind von vielen Unwägbarkeiten gekennzeichnet. Ein Indikator für die Preisentwicklung ist die Verfügbarkeit eines Rohstoffs. Entgegen der prognostizierten Erschöpfung konnte die Reichweite der Energie-Ressourcen aufgrund der Exploration weiterer Erdgasvorkommen und Öllagerstätten in den letzten Jahren deutlich verlängert werden. Die sicher gewinnbaren Energiereserven werden weltweit auf 43 Jahre für Erdöl, auf 65 Jahre für Erdgas und Kohle auf 238 Jahre beziffert[155]. Weitere Bestimmungsfaktoren für die Preisentwicklung sind politische Instabilitäten in den Ölförderländern, vor allem im Nahen Osten, die Kartellbildung und Währungsinstabilitäten[156]. Aufgrund der Abhängigkeit der Bundesrepublik Deutschland von Energieimporten wirken zudem währungsbedingte Faktoren auf die Brennstoffpreise ein.

2. Hemmnisse der Nutzung von Nahwärmepotentialen

Bemühungen neue Einsatzbereiche, wie die Kälteerzeugung, zu erschließen, sowie die günstige Entwicklung der Kosten von BHKW-Anlagen lassen eine weitere Verbreitung der BHKW-Technik erwarten. Gleichwohl Blockheizkraftwerke zur Nahwärmeversorgung in den letzten Jahren einen großen Aufschwung erlebt haben, sind längst nicht alle ökologisch und ökonomisch

[155] Vgl. Energiedaten '95: Nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn, 1995.

[156] Vgl. *Scholz*, L.: Preisentwicklung der Energieträger. In: VDI-Bericht 684: Energietechnische Investitionen - Wirtschaftlichkeit und Finanzierung, VDI-Verlag, Düsseldorf 1988, S. 81.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

sinnvollen Potentiale erschlossen. Der weitere Ausbau der BHKW-Technik wird durch ein Reihe von Hemmnissen gebremst. Hindernisse betreffen neben technischen Restriktionen sowohl das energiewirtschaftliche Umfeld als auch den organisatorischen, rechtlichen und institutionellen Bereich.

Die Perspektiven für den weiteren Markterfolg der Nahwärme werden durch die Bewertung des im Kraft-Wärme-Koppelprozeß erzeugten elektrischen Stroms maßgeblich beeinflußt[157]. Die Praxis der Einspeisevergütung des überschüssigen KWK-Stroms muß als eines der wesentlichsten Hindernisse auf dem Weg zu einem weiteren Ausbau dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung angesehen werden. Durch die Änderung der Finanzierung des deutschen Steinkohlebergbaus sind der Kohlepfennig und der sogenannte Selbstbehalt der Elektrizitätswirtschaft zur Verstromung deutscher Steinkohle weggefallen. Mit Auslaufen dieser Subventionen können überregionale Stromversorger auf die billigere Importkohle ausweichen, so daß mit rückläufigen Strompreisen zu rechnen ist. In der Folge konnten die Haushaltstrompreise im Durchschnitt um 8 % und die Industriestrompreise um 14 % gesenkt werden[158]. Durch das Angleichen der Einspeisevergütungen an das Strompreisniveau muß von sinkenden Vergütungssätzen für die Stromeinspeisung ausgegangen werden[159]. Die mit der Verbändevereinbarung von 1994 erzielten Verbesserungen, insbesondere für die Betreiber kleinerer BHKW-Anlagen, werden damit zunichte gemacht.

Die Stärkung des Wettbewerbs im Rahmen des Binnenmarktkonzepts birgt gleichfalls Gefahren für Nahwärme. Die wirtschaftliche Betriebsweise eines Blockheizkraftwerks ist von der geeigneten Auslegung der Anlagekomponenten und der Anpassung an die Anschlußgradentwicklung eines Versorgungsprojekts abhängig. Die bisher gängige Praxis von Verbrennungsverboten für fossile Energieträger in Neubaugebieten und Benutzungszwang gewährte einem Nahwärmeversorger die Sicherheit eines garantierten Wärmeabsatzes. Die Einführung eines Anschlußzwangs für Anlagen der Nah-/Fernwärmeversorgung erweist sich jedoch unter dem Aspekt energiepolitischer Zielsetzungen in Richtung eines verstärkten Wettbewerbs als problematisch[160]. Zur Umsetzung örtlicher Nahwärmekonzepte entfällt eine wesentliche Planungsgrundlage. Ebenso ist durch einen verstärkten Wettbewerb im Stromsektor von einem Rückgang des Strompreises auszugehen, so daß sich der Spielraum für KWK-Anlagen zusätzlich einengt.

Hemmnisse im rechtlich/institutionellen Bereich betreffenen den Einsatz von Blockheizkraftwerken in Kliniken. Aufgrund der Wärmebedarfsstruktur

---

[157] Vgl. *Pick*, Hartmut: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie- und Umweltpolitik, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7, S. 416 - 419.

[158] Vgl. ebd., S. 417.

[159] Vgl. o.V.: Strom-Verbilligung trifft BHKW, ZfK, August 1995, S. 2.

[160] Vgl. *Hantke*, Heike: Landesenergiegesetz - Grenzen und Möglichkeiten, RdE, Nr. 4, 1992, S.141ff.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bieten Krankenhäuser günstige Einsatzbedingungen. Das duale Finanzierungsprinzip verhindert dagegen eine forcierte Entwicklung der BHKW-Technik[161]. Investitionen für den erforderlichen Bau bzw. die Erneuerung von Wärmeerzeugungsanlagen fallen nach dem Krankenhausfinanzierungsgesetz in die Verantwortung der Länder. Die Folgekosten sind von den Krankenhäusern über den Pflegesatz zu tragen. Vorrangig werden jedoch Investitionen zur Verwirklichung der Zielvorgaben, wie ausreichende und medizinisch zweckmäßige Versorgung, gefördert. Perspektiven eröffnet die Novellierung der Bundespflegesatzverordnung im Rahmen der Gesundheitsreform, wodurch der Druck zu einer wirtschaftlichen Betriebsführung durch den Träger eines Krankenhauses verstärkt und gleichzeitig die Möglichkeit geboten wird, erwirtschaftete Gewinne zu reinvestieren. Damit wird ein Anreiz geschaffen, Betriebskosten einzusparen und Überschüsse zu erzielen[162].

Ein forcierter Ausbau rationeller Energieerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung kann zudem an unzureichenden Informationen sowie fehlender Risiko- und Innovationsbereitschaft scheitern[163]. Im Wohnungsbau liegen marktrelevante Hemmnisse für den Einsatz von Blockheizkraftwerken insbesondere im Bereich der Genehmigungsverfahren und fehlender Fachkompetenz[164]. Die Anforderungen an Architekten und Fachingenieure steigen aufgrund neuer Verordnungen und Richtlinien zur rationellen Energieverwendung. Bei Bauherren besteht zwar ein Interesse am Energiesparen. Ein rationeller Energieeinsatz wird dagegen durch fehlendes technisches Detailwissen und Marktübersicht sowie ungenügende Beratung durch Architekten nur unzureichend unterstützt[165]. Im Rahmen eines BHKW-Marketings gilt es daher, Barrieren für den Einsatz von Blockheizkraftwerken abzubauen.

---

[161] Von einer dualen Finanzierung wird gesprochen, wenn eine Trennung der Verantwortlichkeit von Investitionen und den Betriebskosten vorliegt; Vgl. *Buchholz*, Werner/ *Eichhorn*, Peter: Wirtschaftliche Führung von Krankenhäusern, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 1992, S. 39.

[162] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524.

[163] Vgl. *Zinn*, Hermann: Strategie der Landesregierung zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven, Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, Januar 1995, S. 2.

[164] Vgl. *Meyer*, Rolf: Blockheizkraftwerke im Wohnungsbau, Eine Chance für die Wohnungswirtschaft, Gas, Heft 6, 1993, S. 25-28.

[165] Vgl. Prognos AG: Rationelle Energieverwendung und -Erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, Basel, Köln, 1987, S. 111.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

III. Nahwärmesimulator als Planungs- und Analyseinstrument

In der Energieversorgungswirtschaft wirken sich Umwelteinflüsse immer vielfältiger und mit stärkerem Nachdruck aus. In der Auflösung bisher festgefügter Monopolstrukturen vollzieht sich ein Wandel zu einer durch Wettbewerbsprozesse geprägten Unternehmenskultur. Energieversorger müssen zukünftig ihre Position neu definieren, indem der Verbraucher in weit stärkerem Ausmaß als bisher in den Entscheidungsprozeß einzubinden ist (Abbildung 7). Darüber hinaus erzwingen knapper werdende Rohstoffressourcen, steigende Umweltschutzanforderungen sowie Herausforderungen durch die Öffentlichkeit und Politik eine immer sorgfältigere Unternehmensplanung[166].

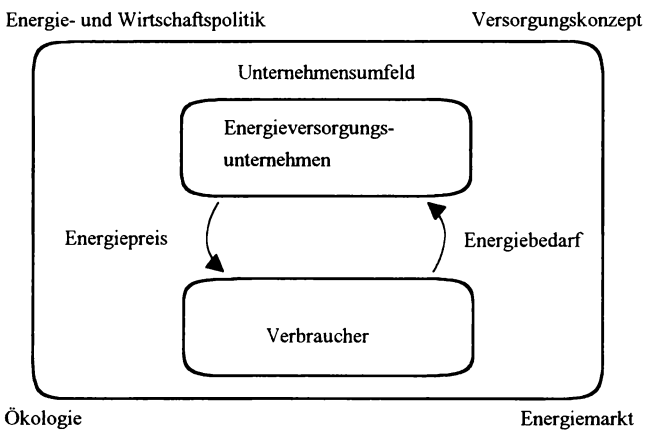

Abb. 7: Umfeld eines Energieversorgers auf einem wettbewerbsorientierten Energiemarkt

In einer sich nachhaltig ändernden Umwelt wird das Management mit immer vielschichtigeren Problemstellungen konfrontiert. Die Unternehmensplanung muß vor dem Hintergrund einer kaum noch zu überblickenden Vielfalt von Faktoren gesehen werden. Im Zeichen wachsender Dynamik des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umfelds ist das Management immer stärker gefordert, sich auf grundlegende Trends des technologisch, ökonomisch und ökologischen Wandels einzustellen[167]. Erfolgreiches Management bedeutet, im Prozeß der Entscheidungsfindung die Vielzahl von Einflußfaktoren zu berücksichtigen und entsprechend zu handeln.

---

[166] Vgl. *Nitz*, Dieter: Neue Ziele und Modelle für die Kapazitätsplanung? Elektrizitätswirtschaft, Jg. 89 (1990), Heft 5, S. 212- 218.

[167] Vgl. *Schlange*, Lutz: Strategische Bedeutung langfristiger Umfeldtrends, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 3, S. 144-149.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Ein Unternehmen kann nicht als abgeschlossene Einheit verstanden werden, sondern steht in ständiger Interaktion mit seinem Umfeld. Eine Unternehmung muß als offenes System begriffen werden, dessen Verhalten sowohl durch die Wechselbeziehungen der Systemelemente als auch durch exogene Einflüsse determiniert ist. Die Führung eines Unternehmens erfolgt nicht isoliert. Sie ist vielmehr aufgrund politischer und wirtschaftlicher Restriktionen zu bestimmten Reaktionen und Handlungsweisen gezwungen.

Entscheidungen wirken nicht nur auf die betrachtete Problemstellung, sondern führen aufgrund von Rückkoppelbeziehungen zu Veränderungen innerhalb des Gesamtsystems. Die Systemzustände sind in der Regel nicht durch einfache kausale Zusammenhänge, sondern durch eine Vielzahl von Rückkopplungen determiniert. Mit zunehmender Anzahl der Variablen eines Systems verringert sich das Vermögen des Betrachters, das Systemverhalten anhand des Zusammenwirkens der jeweiligen Elemente vorauszusagen. Zudem verzerren lange Verzögerungszeiten zwischen einer getroffenen Entscheidung und deren Auswirkung die subjektive Wahrnehmung der Realität. Die Fähigkeit zur Anpassung an den Wandel des Unternehmensumfelds ist eine wesentliche Voraussetzung zur Sicherung des Erfolgs. Den wachsenden Anforderungen müssen Unternehmen mit immer wirksameren Methoden der Planung und des Managements begegnen. Dabei reichen herkömmliche Instrumentarien nicht mehr aus, die komplexen Problemstellungen im Rahmen der strategischen und operativen Planung zu bewältigen.

Durch die Untersuchung des Verhaltens eines Modells ergibt sich anhand der Abbildung wesentlicher Wirkstrukturen eines Realsystems die Möglichkeit, zu Verhaltensaussagen des realen Systems zu gelangen[168]. Modelle stellen somit ein wirksames Hilfsmittel zum Umgang mit der Realität dar. Aus der Abbildung nichtlinearer, dynamischer Systeme können Erkenntnisse gewonnen werden, die der Betrachter nicht unmittelbar aus der Systemstruktur abzuleiten vermag. Das Verständnis der Systemdynamik ermöglicht die Erarbeitung von Strategien.

Bereits die Spielwelt der Kinder simuliert die Welt der Erwachsenen[169]. Wir gebrauchen mentale Modelle um Entscheidungen zu treffen. Modelle reichen von der verkleinerten realistischen Darstellung eines Orginals bis zu Funktionszeichnungen. Sie können sowohl Analogien oder durch mathematische Formeln beschriebene Computerprogramme umfassen. Die Hauptaufgabe des Modellbauers besteht darin, das Objekt derart auf ein Modell zu übertragen, daß dieses vergleichbar der Realität eindeutig und logisch funktioniert[170]. Das

---

[168] Vgl. *Bossel*, Hartmut: Modellbildung und Simulation - Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg, Wiesbaden, 1992, S. 12.

[169] Vgl. ebd., S. 12.

[170] Vgl. *Nitz*, Dieter: Das Modell in der Planung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 88 (1989), Heft 25, S.1798-1800.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Modell ist indessen nicht fähig, neue Informationen zu schaffen, sondern es enthält alle realitätsbezogenen Daten.

Fallstudien dienen als Diskussionsgrundlage für den Entscheidungsprozeß durch Führungskräfte in Unternehmen. Die erarbeiteten Hypothesen können jedoch nicht auf ihren Erfolg hin getestet werden. Mit computergestützten Simulationsmodellen wird Managern ein Planungsinstrument an die Hand gegeben, bei dem strategische und kurzfristige Entscheidungen nicht mehr auf Vermutungen basieren und durch aufwendige "try and error" Verfahren zu testen sind[171]. Der Vorteil einer computerbasierten Simulation liegt darin begründet, daß die Auswirkung komplexer Entscheidungen schnell sichtbar werden, indem sonst in langen Zeiträumen ablaufende Unternehmensprozesse auf wenige Minuten oder gar Sekunden reduziert werden[172]. Die Verbindung von Fallstudien mit computerbasierten Modellen ermöglicht in Form von Planspielen die Auswirkung von Entscheidungen zu prüfen. Durch die Betrachtung im Zeitraffer-Tempo lassen sich Fehler rasch erkennen.

Die Kombination von Computermodellen und Fallstudien kann nicht als ein einfaches Arbeitsmittel, sondern als Abbildung der inneren Struktur und somit als eine simulierte Mikrowelt verstanden werden. Computerbasierte Planspiele versprechen eine Verbesserung der Fähigkeiten zu strategischem Denken[173]. In einem solchen Planspiel kann das Verhalten von Akteuren, beispielsweise der Verbraucher in einem Markt, mit einbezogen werden[174]. Damit eröffnet sich ein ganzes Spektrum von Einsatzmöglichkeiten, die eine Integration des Verbraucherverhaltens in betriebswirtschaftliche Fragestellungen erlauben.

Virtuelle Realität eignet sich zum Experimentieren, indem durch das interaktive Arbeiten mit Simulationsmodellen einzelne Systemparameter variiert werden können. Der "Spieler" hat die Möglichkeit, die Konsequenzen seiner Entscheidungen auf das Systemverhalten zu betrachten und Handlungsalternativen zu testen. Das Experimentieren mit dem Simulationsmodell erweitert das Wissen des Betrachters über das Untersuchungsobjekt. Die Analyse des Systemverhaltens führt zu einem Erkenntnisgewinn über die inneren Strukturen eines Systems. Die Simulation von Szenarien kann als Hilfsmittel im Bereich des Managments dazu dienen, den Einfluß politischen Wandels auf ein Unternehmen zu diskutieren[175].

---

[171] Vgl. o. V.: Simulationsmodelle geben Managern umfassende Entscheidungshilfe - Karrieregespräch mit Peter Eichhorst über virtuelles Management, Handelsblatt, 11./12.3.1995.

[172] Vgl. o. V.: Komplexer Ablauf im Zeitraffer-Tempo, GeschäftsWelt, 1995, Heft 7, S. 12 -13.

[173] Vgl. *Graham*, Alan K./ *Morecroft*, John D.W./ *Senge*, Peter M./ *Sterman*, John D.: Model-supported case studies for management education, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992), S. 151-166.

[174] Vgl. *Bossel*, Hartmut: Modellbildung und Simulation - Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg, Wiesbaden, 1992, S. 14.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Aufgrund der aufgezeigten Vorteile gewinnen Unternehmensplanspiele, auch als "management flight simulators" bezeichnet, an Bedeutung und finden in zunehmendem Maße Verbreitung : "There is growing interest in combining computer simulation models with conventional case studies to create learning environments for management education"[176]. Unternehmensplanspiele sind zu einem wichtigen Bestandteil der Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern geworden[177]. Daneben können politischen Entscheidungsgremien mit Hilfe von computerbasierten Simulatoren eine fundierte Diskussionsgrundlage bereitgestellt werden, welche die Ableitung von Handlungsempfehlungen ermöglicht.

Vor diesem Hintergrund ist man bei Stromversorgungsunternehmen dazu übergegangen, im Rahmen von Langfristplanungen das betriebliche Geschehen des gesamten Unternehmens mit Hilfe von Computermodellen abzubilden[178]. Innerhalb derartiger Simulationsmodelle ist es vorstellbar, Kernfunktionen eines Energieversorgungsunternehmens, wie beispielsweise die Kapazitätsplanung, Produktion, Finanz- und Rechnungswesen untereinander zu verknüpfen, sowie die Wechselbeziehungen mit dem Verbrauchermarkt zu betrachten. Auch im Sinne einer Doppelfunktion von Planung und Ausbildung haben computergestützte Planungsmodelle in der Energiewirtschaft Eingang gefunden[179].

Voraussetzung für die Entwicklung eines leistungsfähigen Simulators ist die Abbildung der Realität in einer Mikrowelt. Um eine computergestützte Entscheidungshilfe zu erhalten, muß das Simulationsmodell möglichst nahe an das Original heranreichen. Eine realitätsnahe Abbildung ist hingegen infolge der hohen Komplexität des betrachteten Systems nicht in vollem Umfang möglich. Der Programmersteller steht im Konflikt einer möglichst getreuen Abbildung eines Systems und eines vertretbaren Programmieraufwands unter Beschränkung der Hardware-Ressourcen. Die Anforderungen, die an ein computerbasiertes Planungsmodell zu richten sind, können wie folgt formuliert werden :

- realitätsnahe Abbildung des zu betrachtenden Systems
- verifizierbare und reproduzierbare Ergebnisse
- benutzerfreundlich durch einfache Handhabung

---

[175] Vgl. *Morecroft*, John D. W.: Executive knowledge, models and learning, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992), S. 9-27.

[176] Vgl. *Graham*, Alan K./ *Morecroft*, John D.W./ *Senge*, Peter M./ *Sterman*, John D.: Model-supported case studies for management education, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992), S. 151-166.

[177] Vgl. o. V.: Komplexer Ablauf im Zeitraffer-Tempo, GeschäftsWelt, 1995, Heft 7, S. 12 -13.

[178] Vgl. *Nitz*, Dieter: Neue Ziele und Modelle für die Kapazitätsplanung? Elektrizitätswirtschaft, Jg. 89 (1990), Heft 5, S. 212-218.

[179] Vgl. *Nitz*, Dieter: Unternehmensplanung mit Plebis, dem Planspiel der HEW, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S. 111-115.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- breiter Einsatzbereich auf PC´s
- keine Eingrenzung auf einen Spezialfall, sondern breiteres Anwendungsspektrum.

1. Anspruch an einen computergestützten Nahwärmesimulator

Investitionen in ein Nahwärmenetz auf Basis von BHKW-Anlagen können sich bei knapp kalkulierten Erlösen unter Mißachtung gegebener Rahmenbedingungen oder falscher Einschätzung der zukünftigen Entwicklung äußerer Einflußgrößen schnell als Fehlinvestitionen herausstellen. Bedingt durch den hohen Kapitaleinsatz beim Aufbau einer Nahwärmeversorgung werden erhebliche betriebswirtschaftliche und finanzielle Risiken eingegangen. Vorbedingung ist eine sorgfältige Untersuchung der Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmeprojekts. Die Vielzahl der Einflußgrößen aufgrund des komplexen Unternehmensumfeldes erschweren eine Wirtschaftlichkeitsanalyse.

Auf einem geschlossenen Wärmemarkt gewährleistet die Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwanges einem Versorgungsunternehmen weitgehend Planungssicherheit. Vor dem Hintergrund zunehmenden Wettbewerbs wird ein Nahwärmeversorgungssystem infolge der Interaktion zwischen Wärmemarkt und Unternehmung um einen wesentlichen Freiheitsgrad erweitert. Bei freier Entscheidungsmöglichkeit der Verbraucher ohne einen Anschlußzwang wächst das Investitionsrisiko aufgrund des hohen Kapitaleinsatzes in dezentrale Nahwärme beträchtlich.

Klassische Untersuchungsansätze konzentrieren sich auf einzelne Größen und lassen die vielfältigen Wechselbeziehungen innerhalb des Nahwärmesystems außer acht. Sie beschränken sich im wesentlichen nur auf wenige Aspekte, wie die Dimensionierung der Anlagekomponenten und die Erfassung der Kosten. Rückwirkungen zwischen Versorgungsunternehmen und Wärmemarkt bleiben unberücksichtigt, so daß der Wärmeabsatz als fixe Größe vorgegeben werden muß. Im Falle eines wettbewerbsorientierten Wärmemarktes können derartige Untersuchungsansätze das dynamische Verhalten nur unzureichend abbilden.

Zum Verständnis der komplexen Zusammenhänge in einem Nahwärmesystem erscheint es notwendig, sowohl das Versorgungsunternehmen mit den relevanten Wechselbeziehungen, als auch Rückwirkungen auf den Wärmemarkt zu betrachten. Daneben stellt die Auslegung sowie der Betrieb eines Blockheizkraftwerks aufgrund der Vielzahl der Einflußgrößen ein komplexes Planungsproblem dar[180].

---

[180] Vgl. *Sawillion*, Martin/ *Thöne*, Eberhard: Auslegung und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Blockheizkraftwerken bei unsicherer Bedarfslage, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 16, S. 956 - 964.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

In der Dissertation wird der Versuch unternommen, anhand eines computerbasierten Simulationsmodells energietechnische und betriebswirtschaftliche Problemstellungen zu verknüpfen und so den Einfluß sich ändernder Rahmenbedingungen auf die Wirtschaftlichkeit einer dezentralen Nahwärmeversorgung zu untersuchen. Das Modell soll insbesondere der Liberalisierung der Energiemärkte innerhalb der Europäischen Union und dem daraus resultierenden freien Wettbewerb Rechnung tragen.

Mit Hilfe des Modells ist es möglich, strategische Entscheidungen im Hinblick auf die Entwicklung politischer und wirtschaftlicher Rahmenbedingungen auf ihren Erfolg hin zu überprüfen. In unterschiedlichen Szenarien können beispielsweise die Steigerung der Brennstoffkosten, die Verhängung einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer oder Vergütungsmodelle zur Bewertung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms untersucht werden. Wesentliche Aufgabe eines Simulationsmodells ist die Analyse der Sensibilität des Nahwärmesystems auf Parametervariationen. Das Verständnis der Systemdynamik kann helfen, Strategien zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit zu erarbeiten.

Prinzipiell können keine allgemeingültigen Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung getroffen werden. Von Fall zu Fall unterscheiden sich die jeweils gültigen Voraussetzungen wie Kraftwerksstandort, Anlagekonzept, stromwirtschaftliche Rahmenbedingungen sowie betriebswirtschaftliche Parameter. Um mit Hilfe eine Nahwärmesimulators realitätsnahe Ergebnisse zu generieren, muß das Modell durch Vorgabe exogener Rahmenparameter an eine praxisnahe Versorgungssituation angepaßt werden. Aus der Vielzahl möglicher Annahmen und Voraussetzungen ist eine Auswahl vor einem realen Hintergrund zu treffen. Das Simulationsmodell muß so flexibel gestaltet sein, daß es nicht auf einen Anwendungsfall eingegrenzt werden kann.

Durch den Nahwärmesimulator wird nicht nur das Zusammenwirken der jeweiligen Unternehmensbereiche und des Wärmemarktes abgebildet, sondern gleichzeitig der Aufbau einer Nahwärmeversorgung im Zeitverlauf einschließlich der Netzerweiterung betrachtet. Dazu werden innerhalb des Modells planungstechnische Vorschriften, sowie das mögliche Verhalten von Verbrauchern implementiert. In der Untersuchung werden sowohl zeitliche Verzögerungen bedingt durch die Erschließung von Neubaugebieten als auch der Installation von Anlagekomponenten berücksichtigt.

Um der Funktion eines Planungs- und Entscheidungsinstruments gerecht zu werden, müssen innerhalb des Simulationsmodells die verschiedenen Bereiche eines Nahwärmesystems wie strategische Kapazitätsplanung, Finanzbereich, Rechnungswesen sowie Wärmemarkt zu einem Gesamtmodell zusammengeführt werden (Abbildung 8). Durch Schnittstellen sind die jeweiligen Teilbereiche untereinander verbunden.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

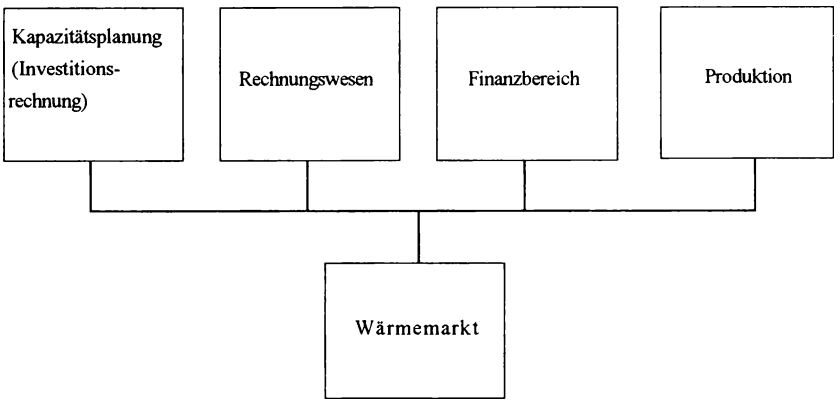

Abb. 8: Teilbereiche des Nahwärmesimulators

2. Methodische Grundlagen des System-Dynamics-Ansatzes und der Modellbildung

Zur Erfüllung der an den Nahwärmesimulator gestellten Anforderungen bedarf es in Erweiterung klassischer Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse in der Energiewirtschaft neuer Untersuchungsansätze. Die System-Dynamics-Methode kann als adäquater Modellansatz angesehen werden, die vielfältigen Wechselbeziehungen innerhalb einer dezentralen Nahwärmeversorgung abzubilden. Der Vorteil eines Simulationsmodells auf Basis des System-Dynamics Ansatzes besteht darin, die jeweiligen Entscheidungsbereiche eines Nahwärmeversorgers in ihrer Interaktion mit dem Wärmemarkt darzustellen.

Als allgemeine Strukturtheorie stellt System-Dynamics ein Grundgerüst zum Verständnis komplexer wirtschaftlicher Problemstellungen bereit[181]. System-Dynamics ist zudem geeignet, die Koordination von strategischen und operativen Handlungsebenen zu verstehen. Darüber hinaus können System-Dynamics-Modelle als Instrumente zur Unterstützung von Erkenntnisprozessen und gruppenorientierte Problemlösungen eingesetzt werden[182]. Die Eignung von System-Dynamics, die unterschiedlichen Bereiche einer Energieversorgung in ein Gesamtsystem zu integrieren, führte in den USA zu einer

[181] Vgl. *Graham*, Alan K./ *Morecroft*, John D.W./ *Senge*, Peter M./ *Sterman*, John D.: Model-supported case studies for management education, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992), S. 151-166.

[182] Vgl. *Morecroft*, John D. W.: Executive knowledge, models and learning, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992), S. 9-27.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

breiten Anwendung in der Elektrizitätswirtschaft[183]. So werden System-Dynamics-Modelle unter anderem für die Planung in der nationalen Energiepolitik eingesetzt[184]. Ursache für die Verbreitung ist der Trend zu einer stärkeren Berücksichtigung des Verbraucherverhaltens.

Der System-Dynamics-Ansatz wurde Ende der 50er Jahre von Jay W. Forrester am Massachuchetts Institute of Technolgy entwickelt und firmierte anfangs wegen der Anwendung in industriellen Unternehmen unter der Bezeichnung "Industrial Dynamics"[185]. Die Umbennenung in "System-Dynamics" folgte aus der Erweiterung auf Systeme im sozio-ökonomischen Bereich. Einen breiteren Bekanntheitsgrad erlangte der System-Dynamics-Ansatz durch die Studie "Grenzen des Wachstums" im Auftrag des Club of Rome[186].

System-Dynamics ist keine Simulationstechnik, sondern hat die Bedeutung einer Strukturtheorie, die Aussagen über soziale Systeme ermöglicht[187]. In diesem Sinne darf dieser Theorie-Ansatz nicht als ein Prognoseinstrument mißverstanden werden. Die Kombination formaler Modelle zur Beschreibung eines Realphänomens und der Transformation mittels einer vereinfachten Programmsprache in ein Computermodell unterstützt durch Computersimulation die Erforschung des Systemverhaltens eines Untersuchungsobjekts. Der Erkenntnisgewinn führt zur Erarbeitung verbesserter Strukturen und Entscheidungsregeln, auf denen Unternehmensstrategien aufbauen. Aufgrund des Anspruchs einer kybernetischen Systemtheorie hat System-Dynamics das Bestreben, ein beobachtetes Systemverhalten aus den Strukturen herzuleiten, und damit Aufbau und Verhalten eines sozialen Systems zu verstehen. Mit zunehmender Komplexität eines Systems zeigt sich der Vorteil einer kybernetischen Betrachtungsweise, indem durch Herausarbeiten der Beziehungen zwischen den Systemteilen Aussagen zum Verhalten getroffen werden können[188].

Im Sinne einer allgemeinen Strukturtheorie versteht System-Dynamics soziale Systeme als Informations-Rückkopplungssysteme[189]. Die Elemente eines Systems stehen in Wechselwirkung zueinander und werden durch Regelkreise strukturiert. System-Dynamics beruht auf der Prämisse, daß innerhalb der Systemgrenzen alle das Systemverhalten determinierenden Rückkopplungs-

---

[183] Vgl. *Ford*, Andrew: System Dynamics and the Sustainable Development of the Electric Power Industry, System Dynamics '95 - Volume 1, S. 60-73.

[184] Vgl. *Naill*, Roger F.: A system dynamics model for national energy police planning, System Dynamics Review Volume 8, No. 1, Winter 1992, S. 1ff.

[185] Vgl. *Forrester*, Jay W.: Industrial Dynamics, Cambridge (Mass.), 1961.

[186] Vgl. *Meadows*, Dennis: Die Grenzen des Wachstums, DVA, Stuttgart, 1972.

[187] Vgl. *Milling*, Peter: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 13. Jg (1984), S. 501ff.

[188] Vgl. *Vester*, Frederic: Neuland des Denkens, 5. Auflage, dtv, Stuttgart, 1988, S.73ff.

[189] Vgl. *Milling*, Peter: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 13. Jg (1984), S. 501ff.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

beziehungen enthalten sind. Die Verhaltensweisen werden einzig durch endogene Elemente bestimmt und lassen sich aus Prozessen und Interaktionen ableiten. Das Rückkoppelsystem wird durch sein eigenes Verhalten in der Vergangenheit beeinflußt, indem zukünftige Aktionen auf vorausgegangene Handlungen und deren Ergebnisse basieren[190]. Zur Abbildung eines realen Systems müssen geeignete Systemgrenzen gezogen werden, um realitätsnahe Ergebnisse zu generieren. Infolgedessen ist ein System derart abzugrenzen, daß innerhalb der geschlossenen Grenzen des Systems alle das Verhalten bestimmenden Variablen umschlossen werden. Daneben beeinflussen Umweltfaktoren, welche über die Systemgrenzen hinaus wirken, das Systemverhalten.

Aufgrund der Wechselwirkung der einzelnen Elemente innerhalb eines Systems ist die Formulierung der kausalen Zusammenhänge zwischen den Systemvariablen ein wichtiger Aspekt des System-Dynamics-Ansatzes[191]. In den Kausalitäten drückt sich das Verständnis des Modellkonstrukteurs über das Zusammenwirken der Variablen aus. Die Interdependenzen zwischen den Systemelementen werden in Form von Kausaldiagrammen beschrieben. Dazu werden Variablen untereinander in einer Ursache-Wirkung-Beziehung derart verknüpft, bis ein geschlossener Kreis bzw. ein Regelkreis entsteht. Ein solcher Feedback-Loop trägt zum einen zum Systemverständnis bei, welches durch die Rückwirkungen geprägt wird. Darüber hinaus unterstützen Kausalloops die formale Beschreibung der Wechselbeziehungen innerhalb des betrachteten Systems.

Das dynamische Verhalten von Feedback-Systemen wird durch zwei Klassen von Rückkoppelbeziehungen geprägt, die sich in ihrer Polarität unterscheiden. Negative Regelkreise streben einem Ziel durch asymptotische Annäherung oder oszillierendes Einschwingen zu. Beispiel eines negativen Feedback-Loops ist die Temperaturregelung eines Heizungssystems mittels eines Thermostaten. Dagegen entfernen sich in einem positiven Regelkreis Zustandsgrößen von einem Ausgangspunkt weg. Bevölkerungswachstum oder ein Bankkonto werden durch positive Rückwirkungen charakterisiert. Die Komplexität eines dynamischen Systems ist auf das Zusammenwirken einer Vielzahl positiver und negativer Rückkoppelbeziehungen zurückzuführen.

Rückkopplungsschleifen bauen auf zwei verschiedenen Typen von Variablen auf (Abbildung 9)[192]. Grundsätzlich werden Bestandsgrößen, die einen Zustand beschreiben und Flußraten, welche eine Aktion repräsentieren, unterschieden. Zustandsgrößen errechnen sich aus der zeitlichen Integration einer Rate als Differenz eines Zu- oder Abflusses. Beispielsweise läßt sich die

[190] Vgl. *Forrester*, Jay W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Gabler, Wiesbaden, 1972, S. 15.

[191] Vgl. *Dolado*, Jose Javier: Qualitative simulation and system dynamics, System Dynamics Rewiew, Volume 8, Number 1, Winter 1992, S. 55-81.

[192] Vgl. *Forrester*, Jay W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Gabler, Wiesbaden, 1972, S. 92.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

installierte Wärmekapazität als Zustandsgröße definieren. Der Zubau von Wärmekapazitäten entspricht einer Flußrate.

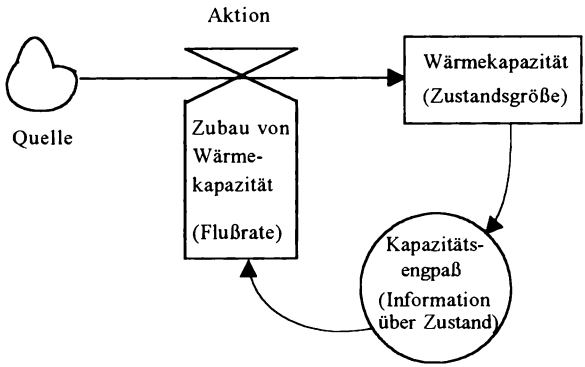

Abb. 9: Struktur eines Regelkreises

Das Zusammenwirken von Elementen wird durch Entscheidungsregeln, den sogenannten Policis, beeinflußt. Flußgrößen werden durch Ratengleichungen beschrieben, denen Entscheidungsregeln zugrundeliegen. Neben Raten und Zustandsgrößen sind zusätzlich noch Hilfsvariablen definiert, die Informationen über den Zustand eines Systems bereithalten.

Zur Entwicklung eines computergestützten Simulationsmodells müssen gemäß des Modellbildungsprozesses nach Milling unterschiedliche Phasen durchlaufen werden (Abbildung 10)[193]. Grundlage der Modellkonstruktion ist die präzise Definition des zu untersuchenden Problems. Dieses Ziel kann nur gelingen, wenn die wesentlichen Problemstellungen präzise formuliert werden.

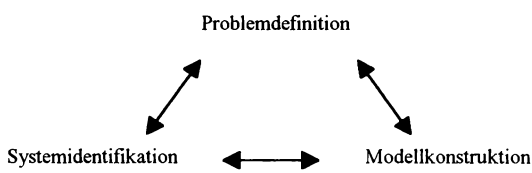

Abb. 10: Der Modellbildungsprozeß

Die Problemidentifikation umfaßt neben der Deskription der Systemvariablen die Festlegung der Systemgrenze. Dazu werden Entscheidungsregeln für

[193] Vgl. *Milling*, Peter: Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 13. Jg (1984), S. 511.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

die das Gesamtsystem strukturierenden Rückkoppelbeziehungen formuliert. Die maßgeblichen Systemelemente müssen erfaßt und in ihrer Beziehung zueinander beschrieben werden. Wesentliche Zusammenhänge und Wechselwirkungen werden anhand von Kausaldiagrammen veranschaulicht und diskutiert. Erst die gewonnenen Erkenntnisse und die Beschreibung eines mentalen Modells ermöglichen eine Transformation des Untersuchungsobjekts in ein Computermodell.

Die Erfassung aller für die Problemstellung relevanten Faktoren erfolgt anhand der Systemidentifikation. Die Modellkonstruktion schließt sich an die fest umrissene Problemdefinition und Systemidentifikation an. Das Modell ist solange zu überarbeiten, bis realitätsnahe Ergebnisse generiert werden. Da nur in den wenigsten Fällen sofort befriedigende Resultate zu erzielen sind, ist die Modellbildung in einem iterativen Prozeß wiederholt zu durchlaufen.

Nach dem Schritt der Systemmodellierung wird mittels eines formalen Modells ein computergestütztes Simulationsmodell erstellt. Anhand von Tests muß das Modell zeigen, ob es das Verhalten des beobachteten realen Systems zuverlässig zu reproduzieren vermag. Veränderungen im Modell und in der Realität müssen zu den gleichen Ergebnissen führen. Die Modellvalidierung und Korrektur des Simulationsmodells wird in einem sich wiederholenden Zyklus solange durchlaufen, bis das Modell befriedigende Resultate liefert.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

B. Problemstellungen und Konstruktion des Nahwärmesimulators

Der Nahwärmeversorger wird als eigenständiges Unternehmen verstanden, welches in Wechselwirkung mit dem Wärmemarkt kommuniziert. Die Vielzahl der interagierenden Systemelemente innerhalb eines Nahwärmesystems erfordert eine Strukturierung des Simulationsmodells. Das Untersuchungsobjekt wird grob in die Unternehmung und den Wärmemarkt unterteilt. Das Versorgungsunternehmen wird seinerseits in die technische und ökonomische Unternehmensebene unterschieden.

Die Grundstruktur des Modells umfaßt drei Sektoren (Abbildung 11). Der Nahwärmeversorger wird durch den Kapazitätssektor sowie das Finanz- und Rechnungswesen repräsentiert. Der lokale Wärmemarkt wird innerhalb des Marktsektors abgebildet. Die jeweiligen Modellsektoren stehen zueinander in Wechselbeziehung.

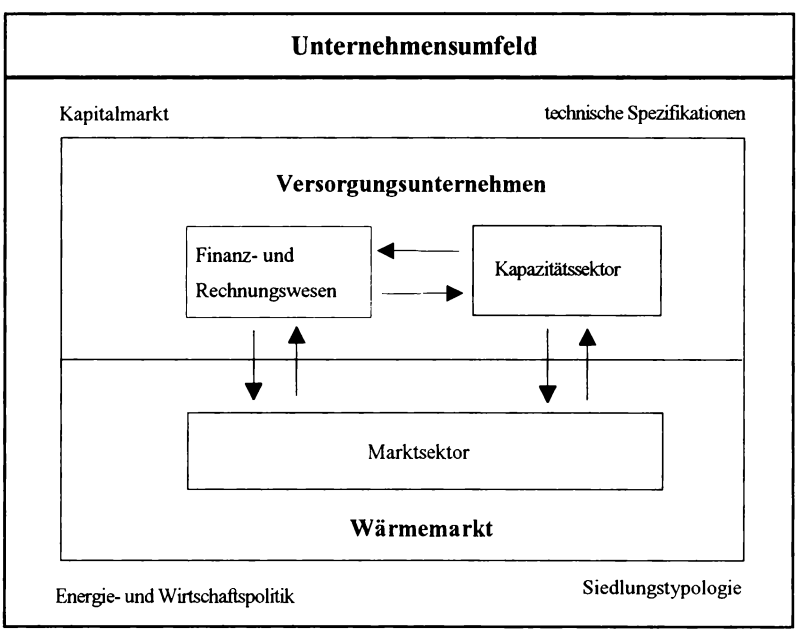

Abb. 11: Grundstruktur des Simulationsmodells

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Dem Finanz- und Rechnungswesen obliegt die Bereitstellung von Finanzmitteln für Investitionen und die Erstellung einer Bilanz. Innerhalb dieses Sektors werden sowohl die Zahlungsströme im Unternehmen als auch mit dem Unternehmensumfeld abgebildet. Neben der Erfassung der Kosten wird durch das Rechnungswesen der Wärmepreis ermittelt. Die Ermittlung ökonomischer Kenngrößen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit geschieht anhand einer Unternehmensbilanz.

Im Kapazitätssektor erfolgt im Rahmen der strategischen Planung die Dimensionierung der Anlagekomponenten. Auf operativer Ebene werden im Geschäftsverlauf Entscheidungen für den Zubau von Kapazitäten zur Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung getroffen. Maßgebliches Kriterium ist die Gewährleistung der Versorgungssicherheit anhand der Entwicklung der Wärmenachfrage sowie die Finanzierbarkeit des Projekts. Der Kapazitätssektor korrespondiert mit dem Wärmemarkt und dem Finanzsektor der Unternehmung. Die Produktion von Wärme und Strom sowie der dazu notwendige Energieeinsatz wird anhand der installierten Kapazitäten und der Wärmenachfrage ermittelt.

Im Marktsektor ist das Verbraucherverhalten implementiert. Dazu wird der Entscheidungsprozeß potentieller Kunden für die Wahl eines Heizungssystems abgebildet. Die Nachfrage nach Nahwärme resultiert aus dem Wärmepreis, den das Versorgungsunternehmen kalkuliert, und dem Angebot aufgrund der installierten Wärmelast. Das Marktmodul steht daher mit dem Kapazitätssektor sowie dem Finanz- und Rechnungswesen in Wechselbeziehung.

Der Einsatz und wirtschaftliche Erfolg der BHKW-Technologie unterliegt technischen und wirtschaftlichen Einschränkungen. Die Einflußparameter sind so vielschichtig, daß eine pauschale Bewertung eines Nahwärmeprojektes nicht möglich ist. Ein Simulationslauf muß unter Vorgabe realistischer Rahmenbedingungen erfolgen. Dazu zählen die Wahl des Anlagekonzeptes, energie- und wirtschaftspolitische Einflußfaktoren, sowie die Angaben bezüglich des Versorgungsobjektes. Wesentliche wirtschaftliche und politische Prämissen sind die Höhe der Strombewertung, Brennstoffpreise und Fördermaßnahmen. Finanzwirtschaftliche Vorgaben sind die Kapitalzinsen und die Abschreibungssätze für die jeweiligen Anlagekomponenten.

I. Merkmale eines lokalen Nahwärmemarkts

Die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser dient zur Befriedigung des Bedürfnisses nach Wärme und Behaglichkeit[1]. Diesem Bedürfnis kann durch unterschiedliche bauliche und technische Maßnahmen, wie die

[1] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 253.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Wärmedämmung oder dem Einsatz von Energie entsprochen werden. Erst die in den Haushaltungen eingesetzten Nutzenergiearten, wie Raum- und Wasserwärme führen zur Bedürfnisbefriedigung[2]. Behaglichkeit und Versorgungssicherheit stehen im Vordergrund, weshalb von einer abgeleiteten Nachfrage nach Energieträgern für Wärmezwecke gesprochen werden kann[3].

Eine eindeutige Definition des Gutes "Wärme" kann aufgrund des mehrstufigen Zusammenhangs von Energieeinsatz, Wärmeerzeugung/Verbrauch, und des Nutzens nicht getroffen werden[4]. Es bietet sich trotzdem eine physikalische Definition anhand des Wärmeinhalts bzw. der Lufttemperatur eines Raumes an. Darin kommt jedoch nicht der subjektive Nutzen für den Verbraucher zum Ausdruck. Innerhalb des Simulationsmodells wird unter Nutzwärme die durch die Kunden bezogene Wärmeenergiemenge verstanden. Der Wärmebedarf für Raumheizung und Brauchwasser unterliegt einem schwankenden Bedarfsverlauf. Dieser ist sowohl von den Lebensgewohnheiten als auch von den Außentemperaturen abhängig[5]. Vereinfacht wird von einem monatlichen Durchschnittswert des Wärmeverbrauchs ohne jahreszeitliche Differenzierung ausgegangen.

Der Markt für Niedertemperaturwärme ist gleichzeitig durch ein hohes Maß an Substitutionswettbewerb und durch Wettbewerbsbeschränkungen gekennzeichnet[6]. Verbraucher können ihren Wärmebedarf durch eine Vielzahl von Energieträgern decken[7]. Theoretisch könnten die einzelnen Energieträger vollkommen gegeneinander ausgetauscht werden. Substitutionsvorgänge für Heizenergie im Bereich der privaten Haushalte können im Ersatz eines Energieträgers durch einen anderen, beispielsweise der Umstellung von Heizöl auf eine leitungsgebundene Erdgas- bzw. Nahwärmeversorgung oder der Wärme- dämmung und optimalen Auslegung einer Heizungsanlage stattfinden[8]. In der Praxis wird die vollkommene Substituierbarkeit durch technische und ökonomische Restriktionen eingeschränkt und ist vom Verwendungszweck abhängig[9].

---

[2] Vgl. *Eder*, Franz: Die Quantifizierbarkeit von Substitutionsbeziehungen zwischen den Energieträgern Kohle, Heizöl, Gas und Strom bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitschrift für Energie, Heft 2 (1985), S. 121-127.

[3] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 253.

[4] Vgl. *Suding*, Paul, H.: Ökonomische Ansätze zur Analyse des Energieverbrauchs der Haushalte für Raumwärmezwecke, Oldenbourg Verlag, München, 1984, S. 49.

[5] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 253.

[6] Vgl. ebd., S. 161.

[7] Vgl. ebd., S. 226.

[8] Vgl. *Eder*, Franz: Die Quantifizierbarkeit von Substitutionsbeziehungen zwischen den Energieträgern Kohle, Heizöl, Gas und Strom bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitschrift für Energie, 2/85, S. 121-127.

[9] Vgl. *Dolinski*, Urs/ *Ziesig*, Hans-Jochen: Sicherheits-, Preis- und Umweltaspekte der Energieversorgung, Duncker & Humblot, Berlin, 1976, S. 143.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Aufgrund hoher Anlagekosten oder fehlendem Zugang bzw. Verfügbarkeit scheiden bestimmte Energiesysteme von vornherein aus. So sind eine Reihe alternativer Energietechniken mit hohen Kosten verbunden. Eine Beeinträchtigung der freien Wahl durch die Verbraucher resultiert auch aus einer fehlenden Gas- oder Fern-/Nahwärmeversorgung.

Der Wettbewerb auf dem lokalen Wärmemarkt kann ferner durch restriktive Maßnahmen in Form von Auflagen, sowie Ge- und Verbote der Gemeinden, eingeschränkt werden. Hierzu zählen ein Anschluß- und Benutzungszwang für Fern-/Nahwärme oder Erdgas sowie ein Verbrennungsverbot für flüssige und feste Brennstoffe[10]. Vor dem Hintergrund energiepolitischer Zielsetzungen erweist sich die Einführung eines Anschluß- und Benutzungszwangs an Fern-/Nahwärme als problematisch[11]. Da auf liberalen Energiemärkten der Gebrauch energiepolitischer Instrumente unter wettbewerbspolitischen Aspekten erschwert wird, steht eine Nahwärmeversorgung mit den jeweils vor Ort verfügbaren Energiesystemen in Konkurrenz.

Der Fernwärmemarkt ist durch eine Reihe von Charakteristika geprägt, die gleichfalls auf den Nahwärmemarkt übertragbar sind. Eine Nahwärmeversorgung ist, vielmehr noch als Fernwärme, aufgrund der engen Verknüpfung von Erzeugung und Verteilung zu einer starken räumlichen Begrenzung auf einem lokalen Markt gezwungen. Als ein wesentliches Kennzeichen des Fern-/Nahwärmemarkts gilt, daß keine Anonymität wie auf dem Ölmarkt herrscht. Die Zahl der potentiellen Kunden beziehungsweise deren Bedarf kann als bekannt vorausgesetzt werden[12]. Endverbraucher und Vertragspartner müssen hingegen nicht übereinstimmen, wenn der Wärmenutzer lediglich Mieter und nicht der Eigentümer einer Immobilie ist. Als lokaler Wärmemarkt wird in der Studie ein eng begrenztes Versorgungsgebiet verstanden, zu dem alle potentiellen Kunden gezählt werden. Ebenfalls dem lokalen Wärmemarkt werden auch einzelne Versorgungsobjekte zugeordnet, sofern es sich um Verbrauchsschwerpunkte handelt.

Private Haushalte und "öffentliche" Wärmekunden müssen aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen und Interessenlagen differenziert betrachtet werden. Als Sondervertragskunden werden Verbraucher eingestuft, sofern sie nicht privaten Haushalten zuzuordnen sind. Hierbei handelt es sich meist um Kunden mit einer größeren Wärmenachfrage. Solche Verbrauchsschwerpunkte

---

[10] Vgl. Prognos AG: Energieversorgungskonzepte: Von der Planung zur Praxis - Ausgestaltung und Umsetzung vorliegender örtlicher und regionaler Energieversorgungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf den Energieträger-Wettbewerb, Resch Verlag, 1986, S. 158.

[11] Vgl. *Hantke*, Heike: Landesenergiegesetz - Grenzen und Möglichkeiten, RdE, Nr. 4 , 1992, S. 141ff, sowie *Wagener*, Martin: Anschluß- und Benutzungszwang für Fernwärme, Boorberg, Stuttgart, 1989, S. 52ff.

[12] Vgl. *Domman*, Dieter: Fernwärme-Marketing und strategisches Verkaufen, 1. Auflage, VWEW, Frankfurt, 1992, S. 22.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

können öffentliche Einrichtungen wie Krankenhäuser, Schulen sowie Verwaltungsgebäude darstellen. Wegen der höheren Anschlußleistung werden besondere Konditionen zwischen Nahwärmeversorger und Sondervertragskunden vereinbart. In der Regel wird ein günstigerer Wärmepreis gewährt.

Für den privaten Sektor werden zwei Szenarien vorgegeben. Zum einen wird die Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwanges angenommen. In diesem Fall stimmt der Anschlußwert der Nahwärme mit dem aller Verbraucher im Versorgungsgebiet überein. Zum anderen muß der Nahwärmeversorger unter der Voraussetzung eines frei zugänglichen lokalen Wärmemarkts in Wettbewerb mit konkurrierenden Heizungssystemen treten. Einschränkend wird jedoch angenommen, daß kein gleichzeitiger Aufbau eines Erdgasnetzes erfolgen soll. Dies gilt insbesondere dann, wenn unter den am Nahwärmeprojekt beteiligten Vertragspartnern der kommunale Energieversorger oder ein Gasversorger beteiligt ist. Als Hauptkonkurrent der Nahwärme werden in der Untersuchung ausschließlich ölbefeuerte Zentralheizungen angesehen.

Das Grundschema zur modellmäßigen Abbildung eines lokalen Wärmemarkts im privaten Sektor ist anhand des Flußdiagrammes in Abbildung 12 dargestellt. Der potentielle Wärmemarkt umfaßt alle Verbraucher, die sich noch nicht für ein Heizungssystem entschieden haben. Die Anzahl der potentiellen Wärmekunden kann anhand des Grundstückkaufs bzw. des Grundbucheintrags als bekannt vorausgesetzt werden. Spätestens zu Baubeginn muß die Wahl bezüglich eines Heizungssystems getroffen werden, so daß nach Fertigstellung eines Gebäudes Raumwärme und Brauchwasser bereitsteht.

Im privaten Bereich basiert unter Wettbewerbsbedingungen die Entscheidung für Nahwärme und somit die Höhe der Anschlußleistung auf der Akzeptanz potentieller Wärmekunden. Die Erschließung eines Bebauungsgebiets bzw. einer bestehenden Bebauung erfolgt mit zeitlicher Verzögerung. Im Endausbau der Nahwärmeversorgung entspricht die Summe der Nahwärmekunden und der Verbraucher mit ölbetriebenen Zentralheizungen der Zahl der potentiellen Wärmekunden zu Beginn der Projektierung, da sich jeder Verbraucher auf ein Heizungssystem festlegen muß.

Die Entscheidung für ein Heizungssystem führt zu einer längerfristigen Bindung[13]. Nach der Amortisation einer Heizungsanlagen ist im freien Wettbewerb eine Umrüstung auf ein anderes Heizungssystem möglich. So ist es denkbar, daß sich Nahwärmekunden nach Auslaufen eines Wärmeliefervertrags für eine Ölzentralheizungen entscheiden. Dagegen ist aufgrund positiver Erfahrungen mit Nahwärme oder wachsendes ökologisches Bewußtsein ein Zuwachs an Nahwärmekunden vorstellbar.

[13] Im Simulationsmodell wird von einer vertraglichen Bindung der privaten Haushalte mit dem Nahwärmeversorger von 5 Jahren ausgegangen.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

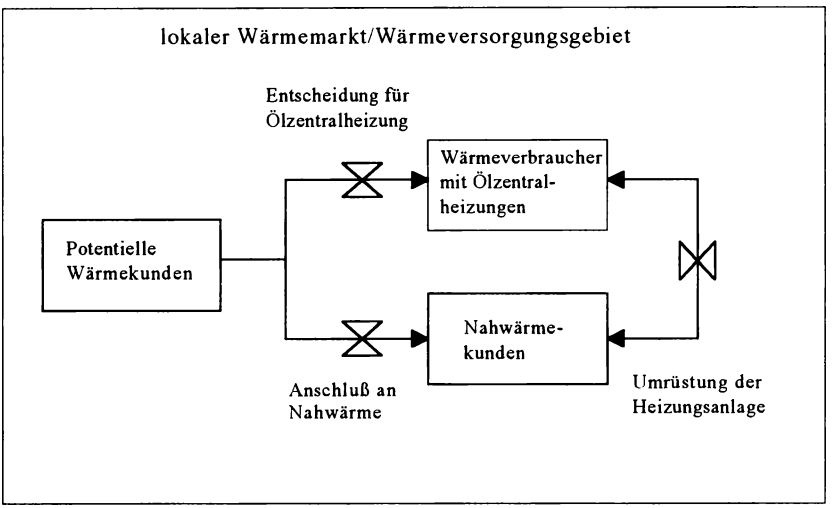

Abb. 12: Flußdiagramm zur Abbildung eines lokalen Wärmemarktes

Der Ersatz einer Zentralheizung durch einen Nahwärmeanschluß ist ohne großen Aufwand möglich. Die Umrüstung der Heizungsanlage ist technisch unproblematisch, da bestehende Wärmeleitungen im Gebäudebereich einschließlich der Heizkörper genutzt werden können. Umgekehrt kann ein Nahwärmeanschluß durch eine Ölheizung ausgetauscht werden. Zufriedene Nahwärmekunden bleiben hingegen dem Versorgungsunternehmen erhalten.

Als Verantwortliche für die Entscheidung bezüglich der Wahl einer Heizungsanlage und damit als Vertragspartner treten gegenüber dem Versorgungsunternehmen die Eigentümer eines Wohngebäudes auf. Mieter haben dagegen keine Wahlmöglichkeit. Es werden immer komplette Wohngebäude und nicht einzelne Wohnungseinheiten als Verbraucher angesehen. Die Eigentümergemeinschaft eines Mehrfamilienhauses, beispielsweise einer Eigentumswohnanlage, muß sich auf eine Heizungstechnik einigen, da die Wärmeversorgung eines Wohngebäudes nur auf einem Heizungstyp beruhen kann.

Im Simulationsablauf wird an Stelle der Kundenzahl analog deren Wärmeanschlußleistung berechnet. Die Anschlußleistung dient dem Nahwärmeversorger als Grundlage zur Kapazitätsplanung. In der Realität kann die Wahl eines Verbrauchers zugunsten eines Heizungssystems als diskretes Ereignis betrachten werden. Im Rahmen der Simulation wird die Entscheidung einer größeren Anzahl von Verbrauchern für eine Heizungstechnik in Form eines Wahrscheinlichkeitswertes ausgedrückt. Dieser Modellansatz mag eine Vereinfachung darstellen. Die Entscheidung einer größeren Anzahl von Verbrauchern als diskreter Entscheidungsprozeß würde jedoch den EDV-technischen Rechenaufwand deutlich übersteigen.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Im Gegensatz zu den privaten Haushalten soll für Sondervertragskunden kein Entscheidungsprozeß bezüglich der Wahl des Heizungssystems abgebildet werden. Zum Zeitpunkt des Simulationsbeginns, gleichbedeutend mit dem Abschluß der Planungsphase, wird die Entscheidung der Sonderkunden zugunsten der Nahwärme vorausgesetzt. Eine nachträgliche Werbung von Sonderkunden nach dem Aufbau einer Nahwärmeversorgung soll nicht berücksichtigt werden. Vor allem bei auf Verbrauchsschwerpunkte maßgeschneiderten Nahwärmekonzepten ist von einer stärkeren Bindung der Sonderkunden auszugehen. Daher wird nicht von einer Umrüstung auf eine andere Heiztechnik während der Betrachtungszeit ausgegangen.

Die Abbildung eines Versorgungsgebiets oder Einzelobjekts erfolgt durch Vorgabe versorgungstechnischer Kenngrößen. Diese umfassen gemäß der Siedlungstypologie die Anzahl und Anschlußwerte aller Gebäude im Versorgungsgebiet sowie die Leitungslänge im Endausbau. Wegen der unterschiedlichen Voraussetzungen und einer abweichenden Wärmeabnahmestrukur müssen private Haushalte und Sondervertragskunden getrennt betrachtet werden. Ein einzelnes Versorgungsobjekt oder ein Versorgungsgebiet wird durch folgende Werte charakterisiert:

- Anzahl aller Wohngebäude innerhalb eines Versorgungsgebiets
- Anzahl der Sondervertragskunden
- thermischer Anschlußwert aller Wohngebäude innerhalb eines Versorgungsgebiets
- thermischer Anschlußwert und der Objekttyp eines Verbrauchsschwerpunktes bzw. eines Sondervertragskunden
- Leitungslänge des Wärmenetzes innerhalb eines Versorgungsgebiets
- Leitungslänge zur Anbindung eines Verbrauchsschwerpunkts an ein Blockheizkraftwerk

1. Entscheidungsfaktoren für die Wahl eines Heizungssystems

Für die Wahl eines Heizungssystems sind neben dem Wärmepreis auch immaterielle Faktoren, wie die Einschätzung der Versorgungssicherheit, die Preisentwicklung, das ökologische Bewußtsein sowie der Komfort von Bedeutung (Abbildung 13)[14]. Die Erfahrung von ausgeführten Nahwärmeprojekten zeigt, daß das Akzeptanzverhalten der Verbraucher durch finanzielle Aspekte dominiert wird[15]. Ein wesentliches Entscheidungskriterium ist der

[14] Vgl. Prognos AG: Rationelle Energieverwendung und -Erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, Basel, Köln, 1987, S. 219.

[15] Vgl. *Vondung*, Andreas: Fernwärmeversorgung in Viernheim - Projekt BHKW Essigzapfen. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen,

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Wärmepreis[16]. Nichtmonetäre Entscheidungskriterien, beispielsweise der Umweltschutz, spielen eher eine untergeordnete Rolle.

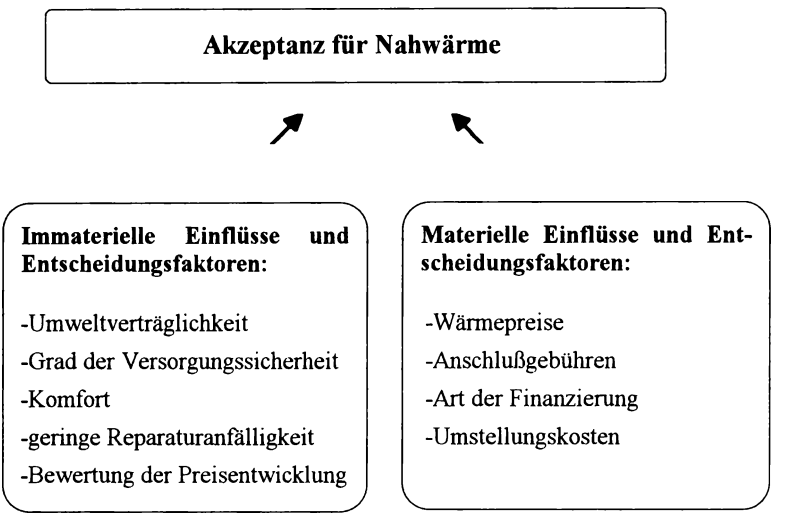

Abb. 13: Bestimmungsfaktoren der Akzeptanz für Nahwärme

Für den Entscheidungsprozeß ist der Zeitpunkt einer zu erbringenden Leistung durch den Kunden von Bedeutung. Investitionen in einen Nahwärmeanschluß oder in die Umstellung einer vorhandenen Anlage auf Nahwärme werden am höchsten bewertet. Danach folgen die laufenden Jahreskosten, wobei fiktive Abschreibungen einer hausbezogenen Ölheizung in der Regel nicht in das Kostenkalkül einbezogen werden. Erst an letzter Position steht als Entscheidungskriterium der Ersatz einer Anlage nach Ablauf der Nutzungszeit. Dieser Tatsache tragen Versorgungsunternehmen Rechnung, indem sie in Form von Baukostenzuschüssen und Preisnachlässen auf Hausanschlüsse die Akzeptanz für Nahwärme steigern[17].

Im Simulationsmodell basieren monetäre Entscheidungsfaktoren auf einem Nutzwärmekostenvergleich. Eine sachlich richtige Rechnung muß neben dem

---

Strategien und Perspektiven: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, 1995, S. 206.

[16] Vgl. *Domman*, Dieter: Fernwärme-Marketing und strategisches Verkaufen, 1. Auflage, VWEW, Frankfurt, 1992, S. 39.

[17] Vgl. *Vondung*, Andreas: Fernwärmeversorgung in Viernheim - Projekt BHKW Essigzapfen. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, 1995, S. 206.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Energiepreis alle Kostenbestandteile enthalten[18]. Beim Bau eines Hauses oder einer anstehenden Heizungsmodernisierung ist deshalb ein Vollkostenvergleich aufgrund aller relevanten Aufwendungen einer Heizungsanlage anzustellen[19]. Bei einem Vollkostenvergleich wird unterstellt, daß nicht auf ein bestehendes System zurückgegriffen werden kann, sondern ein neues Versorgungssystem aufzubauen ist[20]. Aufgrund der beherrschenden Rolle preisbedingter Faktoren, werden diese gegenüber immateriellen Bestimmungfaktoren, abhängig vom Wärmepreisniveau, stärker gewichtet. Sofern Nahwärmepreis und spezifische Kosten einer Ölheizung bezogen auf die Nutzwärme übereinstimmen, dominieren immaterielle Faktoren. Mit zu- oder abnehmendem Preisverhältnis gewinnt dagegen der monetäre Einfluß an Bedeutung.

Der Akzeptanzwert entspricht der Wahrscheinlichkeit einer Entscheidung zugunsten von Nahwärme sowohl durch potentielle Kunden zu Beginn eines Versorgungsprojekts als auch der Bereitschaft zur Umrüstung auf Nahwärme durch Haushalte mit Ölzentralheizungen. Das Ansehen der Nahwärme durch die Verbraucher ist nicht statisch, sondern beruht auf einem Erfahrungswert, der sich im Zeitverlauf aufgrund positiver oder negativer Einstellungen verändern kann. Geringe Versorgungssicherheit oder ein hohes Preisniveau schadet der Nahwärme. Wachsendes ökologisches Bewußtsein fördert das Ansehen. Aussagen zum Komfort oder zur Umweltverträglichkeit können jedoch nur schwer quantifiziert werden. In der Planungsphase eines Nahwärmeprojekts ist durch das Versorgungsunternehmen in Form von Befragungen die Grundeinstellung potentieller Wärmekunden zu erfragen.[21]

Abbildung 14 zeigt den Prozeß der Akzeptanzbildung auf einem wettbewerbsorientierten Wärmemarkt, der durch die freie Entscheidung der Verbraucher gekennzeichnet ist. Hohe Versorgungssicherheit oder ein günstiger Wärmepreis bewirken eine steigende Akzeptanz. Dadurch erhöht sich die nachgefragte Wärmeleistung, wodurch Investitionen in einen Zubau an Wärmelast initiiert werden. Die Versorgungssicherheit steigt mit der Leistung der installierten Wärmelast. Das Vertrauen in die Nahwärmeversorgung wächst. Im Falle einer Preisfindung mit einer kostenorientierten Komponente wird abhängig vom anlegbaren Wärmepreis ein Preisaufschlag gemäß der Kostenentwicklung auf den tatsächlichen Wärmepreis kalkuliert. Investitionen bewirken

[18] Vgl. *Domman*, Dieter: Fernwärme-Marketing und strategisches Verkaufen, 1. Auflage, VWEW, Frankfurt, 1992, S. 60.

[19] Vgl. o.V.: Die sparsamste Gas-Technologie - Vollkostenvergleich spricht für Brennwerttechnik, Handelsblatt, 14.3.1995.

[20] Vgl. *Suding*, Paul H./ *Melzer*, Manfred/ *Seifert*, Bernd: Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energieversorgungskonzepten, Zeitschrift für Energie (ZfE), Heft 3, 1985, S.157-164.

[21] Siehe dazu die Umstellung einer renovierungsbedürftigen Gasversorgung auf Fernwärme im Stadtzentrum von Mannheim; vgl. Prognos AG: Umstellungskonzept Rheinauenstraße, Untersuchung im Auftrag der Stadtwerke Mannheim AG, Prognos AG, Basel, 1985.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

steigende Wärmegestehungskosten. Über einen Preisaufschlag erhöht sich der Wärmepreis. Ein Preisniveau über dem anlegbaren Wärmepreis vermindert die Akzeptanz.

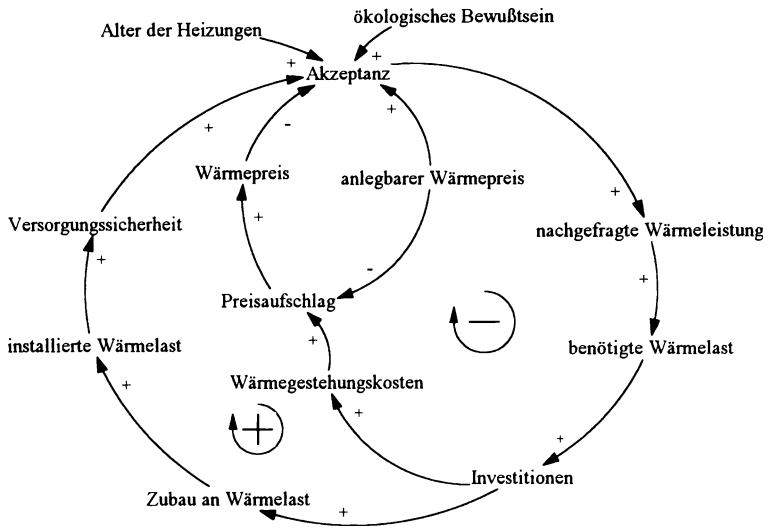

Abb. 14: Prozeß der Akzeptanzbildung

Die Bereitschaft eines Verbrauchers zur Modernisierung ist vom Alter einer Heizungsanlage abhängig. Die Festlegung eines Kunden auf ein Energiesystem führt zu einer meist längerfristigen Bindung. Spontane Entscheidungen bezüglich des Anschlusses an Nahwärme sind daher auszuschließen. Aufgrund der starken Bindung der Verbraucher an einen bestimmten Energieträger verliert der gesamte Wärmemarkt gegenüber einzelnen Energieträgermärkten, wie Heizöl und Erdgas, an wettbewerbspolitischer Bedeutung[22]. Zudem spielen die Umstellungskosten eine wichtige Rolle. Unter der Annahme, daß sich mit zunehmender Nutzungsdauer die kalkulatorischen Abschreibungen verringern, reduzieren sich auch die Umstellungkosten auf eine andere Heizungstechnik. Die Umrüstung des Heizungssystems kommt somit frühestens nach Amortisation einer Heizungsanlage in Frage.

[22] Vgl. Prognos AG: Rationelle Energieverwendung und -Erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische ökologische, und wirtschaftliche Auswirkungen, Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, Basel, Köln, 1987, S. 160.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

2. Preisbildung auf dem lokalen Wärmemarkt

Die Preisbildung auf dem Wärmemarkt ist durch einen Substitutionswettbewerb geprägt[23]. Infolgedessen basiert der Preismechanismus für die Nahwärme weniger auf kosten- als vielmehr auf marktorientierten Prinzipien. Unter Konkurrenzbedingungen ist der Nahwärmeversorger gezwungen, auf dem Wärmemarkt mit Heizöl zu konkurrieren. Mineralöl nimmt auf den Energiemärkten wegen der dominanten Stellung die Funktion eines globalen Marktführers ein[24]. Grundlage der Preisfindung für Nahwärme ist eine Anlegbarkeitsrechnung anhand der Gesamtkosten einer ölbetriebenen Zentralheizung.

Der anlegbare Wärmepreis auf Basis der Heizkosten einer ölbetriebenen Zentralheizung wird durch eine Vollkostenrechnung ermittelt. Dabei werden die Gesamtkosten einer Heizungsanlage, einschließlich der Investitions-, Betriebs- und Energiekosten über die erwartete Betriebsdauer betrachtet[25]. Der anlegbare Wärmepreis ist wegen der Kostendegression der Heizungsanlage und des Nutzwärmebedarfs von der Gebäudegröße und der Struktur des Versorgungsgebiets oder -objekts abhängig.

Aus Sicht des Versorgungsunternehmens berechnet sich der anlegbare Wärmepreis aus der Summe der Fest- ($Fest_{ÖL}$), Betriebs- ($Betrieb_{Öl}$) sowie den Brennstoffkosten ($Brenn_{Öl}$) einer ölbetriebenen Zentralheizung. Davon ist der Kostenanteil abzuziehen, der dem Wärmekunden bei Anschluß an die Nahwärme angelastet wird. Dieser umfaßt die Anschlußkosten ($Fest_{Nah}$) und Betriebskosten ($Betrieb_{Nah}$) der Nahwärmeversorgung aus Sicht des Endverbrauchers.

$$\text{(Gln. 1) Anlegbarer Wärmepreis} = Fest_{ÖL} + Betrieb_{Öl} + Brenn_{Öl} - Fest_{Nah} - Betrieb_{Nah}$$

Der Wärmepreis ist in einem gewissen Rahmen gestaltbar. Auf diese Weise können unternehmer- sowie verbraucherseitige Interessen berücksichtigt werden. Um Verbraucher bei Anschluß an die Nahwärmeversorgung finanziell zu entlasten, besteht die Möglichkeit, Baukostenzuschüsse und Anschlußkosten im Wärmepreis zu verrechnen[26]. Aus Sicht des Wärmekunden reduzieren sich damit die Festkosten für einen Nahwärmeanschluß. Als Folge steigt der

---

[23] Vgl. *Seifert*, Bernd: Die Fernwärmepreisbildung in der Bundesrepublik Deutschland - eine Analyse der Preisentwicklungsmuster und ihre Bestimmungsfaktoren, FWI, Jg. 21 (1992), Heft 6, S.287-299.

[24] Vgl. *Schürmann*, Heinz Jürgen: Mineralöl bleibt globaler Spitzenreiter, Handelsblatt, 25.8.1994.

[25] Vgl. *Suding*, Paul, H.: Ökonomische Ansätze zur Analyse des Energieverbrauchs der Haushalte für Raumwärmezwecke, R. Oldenbourg Verlag, München, 1984, S. 116.

[26] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 549.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

anlegbare Wärmepreis, so daß das Versorgungsunternehmen die zusätzlichen Aufwendungen durch einen höheren Wärmepreis ausgleichen kann.

Das Versorgungsunternehmen kann in begrenztem Rahmen den Wärmepreis mittels eines Preisauf- bzw. abschlags an die Anforderungen des Wärmemarktes und die Kostenentwicklung der Nahwärmeversorgung anpassen. Der Wärmeabgabepreis steht dabei im Spannungsfeld zweier Anforderungen.[27] Grundsätzlich gilt, daß die Erlöse aus dem Verkauf von Wärme und Strom die Kosten der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung bis hin zum Endverbraucher tragen müssen. Aufgrund des Wettbewerbsprozesses muß sich jedoch der Nahwärmepreis am Anlegbarkeitsprinzip orientieren und kann nicht ausschließlich aus den Kosten abgeleitet werden. Der Wärmepreis muß damit zwei Ansprüchen Rechnung tragen :

- für den Kunden akzeptabel im Vergleich mit alternativer Wärmebedarfsdeckung;
- für das Versorgungsunternehmen wirtschaftlich befriedigend;

Die Aufgabe des Marktsektors im Simulationsmodell besteht neben der Ermittlung der Anschlußgradentwicklung in der Berechnung des anlegbaren Wärmepreises auf Basis von Heizöl. Die Berechnung erfolgt anhand der siedlungstypologischen Kenngrößen, wie dem Anschlußwert der Gebäude und der externen Vorgaben zum Verlauf der Brennstoffpreise auf den Energiemärkten. Die Preisgestaltung für Nahwärme obliegt hingegen dem Rechnungswesen des Versorgungsunternehmens.

Auf das Verbrauchsverhalten einzelner Kunden wird nicht eingegangen. Daher wird innerhalb der Untersuchung auf eine Unterteilung von Arbeits- und Leistungspreis verzichtet. Vielmehr werden die Gesamtkosten auf die Nutzwärme umgerechnet. Jeder Verbraucher bezahlt einen mittleren Arbeitspreis für die abgenommene Nutzwärmemenge. Baukostenzuschuß und Anschlußkosten werden im Simulationsmodell vom Versorgungsunternehmen übernommen[28]. Der anlegbare Wärmepreis wird im Rahmen der Untersuchung für Sondervertragskunden und private Haushalte getrennt ermittelt.

---

[27] Vgl. *Piller*, Wulf / *Rudolph*, Manfred: Kraft-Wärme-Kopplung - zur Theorie und Praxis der Kostenrechnung, 2. Auflage, VWEW, 1991, S. 108.

[28] Preismodelle ohne Anschlußgebühren finden in der Praxis Anwendung und stoßen auf regen Zuspruch; vgl. *Klopfleisch*, Reinhard: Vom örtlichen Versorgungskonzept zum Saarbrücker Zukunftskonzept Energie. In: *Leonhardt*, Willy / *Klopfleisch*, Reinhardt/ *Jochum*, Gerhard: Kommunales Energie-Handbuch, C.F. Müller, Karlsruhe, 1989, S. 24; sowie ASUE (Hrsg.): Wärmelieferung: Beispiele, Grundlagen, Praxis-Hinweise für eine Energiedienstleistung, o. J., Hamburg, S.16.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

II. Technische Ausgestaltung einer Nahwärmeversorgung

Das Konzept der Nahwärme verfolgt im Gegensatz zu einer flächendeckenden Versorgung mit Fernwärme eine objektbezogene Versorgungsstrategie. Daraus resultiert die Abkehr von einer großflächigen Penetration zugunsten einer einzelne Straßenzüge oder Gebäude betreffenden Versorgung. Aufgrund der kleinräumigen Gliederung derartiger Versorgungskonzepte wird die Wärmelastdichte als Kriterium für die Wirtschaftlichkeit einer leitungsgebundenen Versorgung von der Streckenlastdichte abgelöst[29]. Das Streckenlastkriterium postuliert einen Zusammenhang zwischen dem Anschlußwert pro Streckenabschnitt und der Wirtschaftlichkeit der Nahwärme in einem Versorgungsgebiet[30]. Dieses Wirtschaftlichkeitskriterium versagt allerdings bei einer auf Einzelobjekte begrenzten Versorgung ohne Wärmenetz. Zudem muß festgestellt werden, daß sich die Streckenlast aufgrund der Vielzahl von Einflußfaktoren nur bedingt zur Beurteilung des wirtschaftlichen Einsatzes von Nahwärme in einem Versorgungsgebiet eignet.

Die Einbindung eines Blockheizkraftwerks in das Verbundnetz eines regionalen Energieversorgungsunternehmens gewährleistet die Einspeisung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms. Die erzeugte Nutzwärme wird jedoch ausschließlich von den an das Wärmenetz angeschlossenen Kunden genutzt. Die Dimensionierung eines Blockheizkraftwerks richtet sich infolgedessen nach dem Wärmebedarf der Verbraucher, so daß eine genügende Auslastung der Wärmeerzeugungsanlagen und damit ein gleichermaßen ökologisch wie auch ökonomisch sinnvoller Betrieb des Kraftwerks zu realisieren ist.

Der zeitliche Verlauf der Strom- und Wärmenachfrage ist nicht deckungsgleich. Für eine wärmeseitig angepaßte Auslegung der Motoraggregate muß deshalb davon ausgegangen werden, daß der im Kuppelprozeß erzeugte Strom nicht ausschließlich der Eigennutzung durch die Wärmekunden dient. Die Berechnung des zur Eigenbedarfsdeckung verwendeten Stromanteils setzt die genau Kenntnis der Charakteristik des Verhältnisses von Strom- und Wärmebedarf der Nahwärmekunden differenziert nach Tages- und Jahreszeiten voraus. Eine solche Betrachtung würde aber über den Rahmen der Simulation mit den gegebenen EDV-technischen Mitteln hinausgehen[31]. Zur Vereinfachung gibt

[29] Die Streckenlast, auch Liniendichte genannt, ist der Quotient aus der Summe der Anschlußwerte aller Verbraucher und der Leitungslänge. Dagegen versteht man unter der Wärmelastdichte den Anschlußwert pro Flächeneinheit, vgl. *Friesenecker*, Friedrich/ *Vetter*, Wolfgang: Gedanken zum Versorgungskonzept eines regionalen Versorgungsunternehmens, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 80 (1981), Heft 25, S. 919-922.

[30] Vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, 1985, S. 387.

[31] Eine deutliche Verbesserung der Genauigkeit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse würde durch detaillierte Tagesganglinien des Strom- und Wärmebedarfs erzielt. Durch eine Steigerung der Rechenleistung von PC's ist eine entsprechende Verbesserung in Zukunft denkbar.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

der Programmnutzer den Stromeigenanteil durch die Wärmekunden als fixen Wert vor.

Darüber hinaus ist eine Fahrweise der BHKW-Module denkbar, die sich an den Spitzenlastzeiten im öffentlichen Stromnetz mit einer höheren Bewertung des KWK-Stroms orientiert. Nur in Ausnahmefällen erfolgt der Betrieb ausschließlich nach dem Strombedarf eines abgeschlossenen "Inselnetzes" ohne Zugang zum Stromverbund[32]. Eine stromorientierte Fahrweise erfordert wiederum eine detaillierte Angabe des zeitlichen Verlaufs des Strombedarfs in der öffentlichen Elektrizitätsversorgung. Im Rahmen der Studie würde bei Berücksichtigung einer solchen Fahrweise der rechentechnische Aufwand beträchtlich ansteigen. Modellmäßig wird deshalb vorrangig von einem wärmeorientierten Betrieb des Blockheizkraftwerks ausgegangen. In Krankenhäusern werden BHKW-Anlagen gleichzeitig als Notstromaggregate eingesetzt[33]. Da Notstrom nur in sehr kurzen Zeiträumen bei Ausfall des öffentlichen Netzes benötigt wird, kann dieser Anwendungsfall vernachlässigt werden.

1. Komponenten einer Nahwärmeversorgung

Die technische Aufbau einer Nahwärmeversorgung ist unabhängig von der Kundenstruktur und dem Betreiber eines Blockheizkraftwerks. So gelten die gleichen Prinzipien der Kapazitätsplanung und des Ausbaus der Nahwärmeversorgung sowohl für öffentliche Energieversorger als auch für private Investoren.

Abbildung 15 zeigt die Komponenten eines Nahwärmesystems[34]. Die Nahwärmeversorgung wird in die Wärmeerzeugung durch ein Blockheizkraftwerk und die Wärmeverteilung unterschieden. Das Blockheizkraftwerk umfaßt vier Baugruppen. Dazu zählen die BHKW-Module mit Motor, Generator und Wärmetauscher zur Abwärmenutzung, die bauliche Anlage einschließlich Schornstein, die Stromeinspeisung und eine Heizkesselanlage[35].

Die Motoranlage des Blockheizkraftwerks stellt die Wärmegrundlast bereit. Der über die Grundlast hinausgehende Wärmebedarf sowie die Bereitstellung von Spitzen- und Reservelast wird mittels Heizkessel abgedeckt. Diese Konzeption gewährleistet eine effektive Auslastung der im Vergleich zur Kesselanlage teureren BHKW-Module. Die Heizkessel sind in Serie zur Motoranlage

[32] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf, 1991, S. 2.

[33] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW in Krankenhäusern, o. J., Hamburg, S. 3.

[34] Die Abbildung eines dezentralen Nahwärmesystems erfolgt in Anlehnung an das Schema eines Blockheizkraftwerks, vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S.15.

[35] Zur übersichtlicheren Darstellung ist ein Blockheizkraftwerk mit nur einem BHKW-Modul gezeigt. Der Aufbau eines BHKW-Moduls ist Abbildung 2 erläutert.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

geschaltet, so daß sie bei hoher Nachfrage den restlichen Wärmebedarf befriedigen können[36].

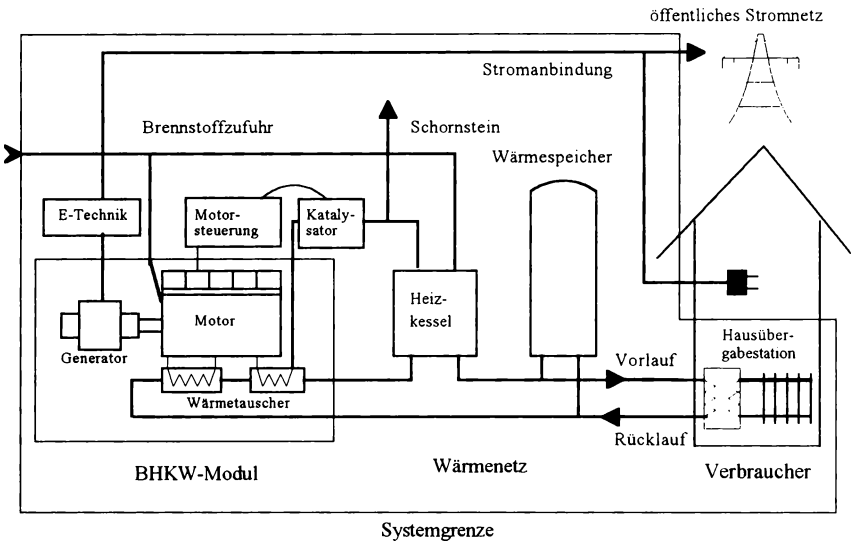

Abb. 15: Aufbau einer dezentralen Nahwärmeversorgung

Wegen der dominanten Rolle wird ausschließlich Erdgas als Brennstoff betrachtet. Für gasbetriebene Blockheizkraftwerke kommen zur Einhaltung der durch die TA-Luft vorgeschriebenen zulässigen Schadstoffgrenzwerte Drei-Wege-Katalysatoren zum Einsatz. Katalysatoren stellen die umweltfreundlichste und wirtschaftlich günstigste Lösung zur Rauchgasreinigung dar[37]. Sie ermöglichen im Vergleich zu anderen Abgasreinigungssystemen die niedrigsten Schadstoffkonzentrationen[38].

In der Regel werden Blockheizkraftwerke mit Synchron-Generatoren und somit parallel zum Stromnetz betrieben[39]. Eine Aggregatesteuerung sichert durch Drehzahlverstellung die notwendige Synchrondrehzahl, so daß der

[36] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 7.

[37] Vgl. *Paul*, R.: Technik und Emission kleinerer BHKW-Anlagen. In: VDI-Berichte Nr. 923: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, VDI-Verlag, 1991, S. 63.

[38] Vgl. *Kahlert*, Bernhard: Die Wiege der Schadstoffe, Abgasreinigung bei BHKW-Anlagen, Teil I, Energiespektrum Heft 12, 1994, S. 24-26.

[39] Vgl. *Paul*, R.: Technik und Emission kleinerer BHKW-Anlagen. In: VDI-Berichte Nr. 923: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, VDI-Verlag, 1991, S. 60.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Generator die Frequenz entsprechend dem öffentlichen Stromnetz liefert. Die Stromeinspeisung erfolgt gewöhnlich in das Niederspannungsnetz auf einer Spannungsebene von 230/380 Volt. Kleinere Leistungen können direkt in das Stromnetz übertragen werden[40]. Zur elektrotechnischen Anlage zählen ein Kuppelschalter, der die Verbindung von Spannungsnetz und Motoranlage zu- bzw. abschaltet, sowie die elektrotechnischen Einrichtungen zur Einspeisung in das Stromnetz, z.B. Trafos.

Damit ein Blockheizkraftwerk nicht unter ständiger Aufsicht betrieben werden muß, übernimmt eine Steuer- und Regelanlage Funktionen, wie das Zu- und Abschalten der Aggregate und der Kesselanlage in Abhängigkeit des zu erwartenden Strom- und Wärmebedarfs[41]. Daneben werden leistungsbestimmende Parameter, beispielsweise die Drehzahlregelung und sicherheitstechnische Funktionen, wie die Störabschaltung, durch die Motorsteuerung übernommen. Die Steueranlage sowie die elektrotechnischen Einrichtungen des Blockheizkraftwerks werden als stromtechnische Anlagekomponenten zusammengefaßt.

Der Einsatz eines Wärmespeichers dient zur Überbrückung kurzzeitiger Schwankungen des Wärmebedarfs. Mit überschüssiger Wärme aus der Motoranlage können Spitzen der Wärmenachfrage durch den Speicher abgedeckt werden[42]. Die Verwendung des Wärmespeichers gewährleistet einen gleichmäßigeren Betrieb der Aggregate ohne häufiges An- und Abstellen der BHKW-Module insbesondere in der Übergangszeit im Frühling und Herbst. Überdies kann zu Stromspitzenzeiten mit einer geringeren Wämenachfrage die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme in den Speicher abgeführt und später in das Wärmenetz zurückgespeist werden. Die Installation eines kleineren Speichers für kurzzeitiges Zwischenspeichern, dessen Kapazität rund eine Betriebsstunde der BHKW-Anlage abdeckt, ist mit niedrigen Investitionen verbunden, so daß sich die Gesamtinvestitionen nur geringfügig erhöhen.

Die Anlagekomponenten eines Blockheizkraftwerks werden in den meisten Fällen im Gebäude einer Heizzentrale installiert. Kleinere BHKW-Anlagen können aber auch in einem vorhandenen Heizraum, beispielsweise einem Kellerraum, untergebracht werden. Der baulichen Anlage werden ferner die Brennstoffzufuhr und die Abgasanlage mit Schornstein zugeordnet. Die spezifischen Investitionskosten eines Blockheizkraftwerks beziehen sich in der Regel auf die installierte elektrische Leistung der Motoraggregate. Je nach Hersteller schließen sie nur das BHKW-Modul ein oder umfassen zusätzlich die

---

[40] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 7.

[41] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf 1991, S. 5.

[42] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 7.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Heizkessel und die elektrotechnischen Anlagekomponenten[43]. Der bauliche Teil der BHKW-Anlage wird indessen separat berechnet. Im Simulationsmodell werden die spezifischen Investitionskosten in Abhängigkeit der installierten elektrischen Leistung einschließlich des Gebäudes mit Elektro- und Wärmetechnik jedoch ohne die Kessel- und Motoranlage angegeben. Dabei entfallen 50 % der Investitionskosten auf die stromtechnischen Anlagekomponenten und 50 % auf die bauliche Anlage inklusive Abgasanlage mit Schornstein und der Brennstoffzufuhr.

Die Nutzung eines vorhandenen Heizraums verringert die baubedingten Kosten auf ein Fünftel. Auf die Problematik der Grundstückspreise unterschiedlicher Standorte eines Blockheizkraftwerks, beispielsweise im Innenstadtbereich oder in ländlichen Regionen, wird im Simulationsmodell nicht näher eingegangen. Die Grundstückspreise sind vereinfacht in den spezifischen Kosten der baulichen Anlage enthalten. Der Zubau eines Wärmespeichers wird mit 5% höheren Investitionskosten veranschlagt.

Die Investitionen eines BHKW-Moduls enthalten die Kosten der Motoranlage mit Generator, die Wärmetauscher, die Belüftung, den Katalysator und die technische Anbindung an das Wärmenetz. Die spezifischen Investitionen der Heizkessel richten sich nach der installierten thermischen Leistung eines Kessels. Die Kosten für Planung und Montage des Kraftwerks sind zu gleichen Teilen in den jeweiligen Kostengruppen enthalten.

Der Wärmeverteilung werden das Leitungsnetz in einem Versorgungsgebiet sowie die Wärmeleitung zur Anbindung eines Verbrauchsschwerpunkts an eine BHKW-Anlage zugerechnet. Durch das Leitungsnetz wird der Verbraucher im Vorlauf mit ca. 80-90°C heißem Heizwasser beliefert. Der Kreislauf der Wärmeverteilung wird im Rücklauf geschlossen, wobei das Heizwasser auf 60-70°C abgekühlt wird. Die spezifischen Verlegekosten sind vom Leitungsquerschnitt analog der Transportkapazität der Wärmeleitung abhängt.

Zum Wärmenetz werden die Hausübergabestationen und die Hausanschlußleitungen gezählt. Die Übergabestation, auch als Kompaktstation bezeichnet, überträgt mittels eines Wärmetauschers die Wärmeenergie des Leitungsnetzes auf den Heizkreislauf eines Gebäudes. Ihre Aufgabe besteht zudem in der Regelung der Heiz- und Brauchwassertemperaturen. Im Modell wird davon ausgegangen, daß der Nahwärmeversorger die Kosten für Hausanschlüsse und Kompaktstationen trägt. Nicht zum Wärmenetz zählen alle Komponenten der Übergabestation nach dem Wärmetauscher. Aus diesem Grund müssen die Kosten für Warmwasserspeicher und Ausgleichgefäß vom Wärmekunden übernommen werden. Die spezifischen Investitionen, welche die Kosten für die Hausanschlüsse und Kompaktstationen einschließen, sind abhängig vom

[43] Die Einteilung der Anlagegruppen orientiert sich weitgehend an der VDI-Richtlinie 2067; vgl. VDI-Richtlinie 2067, Blatt 7: Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen, Blockheizkraftwerke, Düsseldorf, 1988.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Wärmeanschlußwert eines Gebäudes. Im Gegensatz zu einer Übergabestation im Rahmen einer Fernwärmeversorgung entfallen auf Nahwärmekompaktstationen weniger Kosten, da der technische Aufwand aufgrund der niedrigeren Vorlauftemperatur des Wärmenetzes geringer ist. Der Heizkreislauf eines Verbrauchsschwerpunktes wird vereinfacht unmittelbar an ein Blockheizkraftwerk angeschlossen, so daß nur Kosten für die Wärmeleitungen anfallen.

Das Nahwärmesystem umfaßt neben den technischen Anlagekomponenten auch die angeschlossenen Wärmekunden. Die Systemgrenze entspricht der Anbindung des Blockheizkraftwerks an das öffentliche Stromnetz. Damit liegen der Strombezug der Verbraucher und die daraus entstehenden Kosten außerhalb des betrachteten Versorgungssystems. Dagegen wird der Anteil der Einspeisung von Überschußstrom und die Eigennutzung von KWK-Strom dem Bereich der Nahwärmeversorgung zugerechnet. Der Preis für den Brennstoffbezug und der Vergütungssatz für die Strombewertung werden als externe Größen betrachtet.

2. Die Kapazitätsplanung der Anlagekomponenten

Dem Vorteil der Nähe zu den Verbrauchsschwerpunkten stehen hohe spezifische Kosten des Blockheizkraftwerks gegenüber. Der modulare Aufbau einer BHKW-Anlage erweist sich dabei von Vorteil, da die jeweiligen Baugruppen durch Zubau einzelner Komponenten an die Entwicklung des Wärmebedarfs eines Versorgungsprojektes angepaßt werden können. Die Dimensionierung der Anlagekomponenten unterliegt dem Zielkonflikt einer sicheren und gleichermaßen kostengünstigen Wärmeversorgung. Ein über den tatsächlichen Wärmebedarf hinaus dimensioniertes Kraftwerk ist mit einer niedrigeren Auslastung und hohen Investitionskosten belastet. Für energietechnische Investitionen müssen lange Planungshorizonte angesetzt werden, da sie als langlebige Investitionen einzustufen sind. Dadurch können einmal getroffene Entscheidungen nicht kurzfristig revidiert werden[44]. Eine langfristige Planung wird jedoch durch unsichere politische Rahmenbedingungen sowie sich ständig ändernde Brennstoff- und Strompreise erschwert.

Abbildung 16 zeigt die Auswirkung der Dimensionierung der Motoraggregate im Hinblick auf die Wärmegestehungskosten. Um einen ökonomisch sinnvollen Betrieb zu gewährleisten, wird eine hohe Auslastung der Motoren verbunden mit einer möglichst ganzjährigen Nutzung der erzeugten Wärme angestrebt. BHKW-Module werden in den meisten Fällen so dimensioniert, daß die einzelnen Aggregate möglichst lange Laufzeiten im Jahresverlauf und somit eine hohe Stromerzeugung erreichen[45]. Dadurch können die hohen

[44] Vgl. *Suding*, Paul. H.: Problemadäquate Investitionsrechnung bei energietechnischen Investitionen. In: VDI-GET (Hrsg.): VDI-Berichte 684, Düsseldorf, 1988, S. 59.

[45] Vgl. *Witt*, Johannes: Kriterienkatalog für den Einsatz von Blockheizkraftwerken in der Nahwärmeversorgung von Neubaugebieten, Öko-Institut e.V., Freiburg, 1992, S. 4.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Investitionen in die BHKW-Module durch die Erlöse aus dem Absatz von Nahwärme und Strom erwirtschaftet werden. Durch die Stromvergütung werden die Wärmegestehungskosten verringert[46].

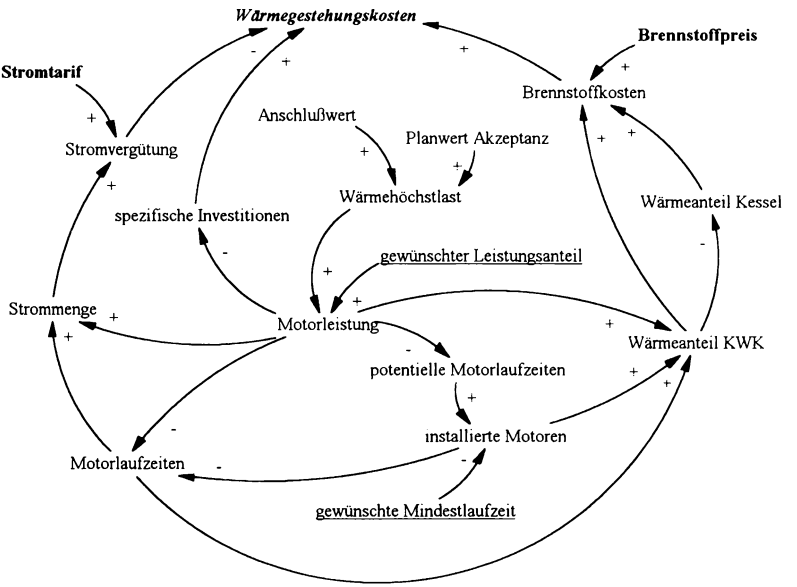

Abb. 16: Einfluß der Auslegung einer Motoranlage auf die Wärmegestehungskosten

Als Grenze der Wirtschaftlichkeit werden Mindestlaufzeiten von 5000 Stunden pro Jahr genannt[47]. Für die Installation mehrerer BHKW-Module soll die durchschnittliche Jahresbetriebszeit aller Motoren mindestens 3500 Stunden betragen[48]. Die Praxis zeigt, daß für die im Eigentum der Energieversorger befindlichen Blockheizkraftwerke im Jahr 1994 eine durchschnittliche jährliche Nutzungsdauer von 3626 Stunden ermittelt wurde[49]. Lediglich 24,3 % der Anlagen konnten eine Laufzeit von über 5000 Stunden im Jahr erreichen.

Für eine wirtschaftliche Betriebsweise wird vielfach die Planungsempfehlung ausgesprochen, daß die BHKW-Module mit einem möglichst geringen

[46] Siehe dazu Erläuterungen in Kapitel B.II.2, Ermittlung der Wärmegestehungskosten.

[47] Vgl. *Noske*, H./ *Kettig*, F.: Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 91 (1992), S. 285-290.

[48] Vgl. *Zacharias*, Friedemann: Konzeption und Auswahl eines Verbrennungsmotor-BHKW: Energieversorgung für Nahwärmesysteme, Deutz MWM Mannheim, November 1992.

[49] Vgl. *Rumpel*, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland - Ergebnisse der VDEW - Erhebung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3, S. 100-107.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Anteil an der gesamten Wärmelast einen hohen Anteil des Wärmebedarfs dekken sollten[50]. Ein Anteil von 35 % der gesamten Wärmelast entspricht abhängig vom Versorgungsobjekt ca. 70 % der Jahreswärmearbeit[51]. Die restliche Leistung wird durch Heizkessel bereitgestellt, die im Spitzenlastbetrieb kostengünstiger arbeiten. Für Spitzenlasten, die meist nur an wenigen Wintertagen nachgefragt werden, unterstützen die Heizkessel zusätzlich die Motoraggregate. Bei geringer Wärmenachfrage insbesondere in den Sommermonaten erfolgt eine Abschaltung der Motoraggregate und eine ausschließliche Dekkung des Wärmebedarfs durch die Kesselanlage. Die Versorgungssicherheit erhöht sich durch die Installation mehrerer Heizkessel.

Neuere Nahwärmeprojekte zeigen, daß größer dimensionierte Motoraggregate Vorteile aufweisen können[52]. Einer geringen thermischen Motorleistung verbunden mit einer hohen Auslastung bzw. Motorlaufzeiten steht die Forderung nach möglichst leistungsstarken Motoren aufgrund der Kostendegression gegenüber. Wird zudem berücksichtigt, daß die Stromerzeugung zu Hochtarifzeiten höher bewertet wird, ist ein Betrieb vorwiegend während der Hochtarifphase mit kürzeren Laufzeiten wirtschaftlich günstiger. Da der Wärme- und Strombedarf nicht vollständig deckungsgleich ist, kann bei einer stromorientierten Betriebsweise während der Spitzenlastzeiten das Abführen überschüssiger Abwärme über Kühler an die Umgebung notwendig werden. Eine derartige Fahrweise widerspricht einem rationellen Energieeinsatz, da der elektrische Wirkungsgrad eines Blockheizkraftwerks in der Regel schlechter als der des bestehenden Kraftwerkparks eines überregionalen Energieversorgers ist. In der Simulation wird daher eine stromorientierte Betriebsweise nicht berücksichtigt. Dagegen wird im Modell ein kurzzeitiger nach dem Strombedarf orientierter Betrieb zugelassen, sofern die überschüssige Wärme einem Speicher zugeführt werden kann.

Im Rahmen der Projektplanung muß eine Festlegung bezüglich des Brennstoffeinsatzes und der Anlageauswahl getroffen werden. Die Auswahl des Energieträgers beschränkt sich auf Erdgas, welches zu handelsüblichen Konditionen bezogen wird. Abhängig von der jährlichen Abnahmemenge errechnet sich ein Mischpreis aus Arbeits- und Leistungstarif. Das Anlagekonzept wird auf den Einsatz von Blockheizkraftwerken durch gasbetriebene Verbrennungsmotoren oder ein Heizwerk ausschließlich auf Basis einer gasbetriebenen Kesselanlage begrenzt. Die Standortwahl ist bereits in der Versorgungskonzeption impliziert, da eine dezentrale Nahwärmeversorgung räumlich objektgebunden erfolgt. Dagegen wird zwischen einer Unterbringung der Motor-

---

[50] Vgl. *Noske*, H./ *Kettig*, F: Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 91 (1992), S. 285-290.

[51] Vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J. , Hamburg, S. 15.

[52] Vgl. *Attig*, Dieter: Neue Auslegungskriterien für Blockheizkraftwerke, FWI, Jg. 24 (1995), Heft 1/2, S. 48-54.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

und Kesselanlage in einer eigens errichteten Heizzentrale und der Nutzung eines geeigneten Kellerraumes differenziert.

Die Verhängung eines Anschluß- und Benutzungszwanges bietet dem Versorgungsunternehmen Planungssicherheit, da hierbei die Wärmenachfrage im Endausbau bekannt ist. Die Anschlußwahrscheinlichkeit entspricht 100 %. Bei Wegfall des Anschlußzwangs muß die Anschlußentwicklung der privaten Haushalte zur Vermeidung von Überkapazitäten oder Kapazitätsengpässen antizipiert werden. Für beide Versorgungssituationen gilt als Planungsgrundlage die potentielle Wärmeleistung aller Haushaltungen und Sonderkunden nach Erschließung des Versorgungsgebiets. Die Auslegung der Anlagekomponenten einer Nahwärmeversorgung orientiert sich am theoretischen Wärmebedarf aller an das Wärmenetz angeschlossenen Verbraucher. Der Anschlußwert eines Gebäudes entspricht im Simulationsmodell dem Norm-Gebäudewärmebedarf[53].

Wichtige planungstechnische Kenngröße ist die Wärmehöchstlast des Nahwärmenetzes. Sie ist äquivalent der höchsten in das Leitungsnetz eingespeisten Wärmeleistung und fällt zeitlich auf den kältesten Tag des Jahres. Die Wärmehöchstlast wird begrenzt durch die Wärmenachfrage und der vom Versorgungsunternehmen bereitgestellten Erzeugungs- und Verteilungskapazität. In der Praxis fragen jedoch nicht alle Verbraucher die gesamte Wärmeleistung gleichzeitig nach. Um eine Überdimensionierung der Kraftwerksanlage zu vermeiden und gleichzeitig eine ökonomisch sinnvolle Auslastung zu gewährleisten, kann eine höhere Wärmelast angeschlossen werden als es der höchstmöglichen Wärmeabgabe entspricht.

Die effektive Wärmenachfrage errechnet sich aus dem Anschlußwert und dem Gleichzeitigkeitsgrad. Letzterer ist definiert als der Quotient der Wärmehöchstlast aller Verbraucher und der Summe der Anschlußwerte aller Abnehmer[54]. Bei einem Wärmenetz kann von einem Gleichzeitigkeitsgrad von 80 % ausgegangen werden[55]. Der Gleichzeitigkeitsgrad ist jedoch von der Struktur der Verbraucher abhängig. Er kann für kleinere Nahwärmeinseln zwischen Werten von 60 % und 80 % variieren. Da in der Regel nicht alle Räume gleichermaßen beheizt werden, bewegt sich der Gleichzeitigkeitsgrad auch für einzelne Gebäude in einem Bereich zwischen 60 % und 80 %[56]. Im Modell

---

[53] Der Norm-Gebäudewärmebedarf ist nach DIN 4701 die Summe des Norm-Wärmebedarfs aller Räume eines Gebäudes. Er entspricht der theoretisch während der tiefsten Außentemperatur eines Jahres nachgefragten Wärmeleistung; vgl. VDI-Richtlinie 4701: Heizungen, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Ausgabe 1983.

[54] Vgl. *Hakansson*, Knut: Handbuch der Fernwärmepraxis, Vulkan-Verlag, Essen, 3. Auflage, 1986, S. 58.

[55] Vgl. ebd., S. 58.

[56] Vgl. *Hinrichs*, Manfred: persönliche Mitteilung, Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH, 1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

wird ein Gleichzeitigkeitsgrad von 80 % angenommen. Um den Wärmebedarf durch die Abnehmer zu befriedigen, muß zudem eine um die Netzverluste höhere Wärmeeinspeisung eingeplant werden[57].

Für den Fall einer günstigen Anschlußgradentwicklung wird die Heizzentrale und das Leitungsnetz auf die Erfordernisse einer Vollversorgung aller Verbraucher in einem Versorgungsgebiet ausgerichtet. Der bauliche Teil des Blockheizkraftwerks muß genügend Stellplätze für die BHKW-Module und die Heizkessel enthalten. Die Auslegung der Heizzentrale wird modellmäßig nicht in bautechnischen Kenngrößen, sondern in thermischer Leistung beziffert. Die Dimensionierung der Wärmeleitung orientiert sich an dem geforderten Durchfluß an Heizwasser. Als Kenngröße fungiert die potentielle Streckenlast. Sie wird als Maßzahl für den Anschlußwert der Verbraucher pro Leitungsabschnitt verstanden. Grundlage ist die maximal mögliche Zahl an Nahwärmekunden innerhalb des Versorgungsgebiets.

Die Dimensionierung der Anlagekomponenten wird für den gesamten Betrachtungshorizont eines Simulationslaufs fixiert, da Anschlüsse und Zuleitungen bei Errichten einer Heizzentrale fest zu installieren sind. Ebenso wird für alle vorgesehenen Aggregate die gleiche Motorleistung verbindlich festgelegt. Die thermische Leistung resultiert aus dem gewünschten Leistungsanteil eines Motors an der Wärmehöchstlast. Aus der thermischen Motorleistung errechnet sich anhand der Stromkennzahl des Aggregats die elektrische Leistung. Als Stromkennzahl wird das Verhältnis aus elektrischer und thermischer Leistung eines BHKW-Moduls verstanden. Darüber hinaus muß das Versorgungsunternehmen aus Gründen der Versorgungssicherheit eine Reserveleistung durch Heizkessel bereithalten, um den Ausfall eines Aggregates zu kompensieren.

Die thermische und elektrische Motorleistung sowie die thermische Kesselleistung können im Simulationsmodell stufenlos je nach Größe des Versorgungsprojekts und der Prämissen bezüglich der Anlagedimensionierung variiert werden. Der Programmnutzer gibt zur Beschreibung des Blockheizkraftwerks maßgebliche technische Spezifikationen vor, die durch die Wahl des Anlagekonzepts bestimmt werden. Diese umfassen folgende Kenngrößen zur Beschreibung der Motoranlage und der Heizkessel:

- elektrischer und thermischer Wirkungsgrad der Motoranlage
- thermischer Wirkungsgrad der Kesselanlage
- Anzahl der Heizkessel eines Blockheizkraftwerks
- Netzverluste

[57] Netzverluste entsprechen einem Schwund an Wärmeenergie. Damit vermindert sich auch die eingespeiste Wärmeleistung. Wegen der programmtechnisch einfacheren Handhabung werden daher die Netzverluste auf die Wärmeleistung bezogen. Im Simulator wird der Netzverlustfaktor bezogen auf die eingespeiste Wärmeleistung durch den Programmanwender angegeben.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Dem Planer stehen zudem zwei weitere wesentliche Stellgrößen für die Dimensionierung der Motoraggregate zur Verfügung :

- gewünschter Anteil eines BHKW-Moduls an der Wärmehöchstlast
- gewünschte Mindestlaufzeit eines Motoraggregates

Die Auslegung der baulichen Anlage erfolgt anhand der im Modell implementierten Planungsvorschriften. Grundlage ist die Dimensionierung der Motoren und Heizkessel. Weitere Parameter, wie die Streckenlast als Planungsgrundlage zur Auslegung des Leitungsnetzes oder der spezifische Anschlußwert zur Ermittlung der thermischen Leistung einer Übergabestation, werden im Simulationsmodell mittels der Vorgaben aus dem Wärmemarkt errechnet.

Die strategische Planung zur Dimensionierung der Motor- und Kesselanlage eines Blockheizkraftwerks und die Entscheidung für den Zubau eines BHKW-Moduls basieren auf der geordneten Jahreslastkurve der Wärmeleistung als maßgebliches Planungsinstrument (Abbildung 17). Anhand einer zweidimensionalen Darstellung wird die Wärmelast abhängig von der zeitlichen Dauer der Nachfrage dargestellt.

Die normierte Wärmelast entspricht dem Verhältnis aus tatsächlicher Wärmenachfrage und der Wärmehöchstlast. Die jeweiligen Stundenwerte der normierten Wärmeleistung erscheinen nicht mehr in zeitlicher Folge über das betrachtete Jahr, sondern werden nach der Höhe der Wärmeleistung sortiert. Die Abszisse der Darstellung bezeichnet die Dauer und nicht den konkreten Zeitpunkt einer bestimmten Wärmenachfrage. Der Diagrammwert auf der linken Seite repräsentiert die maximale Wärmeleistung, die während einer Stunde des Jahres nachgefragt wird. Dieser Wert stimmt mit der Wärmehöchstlast überein. Auf rechten Seite der Darstellung wird zur 8760. Stunde des Jahres die niedrigste Wärmenachfrage aufgetragen.

Die geordnete Jahreslastkurve besagt, an wieviel Stunden im Jahr eine bestimmte Wärmeleistung nachgefragt wird und entspricht damit einem Summenhäufigkeitsdiagramm. Die Dauer der Nachfrage einer thermischen Leistung von 40 % der Wärmehöchstlast beträgt im Schaubild 2000 Stunden pro Jahr. Die geordnete Wärmelastkurve kann indessen nur als einfaches Näherungsverfahren für die Wärmenachfrage betrachtet werden. Die Information, wann zeitlich eine bestimmte Wärmeleistung angefordert wird, geht verloren[58]. Die Wärmelastkurve ist dennoch zur Bestimmung der gesamten erzeugten Wärmemenge eines Jahres geeignet. Die Jahreswärmemenge entspricht der Fläche unter dem Kurvenverlauf.

---

[58] Ein detaillierte Erfassung der Wärmelast erfolgt durch Bestimmung von Tagesganglinien anhand von Stundenmittelwerte der Wärmelast gemäß der VDI-Richtlinie 2067. Diese Vorgehensweise würde jedoch den Rahmen der computergestützten Simulation sprengen, so daß die Abbildung des Wärmebedarfs auf der gröberen Wärmelastkurve basiert.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

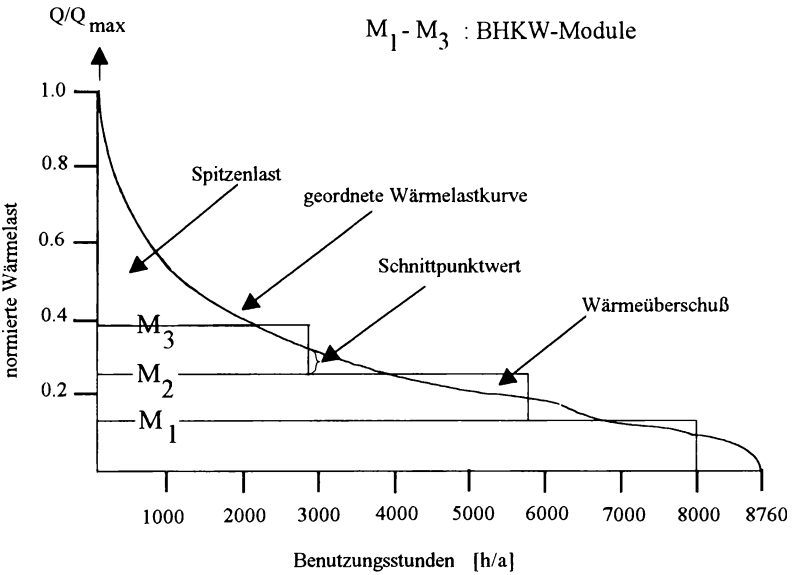

Abb. 17: Auslegung der Motoraggregate anhand der geordneten Wärmelastkurve

Der Wärmebedarf zur Raumbeheizung und zur Bereitung von Warmwasser ist starken zeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Bedarfscharakteristik ist von den Lebensgewohnheiten und vor allem vom Verlauf der Außentemperaturen abhängig[59]. In der Praxis können deshalb Abweichungen des theoretischen Kurvenverlaufs auftreten, die durch unterschiedliche Jahresmitteltemperaturen entstehen[60]. Derartige Temperaturabweichungen können sich sowohl auf die Betriebsstunden der Kesselanlage und der BHKW-Module als auch auf die Wärmenachfrage auswirken.

Für den geplanten Zubau von Motoraggregaten wird die geordnete Wärmelastkurve stufenweise jeweils in Höhe der thermischen Motorleistung bzw. deren Anteils an der Wärmehöchstlast ausgehend vom unteren Wert der Ordinate aufgefüllt. Die Laufzeit der Motoren entspricht dem Schnittpunkt der Motorleistung mit der Wärmelastkurve. Die Laufdauer ist von der Wahl des Schnittpunkts abhängig. Bei einem Schnittpunktwert von 1 orientiert sich die Fahrweise der BHKW-Module genau an der Wärmenachfrage. In der Regel werden die Motoraggregate jedoch über den eigentlichen Wärmebedarf hinaus ausgelastet. Auf diese Weise können kurzzeitige Schwankungen des Wärme-

[59] Vgl. *Junk*, H.: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 253.

[60] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf, 1991, S. 25.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bedarfs durch einen Wärmespeicher sowie die Speicherkapazität des Wärmenetzes überbrückt und die Motoraggregate weitgehend kontinuierlich betrieben werden. Zudem kann die gespeicherte Wärme einen Teil der Spitzenlast abdecken, oder einen kurzzeitigen Motorausfall kompensieren. Darüber hinaus vermag der Betreiber der BHKW-Anlage Strom zu Spitzenlastzeiten auch bei geringerem Wärmebedarf bereitzustellen.

Ein Betrieb über den eigentlichen Wärmebedarf hinaus wird im Simulationsmodell durch einen Wert des Schnittpunkts kleiner als 1 erreicht. Im Schaubild ist ein Schnittpunkt von 0,5 gewählt. Daraus resultiert im gewählten Beispiel für eine thermische Leistung pro Motor von 13 % der Wärmehöchstlast eine Betriebsdauer für das erste BHKW-Modul von 8000 Stunden. Das zweite Aggregat wird mit ca. 5800 Stunden und der dritte Motor mit ca. 3000 Stunden pro Jahr betrieben[61].

Die skizzierte Vorgehensweise stellt eine Vereinfachung dar, zumal nicht auf den Betriebsverlauf der Motoraggregate eingegangen werden kann. Die geordnete Wärmelastkurve ist daher für detaillierte Aussagen zu grob. So können keine Angaben über die Fahrweise der Motoren gemacht werden[62]. Dennoch findet die Auslegung nach der Wärmelastkurve in der Praxis als ein einfach zu handhabendes Verfahren häufig Anwendung. Die Abbildung der geordneten Wärmelastkurve erfolgt innerhalb des Simulationsmodells in analytischer Form mittels eines Polynomansatzes[63]. Die Kurvenfunktion der geordneten Wärmelastkurve lautet:

(Gln. 2) $y = S^4a^5X^5 + S^3b^4X^4 + S^2c^3X^3 + Sd^2X^2 + eX + f$

Funktionskoeffizienten : $a = 0.000338$, $b = 0.00811$, $c = 0.0721$, $d = 0.299$, $e = 0.663$, $f = 1$

Streckfaktor : $S = \{0.9, 1.15\}$

Die Basis für den Kurvenverlauf bilden empirische Werte bereits ausgeführter Nahwärmeprojekte und Studien[64]. Die Motorlaufzeiten werden im Modell

---

[61] Die maximale Laufzeit eines Motoraggregats soll, um wartungsbedingte Stillstandszeiten zu berücksichtigen, pro Jahr 8000 Stunden betragen.

[62] BHKW-Module eignen sich zur Anpassung an den Wärmebedarf durch kurzzeitiges Anfahren und Abschalten einzelner Module (getaktete Fahrweise). Wünschenswert ist indessen ein möglichst gleichmäßiger Betrieb, um den durch häufiges Anfahren bedingten Verschleiß der Motoren zu verringern.

[63] Um den komplexen Kurvenverlauf abzubilden, wird ein Polynom fünfter Ordnung gewählt.

[64] Darstellung und Diskussion geordneter Wärmelastkurven; vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden -Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. , Stuttgart, 1994.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

iterativ durch Annäherung an den Schnittpunkt ermittelt. Die Jahreswärmemenge kann unmittelbar durch Integration der Kurvenfunktion berechnet werden. Der Kurvenverlauf wird maßgeblich vom Verbraucherverhalten beeinflußt. Größere Wohngebäude haben aufgrund der höheren Anzahl der Verbraucher einen gleichmäßigeren Wärmebedarf als Ein- und Mehrfamilienhäuser. Krankenhäuser sind durch eine höhere Wärmegrundlast infolge des Warmwasserbedarfs charakterisiert. Dagegen muß für Verwaltungsgebäude, Schulen und Einkaufszentren, wegen Betriebsstillstands nach Feierabend sowie in Urlaubs- bzw. Ferienzeiten, nur zu Schwerpunktszeiten Wärme bereitgestellt werden, so daß der Grundlastanteil, auf ein Jahr bezogen, geringer ausfällt. Darüber hinaus können klimabedingte Schwankungen oder eine verbesserte Wärmedämmung zu Abweichungen des Kurvenverlaufs führen. Bei einer effizienteren Wärmeisolierung ist eine geringere Wärmehöchstlast verbunden mit einem höheren Grundlastanteil der Wärmelastkurve zu erwarten, was zu einer gleichmäßigeren Wärmenachfrage führt.

In Abbildung 18 ist die geordnete Wärmelastkurve für ein Krankenhaus, ein Wohngebiet und ein Verwaltungsgebäude dargestellt. Der Kurvenverlauf wird im Modell durch einen Faktor, im weiteren als Streckfaktor bezeichnet, an die Struktur des Nutzwärmebedarfs angepaßt. Der Standardverlauf der geordneten Wärmelastkurve entspricht der Wärmeabnahmestruktur eines einzelnen Wohnblocks oder eines Wohngebiets, dessen Siedlungstypologie vorwiegend größere Wohngebäude aufweist. Um die Wärmecharakteristik eines Krankenhauses abzubilden, wird der Kurvenverlauf durch einen Streckfaktor von 1,12 gestreckt, so daß auf die Wärmegrundlast ein höherer Anteil entfällt. Die Abnahmestruktur eines Verwaltungsgebäudes mit einer deutlich niedrigeren Wärmegrundlast wird mit einem Wert des Streckfaktors von 0,94 gestaucht.

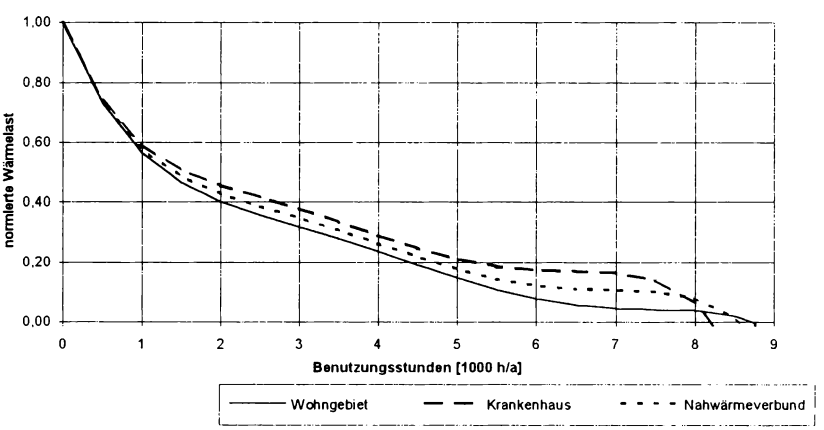

Abb. 18: Geordnete Jahreskurve der Wärmelast für verschiedene Versorgungsobjekte

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Eine wesentliche Kenngröße zur Beschreibung der geordneten Wärmelastkurve und ein Maß für die Auslastung der Nahwärmeversorgung sind die sogenannten Vollbenutzungsstunden[65]. Sie werden definiert als das Verhältnis von Jahresheizwärmeverbrauch und dem Norm-Gebäudewärmebedarf. Je höher der Wert der Vollbenutzungsstunden ist, desto gleichmäßiger ist der Wärmebedarf über das Jahr gesehen. Dennoch ist ihre Aussagekraft nur begrenzt, da bereits wenige sehr kalte Wintertage mit einem hohen Wärmebedarf die Zahl der Vollbenutzungsstunden deutlich reduziert.

Analog zu den Vollbenutzungsstunden werden die Benutzungsstunden als Quotient aus tatsächlichem Nutzwärmeverbrauch und der Wärmehöchstlast definiert. Sie können als die Zeitdauer interpretiert werden, in der die gesamte jährliche Nutzwärmemenge anfällt, falls ausschließlich die Wärmehöchstlast nachgefragt würde. Da die Wärmelast nur während sehr kurzer Zeiten in das Wärmenetz eingespeist wird, sind die Benutzungsstunden eine hypothetische Größe.

In Tabelle 1 sind die im Modell gewählten Streckfaktoren nach Gebäudetypen und Versorgungsvarianten aufgeführt. Darüber hinaus zeigt die Tabelle die Benutzungsstunden bezogen auf die Wärmehöchstlast für unterschiedliche Versorgungsobjekte und -varianten, wie sie nach Wahl der entsprechenden Werte des Streckfaktors für die Wärmelastkurve resultieren. Die Benutzungsstunden dienen neben der Beschreibung der Verbrauchscharakteristik auch einem Vergleich unterschiedlicher Versorgungsvarianten[66].

Tabelle 1

Benutzungsstunden und Streckfaktoren ausgesuchter Versorgungsobjekte

Versorgungsobjekt/ Versorgungsvariante	Objektspezifikation	Benutzungs-stunden	Streckfaktor
Einfamilienhaus (EFH)	Wärmeleistung für Raumheizung und Warmwasser 12 kW	2330 h/a	0,985
Mehrfamilienhaus (MFH)	Wärmeleistung für Raumheizung und Warmwasser 40 kW	2270 h/a	0,97
Wohngebiet (Neubaugebiet)	vorwiegend Ein- und Mehrfamilienhäuser	2300 h/a	0,975

[65] Vgl. VDI-Richtlinie 2067: Blatt 2, Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen - Raumheizung, Düsseldorf, Dezember 1993, S. 4.

[66] Die im Modell zugrunde gelegten Benutzungsstunden orientieren sich unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrades an der VDI-Richtlinie 2067. Sie sind jedoch an empirische Werte näher angepaßt; vgl. VDI-Richtlinie 2067: Blatt 2, Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen - Raumheizung, Düsseldorf, Dezember 1993, S. 11.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Versorgungsobjekt/ Versorgungsvariante	Objektspezifikation	Benutzungs-stunden	Streckfaktor
Wohngebiet (Nahwärmeinsel, Stadtrand)	vorwiegend Mehrfamilienhäuser und Wohnblöcke	2330 h/a	0,985
Wohngebiet (Nahwärmeinsel, Innenstadtbereich)	ausschließlich Wohnblöcke	2390 h/a	1
Wohnblock	Wärmeleistung für Raumheizung und Warmwasser 200 kW	2390 h/a	1
Krankenhaus	Wärmeleistung für Raumheizung, Warmwasser und sonstiger Wärmebedarf, Anschlußwert 2500 kW	2740 h/a	1,12
Verwaltungsgebäude (Bürogebäude)	vorwiegend Raumbeheizung, Anschlußwert 500 kW	2100 h/a	0,94

3. Der Zubau von Wärmekapazitäten

Den strategischen Entscheidungen während der Planungsphase bezüglich des Anlagekonzepts und der Dimensionierung der jeweiligen Anlagekomponenten folgt auf operativer Ebene im Zeitverlauf der Ausbau der Nahwärmeversorgung. Das primäre Ziel ist die Sicherstellung der Wärmeversorgung unter Einhaltung der Wirtschaftlichkeitskriterien. Um eine sichere Versorgung mit Nahwärme zu garantieren, müssen Kraftwerkskapazitäten in Höhe der erforderlichen Wärmeleistung bereitgestellt werden. Die benötigte Wärmeleistung basiert auf dem Anschlußwert vertraglich gebundener privater Kunden und Sondervertragskunden unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrades und der Netzverluste.

Der Zubau von Kapazitäten wird erforderlich, falls eine Diskrepanz zwischen benötigter Wärmeleistung und installierter Wärmelast besteht. Der kausale Zusammenhang ist in Abbildung 19 dargestellt. Die Installation technischer Anlagen des Blockheizkraftwerks und der Ausbau des Wärmenetzes muß in Abstimmung mit dem Finanzbereich des Versorgungsunternehmens erfolgen. Eine Investitionsentscheidung kann nur im Falle ausreichender Finanzmittel getroffen werden. Ein Ausbau der Wärmelast wird erst initiiert, wenn der Finanzbereich des Nahwärmeversorgers genügend Investitionsmittel bereitstellt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Durch den Kapitalbedarf eines Nahwärmeprojekts vermindert sich der Anteil an Eigenkapital. Der Finanzmittelbedarf für Investitionen wird teilweise mit Fremdkapital gedeckt. Der gewünschte Eigenkapitalanteil zur Finanzierung eines Nahwärmeprojekts kann innerhalb des Simulationsmodells als Stellgröße beliebig festgelegt werden[67]. Banken gewähren indessen nur bei guter Bonität des Versorgungsunternehmens Kredite. Die Bonität wird anhand der Eigenkapitalquote bewertet. Unterhalb eines Limits der Eigenkapitalquote werden keine weiteren Kredite bewilligt. Quersubventionen aus gewinnträchtigen Sparten eines kommunalen Versorgungsunternehmens sollen nicht berücksichtigt werden, da die Nahwärmeversorgung als eigenständiger Unternehmensbereich betrachtet wird.

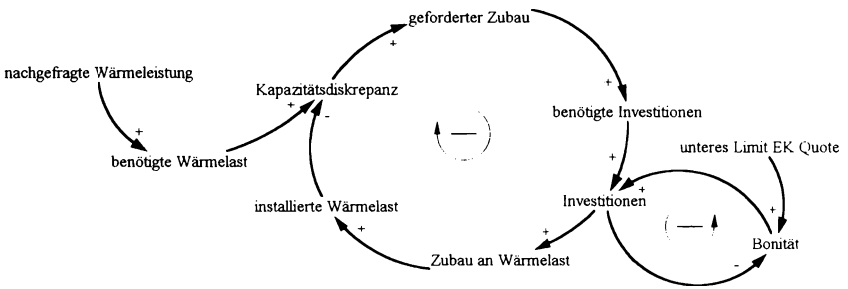

Abb. 19: Kausaler Zusammenhang des Zubaus von Kapazitäten der BHKW-Anlage

Nach einer Investitionsentscheidung muß eine entsprechende Zeitspanne für die Installation einer neuen Anlagekomponenten eingeplant werden. Diese baubedingten Verzögerungszeiten sind zur Vermeidung möglicher Kapazitätsengpässe vom Nahwärmeversorger zu berücksichtigen. Die Kapazitätsplanung für die Erschließung eines Neubaugebiets erfolgt anhand der Anschlußgradentwicklung der vertraglich gebundenen Kunden. Da die privaten Haushalte bereits vor Baubeginn eine Entscheidung bezüglich der Wahl der Heizungsanlage treffen müssen, verbleibt dem Betreiber der Nahwärmeversorgung ein zeitlicher Spielraum, bis nach Fertigstellung eines Wohngebäudes ein entsprechender Wärmebedarf nachgefragt wird. Die Wärmeanschlußleistung für die Versorgung eines Sondervertragskunden muß hingegen in vollem Umfang bereitgestellt werden. Ein Zuwachs an Wärmeleistung durch Sonderkunden im zeitlichen Verlauf wird modellmäßig nicht berücksichtigt.

Da die Wirtschaftlichkeit der BHKW-Anlage maßgeblich von der Auslastung abhängt, sind bei niedrigen Anschlußwerten nicht alle Nahwärmeobjekte für den Einsatz kleiner Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen geeignet. Insbesondere Neubaugebiete weisen infolge der Wärmeschutzverordnung einen geringeren spezifischen Heizenergiebedarf und damit eine ungünstigere Ver-

[67] Im Modell wird als Startwert ein gewünschter Eigenkapitalanteil von 40 % zugrunde gelegt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

brauchscharakteristik auf[68]. Denkbar ist daher die Aufnahme der Nahwärmeversorgung zunächst nur mit Heizkesseln. Bei einer geplanten Verdichtung des Baugebietes kann im Gebäude einer Heizzentrale die Option für einen späteren Zubau von BHKW-Modulen offengehalten werden[69].

Auch für den Aufbau einer Nahwärmeinsel, in der sich Wohngebiete meist um einen größeren Wärmeverbraucher, beispielsweise ein Krankenhaus oder ein öffentliches Gebäude konzentrieren, zeigt der sukzessive Zubau von Wärmekapazitäten Vorteile. Die modulare Bauweise eines Blockheizkraftwerks erlaubt ein schrittweises Anpasssen an die Anschlußgradentwicklung innerhalb eines Versorgungsgebiets. Kurzzeitige Engpässe in der Wärmeversorgung können durch die zusätzliche Bereitstellung von Spitzen- und Reservelast durch Heizkessel vermieden werden.

Der bauliche Teil des Blockheizkraftwerks muß auf eine zu erwartende positive Entwicklung des Wärmebedarfs ausgerichtet sein, so daß nach der Aufnahme der Nahwärmeversorgung durch Heizkessel je nach Anschlußgradentwicklung weitere BHKW-Module installiert werden können. Innerhalb des Modells entspricht die gesamte durch die Heizkessel bereitzustellende Wärmelast der vertraglich festgelegten Wärmeleistung aller Kunden abzüglich der thermischen Leistung aller vorgesehenen Motoraggregate. Die Kesselanlage muß zudem eine Reserveleistung in Höhe der thermischen Leistung eines Motoraggregates vorhalten, um den Ausfall eines BHKW-Moduls zu kompensieren. Die gesamte installierte Kessellast kann deshalb die tatsächliche Wärmenachfrage übersteigen. Der Zubau erfolgt stufenweise durch die Installation kompletter Heizkessel und orientiert sich jeweils am Wärmebedarf. Die Installation mehrerer Heizkessel erleichtert die Anpassung an die Entwicklung der Anschlußleistung und verbessert die Versorgungssicherheit bei Ausfall eines Kessels.

Die Entscheidung zum Zubau eines Motoraggregats wird getroffen, wenn der Anschlußgrad und damit die Anschlußleistung eine wirtschaftliche Auslastung gewährleistet. Als Planungsinstrument dient wiederum die geordnete Wärmelastkurve. Richtwert ist die geforderte Mindestlaufzeit. Abbildung 20 zeigt die Auswirkung des Zubaus von Motoraggregaten infolge einer Investitionsentscheidung auf einem wettbewerbsorientierten Wärmemarkt.

Aus dem Zubau kompletter BHKW-Module resultieren sprungfixe Kosten. Diese setzen sich aus den Investitionen und den betriebsgebundenen Kosten

---

[68] Vgl. Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV): Bundesdrucksache 345/93, Bonn, 19. Mai 1993.

[69] Als Beispiel sei der Aufbau einer Mustersiedlung für ökologisch orientierten Mietwohnungsbau mit 38 Wohnungen in Hagen angeführt. Die Aufnahme der Nahwärmeversorgung wird mit zwei Heizkesseln sichergestellt; vgl. *Schlusche*, Kai H.: Nahwärme flexibel gestalten, ZfK, September 1995, S. 47.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

zusammen, welche die Wärmegestehungskosten erhöhen. Gleichzeitig folgt aus dem Zubau von Motoren auch eine größere Strommenge verbunden mit einer höheren Vergütung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms. Die Stromgutschrift vermindert die Wärmegestehungskosten. Im Falle einer kostenorientierten Preiskalkulation richtet sich der Wärmepreis nach den Gestehungskosten. Aus steigenden Kosten resultiert ein höherer Wärmepreis. Ein steigendes Preisniveau verringert die Akzeptanz für Nahwärme. In der Folge vermindert sich der Anschlußgrad. Bei sinkendem Preisniveau hingegen verbessert sich die Akzeptanz, so daß der Anschlußgrad steigt.

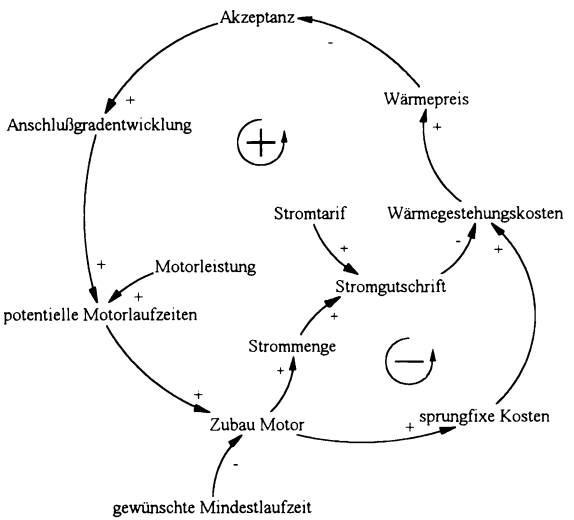

Abb. 20: Folgewirkung des Zubaus von Motoraggregaten

Der kausale Zusammenhang wird sowohl von einer positiven als auch einer negativen Rückkopplung geprägt. Zu erwarten ist die Annäherung des Anschlußgrads an einen festen Wert. Maßgebliche Stellgröße ist der Stromtarif. Er entscheidet, welche der beiden Wechselbeziehungen dominiert. Sofern die hohen Investitionen in die BHKW-Module durch die Stromgutschrift ausgeglichen werden, ist von einer stärkeren positiven Rückwirkung auszugehen. Im Gegenssatz zu einer durch Wettbewerb geprägten Situation wird bei Anschlußzwang die Anschlußgradentwicklung nicht durch systemimmanente Wechselwirkungen beeinflußt. Im Endausbau der Nahwärmeversorgung erreicht der Anschlußgrad 100 %.

Der Zubau der Wärmeverteilung orientiert sich im Unterschied zur Kraftwerksanlage nicht am Anschlußgrad. Bei der Erschließung eines Neubaugebiets muß allen Verbrauchern die Möglichkeit eines Wärmeanschlusses geboten werden. Daher ist zur Schaffung einer entsprechenden Infrastruktur das Leitungnetz in vollem Umfang auszubauen. Im Modell wird von einer monat-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

lich konstanten Leitungsverlegung ausgegangen. Die Zahl der Hausanschlüsse ist von der Länge der verlegten Leitung abhängig. Anhand der installierten Kapazitäten im Bereich der Kessel- und der Motoranlage sowie der Wärmenachfrage errechnet sich mittels des thermischen und elektrischen Wirkungsgrads die erzeugte Strom- und Wärmemenge. Der notwendige Brennstoffeinsatz der Heizkessel und der BHKW-Module ergibt sich aus den beiden Nutzenergiemengen und den jeweiligen Wirkungsgraden.

III. Methodische Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse

In der Studie wird aus Sicht des Betreibers eines Blockheizkraftwerks eine einzelwirtschaftliche Betrachtung unter den gegebenen Rahmenbedingungen vorgenommen. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgt anhand eines konkreten Nahwärmeprojektes. Der Nahwärmeversorger wird als eigenständiges Unternehmen, beispielsweise in Form einer Projektgesellschaft oder als selbstständige Unternehmenssparte eines Energieversorgers angesehen. Das Versorgungsunternehmen unterhält ein eigenes Rechnungswesen und erstellt selbstständig eine Bilanz. Quersubventionen im Rahmen eines kommunalen Querverbundes werden nicht berücksichtigt.

In der Versorgungswirtschaft dominieren zur Wirtschaftlichkeitsanalyse dynamische Rechenverfahren.[70] Da ein Projekt in der Regel mit einer Investitionsentscheidung begonnen wird, sind die durch eine Investition induzierten Ein- und Auszahlungen auf den Beginn des Betrachtungszeitraums zu diskontieren. Zu den dynamischen Verfahren werden die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode gezählt[71]. Im Unterschied zur Kapitalwertmethode, welche die Differenz zwischen den auf den selben Zeitpunkt bezogenen Einnahmen und Ausgaben einer Investitionsmaßnahme ermittelt, errechnet die Annuitätenmethode die zu erwartenden Einnahmen und Ausgaben als jährlicher Mittelwert infolge einer Investition. Die Annuitätenmethode liefert einen finanzmathematischen Durchschnittswert über den Betrachtungszeitraum. Die berechneten Durchschnittskosten für den Kapitaldienst fallen jährlich als gleichmäßige Periodenbeträge aus Zins und Tilgung an. Eine Investition ist dann vorteilhaft, wenn die Annuität positiv ist. Bei einem Vergleich unterschiedlicher zur Wahl stehender Varianten ist diejenige zu bevorzugen, welche die höhere Annuität aufweist.

Mit Hilfe der Annuitätenmethode kann für die Bereitstellung von Nutzwärme durch unterschiedliche Versorgungskonzepte ein Kostenvergleich durchgeführt werden. Dazu werden die spezifischen Kosten der Wärmebereitstellung

---

[70] Vgl. *Piller,* Wulf/ *Rudolph*, Manfred: Kraft-Wärme-Kopplung - zur Theorie und Praxis der Kostenrechnung, 2. Auflage, Frankfurt a. M., VWEW, 1991, S. 113.

[71] Vgl. *Heinen*, Edmund: Industriebetriebslehre - Entscheidung im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler, Wiesbaden 1991, S. 1227.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

als Quotient aus den erwarteten jährlichen Kosten und der Abgabemenge an Nutzwärme ermittelt[72]. Die Versorgungsvariante mit den niedrigsten Wärmebereitstellungskosten erhält den Vorzug. Als Vergleichskriterium für die Wirtschaftlichkeit verschiedener Kraftwerkstypen bzw. Versorgungsvarianten können auch die spezifischen Stromgestehungskosten angeführt werden[73]. Welches Verfahren Anwendung findet, hängt von den zugrunde gelegten Prämissen ab. Ein Kostenvergleich von Versorgungskonzepten, die auf den Wärmebedarf der Verbraucher ausgerichtet sind, orientiert sich an den Wärmebereitstellungskosten, im weiteren auch als Kosten der Wärmegestehung bezeichnet.

Das skizzierte Verfahren gibt jedoch keinen Aufschluß über die absolute Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung, sondern bewertet unterschiedliche Konzepte zur Wärmebereitstellung anhand der relativen Wirtschaftlichkeit. In der vorgestellten Untersuchung wird daher ein methodischer Ansatz der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung gewählt, welcher auf der Gegenüberstellung der Gesamtkosten eines Nahwärmeprojekts und den erzielten Erlösen beruht[74]. Die absolute Wirtschaftlichkeit resultiert aus dem Erlösüberschuß. Zunächst werden die gesamten Kosten für die BHKW-Anlage einschließlich der Heizkessel und der baulichen Anlage erfaßt. Da in der vorgestellten Studie eine wärmeorientierte Fahrweise des Blockheizkraftwerks vorausgesetzt wird, erfolgt die Berechnung der Wärmegestehungskosten nach Abzug der Stromgutschrift[75]. Zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit müssen die Wärmegestehungskosten den auf dem Wärmemarkt erzielbaren Erlösen gegenübergestellt werden.

Eine wesentliche Anforderung an die Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmeprojekts kann vereinfacht so formuliert werden, daß die erzielten Erlöse aus dem Verkauf von Wärme und Strom die Gesamtkosten der Nahwärmeversorgung übersteigen müssen. Im Vergleich zu einer konventionellen Wärmeversorgung durch eine Kesselanlage gilt für die Wirtschaftlichkeit eines Blockheizkraftwerks, daß die Mehrkosten des höheren Brennstoffbedarfs und die zusätzlichen Anlagekosten gegenüber der Kesselanlage durch den Erlös des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms gedeckt werden müssen[76]. Damit sich die Zusatzinvestitionen in ein Blockheizkraftwerk lohnen, muß die

---

[72] Vgl. *Suding*, Paul H./ *Melzer,* Manfred/ *Seifert*, Bernd: Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energieversorgungskonzepten, Zeitschrift für Energiewirtschaft (ZfE), Heft 3, 1985, S. 157-164.

[73] Vgl. *Schüller*, Karl Heinz: Methodisches Vorgehen bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Kraftwerken, Verlag TÜV Rheinland, 1985, Köln, S. 94.

[74] Vgl. VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW-Technik, Düsseldorf 1991, S. 23.

[75] Siehe dazu Kapitel B.III.2, Ermittlung der Wärmegestehungskosten.

[76] Vgl. *Henkel*, Hartmut: Umweltschonender Erdgaseinsatz in KWK-Anlagen. In: *Suttor*, W/ *Suttor*, K.H.: Praxis der Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Umfeld und Realisation von KWK-Anlagen, Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung vom März 1993, C.F. Müller, Karlsruhe.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Gutschrift für den erzeugten Strom mindestens den zusätzlichen Kosten des Blockheizkraftwerks entsprechen.

Die Wirtschaftlichkeit der Nahwärmeversorgung, die Wärmegestehungskosten sowie der Wärmeabgabepreis stehen in unmittelbarer Beziehung zueinander (Abbildung 21)[77].

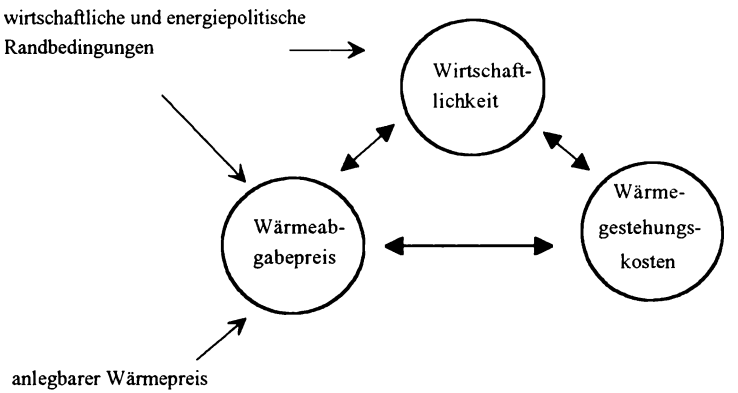

Abb. 21: Spannungsfeld von Wirtschaftlichkeit, Wärmepreis und Wärmegestehungskosten

Voraussetzung für die wirtschaftlichen Erfolg eines Nahwärmeprojekts ist, daß die spezifischen Wärmegestehungskosten niedriger ausfallen als der anlegbare Wärmepreis. Für die Rentabilität einer Kraftwerksanlage mit Kraft-Wärme-Kopplung sind deshalb neben den Kosten für die Wärme- und Stromerzeugung die Erlöse der erzeugten elektrischen und thermischen Energie bestimmend. Zur Untersuchung der Wirtschaftlichkeit sind somit zwei Einzelrechnungen durchzuführen:

- die Ermittlung des anlegbaren Wärmepreises aus Sicht des Endabnehmers
- die Berechnung der Wärmegestehungskosten aus Sicht des Versorgungsunternehmen

Die Kapitalwert- und die Annuitätenmethode als dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnungen berücksichtigen die Änderung wichtiger Einflußgrößen im Zeitverlauf wie Preise, Kosten oder Abgabemengen. Die Steigerungsraten maßgeblicher Parameter, z.B. die Energiepreisentwicklung, werden als exogene Größen vorgegeben. Endogene Prozesse aufgrund von Wechselwirkungen innerhalb eines Systems vermögen auch dynamische Rechenverfahren nur unzureichend abzubilden. So müssen Parameter im Rahmen einer Sensitivitäts-

[77] Vgl. *Piller,* Wulf/ *Rudolph*, Manfred: Kraft-Wärme-Kopplung - zur Theorie und Praxis der Kostenrechnung, 2. Auflage, Frankfurt a. M., VWEW, 1991, S. 120.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

analyse isoliert betrachtet werden. Rückwirkungen von in der Realität gekoppelten Parametern, wie Strombewertung und Auslegung der Motoranlage können wegen ihrer schlechten Quantifizierbarkeit nicht berücksichtigt werden. Vor dem Hintergrund eines wettbewerbsorientierten Wärmemarktes ist aufgrund des Marktgeschehens und der Preisgestaltung durch den Nahwärmeversorger auch die Anschlußgradentwicklung als Maß für die Auslastung die Folge systemimmanenter Wechselbeziehungen. Die Vorgabe der Anschlußgradentwicklung wie sie für dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnungen praktiziert wird, stellt somit eine erhebliche Vereinfachung dar.

Im Rahmen der Simulation wird der Zahlungsstrom nicht als Jahresmittelwert, sondern als tatsächliche Ein- und Auszahlungen während einer Periode erfaßt. Dazu wird innerhalb des Simulationsmodells ein vereinfachtes Rechnungswesen und der Finanzbereich einer Unternehmung abgebildet. Auf diese Weise können unterschiedliche Kenngrößen, beispielsweise die Liquidität als Folge der Entwicklung eines Nahwärmeprojekts, periodenweise ermittelt werden. Dieses Vorgehen erscheint gerade für eine leitungsgebundene Nahwärmeversorgung realitätsnäher als dynamische Rechenmethoden wie die Annuitätsrechnung. Beispielsweise können hohe Anlaufverluste in der Anfangsphase zu geringerer Liquidität führen, so daß die Tilgung von Bankkrediten ausgesetzt werden muß. Maßgebliche Kenngrößen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung werden anhand einer Gewinn- und Verlustrechnung sowie mit Hilfe der Bilanz ermittelt. Aufgrund der periodenweisen Erfassung der Zahlungen kann die Bilanz gleichfalls wie die Gewinn- und Verlustrechnung monatlich erstellt werden. Auf eine inflationsbedingte Kosten- und Preissteigerung wird im Modell verzichtet.

Der Geldverkehr zwischen dem Unternehmen und seiner Umwelt entspricht den Einnahmen und Ausgaben. Die Einnahmen resultieren aus Umsatzerlösen. Ausgaben umfassen die Wärmegestehungskosten, Investitionen und Zinsen auf Fremdkapital. Der Finanzbedarf folgt aus dem Saldo von Einnahmen und Ausgaben unter Berücksichtigung der Tilgung von Bankkrediten. Die Finanzierung von Investitionen wird nur zu einem bestimmmten Anteil durch Eigenkapital realisiert. Der verbleibende Finanzbedarf wird durch Aufnahme von Bankkrediten gedeckt. Dazu ist zunächst zu prüfen, welches Eigenkapital zur Finanzierung anhand liquider Mittel dem Unternehmen zur Verfügung steht. Der verbleibende Finanzbedarf wird durch Bankkredite befriedigt, sofern die Bonität des Unternehmens gegenüber den Banken gewahrt ist. Die Bonität entspricht dem Verhältnis aus Eigen- und Fremdkapital.

In der Energieversorgung wird weniger an begrenzte Zeiträume, sondern an eine kontinuierliche Bereitstellung von Energie gedacht[78]. Die Wirtschaft-

[78] Vgl. *Suding*, Paul H.: Problemadäquate Investitionsrechnung bei energietechnischen Investitionen. In: VDI-Berichte 684: Energietechnische Investitionen - Wirtschaftlichkeit und Finanzierung, Düsseldorf 1988, S. 73.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

lichkeit muß wegen der langen Lebensdauer von energietechnischen Anlagen über eine längere Zeitspanne hinweg betrachtet werden. Die meist hohen Anlaufverluste einer Nahwärmeversorgung können in der Regel erst längerfristig ausgeglichen werden, so daß daraus lange Amortisationszeiten resultieren. Eine Bewertung der Wirtschaftlichkeit ist somit erst nach Ablauf der rechnerischen Nutzungsdauer der Kraftwerksanlage sinnvoll. Ein zu kurzer Betrachtungshorizont kann, insbesondere auf einem wettbewerbsbsorientierten Wärmemarkt mit verschärfter Ertragssituation, zu einer scheinbar defizitären Nahwärmeversorgung führen. Zu lange Betrachtungszeiträume können dagegen die Aussagekraft einer Wirtschaftlichkeitsrechnung aufgrund der unsicheren Entwicklung exogener Einflußgrößen erheblich vermindern. In der Untersuchung wird deshalb ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gewählt, welcher der Nutzungsdauer der Kesselanlage entspricht.

Bei dezentraler Nahwärme kann von einer absatzsynchronen Produktion ausgegangen werden, wobei Erzeugung und Absatz der Periode mengenmäßig übereinstimmen. Wärme gilt aufgrund der Wärmeverluste im Zeitverlauf nur bedingt als lagerfähig. Für die Speicherung größerer Strommengen gibt es hingegen kein ökonomisch sinnvolles Verfahren. Die erzeugte elektrische Energie muß, sofern sie nicht den Eigenbedarf deckt, direkt in ein Stromnetz eingespeist werden. Dies gilt ebenfalls für die erzeugte Wärme. Auch nach Zwischenschalten eines Wärmespeichers wird die Nutzwärme noch in der gleichen Periode verbraucht. Darüber hinaus verfügt ein Blockheizkraftwerk bei Verwendung von Erdgas als Brennstoff über einen direkten Anschluß an die Erdgasleitung eines kommunalen oder regionalen Gasversorgers, so daß eine Bevorratung von Brennstoff entfällt. Aufgrund der absatzsynchronen Produktion findet das Gesamtkostenverfahren Anwendung[79]. Der Erfolg bzw. das Betriebsergebnis einer Periode entspricht dem Saldo aus der Differenz der Umsatzerlöse und den Gesamtkosten.

1. Wirtschaftliche Erfolgsgrößen der Nahwärmeversorgung

Zur operationalen Fassung des Begriffs der Wirtschaftlichkeit werden zwei Zielkategorien unterschieden. Diese basieren zum einen auf der Liquidität und beurteilen zum anderen die Ertragssituation des Unternehmens. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung erfolgt anhand ertrags- und liquiditätsorientierter Zielkriterien. Zudem kann die Wirkung der Variation maßgeblicher Einflußfaktoren durch Vergleich von Zielgrößen betrachtet werden.

Als ertragsorientierte Beurteilungsparameter einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung stehen im Vordergrund:

[79] Vgl. *Heinen*, Edmund: Industriebetriebslehre - Entscheidung im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler, Wiesbaden 1991, S. 1228.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- das Betriebsergebnis anhand einer Gewinn- und Verlustrechnung
- das kumulierte und verzinste Ergebnis auf Basis des Betriebsergebnisses
- der Break-even-Punkt bzw. die Zeitdauer des Verlustausgleichs auf Basis des kumulierten und verzinsten Betriebsergebnisses

Wichtigstes Kriterium in der vorgestellten Studie zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung ist das kumulierte Ergebnis. Dazu wird im Rahmen der Gewinn- und Verlustrechnung das Betriebsergebnis periodenweise summiert und zu marktüblichen Konditionen verzinst. Die Beurteilung des mit einer Investition verbundenen Risikos erfolgt anhand des erfolgsrechnerischen Break-even-Punkts. Er wird innerhalb der Untersuchung als derjenige Zeitpunkt definiert, zu dem die Anlaufverluste durch Gewinne kompensiert werden. Der Break-even-Punkt entspricht somit der Zeitdauer des Verlustausgleichs, in der das Unternehmen von der Verlust- in die Gewinnzone kommt.

Liquiditätsorientierte Zielkomponenten beziehen sich auf die Sicherstellung der Zahlungsverpflichtungen sowie die Verzinsung des eingesetzten Kapitals. Grundlage ist die bilanzmäßige Erfassung der Zahlungsströme. Wichtigste Kenngröße ist die Liquidität für unterschiedliche Zahlungsverpflichtungen, wie laufende Kosten und Tilgung von Bankkrediten. Die Bonität des Unternehmens gegenüber den Banken als Fremdkapitalgeber wird anhand der Eigenkapitalquote als Verhältnis aus Eigen- zu Fremdkapital beurteilt. Liquiditätsorientierte Zielgrößen umfassen :

- die Liquidität (Kassenbestand)
- die Rentabilität (Eigenkapital-, Umsatzrentabilität)
- die Eigenkapitalquote

Insbesondere für eine Nahwärmeversorgung im Eigentum der öffentlichen Hand stehen neben dem Streben nach Gewinnmaximierung auch umweltpolitische Forderungen, wie die Reduktion des Energieeinsatzes und die Reduktion der CO_2-Emissionen im Vordergrund. Als Vergleichskriterium werden die CO_2-Emissionen hausbezogener und ölbetriebener Zentralheizungen hergeleitet.

2. Ermittlung der Wärmegestehungskosten

Die Ermittlung der Wärmegestehungskosten basiert auf einer Vollkostenrechnung. Dazu werden mit Hilfe einer detaillierten Kostenrechnung unter Einbezug aller relevanten Kostenblöcke die Jahreskosten kalkuliert. Die vorliegende Untersuchung orientiert sich an allgemeingültigen Richtlinien[80].

[80] Vgl. VDI-Richtlinie 2067 Blatt 7: Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen, Blockheizkraftwerke, Dezember, 1988.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Danach werden die Gesamtkosten der Nahwärmeversorgung getrennt nach Kapital-, Betriebs - und Verbrauchskosten erfaßt.

Die kapitalgebundenen Kosten entstehen als Folge von Anlageinvestitionen. Die Kapitalkosten summieren sich aus den kalkulatorischen Abschreibungen und den Zinsen auf Fremdkapital. Für die jeweiligen Anlagekomponenten, wie Motoraggregate, Heizkessel oder Leitungsnetz werden die entsprechenden spezifischen Investitionskosten und deren rechnerische Nutzungsdauer zugrunde gelegt[81]. Wegen der Anlaufverluste ist es denkbar, daß mit zunehmender Betriebszeit höhere Aufwendungen und Abschreibungen durch einen progressiven Modus berücksichtigt werden. Degressive Abschreibungen sind aufgrund einer erst allmählich ansteigenden Auslastung nicht gerechtfertigt. Bei einer Nah-/Fernwärmeversorgung wird in der Regel von einem linearen Abschreibungsmodus infolge einer gleichbleibenden Wertminderung ausgegangen[82]. Diese Vorgehensweise wird auch in der vorliegenden Studie angewandt.

Die Verbrauchskosten resultieren aus dem Brennstoffverbrauch der Motor- und Kesselanlage. Da eine CO_2-/Energiesteuer vom Primärenergieeinsatz abhängig ist, wird diese ebenfalls den verbrauchsgebundenen Kosten zugeordnet. In den betriebsgebundenen Kosten sind neben Aufwendungen für Personal und Instandhaltung auch sonstige Kosten, die zur Verwaltung der Nahwärmeversorgung anfallen, enthalten. Instandhaltungs- und Verwaltungskosten bemessen sich differenziert nach Anlagekomponenten als prozentualer Anteil an den gesamten Investitionskosten.

Die Berechnung der Wärmegestehungskosten der Nahwärmeversorgung untergliedert sich in zwei Kostengruppen:

- Wärmeerzeugung (Blockheizkraftwerk, einschließlich Heizkessel und Motoranlage)
- Wärmeverteilung (Leitungsnetz, Hausstationen)

Die verursachungsgerechte Zuordnung der Kosten innerhalb einer Kuppelproduktion gilt betriebswirtschaftlich als problematisch, da der Anteil der jeweiligen Produkte an den Kosten nicht erfaßbar ist. Für die Stückkalkulation der Kuppelprodukte auf Basis einer Vollkostenrechnung werden willkürliche Verteilungsregeln festgelegt[83]. Bei der Substraktions- oder auch Restwertmethode werden von den Gesamtkosten des Kuppelprozesses der Verkaufswert der Nebenprodukte abgezogen und die verbleibenden Kosten dem Hauptprodukt zugerechnet, sofern ein solches definiert werden kann.

---

[81] Die rechnerischen Nutzungsdauer der jeweiligen Anlagekomponenten sind in der VDI-Richtlinie 2067 angegeben; vgl. VDI-Richtlinie 2067 Blatt 7: Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen, Blockheizkraftwerke, Dezember, 1988.

[82] Vgl. *Hakansson*, Knut: Handbuch der Fernwärmepraxis, Vulkan-Verlag, Essen, 1986, S. 767.

[83] Vgl. *Heinen*, Edmund: Industriebetriebslehre - Entscheidung im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler, Wiesbaden 1991, S. 1227.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Welches der Kuppelprodukte bei Anwendung der Restwertmethode als Nebenprodukt benannt wird, hängt von der Struktur des jeweiligen Marktes ab und ist unabhängig vom primären Zweck der Kuppelproduktion. Im Falle der Kraft-Wärme-Kopplung wird entweder der Strom oder die Wärme exogen, das heißt zu Marktpreisen, bewertet[84]. Für eine wärmeorientierte Fahrweise der Kraftwerksanlage bietet sich die exogene Bewertung des erzeugten Stromes aufgrund der Tarif- und Vergütungssätze des Netzbetreibers an. In der vorliegenden Untersuchung, in der sich die Auslegung eines Blockheizkraftwerks vorrangig am Wärmebedarf eines Versorgungsobjekts oder -gebiets orientiert, wird die Wärme als Hauptprodukt betrachtet. Die Wärmegestehungkosten errechnen sich aus den Gesamtkosten der Nahwärmeversorgung abzüglich der Erlöse aus dem Verkauf von Strom oder den vermiedenen Strombezugskosten. Die Höhe der Wärmegestehungskosten hängt somit entscheidend von der Bewertung des erzeugten Stroms ab.

3. Determinanten der Wirtschaftlichkeit

Eine Nahwärmeversorgung steht im Schnittpunkt vieler Problemfelder der Energiewirtschaft, so daß die für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zu berücksichtigenden Rahmenbedingungen sehr vielschichtig sind. Eine pauschale Bewertung der BHKW-Technik ist nicht möglich. Ein Nahwärmekonzept muß deshalb vor dem realen Hintergrund der gegebenen Rahmenbedingungen vor Ort betrachtet werden[85]. Die wesentlichen Einflußgrößen auf die Wirtschaftlichkeit sind:

- energie- und wirtschaftspolitische Rahmenbedingungen (Stromvergütung, Brennstoffpreis)
- Investitionskosten, Wartungs-/Instandhaltungskosten
- Dimensionierung der Anlagekomponenten
- Fahrweise des Blockheizkraftwerks, Lastaufteilung Heizkessel/Motoranlage
- Wärmegrundlastanteil
- Verhältnis von Wärme-/Strombedarf
- Kosten der Leitungsverlegung
- anlegbarer Wärmepreis
- Kapitalzinssatz

Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung wird wesentlich von der Bewertung des mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms beeinflußt, da die Wärmegestehungskosten durch die Stromgutschrift vermindert werden.

---

[84] Vgl. *Piller*, Wulf/ *Rudolph*, Manfred: Kraft-Wärme-Kopplung, Zur Theorie und Praxis der Kostenrechnung, 2. Auflage, Frankfurt a. M., VWEW, 1991, S. 19.

[85] Vgl. *Noske*, H./ *Kettig*, F.: Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 91 (1992), Heft 6, S. 285-290.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Ein Rechenbeispiel soll die Bedeutung der Strombewertung verdeutlichen. Der Verkauf einer MWh_{th} Nutzwärme erlöst bei einem anlegbaren Wärmepreis von 60 DM/MWh_{th} entsprechend 60 DM. Unter Annahme einer Stromkennzahl von 0,6 resultiert eine Stromerzeugung von 0,6 MWh_{el}. Die Stromvergütung soll 10 Pfg/kWh_{el} analog 100 DM/MWh_{el} betragen. Somit werden pro MWh_{th} erzeugter Wärme gleichfalls 60 DM durch den erzeugten Strom erlöst. Die spezifischen Wärmegestehungskosten können um 100 % über dem anlegbaren Wärmepreis liegen, um zumindest ein ausgeglichenes Ergebnis zu erzielen. Abweichungen der Stromvergütung um einen Pfennig pro kWh_{el} bzw. 10 DM/MWh_{el} , können sich indessen deutlich auf die Wirtschaftlichkeit einer Wärmeerzeugungsanlage auswirken.

Eine weitere Determinante der Wirtschaftlichkeit ist der Verlauf der Energiepreise. Die Brennstoffkosten für den Energieeinsatz in der Kessel- und Motoranlage eines Blockheizkraftwerks bilden zusammen mit den Kapitalkosten der Nahwärmeversorgung den größten Block der Gesamtkosten. Wegen der Kopplung der Gas- und Heizölpreise vermindert sich zwar der Anteil der variablen Kosten bei niedrigen Heizölpreisen. Da aber der Fixkostenanteil einer Nahwärmeversorgung aufgrund hoher Kapitalbindung ca. 40-70 % der gesamten Wärmegestehungskosten ausmacht, haben niedrige Brennstoffpreise nur gering Einfluß auf die Gesamtkosten.[86] Durch ein niedriges Niveau der Heizölpreise wird infolge eines rückläufigen anlegbaren Wärmepreises der Preisspielraum für Nahwärme stark eingeengt. Steigende Energiepreise bewirken neben höheren Brennstoffkosten auch ein höheres Niveau des anlegbaren Wärmepreises. Als Folge erhöhen sich die Erlöse aus dem Verkauf der Nahwärme. Die Wirtschaftlichkeit der Nahwärmeversorgung verbessert sich im Falle steigender Energiepreise jedoch nur, falls die Wärmeerlöse die Brennstoffkosten übertreffen. Bei einem hohen variablen Kostenanteil verschlechtert sich das wirtschaftliche Ergebnis. Der Einfluß steigender Energiepreise ist daher vom Anwendungsfall abhängig.

Für den langfristigen Erfolg dezentraler Nahwärmekonzepte sind neben variablen Einflußgrößen, wie Brennstoffpreise, Wärmeerlöse und die Stromvergütung ebenso die Kapitalmarktzinsen sowie die Dimensionierung der Anlagen zur Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung von Bedeutung. Zum einen ist die Belastung durch Kapital- und Instandsetzungskosten von der Auslegung der Motor- und Kesselanlage abhängig, wobei mit zunehmender Leistung die spezifischen Instandhaltungs- und Investitionskosten günstiger ausfallen. Zum anderen resultiert aus der Dimensionierung der Anlagekomponenten zur Wärmeerzeugung die Fahrweise des Blockheizkraftwerks als weiterer wichtiger Faktor der Wirtschaftlichkeit. Eine niedrigere Motorleistung verbunden mit höherer Laufzeit gewährleistet eine bessere Auslastung der

[86] Vgl. *Buch*, Alfred: Die Preise fließen, Energie, 32. Jg., Nr. 5, Mai 1980, S.173-179.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Motoranlage. Dagegen führt die Kostendegression zu höheren Kosten der Motoranlage, die über die Stromvergütung ausgeglichen werden müssen.

In Abbildung 22 ist der Einfluß der Dimensionierung einer Motoranlage auf die Wirtschaftlichkeit im kausalen Zusammenhang der gesamten Nahwärmeversorgung gezeigt. Es wird ein freier Wettbewerb angenommen. Der Wärmepreis basiert auf dem anlegbaren Wärmepreis unter Berücksichtigung eines Preisaufschlags, welcher dem Versorgungsunternehmen einen Spielraum für die Preisgestaltung je nach Höhe der Wärmegestehungskosten bietet. Liegt der tatsächliche Wärmepreis des Versorgungsunternehmens über dem Niveau des anlegbaren Wärmepreises, so verringert sich die Akzeptanz durch die potentiellen Wärmekunden für den Anschluß an Nahwärme. Die Akzeptanz erhöht sich dagegen bei einem günstigeren Wärmepreis. Kennziffer ist der relative Wärmepreis als Quotient aus tatsächlichem und anlegbarem Wärmepreis. Aufgrund verbesserter Akzeptanz wächst die Anschlußleistung für Nahwärme durch neu hinzu gewonnene Kunden. Die Laufzeiten der jeweiligen BHKW-Module resultieren aus der thermischen Motorleistung und der Wärmebedarfscharakteristik der Verbraucher.

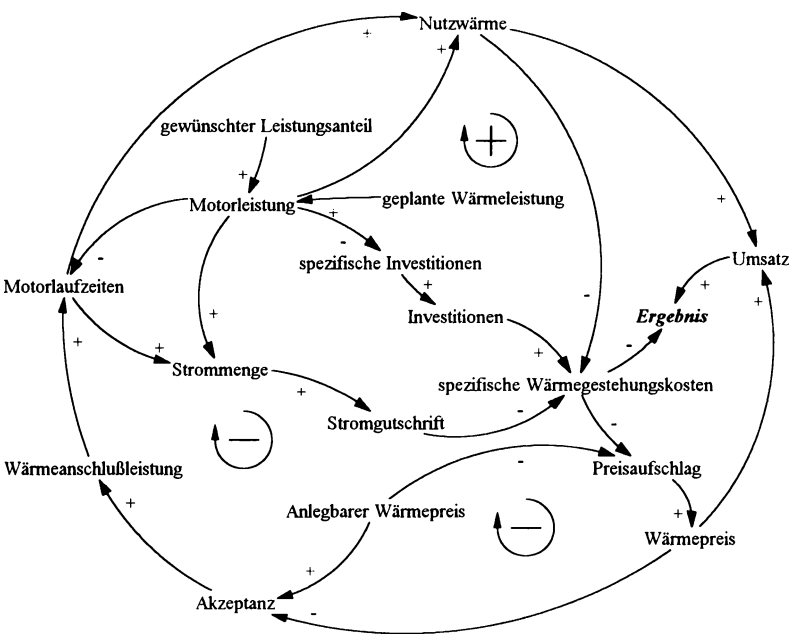

Abb. 22: Einfluß der Motordimensionierung auf die Wirtschaftlichkeit

Die Auslegung der BHKW-Module orientiert sich an der geplanten Wärmeleistung im Versorgungsgebiet und dem vorgesehenen Leistungsanteil eines

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Aggregats an der Wärmelast. Die Nutzwärmemenge resultiert aus der thermischen Motorleistung und der Motorlaufdauer. Analog dazu errechnet sich die durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strommenge aus der elektrische Leistung und der Laufzeit der Aggregate. Leistungsstarke Motoren erhöhen den Stromanteil. Dagegen verringern sich die Laufzeiten mit zunehmender Motorleistung, was sich negativ auf die Strommenge auswirkt.

Die Vergütung der erzeugten Elektrizität vermindert aufgrund des Restwertverfahrens die spezifischen Wärmegestehungskosten. Höhere Nutzwärmemengen bewirken ebenfalls geringere spezifische Kosten. Eine größere Absatzmenge an Nutzwärme bzw. ein höherer Wärmepreis steigert den Umsatz und verbessert das Ergebnis. Niedrige Gestehungskosten wirken sich günstig auf den Wärmepreis aus. Andererseits verursachen Investitionskosten in die Motoranlage höhere spezifische Gestehungskosten. Die spezifischen Investitionen sind von der Motorleistung abhängig. Aufgrund der Kostendegression vermindern sich die spezifischen Investitionen mit wachsender Motorleistung.

Die Verteilung der Nahwärme vom Standort der Erzeugungsanlage zum Verbraucher erfordert umfangreiche Investitionen in das Leitungsnetz, so daß dessen Aufbau sehr kapitalintensiv ist. Deshalb trägt die Wärmeverteilung zu einen erheblichen Teil zu den gesamten Investitionskosten bei. Die Wärmegestehungskosten müssen so kalkuliert werden, daß gleichzeitig die Kosten für das Wärmeverteilungsnetz und das Blockheizkraftwerk erwirtschaftet werden. Die Kapitalbindung sowohl in die Wärmeerzeugung als auch das Verteilungsnetz erfordern daher einen hohen Auslastungsgrad. Neue Verlegetechniken haben in den letzten Jahren die spezifischen Investitionen deutlich verringert.

Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung ist neben der Auslegung der Anlagenkomponenten im weiteren Geschäftsverlauf vom Ausbau der Kapazitäten im Bereich der Wärmeerzeugung und -verteilung abhängig (Abbildung 23). Falls die installierte Kapazität den Wärmebedarf nicht deckt, erfolgt ein Zubau. Ein Kapazitätsengpaß initiiert daher Investitionen. Anhand der installierten Wärmelast und der Wärmenachfrage errechnet sich der Wärmeabsatz.

Die Brennstoffkosten werden aufgrund des Brennstoffeinsatzes zur Wärmeerzeugung ermittelt. Infolge steigender Wärmenachfrage bewirken Brennstoff- und Investitionskosten höhere Wärmegestehungskosten. Die mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strommenge ist abhängig von der installierten elektrischen Motorleistung. Die Stromvergütung orientiert sich an der Stromerzeugung. Aufgrund des Restwertverfahrens wird die Stromvergütung als Gutschrift angerechnet, so daß die Kosten der Wärmegestehung vermindert werden.

Der Wärmepreis wird anhand der Wärmegestehungskosten ermittelt. Ein Preisaufschlag ermöglicht eine Anpassung an den anlegbaren Wärmepreis und die Entwicklung der Wärmegestehungskosten. Die Akzeptanz durch

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

potentielle Wärmekunden richtet sich nach dem Preisvergleich von anlegbarem und tatsächlichem Wärmepreis. Der Umsatz resultiert aus dem Wärmeabsatz und dem Wärmepreis. Ein hoher Umsatz und niedrige Wärmegestehungskosten verbessern das Ergebnis.

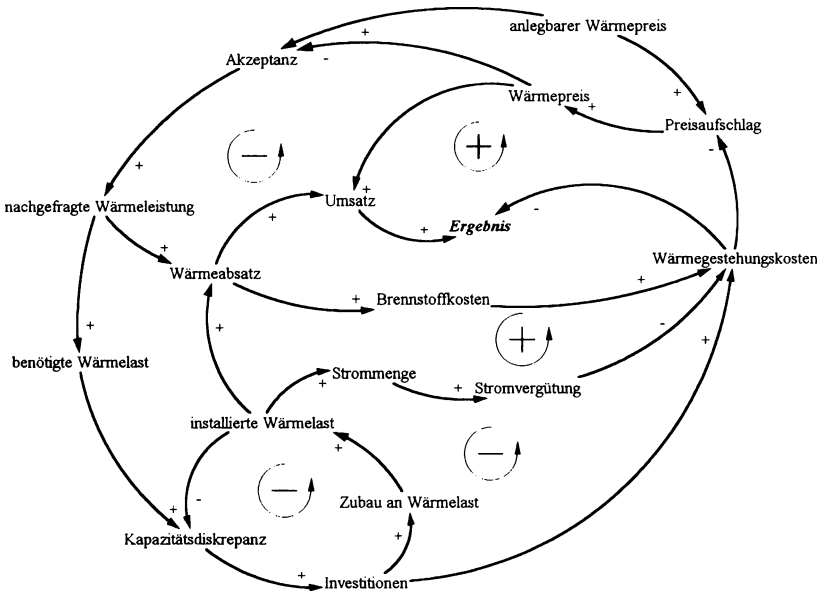

Abb. 23: Die Auswirkung des Kapazitätszubaus auf die Wirtschaftlichkeit

Wie bereits die Dimensionierung der BHKW-Motoranlage zeigt, stellt die Akzeptanz für Nahwärme einen maßgeblichen Parameter innerhalb des Modells dar. Sie entscheidet über die Absatzentwicklung im Bereich der Nahwärmeversorgung. Bei Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwangs unterliegt das Nahwärmeversorgungssystem einer Einschränkung mit der Folge, daß der Anschlußgrad im Zeitverlauf einen Wert von 100 % erreicht. Im Unterschied dazu resultiert auf einem wettbewerbsorientierten Wärmemarkt die Akzeptanz aus der Rückkopplungsbeziehung von Verbraucher und Nahwärmeversorger (Abbildung 24).

Eine Nahwärmeversorgung strebt aufgrund der hohen Kapitalintensität einen möglichst hohen Auslastungsgrad an. Der Gestaltung des Wärmepreises muß daher unter Wettbewerbsbedingungen eine große Bedeutung beigemessen werden. Der Preis für die Nutzwärme soll einerseits für die Verbraucher akzeptabel sein. Andererseits müssen die höheren Investitionen in ein Blockheizkraftwerk erwirtschaftet werden. Ein niedriger Preis für die Nutzwärme bedingt eine größere Akzeptanz der Verbraucher für Nahwärme. Daraus

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

resultieren zum einen höhere Investitionen. Zum anderen werden durch den niedrigeren Preis geringerer Erlöse erzielt.

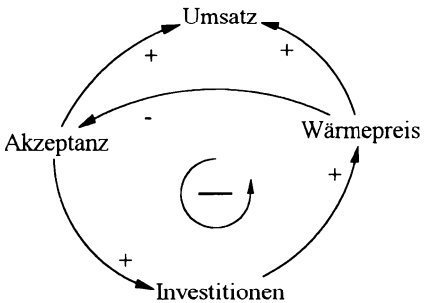

Abb. 24: Bedeutung der Preisgestaltung im freien Wettbewerb

Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung wird ferner von der Charakteristik des Wärme- und Stromverbrauchs eines Versorgungsobjekts oder -gebiets beeinflußt. Überschußstrom wird bei Einspeisung in das vorgelagerte Netz eines Energieversorgers niedriger bewertet wird als eigengenutzter Strom. Angestrebt wird eine möglichst gleichzeitige Nutzung der erzeugten Wärme und des Stroms. Die Strombewertung ist allerdings davon abhängig, wer der Betreiber eines Blockheizkraftwerkes ist. Private Betreiber können höhere Vergütungssätze für vermiedenen Strombezug kalkulieren als Energieversorgungsunternehmen. Letztere müssen die Bezugskosten eines Vorlieferanten in Rechnung stellen.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

C. Die Programmgleichungen der Modellsektoren

Die nachfolgende Diskussion der Programmgleichungen soll die Übertragung der Problemstellungen einer Nahwärmeversorgung in ein computerbasiertes Simulationsmodell näher erläutern. Die eingesetzte Simulationssoftware VENSIM unterstützt eine Modellbildung auf Grundlage des System-Dynamic-Ansatzes[1]. Die Beschreibung folgt der Struktur des Simulationsmodells anhand des Markt- sowie Kapazitätssektors und dem Finanz- und Rechnungswesen. Die Sektoren werden jeweils durch Programmodule dargestellt. Die Programmgleichungen bauen auf dem VENSIM-Programmcode auf. Die Variablen des Simulationsmodells werden nach ihrer technischen oder betriebswirtschaftlichen Bedeutung bezeichnet. Eine Variablenliste ist im Anschluß einer Programmgleichung aufgeführt, sofern abgekürzte Variablenbezeichnungen verwendet werden, oder eine Gleichung übersichtlicher erscheint.

In VENSIM sind bereits eine Anzahl nützlicher Funktionen implementiert[2]. Zudem können anhand benutzerdefinierter "MAKRO-Funktionen" häufiger gebrauchte Rechenoperationen bei Bedarf aufgerufen werden. Das Simulationsmodell greift auf zwei MAKRO-Funktionen zu. Diese berechnen die Wärmemenge (VENSIM-Makro WÄRMEMENGE) und die Laufzeiten der Motoraggregate (VENSIM-Makro MOTORLAUFZEIT).

I. Der Marktsektor

Im Marktsektor wird ein örtlicher Wärmemarkt abgebildet (Abbildung 25). Anhand der Kenngrößen eines Versorgungsgebiets, wie Anschlußwert, Kundenzahl und Leitungslänge wird die Anschlußleistung für Nahwärme ermittelt. Es können zwei Szenarien der Versorgungssituation betrachtet werden. Zum einen wird ein Anschluß- und Benutzungszwang verordnet. Zum anderen muß sich Nahwärme im Wettbewerb mit Heizöl ohne Benutzungszwang

---

[1] Für Simulationen auf Basis des System-Dynamics-Ansatzes wurden in den letzten Jahren eine Reihe von Software-Paketen entwickelt. Dazu zählt VENSIM, ein Produkt der Ventana Systems Inc., welches sich durch seine vielfältigen Analysemöglichkeiten auszeichnet. Die Umsetzung eines deskriptiven Modells in ein computerbasiertes Simulationsmodell erfolgt wahlweise mittels einer benutzerorientierten Oberfläche anhand von Symbolen gemäß der in System-Dynamics gebräuchlichen Symbolik oder durch Eingabe eines Programmcodes in einem Editor.

[2] Die verwendeten Funktionen sind im Anhang aufgeführt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

behaupten. Die von den Nahwärmekunden abgenommene Nutzwärme errechnet sich aufgrund der nachgefragten Wärmeleistung und der vom Versorgungsunternehmen bereitgestellten Wärmelast.

Unter Wettbewerbsbedingungen erfolgt durch die Verbraucher ein Heizkostenvergleich zwischen den Kosten der Nahwärme und den Kosten einer ölbetriebenen Zentralheizung. Dazu wird der anlegbare Wärmepreis anhand des Marktpreises für Ölheizungen ermittelt. Der anlegbare Wärmepreis dient zudem einer Preisgestaltung nach dem Anlegbarkeitsprinzip.

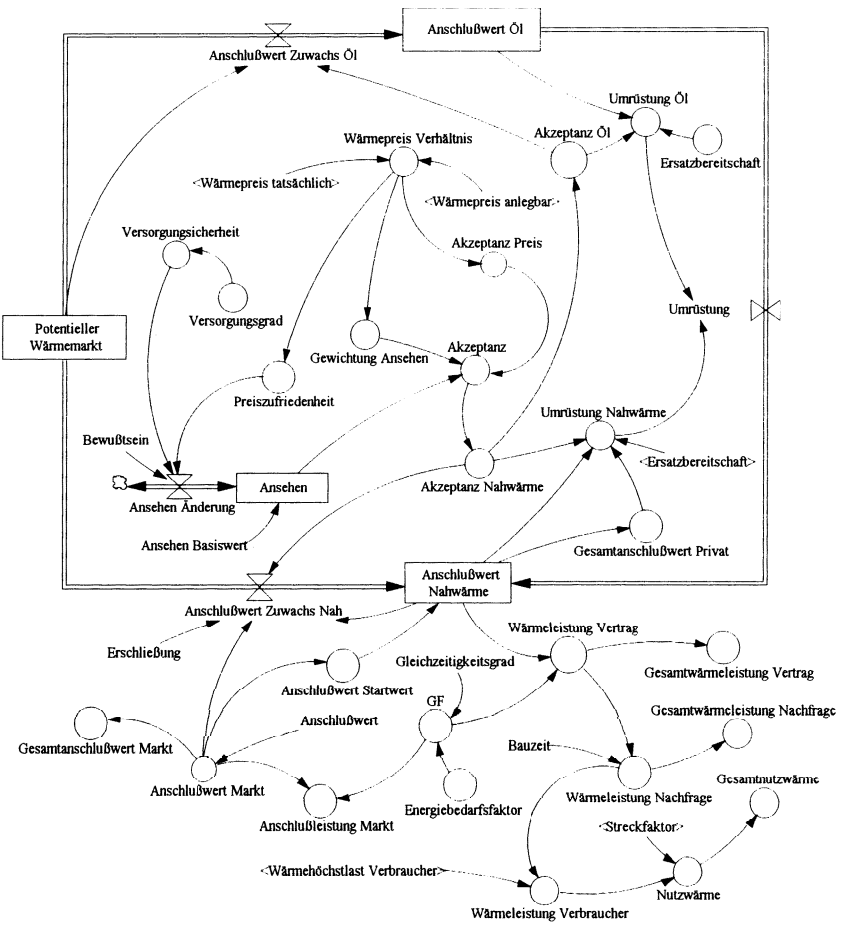

Abb. 25: Der Marktsektor

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

1. Die Nachfrage nach Wärme

Die gesamte von den Nahwärmekunden bezogene Nutzwärme summiert sich aus dem Wärmeverbrauch der beiden Kundengruppen. Die Nutzwärmemenge resultiert aus der Anschlußleistung aller Wärmekunden einer Kundengruppe und deren Verbrauchscharakteristik, die durch den Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve repräsentiert wird[3].

(1) Gesamtnutzwärme = SUM(Nutzwärme [kdn!]) ~ MWh/Monat

Nutzwärme [kdn]: bezogene Nutzwärme einer Kundengruppe

(2) Nutzwärme [kdn] = WÄRMEMENGE(MAX(
Wärmeleistung Verbraucher [kdn], 0),
Streckfaktor [kdn]) ~ MWh/Monat

Wärmeleistung Verbraucher: von den Wärmekunden tatsächlich bezogene Wärmeleistung
Streckfaktor [kdn]: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve für beide Kundengruppen
kdn: Index zur Unterscheidung der Kundengruppe

(3) kdn: priv, sond

Die tatsächlich bezogene Wärmeleistung der Endabnehmer wird durch die nachgefragte Wärmeleistung und der vom Versorgungsunternehmen bereitgestellten Wärmehöchstlast begrenzt[4]. Aus Gründen der Versorgungssicherheit wird der Wärmeversorgung eines Sondervertragskunden, beispielweise eines Krankenhauses, Vorrang gegenüber privaten Haushalten eingeräumt. Daher entspricht die im Wohnbereich zur Verfügung stehende Anschlußleistung der bereitgehaltenen Wärmelast abzüglich der von den Sonderkunden abgenommenen Wärmeleistung.

(4) Wärmeleistung Verbraucher [sond] = MIN(Wärmehöchstlast Verbraucher,
Wärmeleistung Nachfrage [sond])

Wärmeleistung Verbraucher [priv] = MIN(Wärmehöchstlast Verbraucher -
Wärmeleistung Nachfrage [sond],
Wärmeleistung Nachfrage [priv]) ~ kW

Wärmeleistung Verbraucher: von den Wärmekunden tatsächlich bezogene Wärmeleistung
Wärmehöchstlast Verbraucher: höchste den Verbrauchern bereitgestellte Wärmelast
Wärmeleistung Nachfrage: nachgefragte Wärmeleistung nach Kundengruppe

Ein Bauherr muß sich bereits zu Beginn der Bauarbeiten eines Gebäudes auf ein Heizungssystem festlegen. Die Entscheidung für Nahwärme wird mit dem

[3] Siehe dazu Tabelle 1.

[4] Die Wärmhöchstlast stimmt mit der höchsten im Verlauf eines Jahres in das Leitungsnetz eingespeisten Wärmelast überein. Wegen auftretender Netzverluste muß jedoch zwischen der vom Versorgungsunternehmen eingespeisten und der tatsächlich von den Endabnehmern abgenommenen Wärmehöchstlast unterschieden werden.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Zeitpunkt der Vertragsschließung zwischen dem Versorgungsunternehmen und dem Wärmekunden gleichgesetzt. Der Anschluß der Kunden erfolgt jedoch erst mit einer zeitlicher Verzögerung nach Fertigstellung des Gebäudes. Es wird von einer Bauzeit von 8 Monaten ausgegangen. Daher folgt die Nachfrage der Wärmeleistung mit zeitlicher Verzögerung auf die Vertragsschließung.

(5) Gesamtwärmeleistung Nachfrage = SUM(Wärmeleistung Nachfrage[kdn!]) ~ kW

Wärmeleistung Nachfrage [kdn]: nachgefragte Wärmeleistung pro Kundengruppe

(6) Wärmeleistung Nachfrage [kdn] = DELAY FIXED(Wärmeleistung Vertrag[kdn], Bauzeit[geb], WärmeleistungVertrag[kdn]) ~ kW

Wärmeleistung Vertrag: Wärmeleistung der vertraglich gebundenen Wärmekunden

Die auf dem Vertragsabschluß basierende Wärmeleistung berechnet sich aus dem Anschlußwert der Kunden unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads der Nahwärmeversorgung[5].

(7) Gesamtwärmeleistung Vertrag = SUM(Wärmeleistung Vertrag [kdn!]) ~ kW

Wärmeleistung Vertrag: Wärmeleistung der vertraglich gebundenen Wärmekunden

(8) Wärmeleistung Vertrag [kdn] = Anschlußwert Nahwärme [kdn] * GF ~ kW

Anschlußwert Nahwärme: Anschlußwert der Wärmekunden aufgrund vertraglicher Bindung
GF: effektiver Gleichzeitigkeitsgrad

Der Gleichzeitigkeitsgrad ist zum einen von temperaturbedingten Einflüssen abhängig. Andererseits beeinflussen Maßnahmen der Wärmedämmung die Gleichzeitigkeit. Ein daraus resultierender rückläufiger Energiebedarf kann mit Hilfe eines Schalters simuliert werden. Bei niedrigerem Energiebedarf verringert sich im Zeitverlauf der Gleichzeitigkeitsgrad. Damit reduziert sich auch die nachgefragte Wärmeleistung.

(9) GF = Gleichzeitigkeitsgrad * Energiebedarfsfaktor ~ dmls

Energiebedarfsfaktor: Faktor zur Berücksichtigung rückläufigen Energiebedarfs

(10) Gleichzeitigkeitsgrad = 0.8 ~ dmls

(11) Energiebedarfsfaktor = IF THEN ELSE(Schalter Klima=1, 1 - RAMP(0.0014,96,240),1) ~ dmls

Schalter Energiebedarf: Schalter für Szenarios mit rückläufigem Energiebedarf

(12) Schalter Energiebedarf = 0

[5] Der Gleichzeitigkeitsgrad ist in Kapitel B.II.2. näher erläutert.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Der Anschlußwert der Nahwärme erhöht sich durch den Anschluß neuer Kunden aufgrund der vertraglichen Bindung an das Versorgungsunternehmen. Im Gegensatz dazu reduziert sich der Anschlußwert durch Verbraucher, die ihr Heizungssystem von Nahwärme auf eine ölbetriebene Zentralheizung umstellen.

(13) Anschlußwert Nahwärme [kdn] = INTEG(Anschluß Zuwachs Nahw [kdn]
- Umrüstung [kdn],0) ~ kW

Anschlußwert Zuwachs Nahw: monatlicher Zuwachs des Anschlußwertes für Nahwärme
Umrüstung: Anschlußwert aufgrund der Umstellung von Nahwärme auf Ölheizungen

Der monatliche Zuwachs des gesamten Anschlußwerts der Nahwärme im Wohnungsbereich ist abhängig von der Anzahl der potentiellen Wärmekunden, die sich noch nicht für ein Heizungssystem entschieden haben. Zudem ist das Marktpotential an die schrittweise Erschließung des Wohngebiets gebunden. Entscheidungsgrundlage für den Anschluß an das Wärmenetz ist die Akzeptanz durch die potentiellen Kunden für Nahwärme. Bei Sondervertragskunden wird die Versorgung mit Nahwärme vorausgesetzt, so daß kein potentieller Markt vorliegt. Es wird zu Beginn des Projekts der volle Anschlußwert der Sonderkunden vorgesehen.

(14) Anschlußwert Zuwachs Nah [priv] = potentieller Wärmemarkt
* Erschließung [priv]
* Akzeptanz Nahwärme

Anschlußwert Zuwachs Nahw [sond] = (Anschlußwert Markt[sond]
- Anschlußwert Nahwärme [sond])
* Erschließung [sond] ~ kW/Monat

Erschließung: monatlicher Anteil der Erschließung eines Versorgungsgebiets
Akzeptanz Nahwärme: Akzeptanz aller Verbraucher für Nahwärme
potentieller Wärmemarkt: noch nicht auf ein Heizungssystem festgelegte private Haushalte
Anschlußwert Markt: Anschlußwert aller Verbraucher einer Kundengruppe

(15) Erschließung [kdn] = 0.075, 1 ~ 1/Monat

Der Anschlußwert aller Wohngebäude, die mit ölbetriebenen Zentralheizungen ausgestattet sind, resultiert aus der Differenz der Installation neuer Ölheizungen und der Umstellung auf Nahwärme. Die Entscheidung zugunsten einer Ölzentralheizung basiert auf der Akzeptanz potentieller Kunden für Heizöl. Darüber hinaus ist der Kreis der potentiellen Kunden von der Erschließung des Wohngebiets abhängig.

(16) Anschlußwert Öl = INTEG(Anschlußwert Zuwachs Öl
+ Umrüstung [priv], 0) ~ kW

Anschlußwert Zuwachs Öl: monatlicher Zuwachs des Anschlußwertes für Ölheizungen
Umrüstung Heizung: Anschlußwert aufgrund der Umstellung von Nahwärme auf Ölheizungen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(17) Anschlußwert Zuwachs Öl = potentieller Wärmemarkt * Akzeptanz Öl
* Erschließung [priv] ~ kW/Monat

potentieller Wärmemarkt: noch nicht auf ein Heizungssystem festgelegte private Haushalte
Akzeptanz Öl: Akzeptanz für ölbetriebene Zentralheizungen
Erschließung: monatlicher Anteil der Erschließung eines Versorgungsgebiets

Im privaten Sektor werden als potentielle Wärmekunden alle Verbraucher verstanden, die sich noch nicht auf ein Heizungssystem festgelegt haben. Der gesamte potentielle Wärmemarkt ist äquivalent dem Anschlußwert aller Wohngebäude im Endausbau des Versorgungsgebietes. Die Zahl der potentiellen Kunden verringert sich um die Verbraucher, welche sich im Zeitverlauf für ein Heizungssystem entscheiden.

(18) potentieller Wärmemarkt = INTEG(-(Anschlußwert Zuwachs Nah [priv]
+ Anschlußwert Zuwachs Öl), 0) ~ kW

Anschlußwert Zuwachs Nah: monatlicher Zuwachs des Anschlußwertes für Nahwärme
Anschlußwert Zuwachs Öl: monatlicher Zuwachs des Anschlußwertes für Ölheizungen

Der Programmanwender gibt als Basisdaten eines Versorgungsgebiets die Anschlußwerte aller privaten Haushalte und Sondervertragskunden vor. Anhand eines Schalters können Versorgungsvarianten wahlweise mit und ohne private Haushalte oder Sonderkunden betrachtet werden. Der gesamte Anschlußwert des Versorgungsgebiets resultiert aus der Summe der Anschlußwerte aller Verbraucher im Wohnungsbereich und der Sondervertragskunden.

(19) Gesamtanschlußwert Markt = SUM(Anschlußwert Markt [kdn!]) ~ kW

Anschlußwert Markt [kdn]: Anschlußwert aller Verbraucher einer Kundengruppe

(20) Anschlußwert Markt [kdn] = IF THEN ELSE(Schalter Kunden [kdn] = 1,
Anschlußwert [kdn],0) ~ kW

Schalter Kunden [kdn]: Schalter zur Auswahl einer Kundengruppe
Anschlußwert [kdn]: Anschlußwert einer Kundengruppe anhand exogener Daten

(21) Schalter Kunden[kdn] = 1, 1 ~ dmls

(22) Anschlußwert [kdn] = 1800, 2500 ~ kW

Die tatsächlich nachgefragte Wärmeleistung und der Anschlußwert aller Verbraucher einer Kundengruppe differiert um die "Gleichzeitigkeit" des Wärmebedarfs.

(23) Gesamtwärmeleistung Markt = SUM(Anschlußleistung Markt [kdn!]) ~ kW

Anschlußleistung Markt [kdn]: Anschlußleistung aller Verbraucher einer Kundengruppe

(24) Anschlußleistung Markt [kdn] = Anschlußwert Markt [kdn] * GF ~ kW

Anschlußwert Markt [kdn]: Anschlußwert aller Verbraucher einer Kundengruppe

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Nahwärme steht im privaten Sektor ohne Anschlußzwang im Wettbewerb mit Heizöl. Die Akzeptanz spiegelt die Zufriedenheit der Verbraucher mit einer Heizungstechnik wieder. Ändert sich der Akzeptanzwert im Zeitverlauf, ist die Umstellung einer Heizungsanlage auf Nahwärme oder Heizöl möglich. Der Anschlußwert der umgestellten Heizungen errechnet sich aus der Differenz des Anschlußwertes bereits vorhandener und der nach einer Umrüstung resultierenden Heizungsanlagen. Daneben muß die Bereitschaft für den Ersatz oder die Umrüstung aufgrund des Alters einer Heizungsanlage berücksichtigt werden. Für Sondervertragskunden ist wegen einer längerfristigen vertraglichen Bindung an das Versorgungsunternehmen keine Umrüstung auf eine Ölzentralheizung vorgesehen.

(25) Umrüstung [sond] = 0

Umrüstung [priv] = Umrüstung Nahwärme - Umrüstung Öl ~ kW/Monat

Umrüstung Heizung: Differenz des Anschlußwertes der umgerüsteten Heizungsanlagen
Umrüstung Nahwärme: Anschlußwert der auf Nahwärme umgestellten Heizungsanlagen
Umrüstung Öl: Anschlußwert der auf Heizöl umgestellten Heizungsanlagen

(26) Umrüstung Nahwärme = MAX(Anschlußwert Nahwärme[priv]
- Gesamtanschlußwert Privat
* Akzeptanz Nahwärme ,0)
* Ersatzbereitschaf ~ kW/Monat

Gesamtanschlußwert Privat: gesamter Anschlußwert aller privaten Haushalte
Ersatzbereitschaft: Bereitschaft für einen Ersatz oder Umrüstung einer Heizungsanlage

(27) Umrüstung Öl = MAX(Anschlußwert Öl - Gesamtanschlußwert Privat
* Akzeptanz Öl,0) * Ersatzbereitschaft ~ kW/Monat

Anschlußwert Öl: Anschlußwert aller Verbraucher mit ölbetriebenen Heizungen
Gesamtanschlußwert Privat: gesamter Anschlußwert aller privaten Haushalte

(28) Gesamtanschlußwert privat = Anschlußwert Nahwärme [priv]
+ Anschlußwert Öl ~ kW

Der Entscheidungsprozeß der potentiellen Verbraucher für ein Heizungssystem basiert bei Aufbau einer Nahwärmeversorgung auf der Akzeptanz[6]. Der Akzeptanzwert, der die Wahrscheinlichkeit für die Entscheidung der Verbraucher zum Ausdruck bringt, ist von der Versorgungssituation abhängig. Bei Verordnung eines Anschlußzwangs werden alle Verbraucher an das Nahwärmenetz angeschlossen. In diesem Fall entspricht die Akzeptanz einem Wert von eins analog einer Anschlußwahrscheinlichkeit von 100 %. Im Wettbewerb

[6] Berechnungsgrundlage ist nicht die Anzahl der Wärmekunden, sondern die Summe der Anschlußwerte. In der Simulation wird die Entscheidung für ein Heizungssystem nicht als diskretes Ereignis bezogen auf die einzelnen Haushalte betrachtet. Der Akzeptanz liegt vielmehr ein Wahrscheinlichkeitswert zugrunde, der den Anteil der potentiellen Wärmekunden angibt, die sich auf Nahwärme festlegen.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

liegt der tatsächliche Akzeptanzwert zugrunde. Die Akzeptanz für Ölheizungen errechnet sich aus der Zahl der Verbraucher, die sich nicht für Nahwärme entscheiden.

(29) Akzeptanz Nahwärme = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang = 0, Akzeptanz,1) ~ dmls

Schalter Anschlußzwang: Schalter zur Wahl von Anschlußzwang oder freiem Wettbewerb

(30) Schalter Anschlußzwang = 1 ~ dmls

(31) Akzeptanz Öl = (1 - Akzeptanz Nahwärme) ~ dmls

Akzeptanz Öl: Akzeptanz für ölbetriebene Zentralheizungen

Die Akzeptanz für Nahwärme beruht auf einer monetären Komponente und immateriellen Entscheidungsfaktoren anhand des Ansehens. Die Gewichtung des preisbedingten Einflusses und des Ansehens ist vom Preisverhältnis zwischen Nahwärme und alternativ einer Ölzentralheizung abhängig. Grundlage ist ein Heizkostenvergleich von Nahwärme und einer Ölzentralheizung aus Sicht der Endabnehmer. In Abbildung 26 ist die Akzeptanz für Nahwärme in Abhängigkeit zum Verhältnis von Nahwärmepreis und anlegbarem Wärmepreis dargestellt. Bei einer geringen Abweichung der Wärmepreise wird von einer hohen Preiselastitzität ausgegangen, so daß sich Unterschiede nur gering auswirken. Bestimmender Faktor bleibt das Ansehen der Nahwärme.

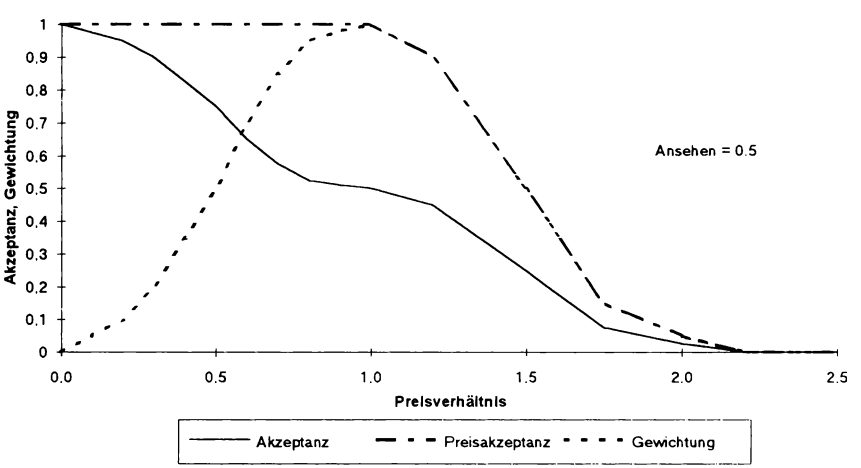

Abb. 26: Gewichtung preisbedingter Einflußfaktoren und des Ansehens von Nahwärme

Preisbedingte Entscheidungsfaktoren gewinnen erst bei größer werdenden Abweichungen an Bedeutung. Ein Preisniveau der Nahwärme weit unter dem anlegbaren Wärmepreis läßt Zweifel in den Hintergrund treten. Im Gegensatz dazu können potentielle Kunden bei einem deutlich über dem Marktniveau

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

liegenden Wärmepreis durch ein hohes Ansehen nicht von einem Anschluß an Nahwärme überzeugt werden. Der Gewichtungsfaktor in Abhängigkeit zum Preisverhältnis wird als Tabellenfunktion vorgegeben. Ein ermittelter Wert des Ansehens beispielsweise von 0,5 besagt, daß sich bei gleichen Wärmepreisen jeder zweite Haushalt trotz der Möglichkeit eines Nahwärmeanschlusses für eine ölbetriebene Zentralheizung entschließt.

(32) Akzeptanz = Akzeptanz Preis - Gewichtung Akzeptanz * (1 - Ansehen) ~ dmls

Akzeptanz Preis: preisbedingter Einfluß auf die Entscheidung bezüglich Nahwärme
Gewichtung Akzeptanz: Gewichtung zwischen Ansehen und preisbedingtem Einfluß

(33) Gewichtung Akzeptanz = LOOKUP EXTRAPOLATE (twicht,
Wärmepreis Verhältnis) ~ dmls

twicht : Tabellenwert des Gewichtungsfaktors

(34) twicht ([(0,0)-(4,2)],(0,0),(0.1,0.05),(0.2,0.1),(0.3,0.2),(0.4,0.35),
(0.5,0.5),(0.6,0.7),(0.7,0.85),(0.8,0.95),(0.9,0.98),(1,1),(1.2,0.9),
(1.5,0.5),(1.75,0.15),(2,0.05),(2.2,0),(2.5,0)) ~ dmls

(35) Wärmepreis Verhältnis = ZIDZ(Wärmepreis tatsächlich [priv],
Wärmepreis anlegbar [priv]) ~ dmls

Wärmepreis tatsächlich: Nahwärmepreis durch das Versorgungsunternehmen
Wärmepreis anlegbar: anlegbarer Wärmepreis anhand der Kosten einer Ölzentralheizung

Dem preisorientierten Akzeptanzwert liegt die Annahme zugrunde, daß bei einem Preisverhältnis unter einem Wert von eins ohne Berücksichtigung des Ansehens grundsätzlich jeder Haushalt zum Anschluß an Nahwärme bereit ist. Erst ab einem Verhältnis über einem Wert von eins nimmt die preisbedingte Akzeptanz deutlich ab. Entspricht der Nahwärmepreis dem doppelten anlegbaren Wärmepreis, können keine Kunden gewonnen werden.

(36) Akzeptanz Preis = LOOKUP EXTRAPOLATE (tpreis,
Wärmepreis Verhältnis) ~ dmls

Wärmepreis Verhältnis : Verhältnis von Nahwärmepreis und anlegbarem Wärmepreis
tpreis: Tabellenwerte der preisbedingten Akzeptanz

(37) tpreis ([(0,0)-(3,1)],(0,1),(0.25,1),(0.5,1),(0.75,1),(1,1),
(1.2,0.9),(1.5,0.5),(1.75,0.15),(2,0.05),(2.2,0),(2.5,0)) ~ dmls

Das Ansehen der Nahwärme beruht auf Erfahrungswerten der Verbraucher anhand der Versorgungssicherheit, sowie des ökologischen Bewußtseins. Darüber hinaus wird das Renommee von der Entwicklung des Wärmepreises im Zeitverlauf beeinflußt. Aus diesem Grund wird zwischen der preisbedingten Akzeptanz, die monatlich neu bewertet wird, und der Zufriedenheit mit der Preisentwicklung der Nahwärme unterschieden. Das Ansehen der Nahwärme

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

basiert auf einem Startwert, der aus Befragungen potentieller Verbraucher in der Planungsphase des Nahwärmeprojekts ermittelt wird. Im Zeitverlauf wirken sich jedoch die immateriellen Einflußfaktoren auf den Erfahrungswert aus.

Die Bewertung der Versorgungssicherheit der Nahwärmeversorgung erfolgt anhand des Versorgungsgrads. Er wird als Verhältnis der durch das Versorgungsunternehmen bereitgehaltenen Wärmelast und der Nachfrage nach Nahwärme berechnet. Ein Versorgungsengpaß führt zu einem Vertrauensverlust. Das Zutrauen in die Nahwärme steigt monatlich bei einer ausreichenden Wärmeversorgung um einen festen Wert.

Die Zufriedenheit der Verbraucher aufgrund des Wärmepreises basiert auf dem Preisverhältnis zwischen der Nahwärme und einer Ölzentralheizung. Ein gleiches Preisverhältnis von Nahwärme und Heizöl zeigt keinen Einfluß. Ein stetig wachsendes ökologisches Bewußtsein kann durch Vorgabe eines monatlichen Zuwachses berücksichtigt werden.

(38) Ansehen = SINTEG(Ansehen Veränderung, Ansehen Basiswert, 0, 1,NA:,
:NA: ,:NA:) ~ dmls

Ansehen Veränderung: monatliche Veränderung des Ansehens der Nahwärme
Ansehen Basiswert: Ansehen der Nahwärme zu Projektbeginn

(39) Ansehen Basiswert = 0.7 ~ dmls

(40) Ansehen Veränderung = Versorgungssicherheit + Bewußtsein
+ Preiszufriedenheit ~ dmls

(41) Versorgungssicherheit = MIN(Versorgungsgrad, 0.0005) ~ dmls

(42) Versorgungsgrad = ZIDZ(Wärmelast gesamt - Gesamtwärmeleistung
Nachfrage, Gesamtwärmeleistung Nachfrage) / 20) ~ dmls

Wärmelast gesamt: gesamte installierte Last der Wärmeerzeugung
Wärmeleistung Nachfrage [kdn]: nachgefragte Wärmeleistung pro Kundengruppe

(43) Bewußtsein = 0.0005 ~ dmls

(44) Preiszufriedenheit = (1 - Wärmepreis Verhältnis) / 100 ~ dmls

Akzeptanz Preis: preisbedingter Einfluß auf die Entscheidung bezüglich Nahwärme

Die Bereitschaft zur Erneuerung oder zur Umrüstung ist vom Alter einer Heizungsanlage abhängig (Abbildung 27). Die Überprüfung der eingesetzten Heizungstechnik erfolgt frühesten nach Amortisation der eingebauten Heizung. Mit zunehmendem Alter der Heizungsanlage sind die Verbraucher verstärkt zu einer Überprüfung der verwendeten Heizungstechnik bereit.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(45) Ersatzbereitschaft = LOOKUP EXTRAPOLATE(talter,Time) ~ dmls

talter: Tabellenwert der Ersatzbereitschaft

(46) talter ([(0,0)-(240,1)],(0,0),(48,0),(60,0.02),
(96,0.1),(144,0.5),(180,0.9),(204,1),(240,1)) ~ dmls

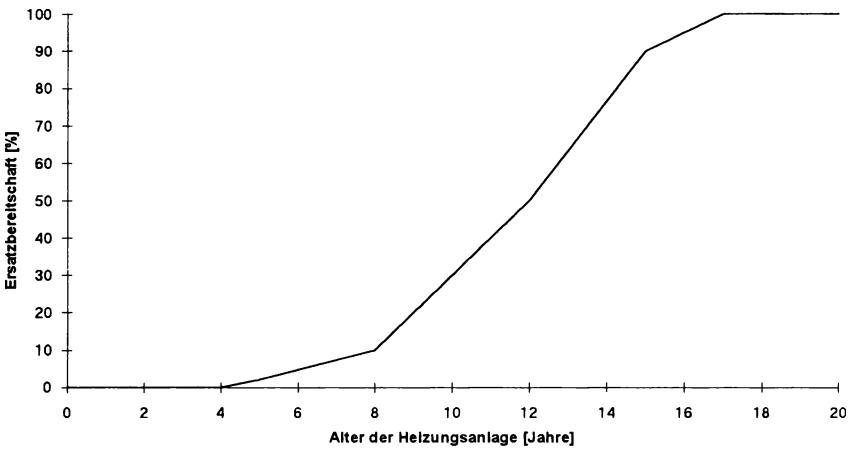

Abb. 27: Bereitschaft zum Ersatz oder Umrüstung einer Heizungsanlage

2. Der anlegbare Wärmepreis

Der anlegbare Wärmepreis aus der Sicht der Endabnehmer wird anhand der Kosten für eine ölbetriebene Zentralheizung ermittelt. Er dient zur Durchführung eines Heizkostenvergleichs und als Grundlage für eine marktorientierte Preisfindung des Versorgungsunternehmens. Der anlegbare Wärmepreis basiert auf einer Vollkostenrechnung, in dem die Wärmebereitstellungskosten für die Errichtung und den Betrieb einer Ölzentralheizung errechnet werden. Die Grundlage bilden empirische Werte[7]. Wegen der unterschiedlichen Objektgrößen von Sondervertragskunden und privaten Haushalten muß der anlegbare Wärmepreis für beide Kundengruppen gesondert ermittelt werden.

Die spezifischen Kosten der Wärmebereitstellung mittels einer Ölzentralheizung beziehen sich auf die verbrauchte Nutzwärmemenge. Sie umfassen die Festkosten sowie die Brennstoffkosten. Bei Erhebung einer CO_2-/Energiesteuer wird ein Steueranteil berücksichtigt. Die Umrechnung auf den tatsächlichen Primärenergieeinsatz erfolgt durch den Kesselwirkungsgrad der Heizungsanlagen. Von den gesamten Kosten müssen die von den Endabnehmern zu

[7] Vgl. Badenwerk AG: Berechnung der Jahreskosten von Wärmeversorgungsanlagen in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 2067, Karlsruhe, 1990.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

tragenden Kosten für einen Nahwärmeanschluß abgezogen werden. Aufgrund der Kostendegression sind die spezifischen Kosten einer Ölzentralheizung von der Größe des Versorgungsobjektes abhängig. Grundlage ist der Anschlußwert pro Gebäude. In Abbildung 28 ist der anlegbare Wärmepreis in Abhängigkeit vom spezifischen Anschlußwert dargestellt. Der mittlere anlegbare Preis errechnet sich durch Gewichtung der Anschlußwerte der jeweiligen Kundengruppe.

(47) Wärmepreis anleg mittel = ZIDZ(SUM(Wärmepreis anlegbar [kdn!]
* Anschlußwert Markt [kdn!]),
Gesamtanschlußwert Markt) ~ DM/MWh

Wärmepreis anleg mittel: mittlerer anlegbarer Wärmepreis aller Verbraucher
Anschlußwert Markt [kdn]: Anschlußwert aller Verbraucher der jeweiligen Kundengruppe
Gesamtanschlußwert Markt: gesamter Anschlußwert aller Verbraucher

(48) Wärmepreis anlegbar [kdn] = spezifische Festkosten Öl [kdn] + (Steuer Öl +
spezifische Brennstoffkosten Öl [kdn])
/ Wirkungsgrad Kessel - spezifische Festkosten
Nahwärme[kdn] ~ DM/MWh

Steuer Öl: CO_2-/Energiesteuer auf Heizöl

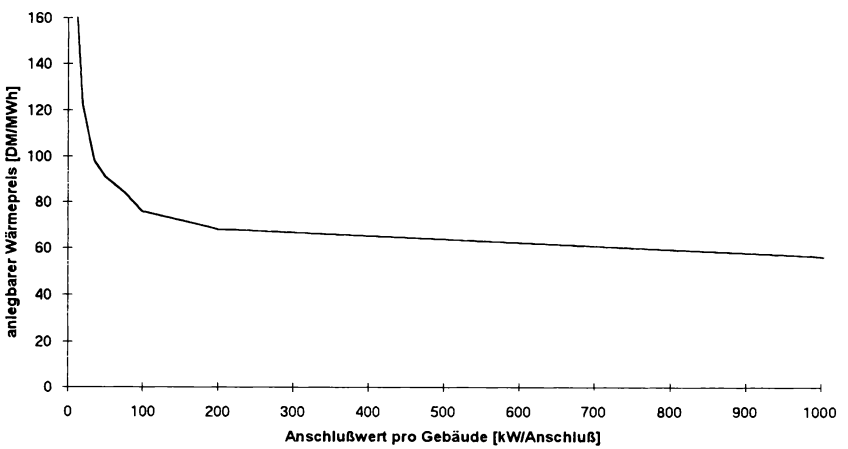

Abb. 28: Anlegbarer Wärmepreis

Die spezifischen Festkosten einer Ölzentralheizung schließen die Betriebs- und Kapitalkosten ein. Sie sind vom durchschnittlichen Anschlußwert pro Gebäude abhängig.

(49) spezifische Festkosten Öl [kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tkosöl,
Anschlußwert spezifisch [kdn]) ~ DM/MWh

tkosöl: Tabellenwert für die spezifischen Festkosten einer Ölzentralheizung
Anschlußwert spezifisch: Anschlußwert pro Gebäude

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(50) tkosöl ([(0,0)-(2000,200)],(0,0),(1,164), (13,111), (20,80),(36,57),(77,46),(200,33),(750,22),(1000,22)) ~ DM/MWh

(51) Anschlußwert spezifisch [kdn] = ZIDZ(Anschlußwert Markt [kdn], Verbraucher gesamt [kdn]) ~ kW/nr

Anschlußwert Markt [kdn]: Anschlußwert aller Gebäude der jeweiligen Kundengruppe

Als Verbraucher wird jeweils ein Gebäude mit einem Nahwärmeanschluß verstanden. Die gesamte Anzahl der Verbraucher stimmt mit der Anzahl der Gebäude nach Erschließung des Versorgungsgebietes überein. Durch einen Schalter können Versorgungsvarianten sowohl mit als auch ohne Sondervertragskunden oder private Haushalte betrachtet werden.

(52) Verbraucher gesamt [kdn] = IF THEN ELSE(Schalter Kunden [kdn] = 1, Verbraucher [kdn],0) ~ nr

Schalter Kunden [kdn]: Schalter zur Auswahl einer Kundengruppe
Verbraucher: Anzahl der Verbraucher anhand der Vorgaben eines Versorgungsgebietes

(53) Verbraucher [kdn] = 100, 1 ~ nr

Die spezifischen Brennstoffkosten einer Ölzentralheizung sind abhängig vom Brennstoffeinsatz. Bei hohem Brennstoffbezug werden günstigere Energiepreise gewährt. Grundlage der Berechnung ist der jährliche Brennstoffeinsatz pro Abnehmer. Zudem kann das Szenario einer Steigerung der Brennstoffpreise berücksichtigt werden.

(54) spezifische Brennstoffkosten Öl [kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst, Nutzwärme Verbraucher [kdn]) * Energiepreis Steigerung ~ DM/MWh

tbrkst: Tabellenwerte für spezifische Brennstoffkosten
Energiepreis Steigerung: monatliche Rate einer Steigerung der Energiepreise

(55) tbrkst ([(0,30)-(3000,60)],(0,0),(1,50),(10,50),(20,42.5),(50,39.7), (100,36.5),(150,35.5),(1000,34),(2000,33.5),(3000,33.5)) ~ DM/MWh

(56) Energiepreis Steigerung = IF THEN ELSE(Schalter Energiepreisstg = 0,1, (1+Preissteigerung/Umrechnung Monat)^Time) ~ dmls

Schalter Energiepreisstg: Schalter zur Wahl eines Szenarios mit Steigerung der Energiepreise
Umrechnung Monat: Umrechnung von jährlicher in monatliche Betrachtung
Preissteigerung: monatliche Rate einer Steigerung der Energiepreise

(57) Schalter Energiepreisstg = 0 ~ dmls

(58) Preissteigerung = 0 ~ dmls/a

(59) Umrechnung Monat = 12 ~ Monat/a

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die jährliche Nutzwärmemenge pro Verbraucher errechnet sich mittels der geordneten Wärmelastkurve anhand des spezifischen Anschlußwerts unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads und des Streckfaktors.

(60) Nutzwärme Verbraucher [kdn] = WÄRMEMENGE(Anschlußwert spezifisch [kdn] * GF, Streckfaktor[kdn]) * Umrechnung Monat ~ MWh/Monat

Streckfaktor [kdn]: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve
GF: effektiver Gleichzeitigkeitsgrad
Umrechnung Monat: Umrechnung von jährlicher in monatliche Betrachtung

Die spezifischen Festkosten, die einem Kunden für den Anschluß an die Nahwärmeversorgung entstehen, sind ebenfalls abhängig vom spezifischen Anschlußwert. Auch hier gilt der Grundsatz, daß sich die spezifische Kosten mit zunehmender Gebäudegröße vermindern.

(61) spezifisch Festkosten Nahwärme[kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tkosnah, Anschlußwert spezifisch [kdn]) ~ DM/MWh

tkosnah: Tabellenwerte für spezifische Festkosten der Nahwärme
Anschlußwert spezifisch: Anschlußwert pro Gebäudeanschluß

(62) tkosnah ([(0,0)-(200,200)],(0,0),(13,35.5),(20,24.8),(35,18), (77,12.1), (200,6.9),(750,2.2),(1000,2.2)) ~ DM/MWh

Die Besteuerung von leichtem Heizöl kann sowohl auf Basis einer ausschließlich emissionsbezogenen Steuer oder einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer erfolgen. Die CO_2-/Energiesteuer errechnet sich anhand eines Steueranteils auf die CO_2-Emissionen und dem Energieinhalt von Heizöl. Eine Steuer auf die Kohlendioxidbelastung wird anhand der CO_2-Emissionen ermittelt. Der Steuersatz in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs wird als exogener Datensatz vorgeben. Die Szenarien einer CO_2-/Energiesteuer oder CO_2-Emissionssteuer können wahlweise durch einen Schalter zugeschaltet werden.

(63) Steuer Öl = Brennstoffsteuer Öl + Emissionssteuer Öl ~ DM/MWh

(64) Emissionssteuer Öl:HOLD BACKWARD::=IF THEN ELSE(Schalter Emissionssteuer=0,0,CO2 Steuer Öl) ~ DM/MWh

CO_Steuer Öl: CO_2-Steueranteil
Schalter Emissionssteuer: Schalter zur Wahl einer CO_2-Emissionssteuer

(65) Schalter Emissionssteuer=0 ~ dmls

(66) Brennstoffsteuer Öl : HOLD BACKWARD ::= IF THEN ELSE (Schalter Energiesteuer = 1, CO2 Steuer Öl + Energiesteuer,0) ~ DM/MWh

CO_Steuer Öl : CO_2-Steueranteil

(67) Schalter Energiesteuer = 0 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

II. Der Kapazitätssektor

Der Kapazitätssektor umfaßt den technischen Bereich des Versorgungsunternehmens. Im Rahmen der strategischen Kapazitätsplanung erfolgt die Auslegung der unterschiedlichen Anlagegruppen zur Wärmeerzeugung und des Leitungsnetzes. Der Ausbau der Nahwärmeversorgung orientiert sich an der Anschlußentwicklung bzw. der Nachfrage auf dem Wärmemarkt. Die Produktion von Strom und Wärme wird ebenfalls dem Kapazitätssektor zugeordnet.

1. Auslegung der Anlagekomponenten

Die Kapazität der Komponenten einer Baugruppe wird in thermischer bzw. elektrischer Leistung bemessen[8]. Im Bereich der Kraftwerksanlage werden der bauliche Teil der Heizzentrale, sowie die Heizkessel und die BHKW-Module unterschieden. Die BHKW-Module umfassen wärmetechnische Anlagen wie die Motoraggregate einschließlich der Stromgeneratoren und elektrotechnische Komponenten. Der elektrotechnische Teil enthält die Schaltanlagen zur Motorsteuerung und die Anlagen zur Einbindung in das Stromnetz. Die Wärmeverteilung untergliedert sich in die Hauptleitung und die Hausanschlüsse einschließlich Stichleitungen.

Die Dimensionierung der Anlagekomponenten erfolgt nach unterschiedlichen versorgungstechnischen Kriterien. Die Heizzentrale muß bereits bei Aufnahme der Wärmeversorgung ausreichend Stellplätze für Motoren und Heizkessel bereithalten, um den Anforderungen im Endausbau der Nahwärmeversorgung zu genügen. Dadurch wird ein kostenträchtiger Ausbau der baulichen Anlage bei einer günstigen Entwicklung der Wärmenachfrage vermieden. Das Gebäude der Heizzentrale wird derart dimensioniert, daß die geplante Anzahl an Motoren und Heizkessel sowie ein zusätzlicher Kessel zur Deckung hoher Wärmenachfrage untergebracht werden können. Die gesamte installierte Wärmelast der baulichen Anlage basiert auf der thermischen Leistung der vorgesehenen Anzahl der Motoraggregate und der Kessel.

Die thermische Leistung eines Motoraggregats entspricht der vorgesehenen Auslegung der Motoren. Wird ein Heizwerk ohne Kraft-Wärme-Kopplung betracht, reduziert sich die Motorleistung auf Null. Die Wahl eines Blockheizkraftwerks oder eines Heizwerks ohne Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt mit Hilfe eines Schalters. Durch die Stromkennzahl können die elektrotechnischen Anlageteile unmittelbar von der thermischen Motorleistung in elektrische

[8] In der Regel basieren die Herstellerangaben für BHKW-Module auf der elektrischen Leistung. Das Gebäude der Heizzentrale wird in thermischer Leistung bemessen, statt in Volumen umbauten Raums. Grundlage ist die gesamte installierte thermische Leistung der Kessel- und Motoranlage.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Leistung umgerechnet werden. Die Stromkennzahl ist als Verhältnis aus thermischer und elektrischer Leistung eines Motoraggregats definiert. Damit der Anlagebetreiber flexibel auf die Wärmenachfrage reagieren kann, wird ein schrittweiser Zubau einzelner Heizkessel vorgesehen. Die thermische Leistung eines Heizkessels errechnet sich aus der gesamten vorgesehenen Kesselleistung und der geplanten Anzahl an Heizkesseln.

Für die thermische Leistung eines Anschlusses wird der durchschnittliche Anschlußwert der Wohngebäude zugrunde gelegt. Die Dimensionierung der Hauptleitung wird in Wärmeleistung pro Streckenabschnitt beziffert. Maßgebliche Kenngröße ist die Streckenlast.

(68) Leistung Komponente [geb] = Leistung Komponente [kes] * (Kessel geplant + Kessel zusätzlich) + Motoren geplant * Leistung Komponente [kwk]

Leistung Komponente [kwk] = IF THEN ELSE(Schalter KWK=1, Motorleistung,0)

Leistung Komponente [etc] = Leistung Komponente [kwk] * Stromkennzahl

Leistung Komponente [kes] = Kesselleistung geplant / Kessel geplant

Leistung Komponente [ans] = Anschlußwert spezifisch [priv]

Leistung Komponente [hpt] = Streckenlast ~ kW

Schalter KWK: Schalter zur Wahl von Kraft-Wärme-Kopplung oder Heizwerk
Motorleistung: thermische Leistung eines Motoraggregates
Kesselleistung geplant: gesamte geplante Kesselleistung

(69) Kessel geplant= 4 ~ dmls

(70) Schalter KWK = 1 ~ dmls

(71) Stromkennzahl = Wirkungsgrad elektrisch / Wirkungsgrad thermisch ~ dmls

(72) Wirkungsgrad thermisch = 0.55 ~ dmls

(73) Wirkungsgrad elektrisch = 0.34 ~ dmls

Die Auslegung der Heizkessel für Spitzen- und Reservelast orientiert sich an der geplanten Wärmeleistung im Endausbau. Um eine Überdimensionierung der Kesselanlage zu vermeiden, wird die Wärmelast der Motoraggregate in Abzug gebracht. Zur Sicherung der Nahwärmeversorgung muß die Kesselanlage zusätzlich Reserveleistung für den Ausfall eines Motoraggregats als Folge von Revisionsarbeiten oder schadensbedingten Stillstandszeiten bereithalten.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(74) Kesselleistung geplant = Gesamtwärmeleistung geplant - Motorleistung
* MAX(Motoren geplant -1,0) ~ kW

Gesamtwärmeleistung geplant: gesamte geplante Wärmeleistung der Nahwärmeversorgung
Motorleistung: thermische Leistung eines Motoraggregates

In Abhängigkeit der Versorgungssituation wird zusätzlich zur geplanten Anzahl der Heizkessel ein weiterer Kessel vorgesehen. Ohne Anschlußzwang kann bei einer günstigen Anschlußentwicklung ein zusätzlicher Kessel installiert werden. Aufgrund der Planungssicherheit durch Verordnung eines Anschlußzwangs ist kein zusätzlicher Heizkessel notwendig.

(75) Kessel zusätzlich = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang=1,0, 1) ~ dmls

Schalter Anschlußzwang: Schalter zur Wahl von Anschlußzwang oder freiem Wettbewerb

Die Dimensionierung der BHKW-Motoren errechnet sich aus dem vorgesehenen Anteil der thermischen Leistung eines Motoraggregats an der geplanten Nahwärmeleistung. Der gewünschte Leistungsanteil bleibt während eines Simulationslaufs unverändert. Für Sondervertragskunden entspricht die geplante Wärmeleistung der thermischen Leistung des Versorgungsobjekts, da ein Anschluß an die Nahwärmeversorgung vorausgesetzt wird. Für die privaten Haushalte ist die geschätzte Wärmeleistung von der Akzeptanz für Nahwärme abhängig. Darüber hinaus muß das Versorgungsunternehmen Netzverluste berücksichtigen, so daß die in das Verteilungsnetz einzuspeisende Wärmeleistung höher als die von den Wärmekunden nachgefragte Leistung ist.

(76) Motorleistung = Gesamtwärmeleistung geplant
* Leistungsanteil Motor geplant ~ kW

Gesamtwärmeleistung geplant: gesamte geplante Wärmeleistung der Nahwärmeversorgung
Leistungsanteil KWK gefordert: geforderter Anteil der thermischen Motorleistung an der Wärmehöchstlast

(77) Leistungsanteil Motor geplant = 0.12 ~ dmls

(78) Gesamtwärmeleistung geplant = SUM(Wärmeleistung geplant [kdn!]) ~ kW

Wärmeleistung geplant [kdn]: geplante Nahwärmeleistung pro Kundengruppe

(79) Wärmeleistung geplant [sond] = Anschlußleistung Markt [sond] /
(1-Netzverlust)
Wärmeleistung geplant [priv] = Anschlußleistung Markt [priv] /
(1-Netzverlust) * Akzeptanz Planwert ~ kW

Anschlußleistung Markt: Anschlußleistung aller Verbraucher pro Kundengruppe
Akzeptanz Planwert: erwartete Akzeptanz für Nahwärme

(80) Netzverlust = 0.05 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die der Planung zugrunde gelegte Akzeptanz für Nahwärme durch die privaten Haushalte ist an die Versorgungssituation gebunden. Bei Anschlußzwang aller Verbraucher an das Wärmenetz entspricht die Akzeptanz einem Wert von eins. Die Anlagekomponenten können exakt auf die erforderliche Wärmeleistung ausgelegt werden. Für die Projektierung ohne Anschlußzwang ist die voraussichtliche Akzeptanz zu schätzen. Sie entspricht dem Ansehen der Nahwärme auf Grundlage der Befragung potentieller Wärmekunden.

(81) Akzeptanz Planwert = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang =1, 1, Ansehen Basiswert) ~ dmls

Ansehen Basiswert: Ansehen von Nahwärme zu Projektbeginn
Schalter Anschlußzwang: Schalter zur Wahl von Anschlußzwang oder freiem Wettbewerb

Die Streckenlast dient der Dimensionierung und der Ermittlung der spezifischen Investitionskosten der Hauptleitung. Sie ist durch das Verhältnis aus Anschlußleistung aller möglichen Verbraucher und der gesamten Leitungslänge definiert. Die Netzlänge ist vom Anwendungsfall, Anschluß eines Wohngebietes oder Sondervertragsverkunde, abhängig.

(82) Streckenlast = ZIDZ(Gesamtanschlußwert Markt, Leitungslänge) ~ kW/m

Gesamtanschlußwert Markt: gesamter Anschlußwert aller Verbraucher im Versorgungsgebiet

(83) Leitungslänge = IF THEN ELSE(Schalter Kunden[sond] = 1, Leitungslänge gesamt, Leitungslänge Sonderkunden) ~ m

Schalter Kunden [sond]: Schalter zur Wahl von Sonderkunden
Leitungslänge gesamt: gesamte Länge der Hauptleitung im Versorgungsgebiet
Leitungslänge Sonderkunden: Leitungslänge zum Anschluß von Sonderkunden

(84) Leitungslänge = 1400 ~ m

(85) Leitungslänge Sonderkunden = 50 ~ m

Die geplante Anzahl an Motoraggregaten berechnet sich aus der voraussichtlich nachgefragten Wärmeleistung. Als Planungsinstrument dient die geordnete Jahreskurve der Wärmelast. Die Lastkurve wird schrittweise bis zur maximal vorgesehenen Anzahl von 4 Motoren aufgefüllt, und für jedes Motoraggregat die Laufdauer berechnet. Die Installation erfolgt, falls die Auslastung eines Motors über einer vorgegebenen Mindestlaufzeit liegt. Die Auslastung der Motoren ist abhängig von der Wahl des Schnittpunkts der Kurve der thermischen Motorleistung mit der Wärmelastkurve. Dazu wird der gewünschte Kurvenschnittpunkt vorgegeben und für jedes Motoraggregat die erforderliche thermische Leistung errechnet.

(86) Motoren geplant = SUM(Motorzubau geplant [Motor!]) ~ dmls

Motoren geplant: Summe aller vorgesehenen Motoraggregate
Motorzubau geplant [Moto]: vorgesehener Zubau eines Motors

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(87) Motorzubau geplant[Motor] = IF THEN ELSE(Schalter KWK=1:AND: Motorlaufzeit geplant [Motor] >= Motorlaufzeit minimum/Umrechnung Monat, 1,0) ~ dmls

Schalter KWK: Schalter zur Wahl von Kraft-Wärme-Kopplung oder Heizwerk
Motorlaufzeit geplant [Moto]: geplante Laufzeit pro Motor für vorgesehene Wärmeleistung
Umrechnung Monat: Umrechnungsfaktor von jährlicher auf monatliche Betrachtung

(88) Motorlaufzeit minimum = 3000 ~ h/a

(89) Motorlaufzeit geplant[Moto] = MOTORLAUFZEIT(Leistungsanteil geplant[Motor], Streckfaktor geplant) ~ h/a

Leistungsanteil geplant [Motor]: Leistungsanteil pro Motor an der geplanten Gesamtwärmeleistung bei schrittweisem Auffüllen der Wärmelastkurve
Streckfaktor geplant: geplanter Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve

(90) Motor : (mot1-mot4)

(91) Leistungsanteil geplant [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WKL [Motor], Gesamtwärmeleistung geplant) ~ dmls

Motorleistung WLK[Motor]: in Wärmelastkurve berücksichtigter Leistungsanteil pro Motor
Gesamtwärmeleistung geplant: geplante Gesamtwärmeleistung der Nahwärmeversorgung

(92) Motorleistung WLK [Motor] = Motorleistung * (Motoranzahl [Motor] - Schnittpunkt) ~ kW

Motorleistung: thermische Leistung pro Motoraggregat
Motoranzahl [Moto]: Identifikation einzelner Motoraggregate
Schnittpunkt: Schnittpunkt der Motorleistung mit der geordneten Wärmelastkurve

(93) Motoranzahl [Motor] = 1,2,3,4 ~ dmls

(94) Schnittpunkt = 0.5 ~ dmls

Im Rahmen der Kapazitätsplanung wird der Verlauf der geordneten Wärmelastkurve durch einen geplanten Streckfaktor festgelegt. Dessen Wert resultiert aus der Struktur der Wärmekunden und dem Anschlußwert aller Verbraucher.

(95) Streckfaktor geplant = ZIDZ(SUM(Anschlußwert Markt [kdn!]) * Streckfaktor[kdn!],Gesamtanschlußwert Markt) ~ dmls

Streckfaktor geplant: geplanter Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve
Anschlußwert Markt [kdn]: gesamter Anschlußwert pro Kundengruppe
Gesamtanschlußwert Markt: gesamter Anschlußwert aller Verbraucher im Versorgungsgebiet

Der Streckfaktor der Wärmelastkurve ist von der Verbrauchscharakteristik der jeweiligen Kundengruppe abhängig. Die Charakteristik wird von der

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Gebäudegröße und dem Gebäudetyp geprägt. Der Streckfaktor wird in Abhängigkeit vom spezifischen Anschlußwert ermittelt (Abbildung 29).

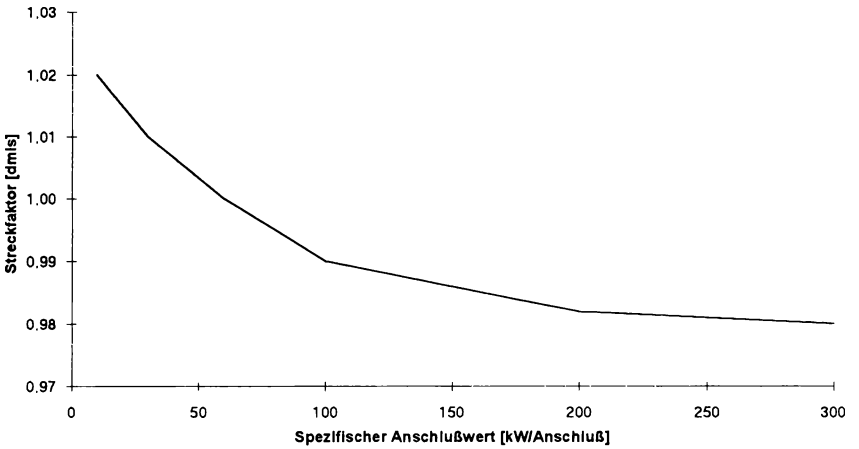

Abb. 29: Streckfaktor im Bereich der privaten Haushalte

Als Unterscheidungskriterium gilt im privaten Sektor der durchschnittliche Anschlußwert der Wohngebäude. Sondervertragskunden werden aufgrund des Objekttyps durch eine entsprechende Ziffer gekennzeichnet. Krankenhäuser werden mit der Ziffer drei, Schulen mit einem Wert zwei und Bürogebäude mit dem Wert eins belegt. Den Kennziffern werden die passenden Streckfaktoren zugeordnet. Die Variation der Kennziffern ermöglicht die Betrachtung verschiedener Versorgungsvarianten. Der Streckfaktor kann durch einen Energiebedarfsfaktor korregiert werden, der die Änderung des Kurvenverlaufs aufgrund eines rückläufigen Energiebedarfs berücksichtigt. Als Ursache können verbesserte Techniken der Wärmedämmung oder klimatische Einflüsse genannt werden. Der Klimafaktor korreliert mit dem entsprechenden Faktor zur Korrektur des Gleichzeitigkeitsgrads[9].

(96) Streckfaktor [priv] = LOOKUP EXTRAPOLATE (tjdlfak, Anschlußwert spezifisch [priv]) * Energiebedarfsfaktor WLK
Streckfaktor [sond] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tjdlzif,Kennziffer) * Energiebedarfsfaktor WLK ~ dmls

tjdlfak: Tabellenwert für Streckfaktor der privaten Haushalte
tjdlzif: Tabellenwert für Streckfaktor der Sonderkunden
Anschlußwert spezifisch: Anschlußwert pro Gebäudeanschluß
Kennziffer: Kennziffer zur Identifikation des Objekttyps der Sonderkunden
Energiebedarfsfaktor WLK: Faktor zur Berücksichtigung rückläufigen Energiebedarfs in der geordneten Wärmelastkurve

[9] Siehe dazu Gleichung (11).

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(97) Energiebedarfsfaktor WLK = (1 + (1 - 1/Energiebedarfsfaktor)/10) ~ dmls

Energiebedarfsfaktor: Faktor zur Berücksichtigung rückläufigen Energiebedarfs

(98) tjdlfak ([(0,0.97)-(300,1.04)],(10,0.985),
(25,0.97),(80,0.985),(150,1),(200,1.03)) ~ dmls

(99) tjdlzif ([(1,0.85)-(3,1.15)],(1,0.89),(2,0.91),(3,1.12)) ~ dmls

(100) Kennziffer = 3 ~ dmls

Die geordnete Wärmelastkurve dient neben der Planung der Motorlaufzeiten als Entscheidungsgrundlage für den Zubau von Motoren. Dazu wird der tatsächliche Streckfaktor analog zu dem geplanten Streckfaktor durch Gewichtung des Anschlußwertes ermittelt. Basis ist die tatsächliche Anschlußentwicklung im Projektverlauf.

(101) Streckfaktor tatsächlich = ZIDZ(SUM(Anschlußwert Nahwärme [kdn!])
* Streckfaktor [kdn!]),SUM(Anschlußwert
Nahwärme[kdn!])) ~ dmls

Streckfaktor tatsächlich: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve anhand der Anschlußentwicklung
Streckfaktor [kdn]: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve für beide Kundengruppen

2. Kapazitätserweiterung

Der Zubau an Anlagekapazitäten basiert auf der im Rahmen der strategischen Planung fixierten Auslegung der jeweiligen Anlagekomponenten (Abbildung 30). Zur Sicherstellung der Nahwärmeversorgung und zur Vermeidung von Überkapazitäten muß der Ausbau der Wärmeerzeugung einhergehen mit der Entwicklung der Nachfrage im Versorgungsgebiet. Demgegenüber ist das Leitungsnetz zur Bereitstellung einer Anschlußmöglichkeit für jeden Haushalt in voller Länge zu verlegen. Ein Kapazitätszubau kann nur in Einklang mit dem Finanzbereich erfolgen. Der Kapazitätsbedarf errechnet sich aus der installierten Wärmelast und der nachgefragten Wärmeleistung. In der Investitionsrechnung werden die für den geforderten Zubau notwendigen Investitionen ermittelt. Die Entscheidung zugunsten einer Investition kann nur im Falle ausreichender Finanzmittel getroffen werden.

Die Wärmehöchstlast der Netzeinspeisung als wichtige versorgungstechnische Kenngröße resultiert aus der installierten Wärmelast der Erzeugung und des Verteilungsnetzes. Die Wärmehöchstlast wird durch die nachgefragte Wärmeleistung begrenzt. Aufgrund der Leitungsverluste wird zwischen der höchsten vom Versorgungsunternehmen in das Wärmenetz eingespeisten und der von den Verbrauchern bezogenen Wärmeleistung unterschieden. Die vom

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Versorgungsunternehmen geforderte Wärmeleistung übersteigt die von den Verbraucher nachgefragte Wärmeleistung um die Leitungsverluste.

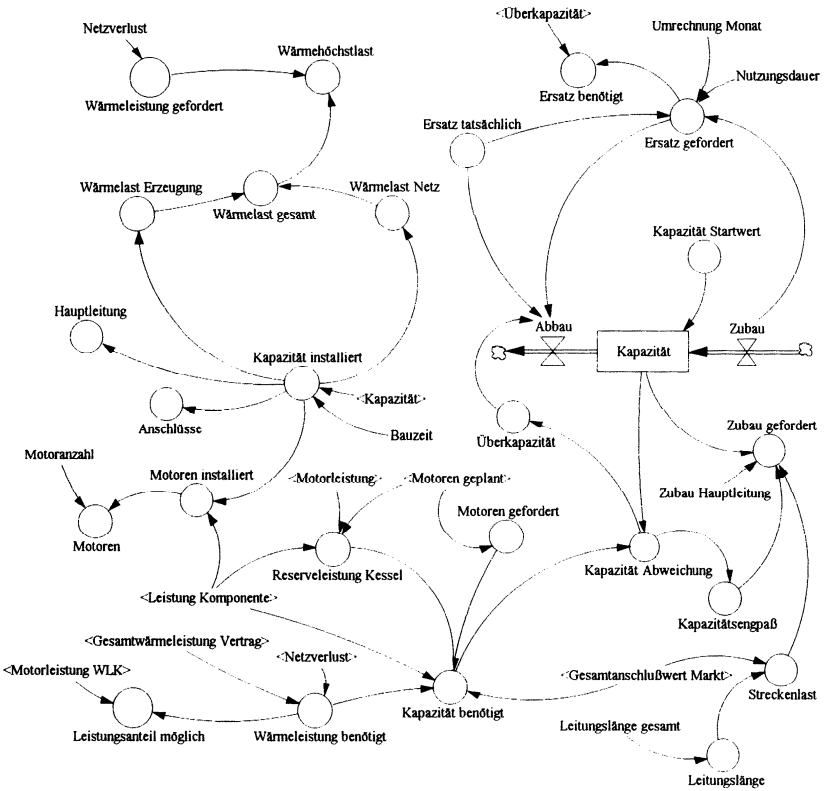

Abb. 30: Zubau an Wärmekapazität

(102) Wärmehöchstlast Verbraucher = Wärmehöchstlast * (1 - Netzverlust) ~ kW

Wärmehöchstlast Verbraucher: höchste von allen Verbrauchern bezogene Wärmelast
Wärmehöchstlast: höchste in das Wärmenetz eingespeiste Wärmelast

(103) Wärmehöchstlast = MIN(Wärmeleistung gefordert,Wärmelast gesamt) ~ kW

Wärmelast gesamt: gesamte installierte Wärmelast der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

(104) Wärmeleistung gefordert = Gesamtwärmeleistung Nachfrage / (1-Netzverlust) ~ kW

Wärmeleistung gefordert: vom Versorgungsunternehmen geforderte Wärmeleistung
Gesamtwärmeleistung Nachfrage: gesamte nachgefragte Wärmeleistung

Die gesamte vom Versorgungsunternehmen bereitgestellte Wärmelast entspricht der Engpaßleistung aufgrund der vorhandenen Kapazitäten des Verteilungsnetzes und der installierten Kraftwerksleistung.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(105) Wärmelast gesamt = MIN(Wärmelast Erzeugung,Wärmelast Netz) ~ kW

Die Wärmeerzeugungskapazität errechnet sich aus der Wärmeleistung der installierten Kessel und Motoren. Die Wärmelast des Verteilungsnetzes resultiert aus der Wärmeleistung für alle angeschlossenen privaten Haushalte und Sonderkunden. Der Anschluß eines Sonderkunden gilt erst dann als vollzogen, wenn die Leitungsverbindung zwischen ihm und der Heizzentrale hergestellt ist.

(106) Wärmelast Erzeugung = Kapazität installiert [kwk]
+ Kapazität installiert [kes] ~ kW

Kapazität installiert [kwk]: tatsächlich installierte Wärmelast der Motoren
Kapazität installiert [kes]: tatsächlich installierte Wärmelast der Kessel

(107) Wärmelast Netz = Kapazität installiert [ans] + Anschluß Sonderkunden ~ kW

Kapazität installiert [kes]: tatsächlich installierte Kapazität der Hausanschlüsse
Anschluß Sonderkunden: erfolgter Anschluß der Sonderkunden

(108) Anschluß Sonderkunden = IF THEN ELSE(Hauptleitung >=
Leitungslänge Sonderkunden,
Anschlußwert Nahwärme [sond],0) ~ kW

Hauptleitung: Länge der verlegten Hauptleitung
Leitungslänge Sonderkunden: Leitungslänge zum Anschluß von Sonderkunden
Anschlußwert Nahwärme [sond]: Anschlußwert aufgrund der Anschlußentwicklung der Nahwärme

Ein Zubau führt erst mit einer zeitlichen Verzögerung zu einem Zuwachs an installierter Kraftwerksleistung. Vom Zeitpunkt einer Investitionsentscheidung bis zur Inbetriebnahme einer Anlagekomponente zur Wärmerzeugung werden 8 Monate Bauzeit veranschlagt. Das Versorgungsunternehmen muß jedoch im Rahmen der Kapazitätsplanung während des Zubaus von Anlagekapazitäten die nach der Installation resultierende Wärmelast berücksichtigen. Daher wird zwischen tatsächlich installierter und der nach einem Zubau zu erwartetenden Kapazität als Planungsgröße unterschieden. Im Gegensatz zur Kraftwerksanlage erfolgt die Leitungsverlegung monatsweise. Der Anschluß eines Wohngebäudes an die Wärmeleitung wird nach 2 Monaten vollzogen.

(109) Kapazität installiert [Kompo] = DELAY FIXED(Kapazität [Kompo],
Bauzeit [Kompo],0) ~ kW

Kapazität installiert [Kompo]: tatsächlich installierte Kapazität pro Anlagekomponente
Kapazität [Kompo]: nach Zubau resultierende Kapazität

(110) Erzeugung : geb,kes,kwk,etc

(111) Netz : ans, hpt

(112) Bauzeit [Kompo] = 8, 8, 8, 8, 2, 1 ~ Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die Anlagekapazitäten erhöhen sich durch einen Zubau. Andererseits reduziert die Stillegung von Anlagekomponenten bedingt durch Verschleiß oder ungünstiger Entwicklung des Wärmebedarfs die installierte Wärmelast.

(113) Kapazität [Kompo] = INTEG(Zubau [Kompo] - Abbau [Kompo],0) ~ kW

Kapazität [Kompo]: aufgrund einer Investitionsentscheidung resultierende Kapazität
Zubau [Kompo]: Zubau an thermischer oder elektrischer Last
Abbau [Kompo]: Abbau an thermischer oder elektrischer Last

(114) Kompo : geb, kes, kwk, etc, ans, hpt

Investitionen haben einen Zubau an Kapazität zur Folge. Die getätigten Investitionen werden mittels der spezifischen Investitionskosten in Wärme- oder Stromlast umgerechnet. Im Bereich der Kraftwerksanlage beziehen sich Investitionen immer auf vollständige Anlagekomponenten, so daß der Zubau kompletter Kessel oder Motoren garantiert ist.

(115) Zubau [Kompo] = ZIDZ(Investition Zubau [Kompo],
Investition spezifisch [Kompo]) ~ kW/Monat

Investition Zubau [Kompo]: Investitionen in Kapazitätserweiterung
Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagegruppe

Ein Zubau von Anlagekapazitäten der Wärmeerzeugung wird erforderlich, wenn ein Engpaß an installierter Kapazität besteht. Im Gegensatz dazu wird im Verteilungsnetz von einer monatlichen Leitungsverlegung von 100 m ausgegangen. Die Umrechnung der Streckenlänge in die Leitungskapazität erfolgt mittels der Streckenlast. Der Anschluß von Wohngebäuden kann nur entlang einer bereits verlegten Wärmeleitung erfolgen. Daher wird der Anschlußwert der Hausanschlüsse durch die zugebaute Transportkapazität der Hauptleitung begrenzt.

(116) Zubau gefordert [Erzeugung] = Kapazitätsengpaß [Erzeugung]

Zubau gefordert [ans] = MIN(Kapazitätsengpaß [ans], Kapazität [hpt])
Zubau gefordert [hpt] = MIN(Kapazitätsengpaß [hpt],
Zubau Hauptleitung * Streckenlast) ~ kW/Monat

Zubau gefordert: geforderter Zubau an Anlagekapazitäten
Kapazität [Kompo]: aufgrund einer Investitionsentscheidung zu erwartende Kapazität
Kapazitätsengpaß: Engpaß an elektrischer oder thermischer Last
Zubau Hauptleitung: monatlich verlegte Streckenlänge der Hauptleitung

(117) Zubau Hauptleitung = 100 ~ m/Monat

Ein Engpaß liegt vor, wenn die nach einer getätigten Investition zu erwartende Kapazität niedriger als die benötige Kapazität ist. Überkapazitäten resultieren aus einer höheren Wärmelast als die Nachfrage.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(118) Kapazität Abweichung [Kompo] = Kapazität benötigt [Kompo] - Kapazität [Kompo] ~ kW

Kapazität Abweichung [Kompo]:Differenz von benötigter und nach einer Investitionsentscheidung installierten Wärmlast
Kapazität benötigt [Kompo]: aufgrund der Anschlußentwicklung benötigte Kapazität
Kapazität [Kompo]: aufgrund einer Investitionsentscheidung zu erwartende Kapazität

(119) Kapazitätsengpaß [Kompo] = MAX(Kapazität Abweichung [Kompo],0)

(120) Überkapazität [Kompo] = - MIN(Kapazität Abweichung [Kompo],0) ~ kW

Zur Sicherstellung der Nahwärmeversorgung und zur Vermeidung von Überkapazitäten müssen monatsweise die benötigten Anlagekapazitäten anhand der nachgefragten Wärmeleistung überprüft werden. Eine Kapazitätserweiterung orientiert sich an der Wärmenachfrage. Um Engpässe wegen bauzeitbedingter Verzögerungen zu vermeiden, muß das Unternehmen rechtzeitig die Anschlußentwicklung auf Basis der vertraglichen Bindung der Wärmekunden unter Berücksichtigung von Leitungsverlusten vorausplanen. Im Bereich der Kraftwerksanlage können nur vollständige Anlagenkomponenten wie Heizkessel, Motoren oder Gebäude installiert werden.

Zur Aufnahme der Wärmeversorgung muß mindestens ein Heizkessel sowie das Gebäude der Heizzentrale bereitgestellt werden. Die zu installierende Wärmelast der Heizkessel entspricht der Wärmenachfrage unter Berücksichtigung einer Reserveleistung. Die benötigte Motorleistung sowie die elektrische Last der stromtechnischen Anlagen resultiert aus der thermischen und elektrischen Leistung der geforderten Anzahl an Motoren. Die benötigte Kapazität der Hauptleitung orientiert sich an der im Endausbau bereitzustellenden Wärmekapazität analog dem Anschlußwert aller möglichen Verbraucher im Versorgungsgebiet.

(121) Kapazität benötigt [geb] = QUANTUM(Wärmeleistung benötigt, Leistung Komponente [geb]) + Leistung Komponente [geb]

Kapazität benötigt [kes] =QUANTUM(Wärmeleistung benötigt + Reserveleistung Kessel,Leistung Komponente[kes])

Kapazität benötigt [kwk] = Motoren gefordert * Leistung Komponente [kwk]

Kapazität benötigt [etc] = Motoren gefordert * Leistung Komponente [etc]

Kapazität benötigt [hpt] = Gesamtanschlußwert Markt

Kapazität benötigt [ans] = Anschlußwert Nahwärme [priv] ~ kW

Leistung Komponente: thermische oder elektrische Leistung pro Anlagekomponente
Reserveleistung Kessel: durch Heizkessel bereitzustellende Reserveleistung
Gesamtanschlußwert Markt: gesamter Anschlußwert aller Verbraucher im Versorgungsgebiet
Wärmeleistung benötigt [Kompo]: aufgrund der Anschlußentwicklung benötigte Wärmeleistung einschließlich Netzverlusten

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(122) Wärmeleistung benötigt = Gesamtwärmeleistung Vertrag/(1-Netzverlust) ~ kW

Wärmeleistung benötigt [Kompo]: benötigte Wärmeleistung einschließlich Netzverlusten
Gesamtwärmeleistung Vertrag: Wärmeleistung aller vertraglich gebundenen Wärmekunden

Die durch Heizkessel vorgehaltene Reserveleistung soll den Ausfall eines Motoraggregats ausgleichen.

(123) Reserveleistung Kessel = Leistung Komponente[kes] - MAX(Motoren geplant - 1, 0) * Motorleistung ~ kW

Leistung Komponente [kes]: thermische Leistung pro Heizkessel
Reserveleistung Kessel: durch Heizkessel bereitgestellte Reserveleistung
Motoren gefordert: aufgrund der Anschlußentwicklung geforderte Anzahl an Motoren

Um einen wirtschaftlich sinnvollen Einsatz der Motoren zu gewährleisten, erfolgt die Entscheidung zum Zubau von BHKW-Motoren erst bei einer genügenden Auslastung. Die effektiven Motorlaufzeiten werden monatlich anhand der Anschlußentwicklung der Wärmeleistung und des tatsächlichen Streckfaktors mittels der geordneten Wärmelastkurve errechnet. Die geforderte Anzahl an Motoren entspricht der Summe aller Aggregate, welche die gewünschte Mindestlaufzeit erfüllen.

(124) Motoren gefordert = MIN(Motoren möglich, Motoren geplant) ~ dmls

Motoren gefordert: aufgrund der Anschlußentwicklung geforderte Anzahl an Motoren
Motoren möglich: aufgrund der Laufzeiten mögliche Anzahl an Motoren
Motoren geplant: geplante Anzahl an Motoren

(125) Motoren möglich = SUM(Motorzubau möglich [Motor!]) ~ dmls

Motorzubau möglich [Motor]: Identifikation der zugebauten Motoren

(126) Motorzubau möglich [Motor] = IF THEN ELSE(Motorlaufzeit möglich [Motor] >= Motorlaufzeit minimum / Umrechnung Monat,1,0) ~ dmls

Motorlaufzeit möglich [Motor]: durch Anschlußentwicklung mögliche Laufzeit pro Motor
Umrechnung Monat: Umrechnung von jährlicher auf monatliche Periode

(127) Motorlaufzeit möglich [Motor] = MOTORLAUFZEIT(Leistungsanteil möglich [Motor], Streckfaktor tatsächlich) ~ h/Monat

Leistungsanteil möglich [Motor]: möglicher Leistungsanteil pro Motor an der Wärmehöchslast bei schrittweisem Zubau
Streckfaktor tatsächlich: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve aufgrund Anschlußentwicklung

(128) Leistungsanteil möglich [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WKL [Motor], Wärmeleistung benötig) ~ dmls

Motorleistung WLK[Motor]: in geordneter Wärmelastkurve berücksichtigter Leistungsanteil pro Motor
Gesamtwärmeleistung Vertrag: Wärmeleistung aller vertraglich gebundenen Wärmekunden

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Der Ersatz bzw. die Erneuerung von Anlagekomponenten steht nach Ablauf der Nutzungsdauer zur Disposition. Die ausgetauschte Komponente soll die gleiche Leistung aufweisen, so daß die installierte Kapazität unverändert bleibt. Der Ersatz einer Anlage ist von der Anschlußentwicklung abhängig. Bei Überkapazitäten, bedingt durch den Rückgang der Wärmenachfrage, folgt die Stillegung von Anlagekomponenten nach Ablauf der Nutzungsdauer. Ursache für die Stillegung können Vertragskündigungen, verbesserte Wärmedämmung oder klimatische Einflüsse sein. Vertragskündigungen durch Wärmekunden reduzieren ebenfalls die Zahl der Hausanschlüsse.

(129) Abbau [Erzeugung] = Ersatz gefordert [Erzeugung]
- Ersatz tatsächlich [Erzeugung]

Abbau [hpt] = Ersatz gefordert [hpt] - Ersatz tatsächlich [hpt]

Abbau [ans] = Ersatz gefordert [ans] - Ersatz tatsächlich [ans]
+ Überkapazität [ans] ~ kW/Monat

Ersatz gefordert: durch zeitlichen Abnutzung von Anlagekomponenten geforderter Ersatz
Ersatz tatsächlich: tatsächlich ausgeführter Ersatz von Anlagekomponenten

(130) Ersatz gefordert [Kompo] = DELAY FIXED(Zubau [Kompo]
+ Ersatz tatsächlich [Kompo],
Nutzungsdauer [Kompo]
* Umrechnung Monat,0) ~ kW/Monat

Umrechnung Monat: Umrechnung von jährlicher auf monatliche Periode

(131) Ersatz benötigt [Kompo] = MAX(Ersatz gefordert [Kompo]
- Überkapazität [Kompo], 0) ~ kW/Monat

Ersatz gefordert: geforderter Ersatz durch Abnutzung von Anlagekomponenten
Ersatz benötigt: aufgrund der Anschlußentwicklung tatsächlich notwendiger Ersatz

Der tatsächlich ausgeführte Ersatz einer Anlagekomponenten folgt aus den genehmigten Ersatzinvestitionen. Die elektrische oder thermische Last wird mit Hilfe der spezifischen Investitionen der jeweiligen Anlagekomponenten errechnet.

(132) Ersatz tatsächlich [Kompo] = ZIDZ(Ersatzinvestition [Kompo],
Investition spezifisch [Kompo]) ~ kW/Monat

Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente

Die installierten Kapazitäten werden in thermischer oder elektrischer Leistung bemessen. Die Zahl der installierten Motoren und Kessel errechnet sich aus der installierten Kapazität und der Leistung eines Kessels bzw. Motors.

(133) Motoren installiert = ZIDZ(Kapazität installiert[kwk],
Leistung Komponente[kwk]) ~ dmls

Kapazität installiert [kwk]: tatsächlich installierte Kapazität der Motoren
Leistung Komponente [kwk]: thermische Leistung eines Motors

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(134) Kessel installiert = ZIDZ(Kapazität installiert[kes],
Leistung Komponente[kes]) ~ dmls

Kapazität installiert [kes]: tatsächlich installierte Kapazität der Kessel
Leistung Komponente [kes]: thermische Leistung eines Heizkessels

Die Zahl der Hausanschlüsse im Wohnungsbereich wird aus der Anschlußleistung für die Nahwärmekunden und dem durchschnittlichen Anschlußwert der Wohngebäude ermittelt. Die Länge der Hauptleitung folgt aus der Kapazität der verlegten Wärmeleitung und der Streckenlast.

(135) Anschlüsse = ZIDZ(Kapazität installiert [ans],
Anschlußwert spezifisch [priv]) ~ dmls

Kapazität installiert [ans]: tatsächlich installierte Kapazität der Hausanschlüsse
Anschlußwert spezifisch [priv]: Anschlußwert pro Gebäudeanschluß für private Haushalte

(136) Hauptleitung = ZIDZ(Kapazität installiert [hpt], Streckenlast) ~ m

Kapazität installiert [hpt]: tatsächlich installierte Kapazität der Hauptleitung

Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der Nahwärmeversorgung als wichtige versorgungstechnische Kenngröße entspricht dem Verhältnis aus installierter Wärmelast der Motoranlage und der Wärmehöchslast.

(137) Leistungsanteil KWK = ZIDZ(Kapazität installiert [kwk],
Wärmehöchstlast) ~ dmls

Kapazität installiert [kwk]: tatsächlich installierte Kapazität der Motoren
Wärmehöchstlast: höchste in das Wärmenetz eingespeiste Wärmelast

3. Der Produktionsbereich

Die vom Versorgungsunternehmen erzeugte Gesamtwärme errechnet sich mit Hilfe der geordneten Jahreskurve der Wärmelast unter Angabe der Wärmehöchstlast und des Streckfaktors. Es wird ein monatlicher Durchschnittswert der Gesamtwärmemenge ermittelt. Jahreszeitlich bedingte Schwankungen des Wärmebedarfs werden vernachlässigt. Eine Differenzierung des Wärmebedarfs nach Jahreszeiten entfällt. Die Gesamtwärme entspricht der von allen Wärmkunden verbrauchten Energiemenge einschließlich der Netzverluste.

(138) Gesamtwärme = WÄRMEMENGE(Wärmehöchstlast,
Streckfaktor tatsächlich) ~ MWh/Monat

Gesamtwärme: gesamte erzeugte Wärmemenge
Wärmehöchstlast: höchste in das Wärmenetz eingespeiste Wärmelast

Der gesamte Primärenergieeinsatz der Kraftwerksanlage resultiert aus dem Brennstoffverbrauch der in Kraft-Wärme-Kopplung betriebenen Motoraggre-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

gate und der Kesselanlage. Die verbrauchte Brennstoffmenge dient zur Ermittlung der Brennstoffkosten. Darüber hinaus können mittels der spezifischen CO_2-Emissionen des eingesetzten Energieträgers die absoluten CO_2-Emissionen bestimmt und zu einem Vergleich mit einem Referenzsystem, in diesem Fall Ölzentralheizungen, herangezogen werden.

(139) Brennstoffmenge gesamt = Brennstoffmenge KWK
+ Brennstoffmenge Kessel ~ MWh/Monat

Der Brennstoffverbrauch der BHKW-Motoren berechnet sich aus der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärmemenge. Durch Vorgabe des thermischen Wirkungsgrades der Motoranlage kann auf den Energieeinsatz geschlossen werden. Die KWK-Wärmemenge wird aus der jeweiligen Laufzeit der installierten Motoren sowie der thermischen Leistung pro Aggregat ermittelt[10]. Die tatsächlich verbrauchte Brennstoffmenge bezieht sich auf den effektiven Brennstoffeinsatz auf Grundlage des oberen Brennwertes[11].

(140) Brennstoffmenge KWK = Wärmemenge KWK / Wirkungsgrad thermisch
* Brennwert ~ MWh/Monat

(141) Brennwert = 1.1096 ~ dmls

(142) Wärmemenge KWK = Motorlaufzeit gesamt * Leistung Komponente[kwk])
/ Umrechnung Energie ~ MWh/Monat

Motorlaufzeit gesamt: Summe der Laufzeiten aller Motoren
Leistung Komponente[kwk]: thermische Leistung eines Motors
Umrechnung Energie: Umrechnungsfaktor für Energie

(143) Umrechnung Energie = 1000 ~ kWh/MWh

(144) Motorlaufzeit gesamt = SUM(Motorlaufzeit tatsächlich [Motor!]) ~ h/Jahr

Motorlaufzeit tatsächlich [Motor!]: Laufzeit der jeweiligen Motoraggregate

Die tatsächlichen Motorlaufzeiten werden anhand der geordneten Wärmelastkurve durch Angabe des Streckfaktors und dem Anteil der installierten Motorenleistung an der Wärmehöchstlast errmittelt.

(145) Motorlaufzeit tatsächlich [Motor] = MOTORLAUFZEIT(Leistungsanteil
tatsächlich [Motor],
Streckfaktor tatsächlich) ~ h/Monat

Motoren [Motor]: Identifizierung der zugebauten Motoren
Leistungsanteil tatsächlich [Motor]: Leistungsanteil pro Motor an der Wärmehöchslast bei schrittweisem Zubau

---

[10] Die Wärmemenge wird in MWh_{th} angegeben. Die Motorleistung wird dagegen in kW_{th} bemessen. Dadurch ist die Umrechnung von kWh_{th} in MWh_{th} notwendig.

[11] Der obere Brennwert ist definiert als der Energieinhalt eines Brennstoffs ohne Verdampfungswärme.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(146) Leistungsanteil tatsächlich [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WLK [Motor], Wärmehöchstlast) ~ dmls

Motorleistung WLK[Motor]: berücksichtigter Leistungsanteil pro Motor in geordneter Wärmelastkurve
Wärmehöchstlast: höchste in das Wärmenetz eingespeiste Wärmelast

(147) Motoren [Motor] = IF THEN ELSE(Motoranzahl [Motor] <=Motoren installiert,1,0) ~ dmls

Motoranzahl [Motor]: Identifizierung aller möglichen Motoraggregate
Motoren installiert: Anzahl aller installierten Motoren

Der durch die Heizkessel bereitgestellte Wärmebedarf resultiert aus dem gesamten Wärmebedarf abzüglich der durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärmemenge. Der Brennstoffeinsatz der Kesselanlage folgt aus deren Wirkungsgrad unter Berücksichtigung des oberen Brennwerts.

(148) Brennstoffmenge Kessel = Wärmemenge Kessel/Wirkungsgrad Kessel * Brennwert ~ MWh/Monat

(149) Wirkungsgrad Kessel = 0.85 ~ dmls

(150) Wärmemenge Kessel = Gesamtwärme - Wärmemenge KWK ~ MWh/Monat

Gesamtwärme: gesamte erzeugte Wärmemenge

Die Höhe der Stromerzeugung errechnet sich aufgrund der starren Kopplung unmittelbar aus dem Umfang der Wärmeproduktion und der Angabe der Stromkennzahl. Längere Motorlaufzeiten führen zu einem höheren Stromangebot. Die tatsächlich für die Einspeisung oder den Eigenverbrauch zur Verfügung stehende Strommenge reduziert sich um den Anteil der Hilfsenergien zur Deckung des Eigenbedarfs der Anlage für Pumpenstrom und Steuerung der Anlagetechnik.

(151) Strommenge KWK = Wärmemenge KWK * (1 - Strom Eigenbedarf) * Stromkennzahl ~ MWh/Monat

(152) Strom Eigenbedarf = 0.02 ~ dmls

Technische Kenngrößen umfassen den Wärmeanteil der BHKW-Motoren an der gesamten Wärmeerzeugung und die durchschnittliche Laufzeit der Motoren.

(153) Wärmeanteil KWK = ZIDZ(Wärmemenge KWK,Gesamtwärme) ~ dmls

(154) Motorlaufzeit Durchschnitt = ZIDZ(Motorlaufzeit gesamt, Motoren installiert) ~ h/Jahr

Motoren installiert: Anzahl aller installierten Motoren
Motorlaufzeit gesamt: Summe der Laufzeiten aller Motoren
CO2 Gas: spezifische CO_2-Emissionen für Erdgas

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Neben betriebswirtschaftlichen Zielgrößen zur Bewertung eines Nahwärmeprojekts kann die Reduktion der CO_2-Emissionen angeführt werden. Eine gängige Problemlösung ist die sogenannte Emissionsgutschrift, indem die Gesamtemissionen der BHKW-Anlage um andernorts vermiedene Emissionen verringert werden[12]. Maßstab ist die Substitution von Strom aus einem Großkraftwerk mit Kondensationsbetrieb. Die gesamten CO_2-Emissionen der Kraftwerksanlage errechnen sich aus den spezifischen CO_2-Emissionen der eingesetzten Brennstoffe[13]. Von den gesamten CO_2-Emissionen der Kraftwerksanlage werden die verdrängten Emissionen des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms abgezogen[14].

(155) Emissionen BHKW = Brennstoffmenge * CO2 Gas - Emissionen Strom ~ kg/Monat

(156) Emissionen Strom = Strommenge KWK * CO2 Strom ~ kg/Monat

Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge
CO2 Strom: spezifische CO_2-Emissionen von Strom

(157) CO2 Strom = 220 ~ kg/MWh

(158) CO2 Gas = 200.52 ~ kg/MWh

(159) Emissionen Heizöl = Gesamtnutzwärme/Wirkungsgrad Kessel * CO2 Öl ~ kg/Monat

CO_2 Öl: spezifische CO_2-Emissionen von Heizöl
Emissionen Heizöl: CO_2-Emissionen von Heizöl

(160) CO2 Öl = 265.5 ~ kg/MWh

Die Reduktion der CO_2-Emissionen durch Nahwärme errechnet sich aus der Differenz der Emissionen des Blockheizkraftwerks und den verdrängten Kohlendioxidemissionen ölbetriebener Zentralheizungen.

(161) Emissionen Differenz = Emissionen BHKW - Emissionen Heizöl ~ kg/Monat

Emissionen BHKW: CO_2-Emissionen der BHKW-Anlage
Emissionen Heizöl: CO_2-Emissionen von Heizöl

---

[12] Vgl. *Henkel*, Hartmut: Blockheizkraftwerke und Umwelt: GASWÄRME International, 41 (1992), Heft 11, S. 480-486.

[13] Die Angabe der spezifischen CO_2-Emissionen des elektrischen Stroms basieren auf einem Drittelmix des Primärenergieeinsatzes durch den vorhandenen Kraftwerkspark in Deutschland. Zu den spezifischen CO_2-Emissionen der fossilen Energieträger leichtes Heizöl und Erdgas; vgl. *Birnbaum*, Karl Ulf/ *Wagner*, Hermann-Josef: Einheitliche Berechnungen von CO_2-Emissionen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg. (1991), Heft 1/2, S.78.

[14] Berechnungsgrundlage ist die alternative Stromerzeugung in einem angenommenen Kraftwerkspark; vgl. *Henkel,* Hartmut: Blockheizkraftwerke und Umwelt, GASWÄRME International, 41 (1992), Heft 11, S. 480-486.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

III. Das Finanz- und Rechnungswesen

Die Nahwärmeversorgung soll durch ein privatwirtschaftlich finanziertes Unternehmen erfolgen. Denkbar ist ein Contractingmodell auf Basis einer Projektgesellschaft[15]. Die Nahwärmesparte eines kommunalen Querverbundunternehmens wird als eigenständiger Unternehmensbereich betrachtet. Quersubventionen werden nicht berücksichtigt.

Dem Verantwortungsbereich des Finanz- und Rechnungswesens unterliegt die Investitionsrechnung und die Bereitstellung von Finanzmittel zur Finanzierung von Anlageinvestitionen. Im Rahmen der Kosten- und Leistungsrechnung werden die Gesamtkosten aufgrund der betrieblichen Leistungserstellung zusammengestellt und den Erlösen aus dem Verkauf der Nahwärme und der Stromeinspeisung gegenübergestellt. Im Rechnungswesens erfolgt zudem die Kalkulation des Wärmepreises. Anhand der Gewinn- und Verlustrechnung und der Bilanzierung werden Kennzahlen zur Wirtschaftlichkeit ermittelt.

1. Investitionsrechnung

Der Investitionsbereich ist für die Ermittlung des Kapitalbedarfs zur Finanzierung von Anlageninvestitionen zuständig (Abbildung 31). Die Entscheidung für eine Investition kann erst nach Rücksprache mit dem Finanzbereich und der Bewilligung von Finanzmitteln getroffen werden. Falls nicht im gewünschten Umfang Finanzmittel zur Verfügung stehen, können die benötigen Investitionen nur eingeschränkt realisiert werden. Dies gilt gleichermaßen für Ersatzinvestitionen. Die tatsächlich ausgeführten Investitionen entsprechen den Anschaffungskosten der Anlagekomponenten.

Es wird zwischen dem Anlagevermögen, das um die kalkulatorischen Abschreibungen vermindert wird, und einem Anlagevermögen ohne kalkulatorische Abschreibungen unterschieden. Letzteres wächst um den Anschaffungswert der zugebauten Anlagekomponenten und bleibt im Zeitverlauf unverändert. Erst die Stillegung oder der Abbau von Anlagekomponenten vermindert dessen Wert. Das zu Anschaffungskosten bewertete Anlagevermögen bildet die Grundlage zur Bemessung der Instandsetzungs- und Verwaltungskosten in der Kostenrechnung.

Im Simulationsmodell führen Subventionen zu einer Minderung der Anschaffungskosten und damit zu einer Nettoaktivierung[16]. Sie werden erst durch das verringerte Abschreibungspotential erfolgswirksam. Die bewilligten Subventionen bemessen sich nach den benötigen Investitionen und dem gewährten Subventionssatz.

---

[15] Siehe Abbildung 4.

[16] Vgl. *Eisele*, Wolfgang: Technik des betrieblichen Rechnungswesens, Buchführung, Kostenrechnung, Sonderbilanzen, 4. Auflage, Verlag Vahlen, 1993, S. 190.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

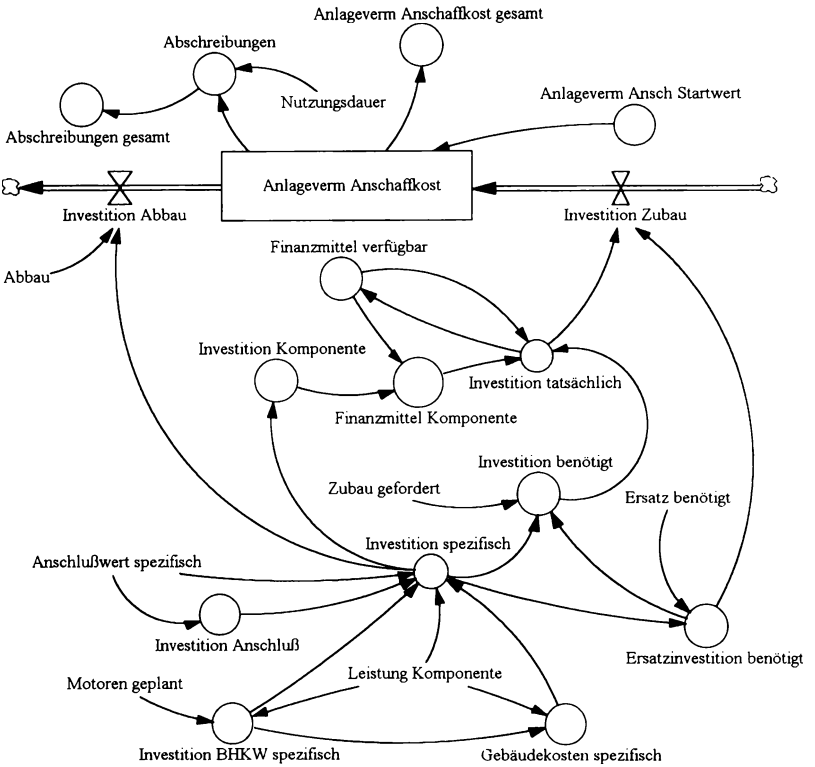

Abb. 31: Die Investitionsrechnung

(162) Anlageverm Anschaffkost gesamt = SUM(Anlagverm Anschaffkost [Kompo!]) ~ DM

Anlageverm Anschaffkost gesamt:gesamtes zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen

(163) Anlageverm Anschaffkost [Kompo] = INTEG((Investition Zubau [Kompo]
- Investition Abbau [Kompo])
* (1- Subventionssatz),0) ~ DM

Investition Zubau [Kompo]: einem Zubau an Anlagen entsprechende Investitionen
Investition Abbau [Kompo]: einem Abbau an Anlagen entsprechende Investitionen

(164) Subventionssatz = 0.2 ~ dmls

Der Zuwachs des zu Anschaffungskosten bewerteten Anlagevermögens entspricht dem Umfang der getätigten Investitionen eines Monats. Ersatzinvestitionen haben keine bestandsverändernde Auswirkungen, da die Anschaffungskosten im Zeitverlauf gleich bleiben. Eine Stillegung oder ein Abbau vermindert hingegen den Anlagewert.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(165) Investition Zubau [Kompo] = MAX(Investition tatsächlich [Kompo]
- Ersatzinvestition benötigt[Kompo],0) ~ DM/Monat

Investition tatsächlich [Kompo]: tatsächlich ausgeführte Investitionen

(166) Investition Abbau [Kompo] = Investition spezifisch [Kompo]
* Abbau [Kompo] ~ DM/Monat

Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente
Abbau [Kompo]: Stillegung oder Abbau von Anlagekomponenten

Als Kennzahl wird das Verhältnis des Anlagevermögens der Wärmeerzeugung und der Wärmeverteilung bezogen auf die gesamten Investitionen ermittelt.

(167) Anlageverm Verhältnis Erzeug = ZIDZ(Anlageverm Anschaffkost Erzeug,
Anlageverm Anschaffkost gesamt) ~ dmls

Anlageverm Verhältnis Erzeug: Verhältnis des gesamten zu Anschaffungskosten bewerteten Anlagevermögens und der Wärmeerzeugung
Anlageverm Anschaffkost Erzeug: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen der Wärmeerzeugung
Anlageverm Anschaffkost gesamt:gesamtes zu Anschaffungskosten bewertetesAnlagevermögen

(168) Anlageverm Verhältnis Netz = ZIDZ(Anlageverm Anschaffkost Netz,
Anlageverm Anschaffkost gesamt) ~ dmls

Anlageverm Anschaffkost Netz: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen der Wärmeverteilung

(169) Anlageverm Anschaffkost Erzeug=SUM(Anlageverm Anschaffkost[Erzeugung!])
~ DM

Anlageverm Anschaffkost [Erzeugung]: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen der Anlagekomponenten zur Wärmeerzeugung

(170) Anlageverm Anschaffkost Netz = SUM(Anlageverm Anschaffkost [Netz!])
~ dmls

Anlageverm Anschaffkost[Netz]: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen der Anlagekomponenten zur Wärmeverteilung

Investitionen können nur in Höhe der vom Finanzbereich bewilligten finanziellen Mittel ausgeführt werden. Die für einen geforderten Ausbau benötigten Investitionen werden mit dem verfügbaren Kapital verglichen. Notwendige Investitionen können bei ausreichenden Geldmitteln in vollem Umfang realisiert werden. Bei knappen Geldmitteln hingegen kann nur ein reduzierter Zubau durchgeführt werden. Im Bereich der Wärmeerzeugung erfolgt eine Kapazitätserweiterung immer nur schrittweise, z. B. dem Bau eines Heizkessels oder eines Motoraggregats, so daß sich die tatsächlichen Investitionen auf vollständige Anlagekomponenten beziehen. Aus diesem Grund werden die Investitionskosten eines einzelnen Anlageteils ermittelt. Die gesamten getätigten Investitionen einer Periode umfassen die Investitionen der jeweiligen Anlagegruppe.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(171) Investitionen tatsächlich gesamt = SUM(Investition tatsächlich [Kompo!])
~ DM/Monat

Investitionen tatsächlich gesamt: gesamte ausgeführte Investitionen einer Periode
Investition tatsächlich [Kompo]: ausgeführte Investitionen einer Periode

(172) Investition tatsächlich [Kompo] = IF THEN ELSE(Investition benötigt[Kompo]
<=Finanzmittel verfügbar[Kompo],
Investition benötigt [Kompo],
Finanzmittel Komponente [Kompo])
~ DM/Monat

Finanzmittel Komponente [Kompo]:Anteil der pro Anlagekomponente tatsächlich bereitstehenden Finanzmittel
Finanzmittel verfügbar [Kompo]: bewilligte Finanzmittel pro Anlagekomponente

(173) Finanzmittel Komponente [Kompo] = QUANTUM(Finanzmittel
verfügbar [Kompo], Investition
Komponente [Kompo]) ~ DM

Investition Komponente [Kompo]: Investitionskosten pro Teil einer Anlagekomponenten
Finanzmittel verfügbar [Kompo]: bewilligte Finanzmittel pro Anlagekomponente

(174) Investition Komponente [Kompo] = Leistung Komponete [Kompo]
* Investition spezifisch [Kompo] ~ DM

Leistung Komponete [Kompo]: thermische bzw. elektrische Leistung pro Anlagekomponente
Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente

Der Finanzbereich ermittelt anhand der notwendigen Investitionen eines Monats den Finanzbedarf. Grundlage der Berechnung ist eine geforderte Kapazitätserweiterung sowie die spezifischen Investitionskosten pro Anlagekomponente. Ersatzinvestitionen werden den notwendigen Investitionen zugerechnet. Die geforderten Investition für einen Anlageersatz bemessen sich nach der Größe der zu erneuernden Anlage und deren spezifischen Investitionskosten. Die tatsächlich ausgeführten Ersatzinvestitionen werden durch die benötigen Ersatzinvestitionen und die tatsächlichen Investitionsmittel einer Periode begrenzt.

(175) Investition benötigt gesamt = SUM(Investition benötigt[Kompo!]) ~ DM/Monat

Investition benötigt gesamt: gesamte benötigte Investitionen einer Periode
Investition benötigt[Kompo]: benötigte Investitionen einer Periode pro Komponente

(176) Investition benötigt [Kompo] = Zubau gefordert [Kompo]
* Investition spezifisch [Kompo]
+ Ersatzinvestition benötigt [Kompo]
~ DM/Monat

Zubau gefordert [Kompo]: geforderter Zubau einer Periode
Ersatzinvestition benötigt [Kompo]: benötigte Ersatzinvestitionen einer Periode
Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(177) Ersatzinvestition benötigt [Kompo] = Ersatz benötigt [Kompo]
* Investition spezifisch [Kompo]
~ DM/Monat

Ersatz benötigt [Kompo]: benötigter Ersatz an Anlagen pro Periode
Investition spezifisch [Kompo]: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente

(178) Ersatzinvestition [Kompo] = MIN(Ersatzinvestition benötigt [Kompo],
Investition tatsächlich [Kompo]) ~ DM/Monat

Den jeweiligen Anlagegruppen werden gemäß ihrer versorgungstechnischen Bedeutung Prioritäten in der Reihenfolge der Vergabe vorhandener Finanzmittel zugewiesen. Die Errichtung einer Heizzentrale zur Unterbringung der Wärmeerzeugung hat Vorrang. Ferner ist die Installation von Heizkesseln dem Zubau von Motoraggregaten vorzuziehen, um bereits in der Anfangsphase die Wärmenachfrage zu befriedigen. Ebenso müssen Hausanschlüsse und Leitungen zur Aufnahme der Wärmeversorgung bereitgestellt werden. Nach Aufnahme der Nahwärmeversorgung können bei entsprechender Wärmenachfrage Motoren installiert werden. Die monatlichen für die jeweiligen Anlagegruppen verfügbaren Finanzmittel bemessen sich nach den gesamten bewilligten Mitteln unter Abzug der bereits getätigten Investitionen.

(179) Finanzmittel verfügbar [geb] = Finanzmittel bewilligt

Finanzmittel verfügbar [kes] = Finanzmittel bewilligt
- Investition tatsächlich [geb]

Finanzmittel verfügbar [ans] = Finanzmittel bewilligt
- Investition tatsächlich [geb]
- Investition tatsächlich [kes]

Finanzmittel verfügbar [hpt] = Finanzmittel bewilligt
- Investition tatsächlich [geb]
- Investition tatsächlich [kes]
- Investition tatsächlich [ans]

Finanzmittel verfügbar [kwk] = Finanzmittel bewilligt
- Investition tatsächlich [geb]
- Investition tatsächlich [kes]
- Investition tatsächlich [ans]
- Investition tatsächlich [hpt]

Finanzmittel verfügbar [etc] = Finanzmittel bewilligt
- Investition tatsächlich [geb]
- Investition tatsächlich [kes]
- Investition tatsächlich [hpt]
- Investition tatsächlich [kwk] ~ DM/Monat

Finanzmittel bewilligt: gesamtes vom Finanzbereich bereitgestelltes Kapital
Finanzmittel verfügbar [Kompo]: bewilligte Finanzmittel pro Anlagekomponente
Investition tatsächlich: tatsächlich ausgeführte Investitionen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die spezifischen Investitionen der jeweiligen Anlagekomponenten werden anhand der Dimensionierung ermittelt. Ein Kapazitätszubau wird in thermischer Leistung bemessen, so daß die spezifischen Kosten auf die thermische Komponentenleistung umzurechnen sind. Technische Anlagen zur stromtechnischen Einbindung werden in elektrischer Leistung beziffert.

Die spezifischen Investitionskosten der Heizzentrale sind von der Errichtung des Gebäudes einer Heizzentrale abhängig. Bei Nutzung eines vorhandenen Heizraums reduzieren sich die spezifischen Kosten für die Heizzentrale auf 20%. Die spezifischen Kosten der Heizkessel sind von der thermischen Leistung eines Kessels abhängig (Abbildung 32). Für Kesselleistungen kleiner als 200 kW_{th} werden spezifische Kosten von 200 DM/kW_{th} angenommen.

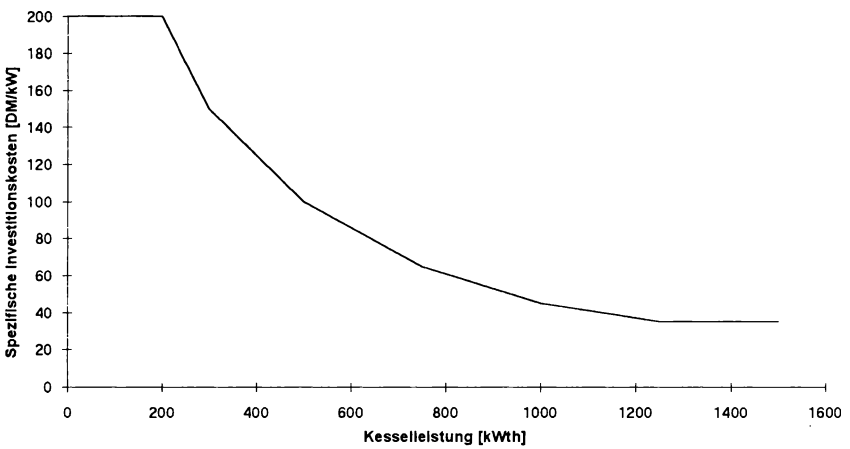

Abb. 32: Spezifische Investitionskosten der Heizkesselanlage

Die spezifischen Investitionskosten der Motoranlage beziehen sich auf die BHKW-Grundeinheit (Abbildung 33). Diese umfaßt den Motor, den Stromgenerator und die Wärmetauscher[17]. Bezugsgröße für die spezifischen Kosten ist die elektrische Leistung eines Motoraggregats. Die Stromkennzahl ermöglicht eine Umrechnung von elektrischer in thermische Leistung. Die stromtechnischen Anlageteile beanspruchen 60 % der Investition in das Blockheizkraftwerk ohne die Motor- und Kesselanlage.

[17] Die spezifischen Investitionskosten von Blockheizkraftwerken basieren auf Angaben führender Hersteller, wobei sich je nach Produzent der Lieferumfang unterscheiden kann; vgl. *Schaab*, Rüdiger/ *Poos*, Bernd: Preischaos auf dem BHKW-Markt? - Was dürfen BHKW kosten? Energie & Management, Nr.11/12, 1995, sowie *Zacharias*, Friedemann: persönliche Mitteilung, MWM, Mannheim, 1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

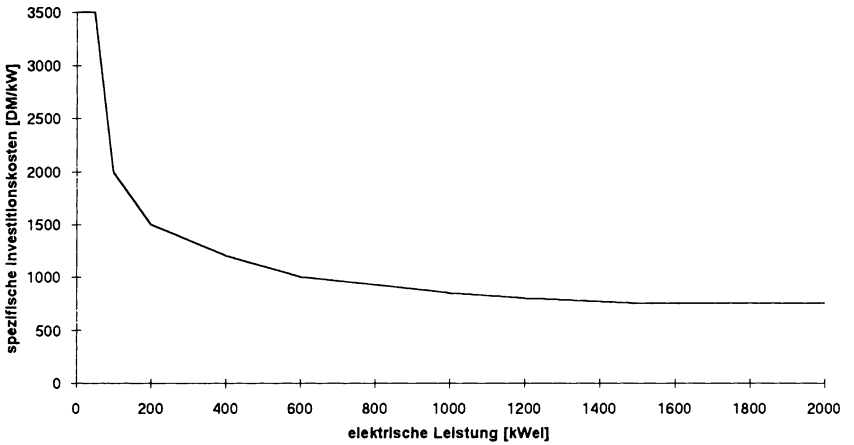

Abb. 33: Spezifische Investitionskosten der Motoranlage

Die spezifischen Investitionskosten der Leitungsverlegung sind vom Durchmesser bzw. der Transportkapazität der Hauptleitung abhängig (Abbildung 34). Sie werden pro verlegtem Meter angegeben. Im Simulationsmodell wird jedoch zur Vereinfachung eine Kapazitätserweiterung im Bereich der Wärmeerzeugung und Verteilung in thermischer Leistung bemessen. Daher werden die spezifischen Leitungskosten mit Hilfe der Streckenlast auf die Leitungskapazität umgerechnet. Die spezifischen Anschlußkosten entsprechen den Investitionen pro Hausanschluß.

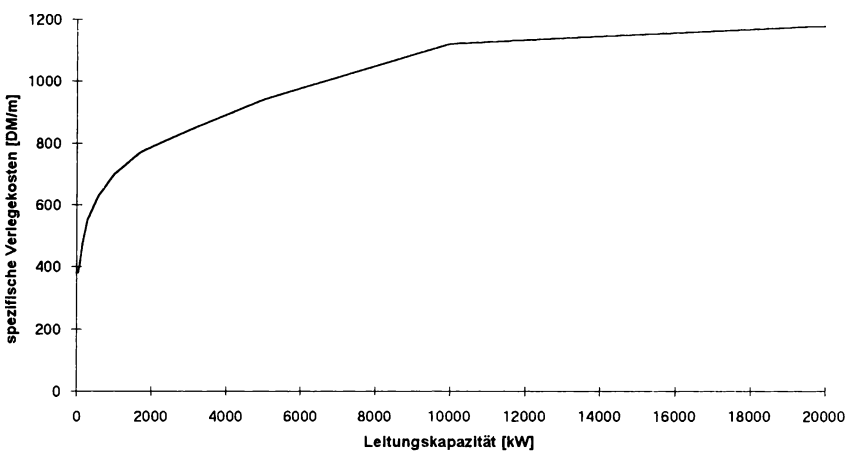

Abb. 34: Spezifische Verlegekosten der Hauptleitung

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(180) Investition spezifisch [geb] = IF THEN ELSE(Schalter Gebäudenutzung=0,
Gebäudekosten spezifisch,
Gebäudekosten spezifisch * 0.2)

Investition spezifisch [kes] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvkes,
Leistung Komponente [kes])

Investition spezifisch [kwk] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvmot,
Leistung Komponente [etc]
* Stromkennzahl

Investition spezifisch [etc] = Investition BHKW spezifisch * 0.5

Investition spezifisch [hpt] = LOOKUP FORWARD(thptspez,
Gesamtanschlußwert Markt / 4)
/ Streckenlast

Investition spezifisch [ans] = ZIDZ(Investition Anschluß,
Anschlußwert spezifisch[priv]) ~ DM/kW

Gebäudekosten spezifisch: Investitionskosten der Heizzentrale
Leistung Komponente: thermische oder elektrische Leistung pro Anlagekomponente
tinvkes: Tabellenwert für spezifische Investitionskosten der Heizkessel
Investition BHKW spezifisch: spezifische Investitionskosten der gesamten BHKW-Anlage
thptspez:Tabellenwert der spezifischen Investitionskosten des Leitungsnetzes
Gesamtanschlußwert Markt: Gesamtanschlußwert aller Gebäudeeinheiten
Investition Anschluß: Investitionskosten pro Hausanschluß
Anschlußwert spezifisch[priv]: Anschlußwert pro Hausanschluß

(181) Schalter Gebäudenutzung = 1 ~ dmls

Schalter Gebäude: Schalter zur Wahl einer Heizzentrale oder eines vorhandenen Heizraums

(182) tinvkes ([(0,0)-(2000,200)],(0,200),(200,200),(300,150),
(500,100),(750,65),(1000,45),(1250,35),(1500,35)) ~ DM/kW

(183) tinvmot ([(0,0)-(2000,4000)],(0,3500),(50,3500),
(100,2000),(200,1500),(400,1200),(600,1000),(1000,850),
(1200,800),(1500,750),(2000,750)) ~ DM/kW

(184) thptspez ([(0,0)-(20000,4000)],(0,380),(40,380),(90,420),
(150,470),(280,550),(570,630),(1000,650),(1700,770),
(3000,840),(5000,940),(10000,1120),(20000,1180)) ~ DM/m

Die Kosten für den baulichen Teil der Heizzentrale betragen 50 % der gesamten Investitionen des Blockheizkraftwerks ohne Motor- und Kesselanlage. Die spezifischen Kosten des Gebäudes errechnen sich anhand der im Endausbau installierten thermischen Leistung. Für ein Heizwerk ohne Kraft-Wärme-Kopplung werden spezifische Kosten von 120 DM/kW$_{th}$ vorgegeben.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(185) Gebäudekosten spezifisch = IF THEN ELSE(Schalter KWK=1:AND:
Motoren geplant>0,
Investition BHKW spezifisch
* Leistung Komponente [etc]
* 0.5, 120) / Leistung Komponente [geb] ~ DM

Gebäudekosten spezifisch: spezifische Investitionskosten der Heizzentrale
Investition BHKW spezifisch: spezifische Investitionskosten der gesamten BHKW-Anlage
Schalter KWK: Schalter zur Wahl von Kraft-Wärme-Kopplung oder Heizwerk
Motoren geplant: vorgesehene Anzahl an BHKW-Modulen
Leistung Komponente: thermische bzw. elektrische Leistung pro Anlagekomponente

Die spezifischen Investitionskosten für das Blockheizkraftwerk ohne Heizkessel und Motoraggregate umfassen den baulichen Teil, die elektrotechnische Einheit einschließlich der Motorsteuerung und der stromtechnischen Einbindung, Rohrleitungen, Armaturen sowie periphere Anlagebestandteile wie Abgassystem, Belüftung oder Gasversorgung. Die spezifischen Kosten beziehen sich auf die im Endausbau vorgesehene elektrische Leistung. In Abbildung 35 sind die spezifischen Investitionskosten des Blockheizkraftwerks in Abhängigkeit von der Motorleistung gezeigt. Mit der Installation eines Wärmespeichers steigen die Investitionskosten um 5 %.

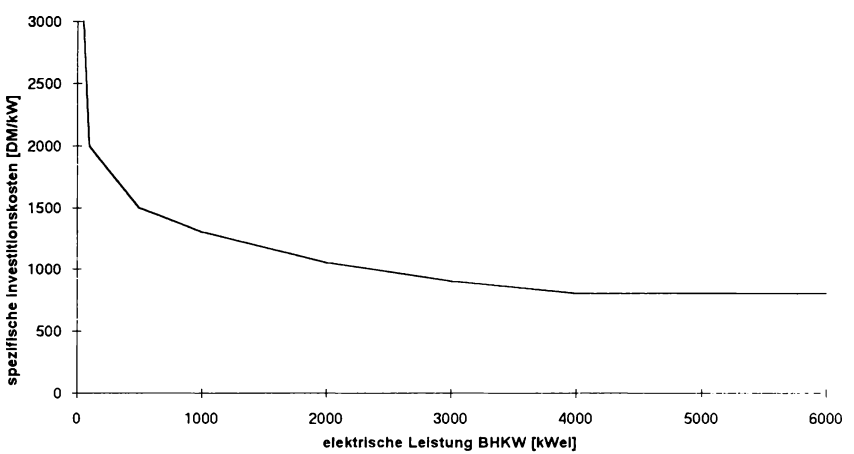

Abb. 35: Spezifische Investitionskosten für Blockheizkraftwerke

(186) Investition BHKW spezifisch = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvspez,
Leistung Komponente [etc]
* Motoren geplant)
* (0.95 + Schnittpunkt/10) ~ DM/kW

tinvspez: Tabellenwert der spezifischen Investitionskosten eines BHKW
Leistung Komponente [etc]: elektrische Motorleistung
Motoren geplant: vorgesehene Anzahl an BHKW-Modulen
Schnittpunkt: Schnittpunkt der Motorleistung mit der geordneten Wärmelastkurve

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(187) (tinvspez ([(0,0)-(6000,4000)],(50,3000),
(100,2000),(500,1500),(1000,1300),(2000,1050),
(3000,900),(6000,900),(6000,900)) ~ DM/kW

Zur Berechnung der spezifischen Investitionskosten der Hausanschlüsse werden zunächst die Kosten pro Hausanschluß ermittelt. Mit Hilfe des spezifischen Anschlußwerts der Hausanschlüsse werden die spezifischen Kosten bezogen auf die thermische Leistung errechnet. Die Kosten pro Hausanschluß sind, wie in Abbildung 36 dargestellt, vom spezifischen Anschlußwert eines Gebäudes und damit von dessen Größe abhängig.

(188) Investition Anschluß = (LOOKUP EXTRAPOLATE(tansspez,
Anschlußwert spezifisch [priv]) ~ DM

tansspez: Tabellenwert der Kosten pro Hausanschluß
Anschlußwert spezifisch: mittlerer Anschlußwert pro Hausanschluß

(189) tansspez ([(0,0)-(1000,20000)],(0,0),(12,4000),(33,9000),
(100,11000),(500,13000),(1000,13000)) ~ DM/kW

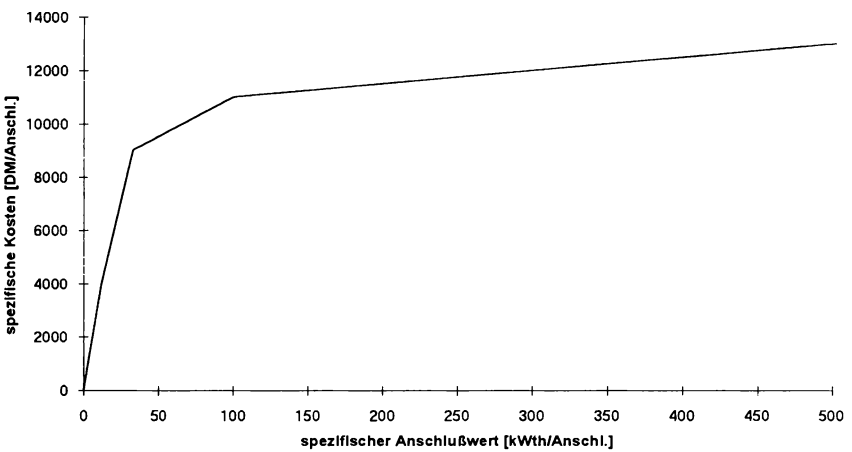

Abb. 36: Spezifische Hausanschlußkosten für unterschiedliche Anschlußwerte

2. Finanzmittelherkunft für Anlageinvestitionen

Der Finanzmittelbedarf für Investitionen wird durch das Instrument der Innen- und Außenfinanzierung gedeckt (Abbildung 37). Die Innenfinanzierung basiert auf thesaurierten Gewinnen, welche als liquide Geldmittel vorliegen. Die Kapitalbeschaffung erfolgt bei Außenfinanzierung durch Aufnahme von Fremdkapital.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

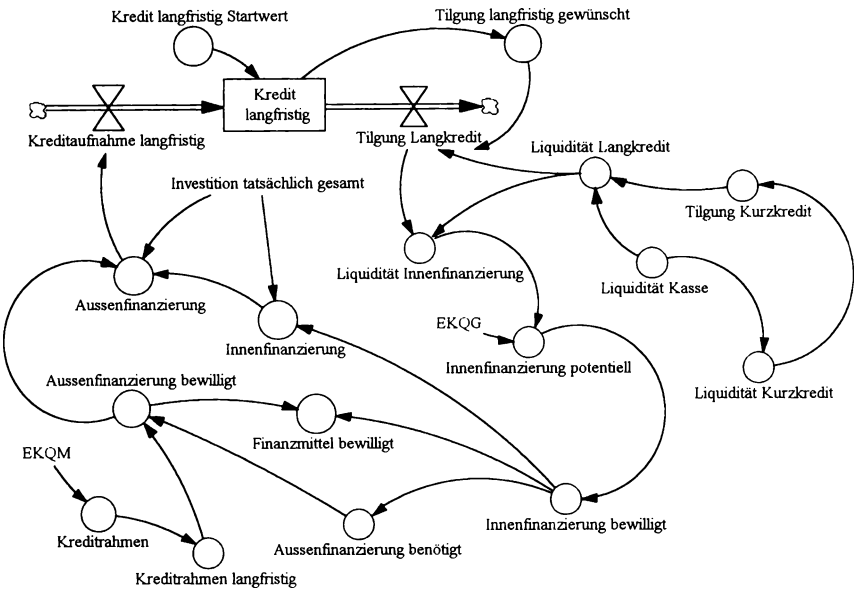

Abb. 37: Finanzmittelherkunft für Anlageinvestitionen

(190) Finanzmittel bewilligt = Innenfinanzierung bewilligt
+ Außenfinanzierung bewilligt ~ DM/Monat

Das Unternehmen prüft, in welchem Umfang benötigte Investitionen in Anlagen zur Wärmeerzeugung und das Leitungsnetz durch Innnenfinanzierung befriedigt werden können. Die dafür vorgesehenen Finanzmittel werden durch die potentiellen Geldmittel zur Innenfinanzierung begrenzt. Dazu müssen gemäß der Priorität der Zahlungsverpflichtungen des Versorgungsunternehmens wie Kapitaldienst und laufende Kosten, unterschiedliche Liquiditätswerte ermittelt werden. Zur Innenfinanzierung können erst die nach Abzug aller laufenden Zahlungsverpflichtungen sowie der zur Tilgung langfristiger Bankkredite übrigen liquiden Mittel eingesetzt werden. Es wird nur ein Teil der liquiden Geldmittel in Höhe der gewünschten Eigenkapitalquote für Innenfinanzierung bewilligt, so daß zur Deckung der laufenden Kosten des Unternehmens in der darauffolgenden Periode Geldmittel verfügbar bleiben. Die Innenfinanzierung wird durch die tatsächlich getätigten Investitionen begrenzt, falls diese die bewilligten Mittel zur Innenfinanzierung übersteigen.

(191) Innenfinanzierung = MIN(Investition tatsächlich gesamt,
Innenfinanzierung bewilligt) ~ DM/Monat

Investition tatsächlich gesamt: tatsächlich ausgeführte Investitionen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(192) Innenfinanzierung bewilligt = MIN(Innenfinanzierung benötigt gesamt, Innenfinanzierung potentiell) ~ DM/Monat

Investition benötigt gesamt: benötigte Investitionen einer Periode

(193) Innenfinanzierung potentiell = MAX(Liquidität Innenfinanzierung * EKQG, 0) ~ DM/Monat

EKQG: gewünschte Eigenkapitalquote
Liquidität Innenfinanzierung: Liquide Mittel zur Innenfinanzierung

(194) Liquidität Innenfinanzierung = Liquidität Langkredit - Tilgung Langkredit ~ DM/Monat

Liquidität Langkredit: Liquide Mittel zur Tilgung langfristiger Kredite
Tilgung Langkredit: Tilgung langfristiger Kredite

Eine Finanzierungslücke muß mit Hilfe der Außenfinanzierung über Bankkredite geschlossen werden. Ein entsprechender Fremdkapitalbedarf resultiert aus der Differenz von benötigten Investitionen und durch Innenfinanzierung verfügbare Finanzmittel. Fremdkapital zur Finanzierung von Anlageinvestitionen wird durch Aufnahme langfristiger Bankkredite bereitgestellt. Dazu legt die Bank einen Kreditrahmen für das Unternehmen fest, der sich an dem vorhandenen Eigenkapital einer Periode und einem unteren Limit der Eigenkapitalquote am gesamten Kapital orientiert. Der Kreditrahmen für langfristige Bankkredite, bezogen auf die jeweilige Periode, errechnet sich aus dem gesamten Kreditrahmen nach Abzug des Fremdkapitals. Sofern wegen fehlender Finanzmittel die benötigten Investitionen nicht in vollem Umfang zu realisieren sind, werden langfristige Bankkredite nur in Höhe der Differenz der tatsächlich ausgeführten Investitionen und den bereitgestellten Finanzmittel aus Innenfinanzierung aufgenommen.

(195) Aussenfinanzierung = MIN(Investition tatsächlich gesamt - Innenfinanzierung, Aussenfinanzierung bewilligt) ~ DM/Monat

Investition tatsächlich gesamt: tatsächlich ausgeführte Investitionen

(196) Außenfinanzierung bewilligt = MIN(Außenfinanzierung benötigt, Kreditrahmen langfristig) ~ DM/Monat

Kreditrahmen langfristig: Kreditrahmen für langfristige Bankkredite

(197) Außenfinanzierung benötigt = Investition benötigt gesamt - Innenfinanzierung bewilligt ~ DM/Monat

(198) Kreditrahmen langfristig = MAX(Kreditrahmen - Fremdkapital, 0) ~ DM/Monat

(199) Kreditrahmen = ZIDZ(Eigenkapital,EKQM) ~ DM/Monat

EKQM: unteres Limit der Eigenkapitalquote

(200) EKQM = 0.1 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Der Bestand an langfristigen Bankkrediten errechnet sich periodenweise aus der Kreditaufnahme und der Tilgungsrate. Die Kreditaufnahme stimmt mit der tatsächlich vorgenommenen Außenfinanzierung überein. Die gewünschte Tilgungsrate der langfristigen Kredite orientiert sich an der Anlagekomponenten mit der kürzesten Nutzungsdauer, welche in der Regel durch die Motoraggregate repräsentiert wird[18]. Damit soll gewährleistet werden, daß nach der kalkulatorischen Abschreibungszeit das langfristig gebundene Fremdkapital zurückgezahlt ist. Die tatsächliche monatliche Tilgung wird durch die gewünschte Tilgungsrate und den zur Tilgung vorhandenen liquiden Mittel begrenzt. Die Möglichkeit zur Tilgung langfristiger Kredite errechnet sich aus den liquiden Kassenmittel nach Abzug der Tilgung kurzfristiger Kredite.

(201) Kredit langfristig = INTEG(Kreditaufnahme langfristig - Tilgung Langkredit, Kredit langfristig Startwert) ~ DM

Tilgung Langkredit: Tilgung langfristiger Kredite
Kredit langfristig Startwert: Langfristige Kredite zu Projektbeginn

(202) Kredit langfristig Startwert = Anlagverm Startwert + Geldmittel Startwert - Eigenkapital Startwert ~ DM

Anlagverm Startwert: Anlagevermögen zu Projektbeginn
Geldmittel Startwert: Liquide Mittel zu Projektbeginn
Eigenkapital Startwert: Eigenkapital zu Projektbeginn

(203) Kreditaufnahme langfristig = Aussenfinanzierung ~ DM/Monat

(204) Tilgung Langkredit = MIN(Tilgung langfristig gewünscht, Liquidität Langkredit) ~ DM/Monat

Liquidität Langkredit: Liquide Mittel zur Tilgung langfristiger Kredite
Tilgung langfristig gewünscht: gewünschte Tilgung langfristiger Bankkredite

(205) Liquidität Langkredit = MAX(Liquidität Kasse - Tilgung Kurzkredit,0) ~ DM/Monat

Tilgung Kurzkredit: Tilgung kurzfristiger Kredite

(206) Tilgung langfristig gewünscht=Kredit langfristig/(Umrechnung Monat * VMIN(Nutzungsdauer [Kompo!]) ~ DM/Monat

Umrechnung Monat: Umrechnungsfaktor von jährlicher auf monatliche Rechnungsperiode

3. Kosten- und Leistungsrechnung

Der periodenbezogene Erfolg der Geschäftstätigkeit des Versorgungsunternehmens wird auf Grundlage einer Kosten- und Leistungsrechnung mittels des Betriebsergebnisses bewertet (Abb. 38). Da die Produktion und der Absatz von Strom und Wärme innerhalb einer Periode als nahezu synchron vorausgesetzt

[18] Zu beachten ist, daß entgegen einer annuitätischen Wirtschaftlichkeitsrechnung die monatlichen Tilgungsraten degressiv verlaufen. Im Modell wird von einer Tilgung von 15 Jahren ausgegangen, welche der Nutzungsdauer der Motoranlage entspricht.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

wird, resultiert der Betriebsgewinn oder Betriebsverlust im Rahmen des Gesamtkostenverfahrens aus der Differenz zwischen den Erlösen aus dem Wärme- und Stromabsatz und den Gesamtkosten einer Abrechnungsperiode[19]. Die Umsatzerlöse und Kosten werden monatsweise ermittelt. Das kumulierte Betriebsergebnis errechnet sich aus der Summe der Salden der einzelnen Abrechnungsperioden. Das kumulierte und verzinste Betriebsergebnis errechnet sich auf Basis der Kapitalmarktzinsen, die vereinfacht den langfristigen Kreditzinsen entsprechen.

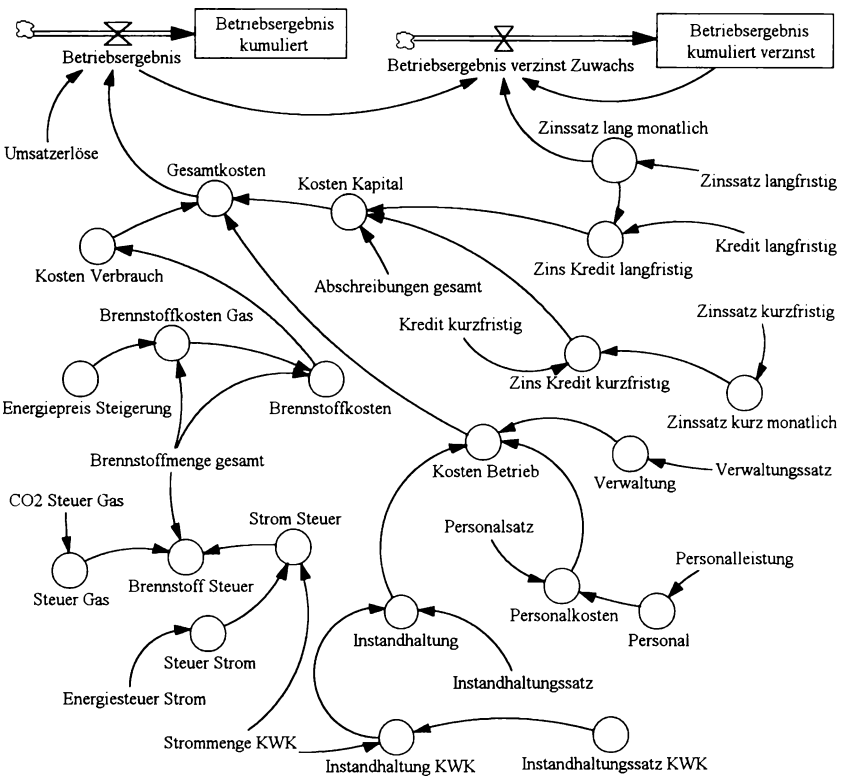

Abb. 38: Die Kosten- und Leistungsrechnung

(207) Betriebsergebnis kumuliert = INTEG(Betriebsergebnis,0) ~ DM

(208) Betriebsergebnis = Umsatzerlöse - Gesamtkosten ~ DM/Monat

(209) Betriebsergebnis kumuliert verzinst = INTEG((Betriebsergebnis verzinst Zuwachs,Betriebsergebnis kumuliert verzinst), Betriebsergebnis verzinst Zuwachs - Betriebsergebnis) ~ DM

Betriebsergebnis verzinst Zuwachs: monatlicher Zuwachs an verzinstem Betriebsergebnis

[19] Siehe Kapitel B.III.2, Ermittlung der Wärmegestehungskosten.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(210) Betriebsergebnis verzinst Zuwachs = ACTIVE INITIAL
(((1+Zinssatz lang monatlich) *
Betriebsergebnis kumuliert verzinst)
+ Betriebsergebnis,Betriebsergebnis) ~ DM/Monat

Zinssatz lang monatlich : monatlicher Zinssatz auf langfristiges Fremdkapital

Die Gesamtkosten umfassen die Kapital- sowie die Verbrauchs- und Betriebskosten[20].

(211) Gesamtkosten = Kosten Kapital + Kosten Verbrauch
+ Kosten Betrieb ~ DM/Monat

Die betriebsgebundenen Kosten setzen sich aus den Personalkosten, den Kosten für die Instandhaltung der jeweiligen Anlagekomponenten und den Verwaltungskosten der Nahwärmeversorgung zusammen[21].

(212) Kosten Betrieb = Personalkosten + Instandhaltung
+ Verwaltung ~ DM/Monat

Die Motoraggregate eines Blockheizkraftwerks werden auf Grundlage eines Vollwartungsvertrags instandgehalten. Die Wartungskosten orientieren sich an der erzeugten monatlichen Strommenge, die wiederum an die Motorlaufzeiten gebunden sind. Lange Laufzeiten führen zu höherem Verschleiß und damit zu einer umfangreicheren Wartung. Die spezifischen Wartungskosten sind zudem von der Motorleistung abhängig (Abbildung 39). Für größere Moduleinheiten verringert sich der spezifische Wartungsaufwand. Das zu Anschaffungskosten bewertete Anlagevermögen bildet die Grundlage zur Ermittlung der Instandhaltungskosten der übrigen Anlagekomponenten. Für den Wartungsaufwand der jeweiligen Komponentengruppen werden die in der Praxis üblichen Kostensätze veranschlagt.

(213) Instandhaltung = SUM(Anlagverm Anschaffkost [Inskomp!]
* Instandhaltungssatz [Inskomp!] / Umrechnung Monat)
+ Instandhaltung KWK ~ DM/Monat

Instandhaltung KWK: Instandhaltungskosten für die BHKW-Motoren
Anlagverm Anschaffkost: Zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen
Umrechnung Monat: Umrechnungsfaktor von jährlicher auf monatliche Periode
Inskomp: Index aller Anlagekomponenten außer BHKW-Motoren

(214) Inskomp : geb, kes, etc, hpt

(215) Instandhaltungssatz [Insomp] = 0.01, 0.02,0.01, 0.02 ~ dmls

---

[20] Vgl. VDI-Richlinie 2067: Blatt 7, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Dezember, 1988.

[21] Die Verwaltungskosten, einschließlich der Versicherungsprämien, werden entgegen der VDI-Richtlinie 2067 den Betriebskosten zugerechnet.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(216) Instandhaltung KWK = Strommenge KWK
* Instandhaltungssatz KWK ~ DM/MWh

Instandhaltung KWK: Instandhaltungskosten für die BHKW-Motoren

(217) Instandhaltungssatz KWK = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinstand,
Leistung Komponente[etc]) ~ DM/MWh

tinstand: Tabellenwerte für Instandhaltungsatz der BHKW-Motoren
Leistung Komponente[etc]: elektrische Leistung eines Motoraggregates

(218) tinstand ([(0,0)-(2000,200)],(0,0),(50,35),(100,35),
(200,30),(500,25),(1500,20),(2000,15)) ~ DM/MWh

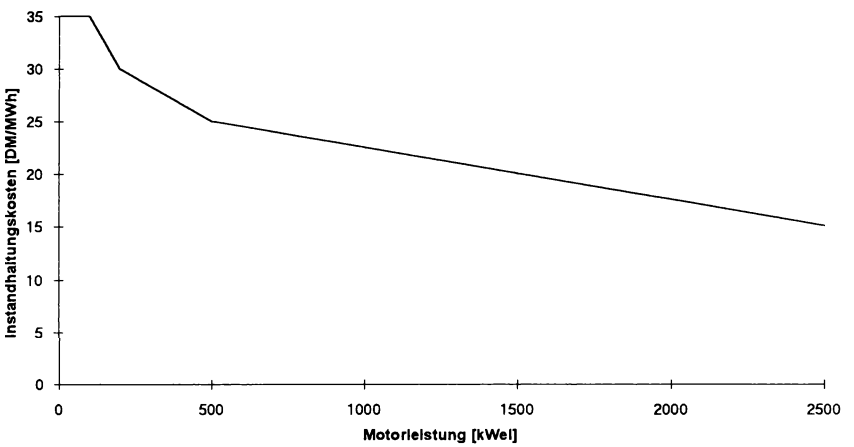

Abb. 39: Wartungs- und Instandhaltungskosten der Motoraggregate

Die Verwaltungskosten errechnen sich gleichfalls aus dem zu Anschaffungskosten bewerteten Anlagevermögen und dem Verwaltungssatz, welcher zusätzlich die Versicherungsprämien für sämtliche Anlageteile zur Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung enthält. Der Verwaltungskostensatz wird mit 1,5% veranschlagt.

(219) Verwaltung = Anlagverm Anschaffkost gesamt * Verwaltungssatz
/ Umrechnung Monat ~ DM/MWh

Anlagverm Anschaffkost gesamt:gesamtes zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen
Verwaltungssatz: Kostensatz für Verwaltung

(220) Verwaltungssatz = 0.015 ~ dmls

Die gesamten Personalkosten eines Monats errechnen sich aus dem Personalbestand zur Betriebsführung, Bedienung und Wartung der Kraftwerks-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

anlage. Die Wartung und der Betrieb kleinerer Blockheizkraftwerke wird im Rahmen von Wartungsverträgen durch Betreiberfirmen oder Anlagebauer ausgeführt. Dem Nahwärmeversorger entstehen dennoch für Bedienung und Beaufsichtigung der Anlage Personalkosten. Der Personalbedarf wird abhängig von der in der Heizzentrale zu installierenden Kessel- und Motorleistung als Maßzahl für die Größe des Nahwärmeprojekts berechnet. Ein Mitarbeiter beaufsichtigt eine Kraftwerksleistung von 8000 kW_{el}, so daß pro 2000 kW_{th} installierter thermischer Kraftwerkskapazität 10 Wochenstunden angerechnet werden.

(221) Personalkosten = Personal * Personalsatz/Umrechnung Monat ~ DM

Personalsatz: Lohnkosten pro Personalstelle

(222) Personal = ZIDZ(QUANTUM(Kapazität [geb], Personalleistung/4),
Personalleistung / 4) * 0.25 + 0.25 ~ dmls

Kapazität [geb]: aufgrund einer Investitionsentscheidung nach Zubau resultierende Gebäudekapazität
Personalleistung: von einer Personalstelle zu betreuende Kraftwerksleistung

(223) Personalleistung = 8000 ~ 1/kW

(224) Personalsatz = 40000 ~ DM/a

Die verbrauchsgebundenen Kosten umfassen die gesamten Brennstoffkosten der Motoranlage sowie der Heizkessel. Außerdem wird auf die Verbrauchskosten eine CO_2-/Energiesteuer für den Brennstoffeinsatz bzw. eine ausschließlich emissionsbezogene Steuer verrechnet.

(225) Kosten Verbrauch = Brennstoffkosten + Steuer ~ DM/Monat

Steuer: Besteuerung des eingesetzten Brennstoffs bzw. Energieinhalts

Die monatlichen Brennstoffkosten resultieren aus dem Brennstoffverbrauch und dem Brennstoffpreis. Dieser ist von der Höhe des jährlichen Energieeinsatzes abhängig. Der Energiepreis wird vereinfacht als Mischpreis aus einer leistungs- und arbeitsbezogenen Komponenten angegeben.

(226) Brennstoffkosten = Brennstoffmenge gesamt
* Brennstoffkosten Gas ~ DM/Monat

Brennstoffmenge gesamt: gesamte in der Kraftwerksanlage verbrauchte Brennstoffmenge

(227) Brennstoffkosten Gas = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst,
Brennstoffmenge gesamt* Umrechnung Monat)
* Energiepreis Steigerung ~ DM/MWh

tbrkst: Tabellenwert für Brennstoffkosten

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die Besteuerung im Sinne einer "Ökosteuer" kann wahlweise nach dem Kohlendioxidgehalt des eingesetzen Brennstoffs oder als kombinierte CO_2-/ Energiesteuer erfolgen. Im Falle einer emissionsbezogenen Steuer werden die Kohlenstoffemissionen der BHKW-Anlage nach Abzug der vermiedenen CO_2-Emissionen aufgrund der substituierten Stromerzeugung zugrunde gelegt.

(228) Steuer = IF THEN ELSE(Schalter Emissionssteuer=0,
CO2-Energie Steuer, Emissionssteuer) ~ DM/MWh

Schalter Emissionssteuer: Schalter zur Wahl einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer oder emissionsbezogene Steuer

(229) Emissionssteuer = Emissionen BHKW * CO2 Steuer Gas /1000 ~ DM/MWh

Steuer CO Gas: CO_2-Steueranteil auf Erdgas

Die CO_2-/Energiesteuer bezieht sich auf den gesamten Brennstoffverbrauch des Blockheizkraftwerks einschließlich Kessel- und Motoranlage. Der Steuersatz für die CO_2-/Energiesteuer wird pro Energieeinheit angegeben. Der Vorteil des rationellen Energieeinsatzes in Kraft-Wärme-Kopplung liegt darin begründet, daß der anfallende elektrische Strom nicht anderweitig in einem Kraftwerk unter zusätzlichem Brennstoffeinsatz erzeugt werden muß. Gemäß der Restwertmethode wird der Betrag der Energiesteuer für den erzeugten Strom in Abzug zu gebracht.

(230) CO2-Energie Steuer = Brennstoffmenge gesamt * Steuer Gas
- Strom Steuer ~ DM/Monat

Brennstoffmenge gesamt: gesamte in der Kraftwerksanlage verbrauchte Brennstoffmenge
Steuer Gas: gesamter Steueranteil auf Gas einschließlich Energie- und Emissionsanteil

(231) Steuer Gas:HOLD_BACKWARD: := IF THEN ELSE(
Schalter Steuer = 1,Steuer CO Gas
+ Steuer Energ,0) ~ DM/MWh

Schalter Steuer: Schalter zur Besteuerung des Energieverbrauchs bzw. der CO_2-Emissionen
Strom Steuer: Energiesteuer auf den erzeugten Strom
Steuer CO Gas: CO_2-Steueranteil auf Erdgas
Steuer Energ: Energiesteueranteil

(232) Strom Steuer = Strommenge KWK * Steuer Strom ~ DM/Monat

(233) Steuer Strom :HOLD_BACKWARD: := IF THEN ELSE(Schalter Steuer=1,
Steuer Energ Strom,0) ~ DM/MWh

Steuer Energ Strom: Energiesteueranteil auf Strom

Die kapitalgebundenen Kosten einer Periode enthalten die gesamten kalkulatorischen Abschreibungen auf Anlageinvestitionen sowie die Zinsen auf kurz- und langfristige Kredite.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(234) Kosten Kapital = Abschreibungen gesamt + Zins Kredit langfristig
+ Zins Kredit kurzfristig ~ DM/Monat

Zins Kredit langfristig: Zinsen auf langfristige Bankkredite
Zins Kredit kurzfristig: Zinsen auf kurzfristige Bankkredite

Die kalkulatorischen Abschreibungen orientieren sich an den bilanziellen Abschreibungssätzen. Grundlage ist die Höhe der Anschaffungskosten der Anlagekomponenten und deren Nutzungsdauer. Die Anlagekomponenten müssen getrennt betrachtet werden, da ihnen unterschiedliche Nutzungszeiten zugrundeliegen. Beispielsweise werden für Kesselanlagen 20 Jahre, für Motoraggregate jedoch aufgrund stärkeren Verschleißes nur 15 Jahre angesetzt[22]. Die Abschreibung erfolgt nach linearem Modus, so daß eine ausreichende Substanzerhaltung gewährleistet ist[23]. Die gesamten Abschreibungen eines Monats setzen sich aus der Summe der Abschreibungen der jeweiligen Anlagekomponenten zusammen.

(235) Abschreibungen gesamt = SUM(Abschreibungen [Kompo!]) ~ DM/Monat

Abschreibungen [Kompo]: kalkulatorische Abschreibungen pro Anlagekomponente

(236) Abschreibungen [Kompo] = Anlagverm Anschaffkost [Kompo]
/ (Nutzungsdauer [Kompo]
* Umrechnung Monat) ~ DM/Monat

Anlagverm Anschaffkost [Kompo]: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen
Umrechnung Monat: Umrechnung von jährlicher auf monatliche Rechnungsperiode

(237) Nutzungsdauer [Kompo] = 50, 30, 15, 20, 25, 25 ~ Jahr

Die Zinszahlungen werden monatlich entrichtet. Der jährliche Zinssatz wird dazu auf die Abrechnungsperiode eines Monats umgerechnet. Die Zinsen auf kurz- und langfristiges Fremdkapital werden über den Betrachtungszeitraum als konstant angenommen.

(238) Zins Kredit langfristig = Kredit langfristig
* Zinssatz lang monatlich ~ DM/Monat

Zinssatz lang monatlich: monatlicher Zinssatz für langfristige Bankkredite

(239) Zinssatz lang monatlich =POWER(1+Zinssatz langfristig,1/12) -1 ~ 1/Monat

(240) Zinssatz langfristig = 0.075 ~ dmls

---

[22] Vgl. VDI-Richlinie 2067: Blatt 1, Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlage, Düsseldorf, Dezember 1983, S. 25, sowie VDI-Richlinie 2067: Blatt 7, Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen, Blockheizkraftwerke, Düsseldorf, 1988, S.5.

[23] Vgl. *Saibl*, Barthold: Die Substanzerhaltung der EVU, Schulz Kirchner Verlag, Idstein, 1993, S. 116.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(241) Zins Kredit kurzfristig = Kredit kurzfristig * Zinssatz kurz monatlich
~ DM/Monat

Zinssatz kurz monatlich: monatlicher Zinssatz für kurzfristige Bankkredite

(242) Zinssatz kurz monatlich = POWER(1+Zinssatz kurzfristig,1/12)-1 ~ 1/Monat

(243) Zinssatz kurzfristig = 0.12 ~ 1/Monat

Die Ermittlung der spezifischen Kosten der Nahwärme ermöglicht einen Vergleich mit den Marktpreisen konkurrierender Wärmesysteme. Darüber hinaus dienen sie als Grundlage für eine kostenorientierte Preisfindung. Die spezifischen Gesamtkosten werden auf die tatsächlich von den Nahwärmekunden verbrauchte Nutzwärmemenge bezogen. Die Preiskalkulation basiert auf den spezifischen Wärmebereitstellungskosten. Diese umfassen die gesamten Kosten der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung, indem die Gesamtkosten nach der Restwertmethode um die Stromgutschrift vermindert werden.

(244) Gesamtkosten spezifisch = ZIDZ(Gesamtkosten, Gesamtnutzwärme)
~ DM/MWh

Gesamtnutzwärme: gesamte von den Nahwärmekunden bezogene Wärme

(245) Wärmebereitstellkosten spezifisch = ZIDZ(Gesamtkosten - Stromvergütung,
Gesamtnutzwärme) ~ DM/MWh

Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung ist es vorteilhaft, die spezifischen Wärmebereitstellungskosten differenziert nach den Kosten der Wärmeerzeugung und der Wärmeverteilung zu betrachten. Die spezifischen Verteilungskosten umfassen die Kapital- und Instandhaltungskosten des Wärmenetzes. Die Kapitalkosten werden anhand der kalkulatorischen Abschreibungen auf das Verteilungsnetz und der Fremdkapitalzinsen errechnet. Letztere sind aufgrund des gesamten Investitionsvolumens in das Wärmenetz und der Eigenkapitalquote abzuschätzen. Die spezifischen Wärmeerzeugungskosten resultieren aus der Differenz zwischen den spezifischen Wärmebereitstellungs- und Verteilungskosten.

(246) Verteilungskosten spezifisch = ZIDZ(Kapitalkosten Verteilung +
Instandhaltung Verteilung,
Gesamtnutzwärme) ~ DM/MWh

(247) Kapitalkosten Verteilung = SUM(Abschreibungen [Netz!])
+ Zinssatz lang monatlich
*Anlageverm Anschaffkost Netz
* (1-Eigenkapital Quote) ~ DM/Monat

Zinssatz lang monatlich: monatlicher Zinssatz für langfristige Bankkredite
Anlageverm Anschaffkost Netz: zu Anschaffungskosten bewertetes Anlagevermögen des Leitungsnetzes

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(248) Instandhaltung Verteilung = Anlageverm Anschaffkost Netz
* Instandhaltungssatz [hpt]/
Umrechnung Monat ~ DM/Monat

(249) Wärmeerzeugkosten spezifisch = Wärmebereitstellkosten spezifisch -
Verteilungskosten spezifisch ~ DM/MWh

Die Wirtschaftlichkeit des Nahwärmeprojekts kann unter Angabe wesentlicher Kenngrößen bewertet werden. Dazu werden als Kennzahlen das Verhältnis aus fixen und variablen Kosten ermittelt. Neben den Kapitalkosten werden die Betriebskosten, die im wesentlichen von der installierten Leistung abhängig sind, zu den Fixkosten gezählt. Davon muß der Wartungsaufwand für die Motoranlage, der an die Auslastung gebunden ist, abgezogen und ebenso wie die Verbrauchskosten den variablen Kosten zugeordnet werden.

(250) Kosten fix = Kosten Kapital + Kosten Betrieb
- Instandhaltung KWK ~ DM/Monat

Instandhaltung KWK: Instandhaltungskosten für die BHKW-Motoren

(251) Kosten variabel = Kosten Verbrauch + Instandhaltung KWK ~ DM/Monat

(252) Kostenverhältnis fix = ZIDZ(Kosten fix,Gesamtkosten) ~ dmls

(253) Kostenverhältnis variabel = ZIDZ(Kosten variabel,Gesamtkosten) ~ dmls

Die Umsatzerlöse untergliedern sich in Erlöse aus dem Verkauf der Nahwärme und der Vergütung des erzeugten Stroms.

(254) Umsatzerlöse = Wärmeerlös gesamt + Stromvergütung ~ DM/Monat

Die von den Kunden bezogene Jahreswärmemenge verteilt sich gleichmäßig auf zwölf Monate, so daß eine jahreszeitliche Differenzierung entfällt. Entsprechend erfolgt die Abrechnung der Nahwärme zu gleichen monatlichen Beträgen auf Basis des erhobenen Wärmepreises. Wegen unterschiedlicher Wärmepreise müssen die Wärmeerlöse von Sonderkunden und privaten Haushalten differenziert betrachtet werden. Die Summe der Erlöse beider Kundengruppen ergibt die gesamten Wärmeerlöse.

(255) Wärmeerlös gesamt = SUM(Wärmeerlös [kdn!]) ~ DM/Monat

(256) Wärmeerlös [kdn] = Wärmepreis tatsächlich [kdn] * Nutzwärme [kdn]
~ DM/Monat

Für die Stromvergütung, welche maßgeblich zum wirtschaftlichen Erfolg eines Nahwärmeprojekts beiträgt, können zwei unabhängige Vergütungsmodelle ausgewählt werden. Zum einen kann die Stromeinspeisung nach der Ver-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bändevereinbarung bewertet werden. Zum anderen wird der Strom aus dem verdrängten Strombezug und der Vergütung für die Netzeinspeisung durch einen Elektrizitätsversorger bewertet. Die Stromerlöse werden periodenweise verbucht.

(257) Stromvergütung = IF THEN ELSE (Schalter Verbändemodell = 1,
Stromvergütung sonst,
Stromvergütung Verbände) ~ DM/Monat

Stromvergütung sonst: Stromvergütung in Höhe der verdrängten Strombezugskosten oder den Tarifen der Netzeinspeisung
Stromvergütung Verbände: Stromvergütung nach Verbändevereinbarung
Schalter Verbändemodell: Schalter zur Wahl des Tarifmodells zur Strombewertung

(258) Schalter Verbändemodell = 0 ~ dmls

(259) Stromvergütung sonst = Strombezug verdrängt + Stromvergütung EVU
~ DM/Monat

Strombezug verdrängt: verdrängte Strombezugskosten
Stromvergütung EVU: Stromvergütung für Netzeinspeisung

Für die Netzeinspeisung von nicht eigengenutztem Strom wird außerhalb des Vergütungsmodells nach der Verbändevereinbarung vereinfacht ein fiktiver Mischpreis aus Arbeits- und Leistungstarif vorgegeben. Da der Eigenstromanteil im wesentlichen von der Bedarfscharakteristik der angeschlossenen Verbraucher abhängig ist, müßte eine detaillierte Abbildung der Tagesganglinien der Stromerzeugung und des Strombedarfs auf Grundlage viertelstündig gemessener Werte erfolgen. Dieses Vorgehen würde jedoch den Rahmen des Simulationsmodells sprengen. Daher wird vereinfacht der Anteil des Eigenstromverbrauchs an der gesamten Stromerzeugung als fester Wert vorgegeben.

(260) Stromvergütung EVU = Strommenge KWK * (1 - Stromeigenanteil)
* Stromtarif Verkauf ~ DM/Monat

Stromtarif Verkauf: Tarif für den Verkauf von Strom in das Verteilungsnetz
Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge

(261) Stromtarif Verkauf = 100 ~ DM/MWh

(262) Stromeigenanteil = 0 ~ dmls

Die Bewertung des verdrängten Strombezugs orientiert sich an einer Arbeits- und Leistungspreisregelung. Grundlage ist ein Arbeitspreis für den Bezug von Strom und ein Leistungspreis für die Bereitstellung einer elektrischen Leistung durch einen Energieversorger. Die Leistungsvergütung errechnet sich anhand des verdrängten Strombezugs von einem Energieversorger. Mit zunehmendem Stromeigenanteil erhöht sich der Leistungspreis. Der Arbeitspreis errechnet sich differenziert nach Hoch- und Niedrigtarifzeiten. Im

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Simulationsmodell wird die Quantifizierung der Strommengen in den unterschiedlichen Zeitzonen durch einen Wahrscheinlichkeitswert vorgegeben. Auf die Hochtarifzeit sollen 66 % des gesamten jährlichen Stromabsatzes entfallen. Der Niedrigtarifzeit werden 34 % zugerechnet[24].

(263) Strombezug verdrängt = Vergütung Leistung + Vergütung Arbeit ~ DM/Monat

Vergütung Leistung: Bewertung einer nachgefragten Leistung
Vergütung Arbeit: Bewertung des Strombezugs

(264) Vergütung Leistung = Kapazität installiert [etc] * Leistungspreis EVU / Umrechnung Monat* Stromeigenanteil ~ DM/Monat

Kapazität installiert[etc]: gesamte installierte elektrische Leistung
Leistungspreis EVU: vom EVU geforderter Leistungspreis

(265) Leistungspreis EVU = 200 ~ DM/kW

(266) Vergütung Arbeit = (Stromtarif HT * Strommenge KWK * HT Anteil + Stromtarif NT * NT Anteil * Strommenge KWK) * Stromeigenanteil ~ DM/Monat

Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge
HT,NT Anteil: Anteil der Stromeinspeisung zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten
Stromvergütung HT,NT [Jazeit]: Stromtarif zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten abhängig von der Jahreshälfte

(267) Stromtarif HT = 143 ~ DM/MWh

(268) Stromtarif NT = 87 ~ DM/MWh

Die Vergütung von Überschußstrom nach der Verbändevereinbarung summiert sich aus dem Bonus für die eingespeiste elektrische Arbeit und einem Zuschlag nach der Verfügbarkeit der eingespeisten elektrischen Leistung. Zur Vereinfachung wird für die Strombewertung nach der Verbändevereinbarung keine Stromeigennutzung berücksichtigt[25].

(269) Stromvergütung Verbände = Stromvergütung Leistung + Stromvergütung Arbeit ~ DM/Monat

Stromvergütung Verbände: Stromvergütung nach der Verbändevereinbarung

Die Vergütung der eingespeisten Leistung erfolgt getrennt nach Jahreshälften. Der monatliche Mittelwert bezogen auf beide Rechnungszeiträume errechnet sich aus der Dauer der Einspeisung in Höhe der angemeldeten Soll-Leistung. Die Leistungsvergütung ist maßgeblich von der Laufzeit der Motor-

[24] Die Angabe des Wahrscheinlichkeitswertes basiert auf einem Rechenbeispiel der VDI-Richtlinie 2067; vgl. VDI-Richtlinie 2067: Blatt 7, Dezember 1988, S. 11.

[25] Eine kombinierte Bewertung nach der Verbändevereinbarung und Stromeigennutzung erfordert detallierte Tagesganglinien der Stromnutzung und -einspeisung zu den jeweiligen Hoch- und Niedrigtarifzeiten.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

aggregate abhängig. Die maximale Zeitdauer für die Stromeinspeisung beträgt 4000 Stunde pro Jahreshälfte. Wegen der stärkeren Auslastung eines Blockheizkraftwerks in den Wintermonaten wird der Leistungspreis im Winter mit einem Faktor 2/3 und im Sommer einem Wert von 1/3 gewichtet.

(270) Stromvergütung Leistung = SUM(Solleistung [Jazeit!]
* Leistungsanteil [Jazeit!] * Motorlaufzeit
Jazeit[Jazeit!] * Leistungspreis/
(Laufzeit Jahr/2)) ~ DM

Solleistung [Jazeit]: angemeldete elektrische Leistung pro Jahreshälfte
Leistungsanteil [Jazeit]: Gewichtung des Leistungspreises pro Jahreshälfte
Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit]: Motorlaufzeit pro Jahreshälfte
Laufzeit Jahr: maximale Laufzeit der Motoren pro Jahr
Jazeit: Index für Jahreshälfte

(271) Jazeit : som,win

(272) Laufzeit Jahr = 8000 ~ h/Jahr

(273) Leistungsanteil [Jazeit] = 0.33,0.66 ~ dmls

(274) Leistungspreis = 340 ~ DM/kW

Nach der Verbändevereinbarung ist dem Anlagebetreiber die Benennung einer Soll-Leistung freigestellt[26]. Die Soll-Leistung kann nur stufenweise in Höhe der elektrischen Motorleistung angemeldet werden. Für Blockheizkraftwerke mit mehreren Motoraggregaten wird im Sommer nur die elektrische Leistung eines Motors, welcher die Grundlast bereithält, als Soll-Leistung registriert. Im Winter werden unter der Voraussetzung höherer Auslastung zwei Aggregate angemeldet.

(275) Solleistung [Jazeit] = Motoren gemeldet [Jazeit] * Leistung Komponente [etc]
~ MW

Solleistung [Jazeit!]: angemeldete elektrische Leistung pro Jahreshälfte
Motoren gemeldet [Jazeit]: Anzahl der angemeldeten Motoren pro Jahreshälfte
Leistung Komponente [etc]: elektrische Motorleistung

(276) Motoren gemeldet [som] = MIN(Motoren,1) ~ dmls

Motoren gemeldet [win] = MIN(Motoren,2) ~ dmls

Die Motorlaufzeiten, welche der Leistungsvergütung zugrundeliegen, werden differenziert nach den jeweiligen Jahreshälften ermittelt. Dazu wird die gesamte Laufzeit der Motoren, zu der die Soll-Leistung eingespeist wird, festgestellt.

[26] Vgl. VIK: Weiterentwicklung der Verbändevereinbarung über die stromwirtschaftliche Zusammenarbeit vom 27.09.1994. In : VIK-Mitteilung 5/94: VDEW, Frankfurt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(277) Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit] = SUM(IF THEN ELSE(
Motoren gemeldet [Jazeit]
= Motoranzahl [Moto!],
Motorlaufzeit tatsächlich [Moto!],0))
~ h/Monat

Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit]: Laufzeit, zu der eine angemeldete elektrischen Leistung eingespeist wird
Motoren gemeldet [Jazeit]: Anzahl der angemeldeten Motoren pro Jahreshälfte
Motorlaufzeit tatsächlich [Moto]: tatsächliche Laufzeit pro Motor

Die Dauer der Einspeisung in Höhe der Soll-Leistung, welche sich auf das gesamte Jahr bezieht, muß auf die effektive Dauer während der Winter- und Sommerhälfte umgerechnet werden. Daraus errechnet sich ein monatlicher Durchschnittswert für den Sommer- und Winterbetrieb. Motorlaufzeiten unter 4000 Stunden im Jahr werden stärker auf die Winterhälfte gewichtet. Mit Laufzeiten über 4000 h/a werden die Aggregate verstärkt auch in den Sommermonaten ausgelastet.

(278) Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit] = IF THEN ELSE(Motorlaufzeit
Solleistung [Jazeit]>Laufzeit Monat / 2,
Laufzeit Monat/2 - (Laufzeit Monat-
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit]) *
(1- Laufzeit Verhältnis [Jazeit]),
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit] *
Laufzeit Verhältnis [Jazeit]) ~ h/Monat

Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit]: Motorlaufzeit pro Jahreshälfte
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit]: Laufzeit,in der eine angemeldete elektrischen Leistung eingespeist wird
Laufzeit Monat: maximale monatliche Laufzeit
Laufzeit Verhältnis [Jazeit]: jahreszeitliche Gewichtung der Laufzeit

(279) Laufzeit Monat = Laufzeit Jahr / Umrechnung Monat ~ h/Monat

(280) Laufzeit Verhältnis [Jazeit] = 0.2,0.8 ~ dmls

Die jahreszeitliche Differenzierung gilt ebenfalls für die Vergütung des erzeugten Stroms. Es werden vier Zeitzonen entsprechend der Hoch- und Niedrigtarifzeiten im Sommer und Winter berücksichtigt. Im Rahmen von Stromlieferungsverträgen ist eine Preisdifferenzierung vorzunehmen. Die Vergütung errechnet sich als monatlicher Mittelwert aus dem Produkt der Stromtarife der jeweiligen Zeitzonen und Strommengen sowie der Motorlaufzeit, welche der Vergütung zugrunde liegt.

(281) Stromvergütung Arbeit = Stromtarif Mittelwert * Strommenge KWK
~ DM/Monat

Stromtarif Mittelwert: Mittelwert der Stromvergütung für die eingespeiste elektrische Arbeit
Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(282) Stromtarif Mittelwert = ZIDZ(Stromtarif Arbeitszeit,
Motorlaufzeit Jazeit gesamt) ~ DM/MWh

Stromtarif Arbeitszeit: Produkt aus den Stromtarifen der jeweiligen Zeitzonen und der Stromarbeit
Motorlaufzeit Jazeit gesamt: Summe der zugrunde gelegten Motorlaufzeiten

(283) Motorlaufzeit Jazeit gesamt = SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!]) ~ h/a

Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit]: Motorlaufzeit pro Jahreshälfte

(284) Stromtarif Arbeitszeit = SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!]
* Stromvergütung HT [Jazeit!] * HT Anteil)
+ SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!]
* NT Anteil * Stromvergütung NT[Jazeit!])
~ DM/MWh

Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit]: Motorlaufzeit pro Jahreshälfte
HT,NT Anteil: Anteil der Stromeinspeisung zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten
Stromvergütung HT,NT [Jazeit]: Stromtarif zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten abhängig von der Jahreshälfte

(285) Stromvergütung HT [Jazeit] = 60,80 ~ DM/MWh

(286) HT Anteil = 0.8 ~ dmls

(287) Stromvergütung NT [Jazeit] = 47,63 ~ DM/MWh

(288) NT Anteil = 0.2 ~ dmls

Die spezifische Stromvergütung errechnet sich aus den erzielten Stromerlösen und der in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strommenge.

(289) Stromvergütung spezifisch = ZIDZ(Stromvergütung,Strommenge KWK)
~ DM/MWh

Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge

4. Kalkulation des Wärmepreises

Das Verfahren der Preisbildung ist abhängig von der Kundengruppe. Der anlegbare Wärmepreis muß bedingt durch die unterschiedlichen Objektgrößen für Sondervertragskunden und private Haushalte differenziert betrachtet werden. Sonderkunden wird vertraglich ein Wärmepreis in Höhe des anlegbaren Wärmepreises zugesichert. Privaten Haushalten kann wahlweise ein markt- oder kostenorientierter Wärmepreis angeboten werden. Dem marktorientierten Wärmepreis liegt das Anlegbarkeitsprinzip zugrunde.

Der kostenorientierte Ansatz zur Preiskalkulation basiert auf den spezifischen Kosten der Wärmebereitstellung entsprechend den Grenzkosten der

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Wärmegestehung für private Verbraucher. Dazu wird von den Gesamtkosten eine Gutschrift in Höhe der Erlöse der Sondervertragskunden abgezogen. Die verbleibenden Kosten werden auf die von den privaten Haushalten bezogene Wärmemenge umgerechnet. Zur Markteinführung der Nahwärme wird ein Wärmepreis anhand der geplanten Kosten der Wärmegestehung kalkuliert. Die Plankosten errechnen sich aus der antizipierten Anschlußentwicklung der Nahwärme.

Bei einem ausschließlich kostenorientierten Wärmepreis über dem Marktpreisniveau besteht für das Versorgungsunternehmen im Substitionswettbewerb die Gefahr, Kunden an konkurrierende Heizungssysteme zu verlieren. Dagegen verzichtet der Nahwärmeversorgunger bei einer sehr preisgünstigen Wärmebereitstellung unter dem Niveau des anlegbaren Preises auf Gewinne. Realistisch ist eine Mischform zwischen einer kosten- und marktorientierten Preisgestaltung. Der kalkulierte Wärmepreis wird auf die Nutzwärmemenge verrechnet.

(290) Wärmepreis tatsächlich [priv] = IF THEN ELSE(
Schalter Preiskalkulation=1,
Wärmepreis kostenorientiert,
Wärmepreis anlegbar [priv])

Wärmepreis tatsächlich [sond] = Wärmepreis anlegbar [sond] ~ DM/MWh

Schalter Preiskalkulation: Schalter zur Wahl des Verfahrens der Preisbildung
Wärmepreis kostenorientiert: auf Kostenbasis kalkulierter Wärmepreis
Wärmepreis anlegbar: anlegbarer Wärmepreis anhand der Kosten einer Ölheizung

(291) Schalter Preiskalkulation = 0 ~ dmls

Der kalkulierte Wärmepreis im privaten Sektor beruht auf dem anlegbaren Wärmepreis und einem Preisaufschlag, der sich an den spezifischen Wärmegestehungskosten orientiert. Kurzfristige Schwankungen des Wärmepreises werden von den Verbrauchern negativ aufgenommen. Daher sind die spezifischen Wärmegestehungskosten über einen Zeitraum von 2 Jahren zu glätten.

(292) Wärmepreis kostenorientiert = SMOOTH3(Wärmepreis anlegbar [priv]
+ Preisaufschlag, Glättung) ~ DM/MWh

Wärmekosten spezifisch: spezifische Wärmekosten für private Haushalte
Glättung: Glättungsfaktor 24 Monate bzw. 2 Jahre
Preisaufschlag: Preiskorrektur bei Abweichungen von tatsächlichem und anlegbarem Wärmepreis

(293) Glättung = 24 ~ Monat

Der Preisaufschlag auf den anlegbaren Wärmepreis ist abhängig von der Differenz der spezifischen Kosten und dem Marktpreisniveau. Liegen die spezifischen Wärmebereitstellungskosten unter dem anlegbaren Wärmepreis,

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

ermöglicht ein Preisaufschlag die Mitnahme von Gewinnen. Ein Preisabschlag verhindert bei über dem Marktniveau liegenden spezifischen Wärmekosten eine zu geringe Akzeptanz durch potentielle Kunden. Der Verlauf des Preisaufschlags in Abhängigkeit von der Preisdifferenz ist in Abbildung 40 gezeigt.

(294) Preisaufschlag=LOOKUP EXTRAPOLATE (tpreisauf, Kostendifferenz) ~ dmls

tpreisauf : Tabellenwerte für Preiskorrektur

(295) tpreisauf ([(-100,-60)-(200,60)],(-100,-25),(-50,-25),(-40,-23),
(-30,-19),(-20,-13), (-10,-6),(-5,-3),(0,0),(5,3),(10,6),(20,13),
(30,19),(40,25),(50,30),(70,35),(100,40),(120,40)) ~ dmls

(296) Kostendifferenz = Wärmekosten spezifisch - Wärmepreis anlegbar [priv]
~ DM/MWh

Wärmekosten spezifisch : spezifische Wärmebereitstellungskosten für private Haushalte

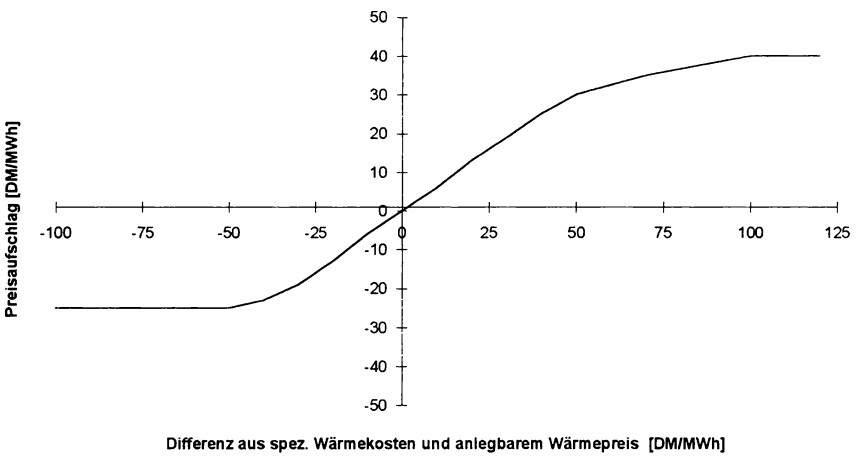

Abb. 40: Aufschlag auf den anlegbaren Wärmepreis bei kostenorientierter Preisbildung

Grundlage einer kostenorientierten Preiskalkulation im Bereich der privaten Haushalte sind die spezifischen Kosten der Wärmebereitstellung. Für die Preisbildung vor Aufnahme der Nahwärmeversorgung muß das Unternehmen die geplanten spezifischen Wärmekosten zugrunde legen.

(297) Wärmekosten spezifisch = IF THEN ELSE(Time<30, Plankosten spezifisch,
Wärmebereitkosten spezifisch) ~ DM/MWh

Wärmekosten spezifisch: spezifische Wärmekosten für die privaten Haushalte
Nutzwärme [priv]: von den privaten Haushalten verbrauchte Nutzwärmemenge
Plankosten spezifisch: geplante spezifische Wärmekosten für die privaten Haushalte
Wärmebereitkosten spezifisch: spezifische Wärmebereitstellungskosten für die privaten Haushalte

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die spezifischen Wärmebereitstellungskosten im privaten Sektor errechnen sich aus den monatlichen Gesamtkosten nach Abzug der Erlöse aus dem Wärmeverkauf an Sondervertragskunden und der Stromgutschrift.

(298) Wärmebereitkosten spezifisch = ZIDZ(Gesamtkosten - Stromvergütung
- Wärmeerlös Sonderkunden,
Nutzwärme [priv]) ~ DM/MWh

Wärmebereitkosten spezifisch : spez. Wärmebereitstellungskosten für die privaten Haushalte
Nutzwärme [priv]: von den privaten Haushalten verbrauchte Nutzwärmemenge

(299) Wärmeerlös Sonderkunden = Nutzwärme[sond]
* Wärmepreis anlegbar[sond] ~ DM/Monat

Wärmepreis anlegbar [sond]: anlegbarer Wärmepreis der Sonderkunden

Der Wärmepreis zur Markteinführung von Nahwärme berechnet sich anhand der spezifischen Plankosten. Grundlage sind die geplanten Kosten der Nahwärmeversorgung, die geplante Stromvergütung sowie die voraussichtlichen Verkaufserlöse durch Sondervertragskunden.

(300) Plankosten spezifisch = ZIDZ(Plankosten - Stromvergütung Plan
- Wärmeerlös Sonderkunden geplant,
Nutzwärme geplant [priv]) ~ DM/MWh

Stromvergütung Plan: geplante Stromvergütung
Nutzwärme geplant [priv]: geplanter Wärmeverbrauch der privaten Haushalte

(301) Wärmeerlös Sonderkunden geplant = Wärmepreis anlegbar [sond] *
Nutzwärme geplant [sond] ~ DM/Monat

Die geplante Stromvergütung entspricht bei vollständiger Netzeinspeisung einem von der Leistung unabhängigen Tarif. Bei Eigennutzung wird der verdrängte Strombezug zugrunde gelegt. Dazu wird ein Mischpreis aus Arbeits- und Leistungsanteil ermittelt. Die geplante Stromerzeugung resultiert aus der voraussichtlichen Wärmeerzeugung durch die Motoraggregate nach Abzug des Stromeigenbedarfs.

(302) Stromvergütung Plan = Stromtarif Verkauf * (1 - Stromeigenanteil)
* Strommenge KWK geplant + Planvergütung Arbeit
+ Planvergütung Leistung ~ DM/Monat

Stromtarif Verkauf: Tarif für den Verkauf von Strom in das Verteilungsnetz
Stromtarif Bezug: Tarif für den Bezug von Strom
Strommenge KWK geplant: durch BHKW-Motoren geplante Stromerzeugung

(303) Planvergütung Leistung = Leistung Komponente [etc] *
Motoren geplant * Leistungspreis EVU/
Umrechnung Monat * Stromeigenanteil ~ DM/Monat

Leistung Komponente [etc]: Motorleistung
Motoren geplant: geplante Anzahl an Motoren
Leistungspreis EVU: vom EVU geforderter Leistungspreis

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(304) Planvergütung Arbeit = (Stromtarif HT * HT Anteil + Stromtarif NT
* NT Anteil) * Stromeigenanteil
* Strommenge KWK geplant ~ DM/Monat

Strommenge KWK: durch BHKW-Motoren erzeugte Strommenge
HT,NT Anteil: Anteil der Stromeinspeisung zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten
Stromvergütung HT,NT [Jazeit]: Stromtarif zu Hoch- und Niedrigtarifzeiten abhängig von der Jahreshälfte

(305) Strommenge KWK geplant = Wärmemenge KWK geplant * Stromkennzahl
* (1 - Strom Eigenbedarf) ~ MWh/Monat

Wärmemenge KWK geplant: geplante durch BHKW- Motoren erzeugte Wärmemenge
Stromkennzahl: Verhältnis von elektrischer und thermischer Motorleistung

Grundlage zur Feststellung der Plankosten sind die technischen Daten für die Auslegung der jeweiligen Anlagekomponenten. Die gesamten Plankosten einer Periode werden analog zu den tatsächlichen Gesamtkosten in betriebs-, verbrauchs- und kapitalgebundene Plankosten untergliedert.

(306) Plankosten = Plankosten Kapital + Plankosten Verbrauch
+ Plankosten Betrieb ~ DM/Monat

Plankosten: gesamte geplanten Kosten der Nahwärmeversorgung

Die betriebsgebundenen Plankosten umfassen die geplanten Instandhaltungs- und Verwaltungskosten. Die Instandhaltung schließt sowohl die Wartungskosten der Motoraggregate als auch der Heizzentrale und des Leitungsnetzes ein. Die geplanten Verwaltungskosten orientieren sich an den gesamten vorgesehenen Investitionen. Die geplanten Personalkosten sind abhängig von der Kraftwerksleistung und dem zum Betrieb notwendigen Personalbestand.

(307) Plankosten Betrieb = Plankosten Verwaltung + Personalkosten
+ Plankosten Instandhaltung ~ DM/Monat

(308) Plankosten Instandhaltung = SUM(Investitionen Plan [Inskomp!]
* Instandhaltungssatz [Inskomp!])
/ Umrechnung Monat + Strommenge KWK geplant
* Instandhaltungssatz KWK ~ DM/Monat

Investitionen Plan [Inskomp]: geplante Investitionen pro Anlagenkomponente außer Motoren
Instandhaltungssatz KWK: Kostensatz für Instandhaltung der BHKW-Motoren
Instandhaltungssatz[Inskomp]: Instandhaltungssatz der Anlagekomponenten außer Motoren

(309) Plankosten Verwaltung = Investitionen Plan gesamt * Verwaltungssatz
/ Umrechnung Monat ~ DM/Monat

Investitionen Plan gesamt : gesamte geplante Investitionen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(310) Plankosten Personal = Personal * Personalsatz/ Umrechnung Monat
~ DM/Monat

Personalsatz: Lohnkosten pro Personalstelle

Die kapitalgebundenen Plankosten enthalten die geplanten Abschreibungen auf Anlagen, sowie die erforderlichen Zinszahlungen für langfristige Bankkredite. Die geplanten Abschreibungen basieren auf den Planinvestitionen der einzelnen Anlageteile und deren Nutzungsdauer.

(311) Plankosten Kapital = Plankosten Abschreibung + Plankosten Zins ~ DM/Monat

Plankosten Abschreibung: geplante kalkulatorische Abschreibungen
Plankosten Zins: geplante Zinszahlungen für langfristige Bankkredite

(312) Plankosten Zins = Investitionen Plan gesamt * Zinssatz lang monatlich
* (1-EKQG) ~ DM/Monat

Investitionen Plan gesamt: gesamte geplante Investitionen
Zinssatz lang monatlich: monatlicher Zinssatz für langfristige Bankkredite
EKQG: gewünschte Eigenkapitalquote

(313) Plankosten Abschreibung = SUM(Investitionen Plan [Kompo!]
(Nutzungsdauer [Kompo!]
* Umrechnung Monat)) ~ DM/Monat

Investitionen Plan [Kompo]: geplante Investitionen pro Anlagekomponente

Die Planinvestitionen sind abhängig von der Dimensionierung der jeweiligen Anlagekomponenten und den spezifischen Investitionskosten. Planungsgrundlage ist die voraussichtliche Anschlußentwicklung. Die Summe der beabsichtigten Investitionen pro Anlagekomponente ergibt die gesamten Planinvestitionen.

(314) Investitionen Plan gesamt = SUM(Investitionen Plan [Kompo!]) ~ DM

Investitionen Plan gesamt: gesamte Planinvestitionen
Investitionen Plan [Kompo]: geplante Investitionen pro Anlagekomponente

(315) Investitionen Plan [geb] = Investition spezifisch [geb] *
Leistung Komponente[geb]

Investitionen Plan [kes] = Investition spezifisch [kes] * Kessel
* Leistung Komponente [kes]

Investitionen Plan [kwk] = Investition spezifisch [kwk] * Motoren geplant
* Leistung Komponente [kwk]

Investitionen Plan [etc] = Investition spezifisch [etc] * Motoren geplant
* Leistung Komponente [etc]

Investitionen Plan [ans] = Investition spezifisch [hpt] *
Anschlußwert Markt [priv]

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Investitionen Plan [hpt] = Investition spezifisch [hpt] *
Gesamtanschlußwert Markt ~ DM

Investition spezifisch: spezifische Investitionskosten pro Anlagekomponente
Leistung Komponente: elektrische bzw. thermische Leistung pro Komponente
Anschlußwert Markt [priv]: Anschlußwert aller privaten Haushalte im Versorgungsgebiet
Gesamtanschlußwert Markt: Anschlußwert aller Verbraucher im Versorgungsgebiet

Die verbrauchsgebundenen Plankosten errechnen sich aus dem vorgesehenen Brennstoffeinsatz. Der Bezugspreis für den eingesetzen Brennstoff ist abhängig von der voraussichtlichen Brennstoffmenge. Diese summiert sich aus dem geplanten Energieeinsatz für die Kesselanlage und den Motoren. Die Brennstoffmenge der Motoranlage errechnet sich aus der potentiellen Wärmeerzeugung unter Berücksichtigung des thermischen Wirkungsgrads der Motoraggregate und des Brennwertes des eingesetzten Energieträgers. Die Wärmeerzeugung der Motoren wird aus der Laufdauer der Aggregate und deren thermischer Leistung hergeleitet. Der Brennstoffeinsatz der Heizkessel basiert auf der gesamten vorgesehenen Wärmemenge. Davon ist der mittels Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellte Wärmeanteil abzuziehen. Zudem werden der Kesselwirkungsgrad sowie der Brennwert von Erdgas berücksichtigt.

(316) Plankosten Verbrauch = Brennstoffmenge Plan * Brennstoffkosten Plan
~ DM/Monat

Brennstoffmenge Plan: geplanter Brennstoffverbrauch der gesamten Kraftwerksanlage

(317) Brennstoffkosten Plan = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst,
Brennstoffmenge Plan
* Umrechnung Monat) ~ DM/MWh

tbrkst: Tabellenwert für Brennstoffkosten

(318) Brennstoffmenge Plan = Brennstoff Plan KWK + Brennstoff Plan Kessel
~ MWh/Monat

Brennstoff Plan KWK: geplanter Brennstoffverbrauch der BHKW-Motoren
Brennstoff Plan Kessel: geplanter Brennstoffverbrauch der Heizkessel

(319) Brennstoff Plan KWK = Wärmemenge KWK geplant / Wirkungsgrad thermisch
* Brennwert ~ MWh/Monat

Wärmemenge KWK geplant: geplante durch BHKW- Motoren erzeugte Wärmemenge

(320) Wärmemenge KWK geplant = SUM(Motorlaufzeit geplant [Moto!]
* Motorzubau geplant [Motor]))
* Leistung Komponente [kwk]
/ Umrechnung Energie) ~ MWh/Monat

Leistung Komponente [kwk]: thermische Leistung der BHKW-Motoren
Motorzubau geplant [Motor]: vorgesehener Zubau von Motoren

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(321) Brennstoff Plan Kessel = (Gesamtwärme geplant - Wärmemenge KWK geplant) / Wirkungsgrad Kessel * Brennwert ~ MWh/Monat

Gesamtwärme geplant: Gesamtwärmeerzeugung bei Versorgung aller Verbraucher

Der beabsichtigte Wärmeabsatz durch das Versorgungsunternehmen entspricht der geplanten Nutzwärme der Nahwärmekunden und den Leitungsverlusten. Die Nutzwärme errechnet sich anhand der geordneten Wärmelastkurve auf Basis der geplanten Wärmeleistung aller Anschlüsse einer Kundengruppe und dem Streckfaktor.

(322) Gesamtwärme geplant = Gesamtnutzwärme geplant / (1 - Netzverlust)) ~ MWh/Monat

Gesamtnutzwärme geplant: Gesamtwärmeverbrauch bei Versorgung aller Verbraucher

(323) Gesamtnutzwärme geplant=SUM(Nutzwärme geplant [kdn!]) ~ MWh/Monat

Nutzwärme geplant [sond]: geplante Nutzwärmemenge pro Kundengruppe

(324) Nutzwärme geplant [kdn] = WÄRMEMENGE(Wärmeleistung geplant [kdn] * (1 - Netzverlust), Streckfaktor [kdn]) ~ MWh/Monat

Wärmeleistung geplant: geplante Wärmeleistung aller Verbraucher einer Kundengruppe
Streckfaktor: Streckfaktor der geordneten Wärmelastkurve

5. Die Gewinn- und Verlustrechnung

Die Gewinn- und Verlustrechnung zur Feststellung des periodenbezogenen wirtschaftlichen Erfolgs der Unternehmung basiert auf dem Gesamtkostenverfahren. Dabei werden, wie in Abbildung 41 gezeigt, die gesamten Kosten in der Abrechnungsperiode erfaßt, und den Umsatzerlösen gegenübergestellt. Der Gewinn bzw. Verlust wird nach Abzug der Unternehmenssteuern an die Gesellschafter über das Eigenkapitalkonto abgeschlossen.

Der Zuwachs an Eigenkapital des Versorgungsunternehmens resultiert aus dem Nettogewinn. Das Eigenkapital wird dagegen um Nettoverluste vermindert. Das von den am Projekt beteiligten Gesellschaftern zu Beginn eingebrachte Eigenkapital entspricht einem gewünschten Eigenkapitalanteil von 40% an den gesamten geplanten Investitionen. Das eingebrachte Eigenkapital paßt sich somit der Größe eines Versorgungsprojekts und dessen Kapitalbedarf an. Durch Aufnahme von Bankkrediten sollen 60 % der Anlageinvestitionen mit Fremdkapital finanziert werden.

(325) Eigenkapital = INTEG(Netto Gewinn - Netto Verlust, Eigenkapital Startwert) ~ DM

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(326) Eigenkapital Startwert = Investitionen plan gesamt * EKQG ~ DM

EKQG: gewünschte Eigenkapitalquote

(327) EKQG = 0.40 ~ dmls

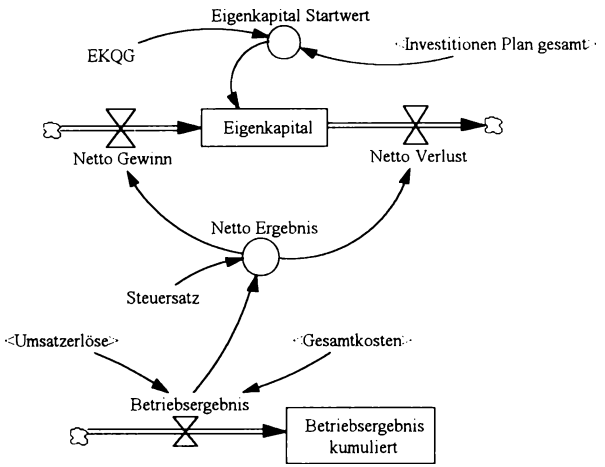

Abb. 41: Die Gewinn- und Verlustrechnung

Nettogewinne folgen aus einem positiven Ergebnis nach Steuern. Ein negatives Ergebnis führt dagegen zu einem Nettoverlust.

(328) Netto Gewinn = MAX(Netto Ergebnis,0) ~ DM/Monat

(329) Netto Verlust = - MIN(Netto Ergebnis,0) ~ DM/Monat

Das Ergebnis nach Steuern errechnet sich anhand des Betriebsergebnisses. Steuerzahlungen sind nur dann zu entrichten, wenn ein positives Ergebnis erwirtschaftet wird. Der Steuersatz beträgt 55 %. Auf eine differenziertere Betrachtung des Steueranteils gemäß der Unternehmensform wird verzichtet.

(330) Netto Ergebnis = IF THEN ELSE(Betriebsergebnis>0, Betriebsergebnis * (1 - Steuersatz), Betriebsergebnis) ~ DM/Monat

(331) Steuersatz = 0.55 ~ dmls

6. Bilanzierung

Die Bilanzierung (Abbildung 42) erfolgt, ebenso wie die Gewinn- und Verlustrechnung, periodenweise. Vereinfacht werden in der Bilanz nur Sachanlagen, welche die Wärmeerzeugung und das Verteilungsnetz umfassen, dem

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Anlagevermögen zugerechnet. Umlaufvermögen in Gestalt von Lagerbeständen soll nicht bilanzmäßig berücksichtigt werden, da der Strom- und Wärmeabsatz weitgehend synchron mit der Erzeugung verläuft. Zur Vereinfachung wird unterstellt, daß das Unternehmen liquide Geldmittel nur als Sichtguthaben bei einer Geschäftsbank unterhält. Der Anfangswert der liquiden Mittel entspricht dem Eigenkapitel zu Projektbeginn. Der Zugang an Geldmittel resultiert aus einem positiven Cash flow sowie der Aufnahme kurzfristiger Bankkredite. Der Cash flow des Unternehmens errechnet sich aus dem monatlichen Überschuß bzw. Verlusten, sowie den kalkulatorischen Abschreibungen. Der Abfluß an Geldmitteln folgt aus der Tilgung lang- und kurzfristiger Bankkredite, zur Innenfinanzierung verwendeter Geldmittel und einem negativen Cash-flow.

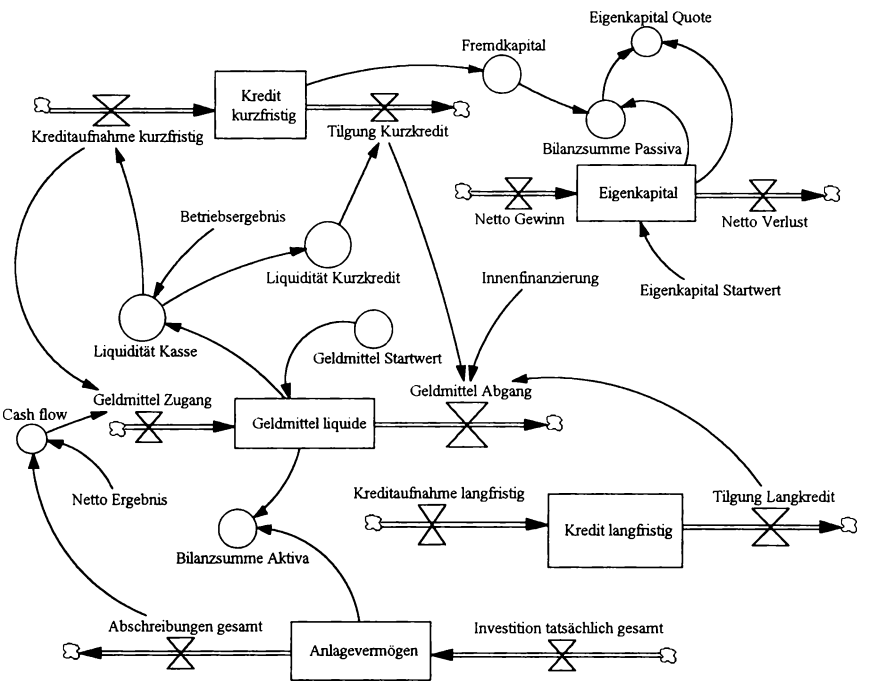

Abb. 42: Bilanzierung

(332) Geldmittel liquide = INTEG(Geldmittel Zugang - Geldmittel Abgang, Eigenkapital Startwert) ~ DM

Eigenkapital Startwert: Eigenkapital zu Projektbeginn

(333) Geldmittel Zugang = MAX(Cash flow,0) + Kreditaufnahme kurzfristig ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(334) Cash flow = Netto Ergebnis + Abschreibungen gesamt ~ DM/Monat

Abschreibungen gesamt: gesamte monatliche kalkulatorische Abschreibungen

(335) Geldmittel Abgang = Tilgung Langkredit + Tilgung Kurzkredit
+Innenfinanzierung tatsächlich - MIN(Cash flow,0) ~ DM

Tilgung Langkredit: Tilgung langfristiger Kredite
Tilgung Kurzkredit: Tilgung kurzfristiger Kredite

Zur Erfüllung der Zahlungsverpflichtungen müssen im Falle eines Liquiditätsengpaßes kurzfristige Bankkredite aufgenommen werden. Ein Engpaß liegt dann vor, wenn die liquiden Geldmitteln zur Deckung eines negativen Betriebsergebnisses verwendet werden. Wegen hoher Zinsbelastung ist der Tilgung kurzfristiger Kredite Vorrang einzuräumen. Die Tilgung erfolgt in Höhe der nach Erfüllung laufender Zahlungsverpflichtungen noch vorhandenen liquiden Geldmittel.

(336) Kredit kurzfristig = INTEG(Kreditaufnahme kurzfristig- Tilgung Kurzkredit,0)
~ DM

Tilgung Kurzkredit : Tilgung kurzfristiger Bankkredite

(337) Kreditaufnahme kurzfristig = - MIN(Liquidität Kasse,0) ~ DM/Monat

Liquidität Kasse: Kassenbestand nach Zahlungsverpflichtungen

(338) Liquidität Kasse = Geldmittel liquide + Betriebsergebnis ~ DM/Monat

Tilgung Kurzkredit: Tilgung kurzfristiger Bankkredite

(339) Tilgung Kurzkredit = MIN(Liquidität Kurzkredit, Kredit kurzfristig) ~ DM

Liquidität Kurzkredit: liquide Mittel zur Tilgung kurzfristiger Kredite

(340) Liquidität Kurzkredit = MAX(Liquidität Kasse, 0) ~ DM/Monat

Liquidität Kasse: Kassenbestand nach Zahlungsverpflichtungen

Die Bilanzsumme der Passivseite entspricht dem eingesetzten Eigenkapital und dem aufgenommenen Fremdkapital einschließlich kurz- und langfristiger Bankkredite. Die Eigenkapitalquote als Kennzahl der Bonität des Unternehmens errechnet sich aus dem Verhältnis von Eigenkapital zum gesamten Kapital bzw. der Passiva.

(341) Bilanzsumme Passiva = Fremdkapital + Eigenkapital ~ DM

(342) Fremdkapital = Kredit langfristig + Kredit kurzfristig ~ DM

(343) Eigenkapital Quote = ZIDZ(Eigenkapital, Bilanzsumme Passiva) ~ dmls

Die Bilanzsumme der Aktiva resultiert aus den liquiden Geldmittel und dem gesamten Anlagevermögen. Dem bilanzmäßigen Anlagevermögen werden nur

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Sachanlagen, d.h. Gebäude, Maschinen sowie Anlagen zur Wärmeverteilung, zugerechnet. Dazu werden die gesamten getätigen Investitionen in die Kraftwerksanlage und die Wärmeverteilung einer Periode aktiviert. Der Sachwert des Anlagevermögens wird aufgrund der Abnutzung um den Betrag der kalkulatorischen Abschreibungen vermindert.

(344) Anlagevermögen = INTEG(Investition tatsächlich gesamt
- Abschreibungen gesamt,0) ~ DM

(345) Bilanzsumme Aktiva = Geldmittel liquide + Anlagevermögen ~ DM

Kenngrößen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit des Versorgungsprojekts sind die monatliche Gesamtkapital-, Umsatz- und Eigenkapitalrendite. Darüber hinaus wird eine Eigenkapitalrendite bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum anhand des kumulierten Betriebsergebnisses berechnet.

(346) Gesamtkapitalrendite =ZIDZ(Netto Ergebnis + Zins Kredit langfristig
+ Zins Kredit kurzfristig, Bilanzsumme Passiva) ~ dmls

(347) Umsatzrendite = ZIDZ(Netto Ergebnis, Umsatzerlöse) ~ dmls

(348) Eigenkapital Rendite = ZIDZ(Netto Ergebnis, Eigenkapital) ~ dmls

(349) EK Rendite Projges = ZIDZ(Betriebsergebnis kumuliert,Eigenkapital) ~ dmls

EK Rendite Projges: Eigenkapitalrendite im Projektverlauf

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

D. Wirtschaftlichkeitsanalyse durch den Nahwärmesimulator

Dezentrale Nahwärme zeichnet sich aufgrund der großen Angebotspalette von BHKW-Anlagen und der Bandbreite der zu versorgenden Objekte durch ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten aus. Um die Vielfalt von Versorgungsvarianten auf ein überschaubares Maß zu reduzieren, sollen nur Anwendungsfälle betrachtet werden, die zukünftig von wachsender Bedeutung sind. Für die Studie werden repräsentativ 3 Versorgungsvarianten ausgewählt. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Versorgungsvarianten und deren Infrastruktur.

Tabelle 2
Beschreibung der Versorgungsvarianten

Variante	Objektbeschreibung	Infrastruktur
1 Wohngebiet	Wärmeversorgung privater Haushalte; Bebauung mit Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Wohnblöcken;	Aufbau eines Nahwärmenetzes zeitgleich mit Erschließung des Wohngebiets; Errichten einer Heizzentrale
2 Verbrauchsschwerpunkt (öffentliches Gebäude)	Installation einer BHKW-Anlage als Erstanlage oder Umrüstung der Heizungsanlage eines öffentlichen Gebäudes (Krankenhaus, Schule, Verwaltungsgebäude)	Errichten einer Heizzentrale oder Nutzung eines vorhandenen Heizraums
3 Nahwärmeverbund	Verbund eines öffentlichen Gebäudes (vorwiegend Krankenhaus) und eines Wohngebiets	Aufbau eines Nahwärmenetzes; Bau einer Heizzentrale oder Nutzung eines vorhandenen Heizraums

Da sich im Wohngebäudebereich zukünftig Chancen für dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung eröffnen, wird im Rahmen der Studie der Einsatz von Nahwärme in Neubaugebieten untersucht[1]. Ein weiterer Schwerpunkt der Untersuchung liegt auf der Wärmeversorgung von Verbrauchsschwerpunkten wie

[1] Vgl. *Böhnisch*, Helmut/ *Langniß*, Ole/ *Nitsch*, Joachim/ *Staiß*, Frithjof: Einsatzbereich und Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Kommunen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 4, S. 145-152.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Krankenhäuser oder Schulen. Von Bedeutung ist zudem der Aufbau einer Nahwärmeversorgung im Rahmen eines Wärmeverbunds als Kombination von Wohngebiet und Verbrauchsschwerpunkt.

Der Betrieb eines Blockheizkraftwerks kann einerseits durch eine Projektgesellschaft erfolgen. In Frage kommt auch ein kommunaler Energieversorger, sofern die Nahwärmeversorgung als eigenständige Sparte betrachtet wird und Quersubventionen ausgeschlossen sind. Die Wirtschaftlichkeit eines modellmäßig abgebildeten Nahwärmeprojekts wird für komplette Versorgungssysteme und der zu schaffenden Infrastruktur einschließlich Wärmenetz hergeleitet.

Die Bewertung und Analyse von Nahwärme sowohl auf geschlossenen als auch auf deregulierten Energiemärkten wird durch die Vielzahl der Einflußfaktoren erschwert. Eine pauschale Einordnung des Einsatzes dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung ist nicht möglich. Die Untersuchung kann sich nur auf einen kleinen Ausschnitt exogener Rahmenbedingungen konzentrieren. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse muß auf die Variation energiewirtschaftlicher und versorgungstechnischer Rahmenbedingungen, wie die Strombewertung oder Objekttyp des Wärmenutzers, begrenzt werden. Anhand von Szenarien wird die Auswirkung energie- und wirtschaftspolitischer Entwicklungen, beispielsweise der Wettbewerbssituation auf einem lokalen Wärmemarkt oder die Energiepreisentwicklung, diskutiert.

Um die ökonomische Wirkung der Variation exogener Rahmenbedingungen aufzuzeigen, wird für jede Versorgungsvariante ein Referenzfall als Vergleichskriterium definiert. Marktbedingte Einflußfaktoren werden in den Referenzfällen durch Vorgabe eines Anschluß- und Benutzungszwangs ausgeschlossen. Dem Motorenkonzept liegt ein thermischer Wirkungsgrad von 55% und ein elektrischer Wirkungsgrad von 34 % zugrunde. Der Kesselwirkungsgrad wird mit 90 % angegeben. Die Dimensionierung der Motoranlage wird pro BHKW-Modul auf 12 % der geforderten Wärmehöchstlast festgelegt. Bei einer geforderten Mindestlaufzeit der Motoraggregate von 4500 Stunden pro Jahr ist die Installation von zwei BHKW-Modulen vorgesehen. Die Leitungslänge des Wärmenetzes beträgt für die Anwendung im Wohngebäudebereich 1400 m. Einzelobjekte als Verbrauchsschwerpunkte sind durch eine Anschlußleitung von 50 m mit einer Heizzentrale verbunden.

Im Bereich der privaten Haushalte werden 80 Hausanschlüsse vorgenommen. Für die Wärmenachfrage der privaten Haushalte und des Krankenhauses wird der Gleichzeitigkeitsgrad, welcher der Abweichung von effektiver zu tatsächlicher Anschlußleistung eines Gebäudes entspricht, mit 80 % angegeben. Die Stromgutschrift wird im Referenzfall unabhängig von der Dauer und der Leistung der Stromeinspeisung mit 11 Pfg/kWh bemessen. Der Preis der Nutzwärme orientiert sich am anlegbaren Wärmepreis. Die gewünschte Eigenkapitalquote beträgt 40 %. Die Zinsen auf Fremdkapital bemessen sich auf 7%. Die Zinsen auf kurzfristige Kredite betragen 14 %.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

I. Validierung des Simulationsmodells

Voraussetzung für die Zuverlässigkeit des Nahwärmesimulators ist eine mit der Realität korrespondierende problemrelevante Abbildung. Die Validierung des Modells dient dem Test, ob die Entwicklung eines Realsystems mit hinreichender Genauigkeit abgebildet wird. Die getroffenen Annahmen und Hypothesen, welche in die Modellkonstruktion eingehen, sind am Orginal zu überprüfen. Falls Testkriterien nicht zutreffen, müssen die in die Modellbildung eingehenden Annahmen modifiziert und der Zyklus neu durchlaufen werden. Erst ein die Realität hinreichend genau beschreibendes Modellverhalten ist in der Lage, die anhand eines Experiments gewonnenen Erfahrungen zur Erarbeitung von Strategien einzusetzen. Daher ist der Validierung des Simulationsmodells im Rahmen des Modellbildungsprozeßes die gleiche Bedeutung beizumessen, wie der Problemidentifikation oder der Modellkonstruktion.

Um ein Simulationsmodell zu verifizieren, werden unterschiedliche Testkriterien vorgeschlagen. Diese Tests bauen teilweise aufeinander auf, so daß die Validierung als mehrphasiger Prozeß verstanden werden kann, der parallel oder in ständigem Kreislauf durchlaufen wird. Nach Milling werden drei Phasen des Validierungsprozesses unterschieden[2] :

- Validierung der Modellstruktur
- Validierung der Modellparameter
- Validierung der Modellprojektion

Die jeweilige Validierungsphase ist vom Fortschritt der Modellentwicklung abhängig. Das erfolgreiche Durchlaufen der Validierungsphasen erhöht sukzessive das Vertrauen in das Simulationsmodell. Dennoch darf die Validität nicht als dichotomes Konzept verstanden werden, da nur in den wenigsten Fällen Kriterien für die binäre Entscheidung über "richtig" oder "falsch" bestehen[3]. Vielmehr gibt es ein ganzes Validitätsspektrum, das zwischen den Extremen richtig und falsch nahezu unendlich viele Stufen zuläßt.

Der Strukturkorrespondenz kommt eine große Bedeutung im Validierungsprozeß zu. Die Validierung der Modellstruktur erfolgt durch die Prüfung der Modellelemente auf Vollständigkeit und den zwischen ihnen bestehenden Relationen. Nur bei Übereinstimmung der Strukturen und Parameter kann davon ausgegangen werden, daß sich Eingriffe im Modell und in der Realität gleich auswirken[4]. Die Prüfung der Validität bei der Analyse der Modellstruktur kann indessen nur auf der Untersuchung der Realitätsnähe der gemachten Unterstellungen und der Hypothesen beruhen[5].

---

[2] Vgl. *Milling*, Peter: Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß, Wiesbaden, 1974, S.209.

[3] Vgl. ebd., S. 209.

[4] Vgl. *Forrester*, Jay W.: Industrial Dynamics, M.I.T Press, Cambridge (Mass.), 1961, S. 116.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Als weiterer Schritt folgt die Validierung der Parameter. Hierbei werden den Modellelementen realitätsnahe Startwerte zugewiesen und die Modellstruktur sowie Konstanten durch numerische Werte festgelegt. Die jeweiligen Parameter werden durch empirische Untersuchungen oder verfügbares Datenmaterial beziffert. Das Modellverhalten reagiert mit zunehmender Komplexität des Systems meist nur auf die Variation weniger Modellelemente sensibel. Auf diese Parameter gilt es die Aufmerksamkeit zu richten und fundiertes Datenmaterial zu beschaffen. Sind keine Informationen über Modellparameter zu erhalten, müssen Schätzwerte vorgegeben werden. Dieses Verfahren mag das Vertrauen in die Gültigkeit des Modells begrenzen. Dennoch ermöglicht gerade das Modellexperiment die Falsifizierung vermuteter Zusammenhänge. Fehlende empirische Forschung deutet zudem darauf hin, das bisher wenig Augenmerk auf den jeweiligen Sachverhalt gerichtet wurde. Die Vorgabe eines Schätzwertes auf Basis einer präzisen Beschreibung kann vielmehr helfen, die Forschung in die entsprechende Richtung hin zu unterstützen.

Die Tatsache, daß ein Modell für einen spezifischen Anwendungsfall hervorragende Ergebnisse liefert, ist noch keine Bestätigung der Korrespondenz von Realsystem und Modell[6]. Unterschiedliche Modellstrukturen können zu gleichen Aussagen führen. Dabei besteht die Gefahr, daß das Realphänomen nicht wirklichkeitsgetreu abgebildet wird. Übereinstimmende Ergebnisse von Modell und Orginal, die bei Variation der Rahmenparameter tatsächlich zu realitätsfernen Aussagen führen, können dennoch als verläßlich mißverstanden werden. Erst die Kongruenz von Struktur und Parameter zwischen Realität und Modell gewährleistet die Korrespondenz des Verhaltens.

In einem fortgeschrittenen Stadium der Modellbildung werden eine Reihe von Tests zur Beurteilung des Simulationsmodells vorgeschlagen, die von einfachen Anforderungen bis zu aufwendigen Verhaltensanalysen reichen[7]. Plausibilitätstests überprüfen auf niedrigem Anspruchsniveau die Lebensfähigkeit eines Modells. Dieses Kriterium fordert, daß ein Simulationslauf nicht bereits nach wenigen Perioden abbricht. Ein Vorzeichentest zeigt unlogische Beziehungen zwischen Modellparametern auf. Ein Konsistenztest analysiert das Modellverhalten beziehungsweise die Entwicklung einzelner Variablen mit den korrespondierenden Größen im Realsystem. Grundlage ist die Konformität von simulierten und empirischen Zeitreihen. Die Entwicklung des Orginals in der Vergangenheit soll nach Eingabe übereinstimmender Parameter im Modell nachvollziehbar sein. Beispielsweise müssen in der Realität stabile Größen im Simulationslauf das gleiche Verhalten aufweisen. Zu einem Konsistenztest

---

[5] Vgl. *Milling*, Peter: Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß, Wiesbaden, 1974, S.211.

[6] Vgl. *Forrester*, Jay W.: Industrial Dynamics, M.I.T Press, Cambridge (Mass.), 1961, S. 117.

[7] Vgl. *Milling*, Peter: Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß,Wiesbaden 1974, S. 215.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

zählt auch die Analyse der Fähigkeit des Modells, beobachtete reale Verhaltensweisen zu duplizieren.

Das anspruchvollste Validierungskriterium basiert auf Tests, welche die Fähigkeit eines Modells überprüfen, zukünftige Entwicklungen zu projezieren. Derartige Vorhersagetests beruhen auf der Prognose von Entwicklungen, deren Überprüfung erst nach dem vorgegebenen Planungshorizont möglich ist. Zum Zeitpunkt der Modellkonstruktion vermag der Modellkonstrukteur jedoch keine Aussage über die Zuverlässigkeit des Modells zu treffen. Die Problematik der zeitlichen Verzögerung kann reduziert werden, indem ein Simulationslauf mit historischen Daten gestartet wird. Dazu müssen zur betrachteten Problemstellung entsprechende Datensätze zugänglich sein.

1. Test des Nahwärmesimulators anhand eines Referenzfalls

Als wichtiger Schritt im Validierungsprozeß des Simulationsmodells wird ein Konsistenztest durchgeführt. Die Diskussion anhand der Vorgaben für den Referenzfall soll zeigen, ob die technischen und betriebswirtschaftlichen Modellparameter und Kenngrößen in sinnvoller Beziehung zueinander stehen. Die Vorgabe eines Anschlußzwangs hat bestimmte Zwangsbedingungen zur Folge. So erreicht der Anschlußwert des fiktiven Versorgungsprojekts eine vorgegebene thermische Leistung. Aufgrund dessen sind abhängig von den Planungskriterien zur Dimensionierung der Anlagekomponenten entsprechende installierte Wärmekapazitäten zur Sicherstellung der Nahwärmeversorgung zu erwarten. Der Konsitenztest dient zudem der näheren Erläuterung eines konkreten Anwendungsfalls.

Das Versorgungskonzept sieht vor, daß eine Projektgesellschaft als Nahwärmeversorger unter möglicher Beteiligung des kommunalen Energieversorgers, der Wärmenutzer oder weiterer Investoren die Wärmebereitstellung eines Krankenhauses übernimmt. Über ein Nahwärmenetz wird zudem ein Neubaugebiet in der Umgebung des Krankenhauses an die Wärmeversorgung angeschlossen. Die erforderliche Nahwärme wird durch ein Blockheizkraftwerk erzeugt. Es ist geplant, die Heizzentrale in unmittelbarer Nähe des Verbrauchsschwerpunktes zu errichten.

Innerhalb des Neubaugebiets wird ein Anschlußzwang an die Nahwärmeversorgung bzw. ein Verbrennungsverbot für fossile Energieträger verfügt. Das Wohngebiet ist durch Ein- und Mehrfamilienhäuser, sowie kleinere Wohnblöcke charakterisiert. Insgesamt werden 80 Verbraucher an das Nahwärmenetz angeschlossen, wobei Mehrfamilienhäuser und Wohnblöcke jeweils als ein Hausanschluß gerechnet werden. Die in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Elektrizität wird in das Stromnetz des kommunalen Energieversorgers eingespeist. Die Stromvergütung beläuft sich unabhängig von der Verfügbarkeit und Leistung der Einspeisung auf 11 Pfg/kWh. Im Referenzfall wird keine

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Eigennutzung der durch Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Elektrizität angenommen.

Die Preisgestaltung durch den Nahwärmeversorger erfolgt nach dem Anlegbarkeitsprinzip. Für die privaten Haushalte beträgt der anlegbare Wärmepreis 83,30 DM/MWh bezogen auf die abgenommene Nutzwärme. In diesem Preis enthalten sind die Kosten für den Hausanschluß sowie der Haus- übergabestation. Die Nahwärmekunden müssen lediglich den Teil der Investitionskosten der Hausübergabe- bzw. Kompaktstation übernehmen, der unmittelbar zum Heizkreislauf innerhalb des Gebäudes zählt. Mit dem Krankenhaus wurde für die Wärmebereitstellung vertraglich ein Wärmepreis von 58,60 DM/MWh vereinbart. Dieser Preis entspricht der alternativen Wärmeerzeugung mit Heizöl. Der mittlere nach dem Anschlußwert der beiden Kundengruppen gewichtete anlegbare Wärmepreis beträgt 74 DM/MWh.

Das Versorgungsunternehmen ermittelt die Anschlußleistung für Nahwärme anhand von Wärmelieferungsverträgen, die mit Kunden abgeschlossen werden. Die Wärmeleistung der Sonderkunden und der privaten Haushalte werden zu einem Gesamtwert addiert. Es wird davon ausgegangen, daß dem Versorgungsunternehmen der gesamte Anschlußwert aller Verbraucher bereits vor der Erschließung des Wohngebiets anhand eines Bebauungsplans bekannt ist. Eine Erweiterung des Kundenkreises durch eine Ausweitung des Wohngebiets wird nicht berücksichtigt. Aufgrund des Anschlußzwangs entspricht die nachgefragte Wärmeleistung im Endausbau der Anschlußleistung aller Verbraucher im Versorgungsgebiet.

Der Nahwärmekunde muß sich infolge des Anschlußzwangs bei Baubeginn eines Wohngebäudes vertraglich an das Versorgungsunternehmen binden. Die tatsächliche Wärmenachfrage folgt mit zeitlicher Verzögerung, da als Bauzeit für ein Wohngebäude eine Zeitdauer von 9 Monaten angenommen wird. Deshalb wird zwischen dem Anschlußwert aller vertraglich gebundenen Wärmekunden und dem nach Fertigstellung der Gebäude tatsächlich nachgefragten Anschlußwert unterschieden. Für den Bau der Kraftwerksanlage wird eine Bauzeit von 8 Monaten angenommen. Mit dem Krankenhaus kann die Aufnahme der Wärmelieferung in Höhe des Anschlußwerts von 3 MW_{th} nach Abschluß der Baumaßnahmen vereinbart werden. Im Bereich der Haushaltungen wächst der Anschlußwert mit der Erschließung des Siedlungsgebiets anfangs stärker an, um sich dann allmählich dem Anschlußwert im Endausbau anzunähern (Abbildung 43). Drei Jahre nach Projektbeginn wird ein Anschlußgrad von 86 % erreicht. Nach sechs Jahren ist der Ausbau des Wohngebiets abgeschlossen.

Im Endausbau beträgt unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads die gesamte von allen Verbrauchern nachgefragte Wärmeleistung 6,4 MW_{th}. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, muß jedoch die vom Versorgungsunternehmen bereitgestellte Wärmelast aufgrund von Verlusten inner-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

halb des Leitungsnetzes die nachgefragte Wärmeleistung übersteigen. Die Leitungsverluste werden mit 5 % der eingespeisten Wärmelast angenommen. Die Wärmehöchstlast als maximale in das Leitungsnetz eingespeiste thermische Leistung beträgt 6,74 MW_{th}. Der Ausbau der Kraftwerksanlage wird an die Anschlußgradentwicklung gekoppelt, damit die Auslastung der jeweiligen Anlagekomponenten garantiert ist. Die Wärmenachfrage muß zur Vermeidung von Versorgungsengpässen wegen baubedingter Verzögerungen vorausberechnet werden. Die Kalkulation wird anhand des Anschlußwerts auf Basis der vertraglichen Bindung der Wärmekunden vorgenommen. Die erforderliche Wärmeleistung berechnet sich unter Berücksichtigung des Gleichzeitigkeitsgrads der Wärmenachfrage und der Netzverluste.

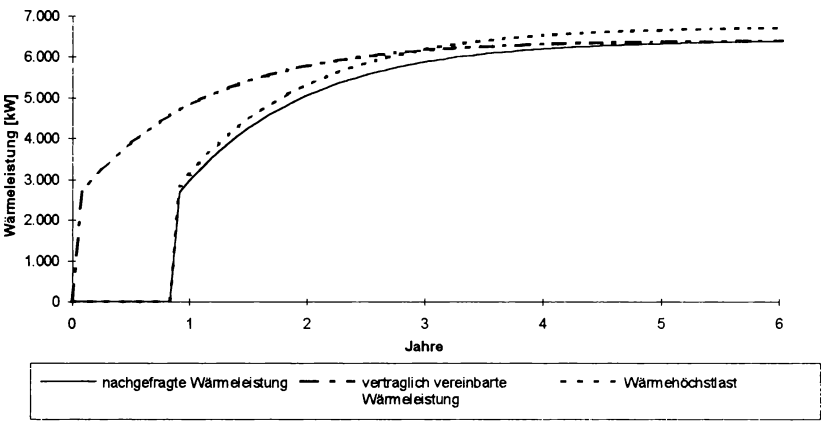

Abb. 43: Anschlußgradentwicklung und Wärmehöchstlast

Die Auslastung der Motoraggregate wird anhand der geordneten Jahreskurve der Wärmelast ermittelt. Der Kurvenverlauf paßt sich an die Verbrauchsstruktur an. Die beiden Kundengruppen zeigen eine unterschiedliche Verbrauchscharakteristik[8]. Das Krankenhaus ist durch eine höhere Wärmegrundlast gekennzeichnet als das Wohngebiet. Die Verbrauchscharakteristik der privaten Haushalte ist abhängig von der Bebauungsstruktur des Wohngebiets. Sie bleibt während der Betrachtungszeit unverändert. Der Verlauf der geordneten Wärmelastkurve für die gesamte Nahwärmeversorgung errechnet sich aus den Streckfaktoren der jeweiligen Kurven mittels Gewichtung der Anschlußleistung für beide Verbrauchergruppen (Abbildung 44).

Das Motorenkonzept sieht gemäß der Vorgaben für den Referenzfall einen Leistungsanteil pro Motor von 12 % an der Wärmehöchstlast vor. Der Zubau eines Wärmespeichers verbessert die Auslastung der Motoranlage. Anhand der

[8] Siehe dazu Abbildung 18.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

geordneten Wärmelastkurve ist ersichtlich, daß im vollen Ausbau der Nahwärmeversorgung zwei Motoraggregate mit einer Laufzeit von mehr als 4500 Stunden pro Jahr betrieben werden können (Abbildung 44). Ein Motor stellt ganzjährig mit 8000 Betriebsstunden die Wärmegrundlast bereit. Ein weiteres Aggregat wird mit einer Laufzeit von 4920 Stunden pro Jahr unterhalten. Im Endausbau werden 24 % der Wärmehöchstlast durch Kraft-Wärme-Kopplung abgedeckt.

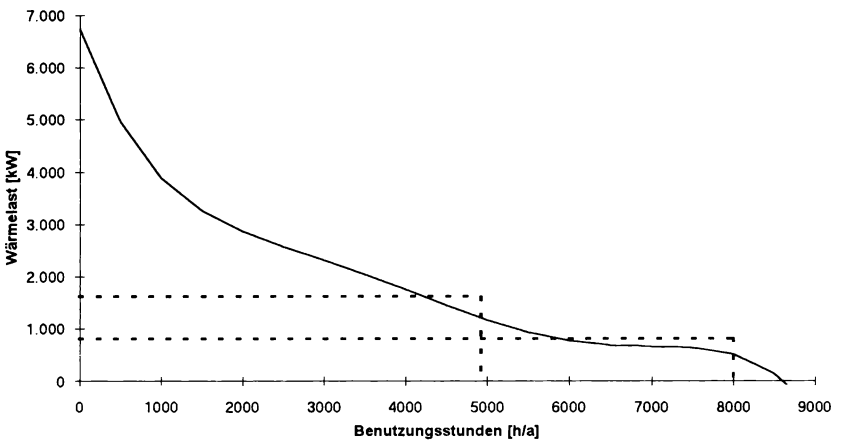

Abb. 44: Auslastung der Motoraggregate gemäß der geordneten Wärmelastkurve

Zusätzlich zur Motoranlage ist die Installation von insgesamt 4 Heizkesseln vorgesehen. Die Kessel werden zur Bereitstellung der Spitzenlast und als Reserve eingesetzt. Die gesamte installierte Kesselleistung von 5,93 MW_{th} bzw. 1,48 MW_{th} pro Kessel wird so bemessen, daß sie den schadens- oder wartungsbedingten Stillstand eines Motoraggregats kompensieren. Zusammengefaßt sieht das Anlagekonzept im Endausbau ein Blockheizkraftwerk mit einer installierten Wärmelast durch Heizkessel und Motoraggregate von rund 7,5 MW_{th} vor. Die gesamte elektrischen Leistung beläuft sich auf 1.000 kW_{el}. Daraus folgen spezifische Kosten für das Blockheizkraftwerk ohne Heizkessel von 2.400 DM/kW_{el} bezogen auf die installierte elektrische Leistung.

Der Ausbau der Wärmekapazität im Kraftwerksbereich richtet sich nach der nachgefragten Wärmeleistung (Abbildung 45). Die Aufnahme der Versorgung erfolgt 9 Monate nach Beginn des Projekts. Im ersten Jahr werden drei Heizkessel installiert. Die hohe Wärmegrundlast des Krankenhauses ermöglicht bereits in der Anfangsphase die Auslastung eines Motors mit einer Laufdauer von 5580 Stunden pro Jahr.

Die Anschlußentwicklung erfordert zur Sicherstellung der Wärmeversorgung nach 2 Jahren den Zubau eines weiteren Heizkessels. Nach 26 Monaten

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

garantiert die Anschlußentwicklung zudem die Auslastung eines weiteren Motors mit einer Laufdauer über 4500 h/a. Nach sechs Jahren wird der volle Anschlußgrad im Versorgungsgebiet erreicht. Gleichzeitig wird der Zubau von Anlagekapazitäten abgeschlossen. Nach dem vollen Ausbau der Nahwärmeversorgung erreichen die Motoren, wie erwartet, Laufzeiten von 8000 h/a bzw. 4920 h/a. Die durchschnittliche Laufzeit der beiden Motoraggregate beträgt damit 6460 Stunden pro Jahr.

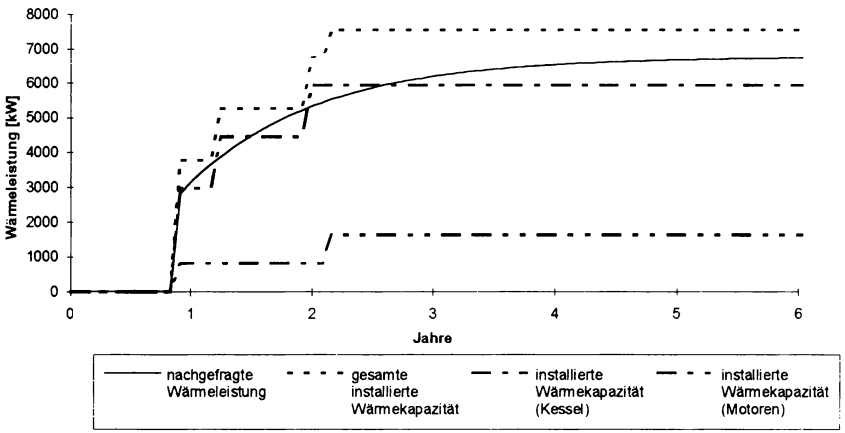

Abb. 45: Nachgefragte Wärmeleistung und installierte Wärmelast

Die gesamte im Endausbau erzeugte Wärmemenge beläuft sich auf 16,84 GWh pro Jahr. Auf die Motoraggregate entfallen 10,44 GWh, auf die Kesselanlage 4,4 GWh. Damit beträgt der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der gesamten Wärmerzeugung 62 %. Die Nutzwärmemenge beziffert sich nach Abzug der Wärmeverluste auf 15,67 GWh/a. Im Projektverlauf ist eine monatliche Leitungsverlegung von 100 m Länge vorgesehen, so daß 14 Monate nach Projektbeginn das Wärmeverteilungsnetz voll ausgebaut ist. Der Anschluß an das Wärmenetz verläuft parallel mit der Erschließung des Wohngebiets, da bei Aufnahme der Wärmeversorgung nach 9 Monaten bereits 900 m Leitung verlegt sind. Die spezifischen Kosten der Leitungsverlegung bemessen sich auf 840 DM/m oder bezogen auf die Wärmeleistung 147 DM/kW$_{th}$.

Das Investitionsvolumen zum Ausbau der gesamten Nahwärmeversorgung beträgt DM 4,67 Mio. (Tabelle 3). Davon entfallen auf das Blockheizkraftwerk DM 2,7 Mio. (58 %) und auf das Wärmeverteilungsnetz einschließlich Hausanschlüssen DM 1,97 Mio. (42 %). In der Anlaufphase wird das Betriebsergebnis durch Vorleistungen belastet, welche das Versorgungsunternehmen zum Aufbau der Nahwärmeversorgung erbringen muß. Beispielsweise sind schon in der Bauphase Zinsen auf langfristige Bankkredite zu zahlen, die für Investitionen in das Leitungsnetz und die Wärmeerzeugung aufgenommen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

werden. Zudem fallen Personal- und Verwaltungskosten an. Da erst nach einer Vorlaufzeit die Aufnahme der Wärmeversorgung erfolgen kann, sind Anlaufverluste die Folge. Im dritten Jahr nach Baubeginn wird bereits ein positives Betriebsergebnis erwirtschaftet (Abbildung 46). Die Verluste in der Anlaufphase werden jedoch erst nach etwa 7 Jahren ausgeglichen. Am Ende des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren wird ein kumuliertes und verzinstes Ergebnis von DM 4,1 Million erzielt.

Tabelle 3

Investitionskosten für das Blockheizkraftwerk und die Wärmeverteilung

Blockheizkraftwerk	2.700.000 DM
- Gebäude	650.000 DM
- Motoraggregate	1.100.000 DM
- Kesselanlage	300.000 DM
- strom- und steuertechnische Anlagen	650.000 DM
Wärmeverteilungsnetz :	1.970.000 DM
- Hauptleitung	1.180.000 DM
- Hausanschlüsse, Hausübergabestationen	790.000 DM
Gesamte Investitionen	4.670.000 DM

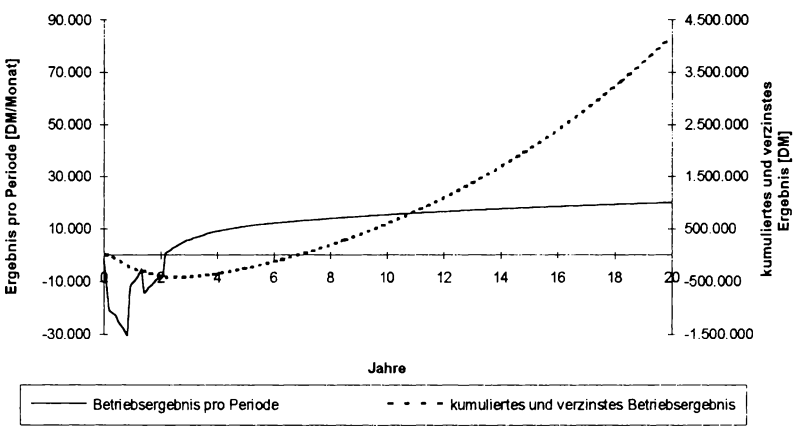

Abb. 46: Periodenbezogenes sowie kumuliertes und verzinstes Betriebsergebnis

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Das Versorgungsunternehmen orientiert sich in der Preisgestaltung am anlegbaren Wärmepreis. Die Anlaufverluste und die zunächst geringe Wärmenachfrage führen in der Anfangsphase zu spezifischen Wärmegestehungskosten deutlich über dem Preisniveau des mittleren anlegbaren Wärmepreises von 74,03 DM/MWh. Im 26. Monat nach Projektbeginn ist ein Rückgang der spezifischen Kosten der Wärmegestehung auf das Niveau des anlegbaren Wärmepreises bedingt durch das Zuschalten des zweiten Motoraggregats festzustellen. Die höheren Erlöse der Stromeinspeisung führen zu deutlich niedrigeren spezifischen Wärmegestehungskosten als der anlegbare Wärmepreis. Daraus ist ersichtlich, daß der zweite Motor wirtschaftlich sinnvoll betrieben wird.

Im 10. Jahr des Projektverlaufs betragen die spezifischen Gesamtkosten bezogen auf die Wärmenachfrage 105,30 DM/MWh. Nach Abzug der Stromvergütung verbleiben spezifische Wärmebereitstellungskosten für alle Verbraucher von 61,40 DM/MWh. Davon entfallen auf die spezifischen Wärmeerzeugungskosten der Kraftwerksanlage 50,20 DM/MWh. Dezentrale Nahwärme ist aufgrund der räumlichen Nähe der Kraftwerksanlage zu den Verbrauchern durch eine geringere Kostenbelastung im Verteilungsnetz charakterisiert. Die spezifischen Wärmeverteilungskosten des Nahwärmenetzes betragen 11,20 DM/MWh.

Das Verhältnis der fixen Kosten zu den Gesamtkosten eines Monats bewegt sich zwischen 43 % nach Aufnahme der Wärmelieferung und 28,5 % nach 20 Jahren. Das eingebrachte Eigenkapital orientiert sich an den gesamten für das Nahwärmeprojekt notwendigen Anlageinvestitionen. Die gewünschte Eigenkapitalquote wird mit 40 % der gesamten Investitionen angegeben, so daß das zu Projektbeginn eingebrachte Eigenkapital DM 1,87 Mio. beträgt. Der tatsächliche Eigenkapitalanteil sinkt nach zwei Jahren aufgrund der Anlaufverluste auf 34,7 % (Abbildung 47). Da die erwirtschafteten Gewinne in der Projektgesellschaft verbleiben, kann sich die Eigenkapitalquote nach dem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren auf 77 % erhöhen. Die anhand des jährlichen Nettoergebnisses ermittelte Eigenkapitalrentabilität beträgt ca. 3,5 %. Zudem wird eine projektbezogene Eigenkapitalrentabilität berechnet. Sie resultiert aus dem Verhältnis des kumulierten Betriebsergebnisses und des Eigenkapitals. Der Wert der projektbezogenen Eigenkapitalrentabilität beträgt im 20. Betriebsjahr 96 %.

Die Gesamtkapitalrendite errechnet sich mit ca. 4,5 %. Als Kapitalanlage ist das Nahwärmeprojekt weniger geeignet. Zur Realisierung des diskutierten Nahwärmeprojekts muß ein weitergehendes Interesse bestehen. So kann beispielsweise die Erweiterung der Angebotspalette eines kommunalen Energieversorgungsunternehmens auf das Geschäftsfeld der Nahwärmeversorgung zu einer Stärkung der Marktpositionen führen. Zudem gewinnen ökologische Aspekte zunehmend an Bedeutung. Im gewählten Anwendungsfall beträgt die Reduktion der CO_2-Emissionen innerhalb des Versorgungsgebiets gegenüber

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

einer gebäudebezogenen Wärmeerzeugung mit Heizöl rund 195 Tonnen im Jahr. Dies führt insbesondere im kommunalen Bereich zu einer erheblichen Entlastung der CO_2-Emissionen.

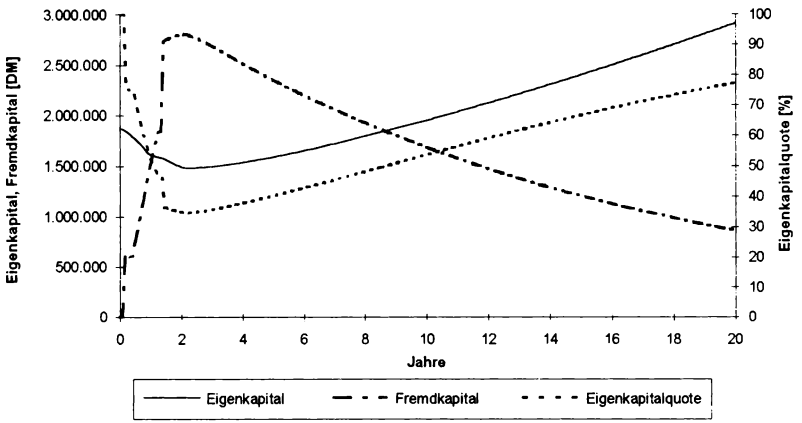

Abb. 47: Eigen- und Fremdkapital sowie Eigenkapitalanteil

2. Vergleich des Modellverhaltens mit einem realen Anwendungsfall

Nach der Validierung anhand eines Konsistenztests wird das Simulationsmodell im Vergleich mit einem realen Anwendungsfall auf seine Zuverlässigkeit getestet. In Anbetracht der Vielzahl von Einflußgrößen wurde eine möglichst einfache Versorgungsvariante ausgewählt[9]. Als Beispiel für eine Wärmeversorgung wurde die BHKW-Anlage der Herzkreislaufklinik Bad Berleburg zugrunde gelegt[10].

Das Blockheizkraftwerk Bad Berleburg kann mit einer gesamten installierten elektrischen Leistung von 454 kW_{el} als größere Anlage zur Versorgung eines Einzelobjektes bezeichnet werden[11]. Das Versorgungskonzept sieht den

[9] Im Rahmen der Dissertation bereitete die Recherche zu Datenmaterial ausgeführter Nahwärmeprojekte erhebliche Schwierigkeiten. Zum einen waren Ingenieurbüros nicht bereit, Informationen über Nahwärmeprojekte bereitzustellen. Zum anderen legten Energieversorgungsunternehmen keine Unterlagen offen, was auf einen verschärften Konkurrenzdruck hindeutet. Auf eine inoffiziele Verwendung von Datenmaterial wurde verzichtet, da eine Überprüfbarkeit der Daten gefordert ist. Daher basiert der Test der Verhaltensvorhersage auf einer in der Literatur beschriebenen Nahwärmeversorgung.

[10] Vgl. *Meckel*, Bernd: Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für wirtschaftlichen BHKW-Einsatz in Krankenhaus. In VDI- Bericht 1195: Blockheizkraftwerke '95 - Technik und Entwicklung, Wirtschaftlichkeit, Betriebserfahrungen, VDI-Verlag, Düsseldorf 1995, S. 208.

[11] Vgl. ebd., S. 208.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Betrieb einer BHKW-Anlage mit zwei Modulen vor. Die thermische Leistung eines Motors beträgt 340 kW_{th}. Der elektrische Wirkungsgrad der Motoraggregate wird mit 33 % angegeben. Die elektrische Modulleistung bemißt sich aufgrund einer Stromkennzahl von 0,67 auf 227 kW_{el}. Die BHKW-Anlage verbraucht 5 % des eigenerzeugten Stroms zur Steuerung und Betriebsführung.

Die spezifischen Kosten des Blockheizkraftwerks beziffern sich, bezogen auf die gesamte installierte elektrische Leistung, auf 2300 DM/kW_{el}. Daraus resultieren Gesamtinvestitionen von DM 1.040.000. Der Zinssatz auf das Fremdkapital beträgt 8,5%. Es werden jährliche Personalkosten von DM 15.000 veranschlagt. Für die Wartung der BHKW-Anlage werden 2,5 Pfg/kWh berechnet. Weitere 0,5 % der Gesamtinvestitionen müssen für Versicherungsprämien kalkuliert werden. Für den in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Strom wird eine Stromgutschrift von 20 Pfg/kWh zugrunde gelegt. Der sehr günstige Vergütungssatz deutet auf eine hohe Eigennutzung des KWK-Stroms und der Verdrängung des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz hin. Die Nutzwärme wird mit einem anlegbaren Wärmepreis von 50 DM/MWh bewertet.

Das Verhalten zwischen Praxis und Modell wird anhand des Kapitalwerts als Kenngröße getestet. Da im Simulationsmodell die Verzinsung des kumulierten Betriebsergebnisses berechnet wird, ist der Kapitalwert für einen Vergleich zu diskontieren. Anhand der Kurvenverläufe der Kapitalwerte kann, wie in Abbildung 48 gezeigt, die Kapitalrücklaufzeit betrachtet werden. Die Rücklaufzeit des gewählten Beispiels liegt im Realsystem bei 33 Monaten bzw. 2,75 Jahren. Im Simulationslauf wurde ein Rücklauf des eingesetzten Kapitals von 36 Monaten analog 3 Jahren ermittelt. Das Verhalten von Realsystem und Simulationsmodell zeigt somit weitgehend Übereinstimmung.

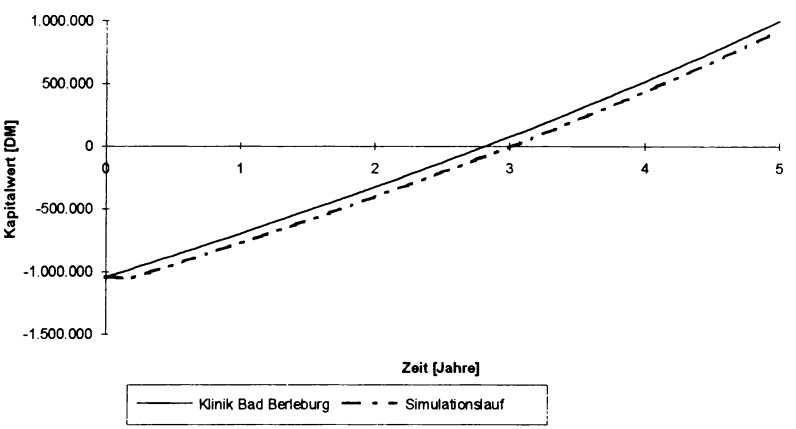

Abb. 48: Vergleich des Simulationsmodells mit einem realen Anwendungsfall

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Um weitere Aussagen zur Kongruenz von Modell- und Realverhalten treffen zu können, werden Systemparameter des Orginalsystems mit den korrespondierenden Werten im Simulationsmodell verglichen. Dazu werden sowohl technische als auch betriebswirtschaftliche Kenngrößen ausgewählt und in Tabelle 4 gegenübergestellt. Zum Verständnis der Abweichung des Verlaufs der Kapitalwerte von Orginal und Modell bedarf es der näheren Diskussion der in Tabelle 4 dargestellten Systemparameter.

Tabelle 4

Gegenüberstellung technischer und betriebswirtschaftlicher Parameter von Modell und Realsystem (2. Betriebsjahr)

Vergleichsparameter		Realsystem	Simulationsmodell
Technische Kenngrößen			
durchschnittliche Laufzeit der Motoren:	h/a	7.900	7.750
Stromarbeit:	MWh/a	3.407	3.360
Wärmeerzeugung:	MWh/a	6.086	6.138
Betriebswirtschaftliche Kenngrößen			
Gesamtinvestitionen :	DM	1.044.200	1.037.000
Kapitalkosten :	DM/a	125.743	123.132
Energiekosten :	DM/a	421.099	416.798
Betriebskosten :	DM/a	109.886	110.847
Gesamtkosten :	DM/a	656.728	650.770
Stromgutschrift :	DM/a	681.454	672.180
Wärmegutschrift :	DM/a	304.318	305.640
Gesamtgutschrift :	DM/a	985.772	977.820
Gesamterlös der BHKW-Anlage :	DM/a	329.043	327.043

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Beim Vergleich der Daten fällt auf, daß die durchschnittliche Laufzeit der Motoraggregate um 2 % differiert. Als Ursache lassen sich Abweichungen im Verlauf der geordneten Wärmelastkurve identifizieren. Dem Simulationsmodell liegt eine "Standardkurve" der geordneten Wärmelast für Krankenhäuser zugrunde. Das tatsächliche Verbrauchsverhalten ist jedoch von der jeweiligen Versorgungssituation, der Bedarfscharakteristik und dem Verlauf der Außentemperaturen abhängig.

Aufgrund der Abweichung im Verlauf der geordneten Wärmelastkurve errechnet sich eine niedrigere Stromerzeugung. Im Gegensatz hierzu wird modellmäßig eine höhere Nutzwärmemenge ermittelt. Daher kann auf einen höheren Wärmegrundlastanteil im Realsystem geschlossen werden, so daß eine günstigere Auslastung der BHKW-Module möglich ist. Den niedrigeren Motorlaufzeiten im Simulationsmodell folgen geringere Energiekosten, die von der verminderten Stromgutschrift weitgehend kompensiert werden. Als Folge differieren die Erlöse am Ende des zweiten Betriebsjahres nur um 0,6 %. Die geringfügige Abweichung der Kennzahlen von Orginal und Simulationsmodell deutet dennoch auf die Zuverlässigkeit des Nahwärmesimulators hin.

II. Nahwärmeversorgung unter Ausschluß von Wettbewerb

Die Betrachtung einer Nahwärmeversorgung unter Berücksichtigung eines Anschlußzwangs ermöglicht einen Vergleich mit Planungsrichtlinien aus der Praxis für vergleichbare Versorgungssituationen. Die Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwangs schließt marktbedingte Einflußfaktoren aus, in dem die privaten Haushalte innerhalb eines Versorgungsgebiets zu einem Anschluß an die Nahwärmeversorgung verpflichtet werden. Die Entscheidung von Sondervertragskunden für Nahwärme wird per Definition als getroffen vorausgesetzt.

1. Diskussion der Versorgungsvarianten

Die nachfolgende Diskussion basiert auf den in Tabelle 2 beschriebenen Versorgungsvarianten und den für die Referenzfälle vorgegebenen Prämissen. Um den Einfluß der versorgungstechnischen Konstellation und der Infrastruktur auf die Wirtschaftlichkeit zu analysieren, werden die Referenzfälle unter Abänderung technischer Parameter betrachtet. Die Bedeutung der Größe eines Versorgungsobjekts auf die Wirtschaftlichkeit wird durch Variation der Anschlußwerte untersucht. Die Studie ist auf kleinere Nahwärmeprojekte bis zu $6MW_{th}$ Anschlußwert sowohl im Wohngebäudebereich als auch für Verbrauchsschwerpunkte begrenzt. Die Beschränkung auf niedrigere Anschlußwerte soll auf die Einsatzmöglichkeiten der Kraft-Wärme-Kopplung im Rah-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

men kleinerer Nahwärmeprojekte hinweisen. Für einen Nahwärmeverbund wird als obere Grenze der thermischen Leistung ein Anschlußwert von 9 MW_{th} vorgegeben.

Für eine ökonomische Bereitstellung von Nahwärme ist die Verbrauchscharakteristik eines Versorgungsobjektes von Bedeutung. Der Einfluß der Wärmeabnahmestruktur wird am Beispiel eines Krankenhauses und eines Bürogebäudes näher betrachtet. Die Nahwärmeversorgung der Klink dient zur Raumbeheizung sowie der Bereitung von Brauchwasser und Prozeßwärme für den gesamten Krankenhauskomplex einschließlich angegliederter Nebengebäude. Die BHKW-Anlage des Verwaltungsgebäudes stellt dagegen nur Raumwärme bereit. Unabhängig vom Objekttyp verbessert sich mit zunehmendem Anschlußwert das wirtschaftliche Ergebnis (Abbildung 49). Ursache sind niedrigere spezifische Kosten der BHKW-Anlage infolge der Größendegression. Die spezifischen Investitionskosten der BHKW-Module vermindern sich, bezogen auf die installierte elektrische Motorleistung, mit steigendem Anschlußwert des Versorgungsobjekts von 2000 DM/kW_{el} auf 1400 DM/kW_{el}. Die spezifischen Kosten für das komplette Nahwärmesystem einschließlich Gebäude und Wärmenetz reduzieren sich von 6500 DM/kW_{el} auf 3050 DM/kW_{el}.

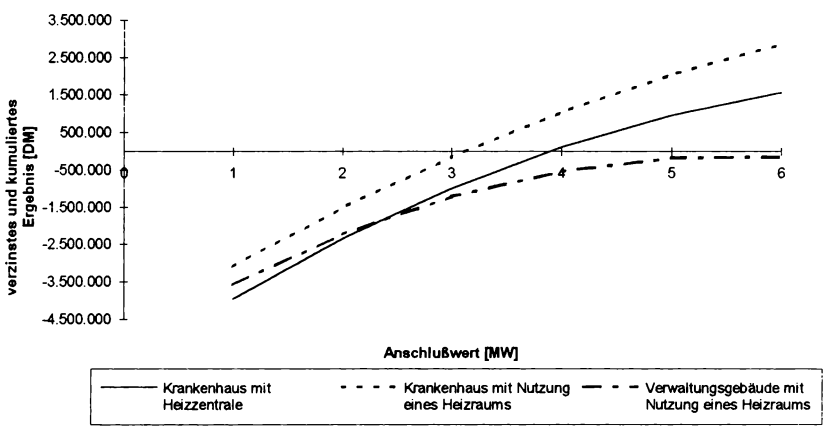

Abb. 49: Bau einer Heizzentrale oder Raumnutzung (Verbrauchsschwerpunkt)

Für Klinikprojekte können unter den gegebenen Rahmenbedingungen bei der Errichtung einer Heizzentrale erst ab einem Anschlußwert von etwa 4MW_{th} die Anlaufverluste nach 20 Betriebsjahren ausgeglichen werden. Die Wärmeversorgung durch ein Blockheizkraftwerk kann somit erst für größere Objekte wirtschaftlich dargeboten werden. Erfahrungen mit ausgeführten BHKW-Anlagen zeigen, daß ein Krankenhaus mit einer Bettenzahl zwischen

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

50 und 100 eine Anschlußleistung von 1 MW_{th} aufweist[12]. Für den betrachteten Anwendungfall ist der BHKW-Einsatz in einem Krankenhaus somit erst ab einer Bettenzahl von 200 bis 400 geeignet. Auffällig ist der hohe Fixkostenanteil kleinerer Versorgungsobjekte von ca. 48 %. Auf das größte Objekt entfällt dagegen nur ein Fixkostenanteil von ca. 23 %.

Durch die Nutzung eines Kellerraums ist in Kliniken bereits bei einem niedrigeren Anschlußwert ein ökonomischer BHKW-Einsatz möglich. Die Investitionskosten reduzieren sich bei einer gegebenen Aufstellungsmöglichkeit der BHKW-Anlage je nach Objektgröße um 10 % bis 18 %. Die ungünstige Wärmeverbrauchscharakteristik des Verwaltungsgebäudes verhindert dagegen den wirtschaftlichen Betrieb einer BHKW-Anlage auch bei Nutzung eines vorhandenen Heizraums[13]. Bei Verwaltungsgebäuden werden aufgrund des geringeren Anteils der Wärmegrundlast nur 35 % der gesamten Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt. Demgegenüber beläuft sich der KWK-Anteil des Klinikprojekts auf ca. 60 %.

Für beide betrachteten Versorgungsvarianten vermindern sich die spezifischen Wärmebereitstellungskosten im 10. Betriebsjahr mit steigendem Anschlußwert des Versorgungsobjekts (Abbildung 50). Es wird jeweils die Nutzung eines Heizraums vorgesehen. Der anlegbare Wärmepreis zeigt dagegen nur eine geringe Abweichung. Grund ist der höhere Aufwand einer BHKW-Anlage gegenüber einer ausschließlich auf Kessel basierenden Heizungsanlage bei Versorgungsobjekten mit niedrigem Anschlußwert.

Die Wärmegestehungskosten unterschreiten bei einer Klinik den anlegbaren Wärmepreis erst ab einem Anschlußwert von ca. 3 MW_{th}. Für Krankenhäuser mit einem niedrigen Anschlußwert ist eine Wärmebereitstellung durch eine Kesselanlage an Stelle eines Blockheizkraftwerks zu bevorzugen. Verwaltungsgebäude sind unabhängig vom Anschlußwert unter den im Anwendungsfall getroffenen Prämissen geeigneter durch eine Kesselanlage zu versorgen, da die spezifischen Wärmekosten über dem Anlegbarkeitsniveau liegen.

---

[12] Vgl. ASUE (Hrsg.): BHKW in Krankenhäusern, o. J. , Hamburg, S. 4; sowie *Mekkel*, Bernd: Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für wirtschaftlichen BHKW-Einsatz in Krankenhaus. In: VDI- Bericht 1195: Blockheizkraftwerke '95 - Technik und Entwicklung, Wirtschaftlichkeit, Betriebserfahrungen, VDI-Verlag, Düsseldorf 1995, S.208.

[13] Das Untersuchungsergebnis bestätigt die Aussage einer Studie im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg von 1994; vgl. *Nietsch*, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden -Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. , Stuttgart, Juni 1994, S. 16.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

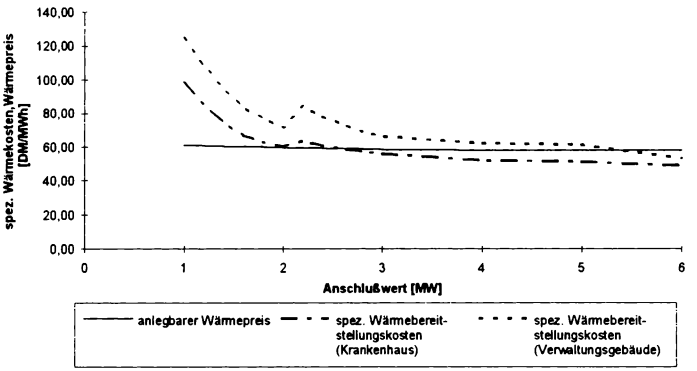

Abb. 50 : Anlegbarer Wärmepreis und spezifische Wärmebereitstellungskosten (Verbrauchsschwerpunkt)

Als weitere Versorgungsvariante wird die Nahwärmeversorgung eines Neubaugebiets anhand des Referenzfalls betrachtet. Der Anschlußwert wird zwischen 1 MW_{th} und 6 MW_{th} variiert. Im modellmäßig vorgegebenen Beispiel verändert sich die Siedlungstypologie mit zunehmendem Anschlußwert des Versorgungsgebiets von einer durch Reihen- und Mehrfamilienhäusern geprägten hin zu einer durch größere Mehrfamilienhäuser und kleineren Wohnblöcken dominierten Wohnbebauung.

Kraft-Wärme-Kopplung muß sich auf Neubaugebiete mit einem größeren Wärmebedarf beschränken, so daß eine durch Ein- und Mehrfamilienhäuser geprägte lockere Bebauung ausscheidet. Ein wirtschaftlich sinnvoller BHKW-Einsatz ist unter den gegebenen Rahmenbedingungen erst für Anschlußwerte über 5 MW_{th} möglich (Abbildung 51).

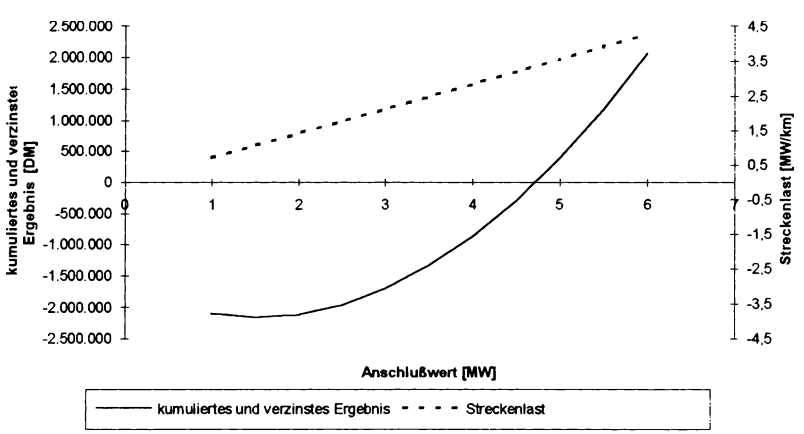

Abb. 51: Zusammenhang von Wirtschaftlichkeit und Streckenlast (Neubaugebiet)

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Im Einzelfall ist eine Nahwärmeversorgung somit auch in einer Neubausiedlung nicht nur ökologisch wünschenswert, sondern auch kostengünstig und wirtschaftlich zu realisieren[14]. Die Streckenlast sollte einen Wert von 3,5MW/km nicht unterschreiten. Im Beispielfall entspricht dies bei einem mittleren Anschlußwert pro Gebäude von 62,5 kW einer Bebauung mit Mehrfamilienhäusern und Wohnblöcken.

Die genauere Analyse zeigt über den betrachteten Anschlußwert nur eine geringe Unterscheidung zwischen den spezifischen Wärmekosten und dem anlegbaren Wärmepreis (Abbildung 52). Bereits geringfügige Verbesserungen der Rahmenbedingungen könnten auch in Siedlungsgebieten mit niedrigem Wärmebedarf zu wirtschaftlich befriedigenden Ergebnissen führen[15]. Aufgrund der großen Anzahl von Einflußparametern muß jedoch im Einzelfall eine genauere Untersuchung den ökonomischen Einsatz einer BHKW-Anlage unter Berücksichtigung der Rahmenbedingungen erweisen.

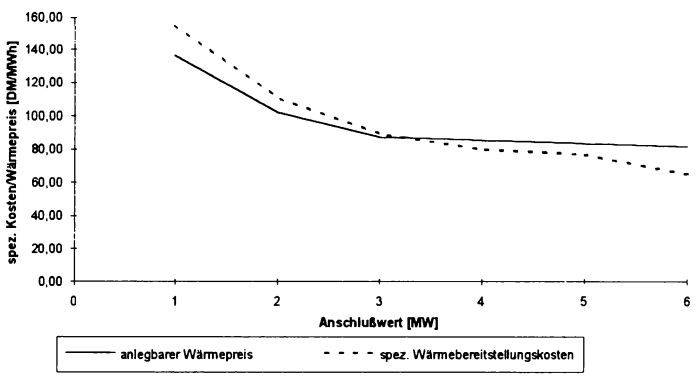

Abb. 52: Anlegbarer Wärmepreis und spezifische Wärmebereitstellungskosten nach 10 Betriebsjahren (Neubaugebiet)

[14] Die Studie bestätigt somit Untersuchungsergebnisse, wonach nur unter bestimmten Rahmenbedingungen die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung in Wohnsiedlungen gewährleistet ist; vgl. *Traube*, K. / *Schulz*, W. : Ökologische und ökonomische Wirkung des Zubaus von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, insbesondere von Blockheizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Bremer Energie-Institut, Bremen, Januar 1995.

[15] Das Untersuchungsergebnis steht im Gegensatz zu einer gleichermaßen vielbeachteten und kontrovers diskutierten Studie des Eduard Pestel Instituts für Systemforschung. Darin wird nur in Ausnahmefällen bei der Versorgung einzelner Objekte, wie Schwimmbäder und Krankenhäuser, die durch einen hohen Bedarf an Wärme auch in den Sommermonaten gekennzeichnet sind, eine Wirtschaftlichkeit zugrunde gelegt. Im Wohnungsbereich wird dagegen kein ökonomisch sinnvoller Einsatz von Nahwärme gesehen; vgl. ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung: Vergleich der Strom- und Heizenergieerzeugung in gekoppelten und ungekoppelten Anlagen vor dem Hintergrund der Einsparmöglichkeiten durch Wärmedämmung, Teil 1: Systemvergleich und allgemeine Ergebnisse, Hannover, Juni 1994.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Wie die Untersuchung sowohl eines Verbrauchsschwerpunkts als auch einer Neubausiedlung zeigt, ist für ein Blockheizkraftwerk ein hohes Wärmeabnahmepotential anzustreben. Eine Möglichkeit bietet die wärmeseitige Verknüpfung räumlich nahe zusammenliegender Verbraucher. Der Verbund von Objekten mit einem unterschiedlichen Wärmebedarf führt zu einer gleichmäßigeren Wärmenachfragestruktur.

Als Beispiel für einen Wärmeverbund wird die Anbindung eines Neubaugebiets an ein Krankenhaus betrachtet. Das Blockheizkraftwerk ist auf dem Gelände der Klinik in einer Heizzentrale untergebracht. Der Anschlußwert der Wohnsiedlung wird zwischen 1 MW_{th} und 6 MW_{th} variiert. Dagegen bleibt der Anschlußwert des Verbrauchsschwerpunkts mit 3 MW_{th} unverändert. In der Addition über alle Verbraucher beträgt der Anschlußwert zwischen 4 MW_{th} und 9 MW_{th} . Zum Vergleich wird die gekoppelte Wärmeerzeugung in einer BHKW-Anlage der ungekoppelten Wärmebereitstellung durch ein Heizwerk gegenübergestellt (Abbildung 53).

Für beide Anwendungsfälle ist bei einem Anschlußwert von 5 MW_{th} eine Verschlechterung des Ergebnisses zu verzeichnen. Ursache ist eine ungünstigere Auslastung des gesamten Nahwärmesystems. Der Fixkostenanteil erhöht sich bei 5 MW_{th} Anschlußwert auf 35 %. Mit höheren Anschlußwerten verringert sich der Fixkostenanteil auf 29 %. Um eine wirtschaftliche Nahwärmeversorgung zu garantieren, sollten unter den gegebenen Rahmenbedingungen die Fixkosten einen Anteil von ca. 34 % nicht überschreiten.

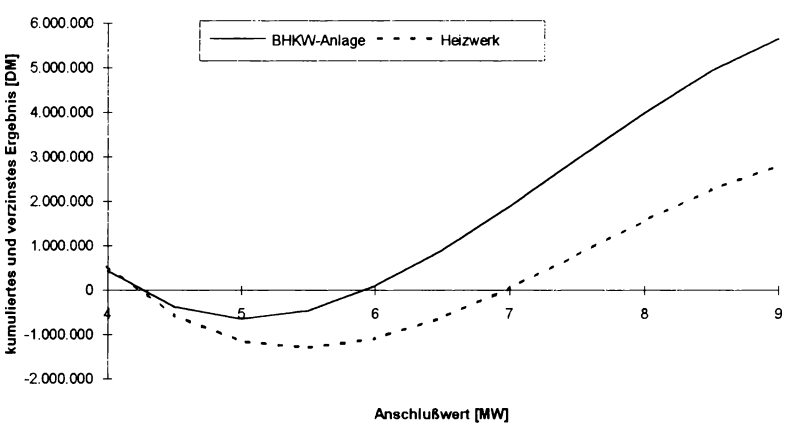

Abb. 53: Vergleich von gekoppelter (BHKW) und ungekoppelter (Heizwerk) Wärmeerzeugung bei einem Nahwärmeverbund

Der Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung erweist sich erst bei einer höheren Wärmeabgabe und Stromerzeugung. Ursache sind die zusätzlichen Investitionskosten in die BHKW-Anlage. Beispielsweise übersteigen für die kleinste

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Variante die Investitionskosten in das Blockheizkraftwerk die Kosten eines Heizwerks um das Dreifache. Die Stromgutschrift kann bei kleineren Objektgrößen die höheren Investitionen nicht kompensieren. Es bleibt zu prüfen, ob eine ausschließlich durch Heizkessel betriebene Wärmeerzeugung im Einzelfall nicht geeigneter ist.

Für die Wirtschaftlichkeit der Nahwärmeversorgung eines Wärmeverbunds ist ferner die Wärmebedarfsstruktur des Verbrauchsschwerpunkts von Bedeutung. Die Untersuchung zeigt, daß sich vor allem Kliniken für einen Nahwärmeverbund eignen[16]. Im Gegensatz dazu führt der niedrigere Anteil der Wärmegrundlast einer Schule zu einer ungünstigeren Auslastung der Motoraggregate.

Da im städtischen Bereich Krankenhäuser meist in der Nachbarschaft einer Wohnbebauung liegen, eröffnen sich Chancen für die Nutzung von Nahwärme in Siedlungsgebieten (Abbildung 54). Durch den wärmeseitigen Verbund im Umfeld eines Krankenhauses als Verbrauchsschwerpunkt können KWK-Potentiale im Wohnungsbereich erschlossen werden.

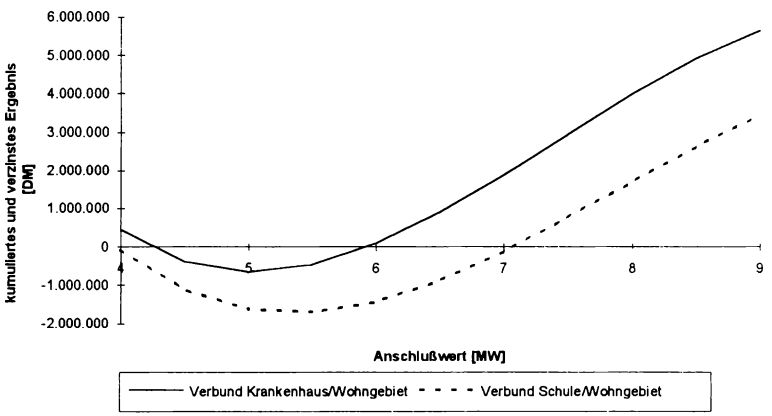

Abb. 54: Einfluß der Wärmebedarfsstruktur eines Verbrauchsschwerpunktes in einem Nahwärmeverbund

Im Falle des Wärmeverbunds wird bei einem gesamten Anschlußwert von 6MW$_{th}$, analog einer Anschlußleistung des Siedlungsgebiets von 3 MW$_{th}$, das Ergebnis nach 20 Jahren ausgeglichen. Die ausschließliche Versorgung eines Neubaugebiets ermöglicht erst bei einem Anschlußwert von ca. 5 MW$_{th}$ ein positives Ergebnis am Ende des Betrachtungszeitraums.

[16] Das Ergebnis stimmt mit Aussagen der ASUE überein; vgl. ASUE (Hrsg.): Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J., Hamburg, S. 16.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Für die Anwendung der BHKW-Technik gelten im kommunalen Bereich neben der Wirtschaftlichkeit vor allem ökologische Belange. Abbildung 55 zeigt die reduzierten spezifischen CO_2-Emissionen durch ein Blockheizkraftwerk gegenüber ölbetriebenen Einzelheizungen bei einem Nahwärmeverbund und einem Neubaugebiet.

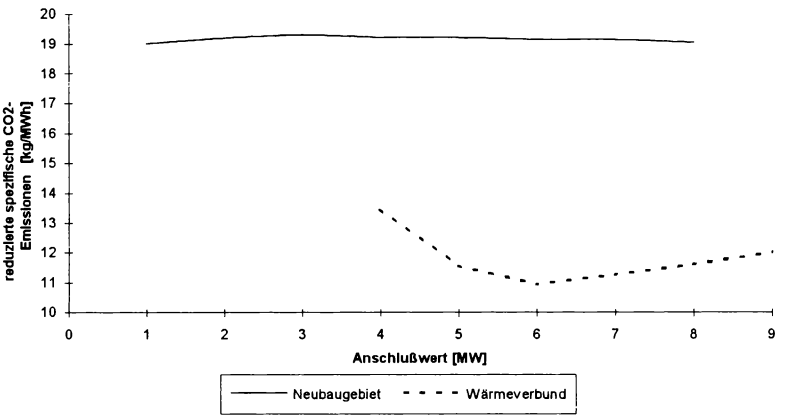

Abb. 55: Reduktion der spezifischen CO_2-Emissionen durch Nahwärme

Die verminderten CO_2-Emissionen werden auf die durch Nahwärme substituierte Wärmeerzeugung aus ölbetriebenen Kesselanlagen bezogen. Über das betrachtete Leistungsspektrum verringern sich in einem Neubaugebiet die spezifischen CO_2-Emissionen um 18,9 kg/MWh bis 19,3 kg/MWh. Bei einem Nahwärmeverbund bewegen sich die vermiedenen spezifischen CO_2-Emissionen zwischen 11 kg/MWh_{th} und 13,5 kg/MWh_{th}.

Das Einsparpotential von Nahwärme, welches sich im kommunalen Bereich zur Reduktion klimarelevanter CO_2-Emissionen eröffnet, wird jedoch erst in absoluten Zahlen deutlich. So können durch den Nahwärmeverbund gegenüber ölbetriebenen Einzelheizungen pro Jahr abhängig vom Anschlußwert zwischen 120 t und 220 t CO_2-Emissionen vermieden werden.

2. Der Einfluß exogener Rahmenbedingungen

Voraussetzung für den effektiven Einsatz der BHKW-Technik sind geeignete energiewirtschaftliche und versorgungstechnische Rahmenbedingungen. Ein wesentliches Hindernis zur Erschließung von Nahwärmepotentialen liegt in der Praxis der Einspeisevergütung. Die Bedeutung der Stromvergütung wird anhand der Wärmeversorgung eines Verbundes aus einem Krankenhaus und einem Neubaugebiet diskutiert. Die BHKW-Module werden abweichend

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

vom Referenzfall pro Motor auf 14 % der Wärmehöchstlast ausgelegt. Alternativ wird ein Anschlußwert des Versorgungsobjekts von 5 MW_{th} und 8 MW_{th} betrachtet. Der für die vollständige Stromeinspeisung in das Netz eines Energieversorgers gewährte Vergütungssatz ist unabhängig von der zur Verfügung gestellten Leistung. Der Tarif für die Stromarbeit wird schrittweise von 9,5 Pfg/kWh auf 16 Pfg/kWh erhöht.

Mit einer Erhöhung des Vergütungssatzes ist für beide Versorgungsobjekte eine deutliche Verkürzung der Zeitdauer des Break-even festzustellen (Abbildung 56). Die Zeitdauer des Break-even verlängert sich für die kleinere Variante gegenüber dem größeren Nahwärmeprojekt stärker mit abnehmendem Vergütungssatz.Eine Vergütung der Einspeisung von Überschußstrom in das öffentliche Stromnetz auf der Grundlage der Verbändevereinbarung verhindert für das Versorgungsobjekt mit einer Anschlußleistung von 5 MW_{th} einen ökonomisch sinnvollen Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung. Für die Versorgungsvariante mit 8 MW_{th} Anschlußwert kann dagegen der Zeitpunkt des Break-even nach 7 Jahren erreicht werden. Das Verbändemodell, welches in seiner Konzeption vor allem auf größere Kraftwerksanlagen ausgerichtet ist, ermöglicht somit nur unter günstigen Voraussetzungen ein wirtschaftlich befriedigendes Ergebnis. Durch die Verbändevereinbarung werden im Durchschnitt bei Bandeinspeisung, d. h. ganzjähriger Stromlieferung, 10,7 Pfg/kWh bis 11 Pfg/kWh erlöst[17].

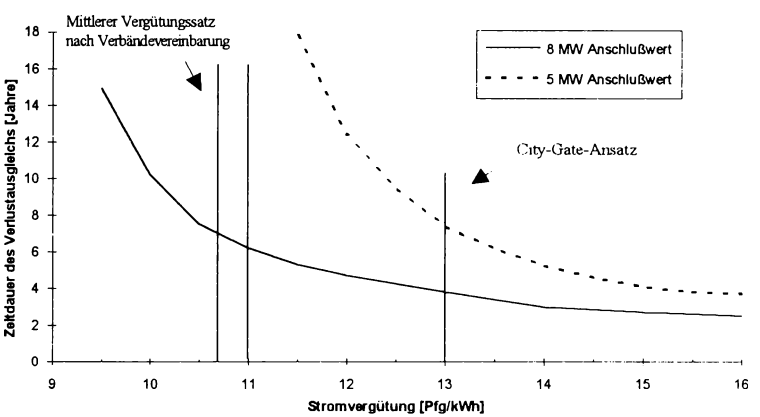

Abb. 56: Einfluß der Strombewertung abhängig vom Anschlußwert (Nahwärmeverbund)

[17] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524; sowie *Euler*, Hartmut: Einspeisevergütung für Blockheizkraftwerke: Brauchen wir eine neue Regelung, Fachtagung: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie und Umweltpolitik, Bonn, 6. März 1996, S. 5ff.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Nahwärmeobjekte mit niedrigerem Anschlußwert sind für einen wirtschaftlichen Einsatz der BHKW-Anlage auf eine höhere Stromgutschrift angewiesen. Die Einnahmen aus der Stromgutschrift können jedoch in der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten für Blockheizkraftwerke die Mehrausgaben der BHKW-Anlage nicht ausgleichen. Bei einem Tarif von 11,5 Pfg/kWh reichen die Stromerlöse nicht mehr aus, die zusätzlichen Kosten der BHKW-Anlage zu finanzieren. Zur Minderung des Investitionsrisikos wird ein Vergütungssatz über 13 Pfg/kWh gefordert, wie er dem City-Gate-Ansatz oder Berechnungen auf Grundlage des Gesetzentwurfs des Landes Brandenburg entspricht[18].

In den meisten Anwendungsfällen gewährleistet jedoch erst die Nutzung des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms einen ökonomischen BHKW-Einsatz. Die Eigennutzung durch den Betreiber bzw. die Wärmenutzer wird anhand zweier Krankenhaus-Objekte mit einem Anschlußwert von 3 MW_{th} und 5 MW_{th} betrachtet (Abbildung 57). Für die Bewertung der Eigennutzung des KWK-Stroms wird eine leistungs- und arbeitspreisabhängige Stromgutschrift in Höhe des substituierten Strombezugs von einem Energieversorgungsunternehmen zugrunde gelegt. Der Überschußstrom wird mit einem konstanten Vergütungssatz von 11 Pfg/kWh von einem kommunalen Energieversorger abgenommen. Im vorliegenden Fall kann die von einem EVU und einem Klinikbetreiber gegründete Projektgesellschaft für die Stromeinspeisung und -eigennutzung eine durchschnittliche Strombewertung bis zu 16 Pfg/kWh bei 100% Eigennutzung kalkulieren[19].

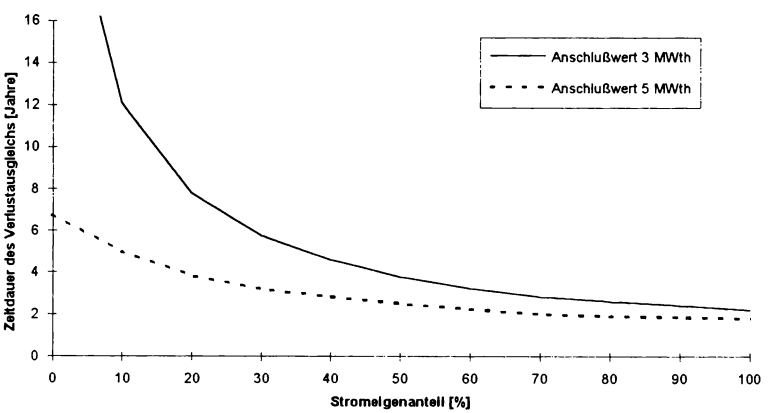

Abb. 57: Eigennutzung des KWK-Stroms in einem Verbrauchsschwerpunkt (Krankenhaus)

[18] Siehe dazu Kapitel A.II.1, Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen.

[19] Im Referenzfall wird ein Leistungspreis von 200 DM/kW sowie ein Arbeitspreis zur Hochtarifzeit von 18,3 Pfg/kWh und zur Niedrigtarifzeit von 11 Pfg/kWh veranschlagt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Mit wachsendem Stromeigenanteil des Versorgungsobjekts verkürzt sich der Zeitpunkt des Break-even. Schon ein geringer Eigenanteil verbessert deutlich die Wirtschaftlichkeit. Daher standen bisher solche Objekte im Blickpunkt des Interesses, die eine möglichst gleichzeitige Nutzung von Strom und Wärme gewährleisten[20]. Im vorliegenden Beispiel eines Krankenhauses mittlerer Größe mit einem Anschlußwert von 3 MW_{th} ist eine Eigennutzung von mindestens 20 % anzustreben. Größere Krankenhaus-Objekte sind hingegen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit weniger auf einen hohen Stromeigenanteil angewiesen.

Der zu Spitzenlastzeiten substituierte Strombezug erzielt höhere Grenzerlöse, so daß der stromorientierte Betrieb eines Blockheizkraftwerks unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu prüfen ist. Da jedoch Strom- und Wärmebedarf nicht synchron verlaufen, müßte für eine derartige Fahrweise überschüssige Wärme ungenutzt an die Umgebung abgeführt werden. Eine ausschließlich stromorientierte Fahrweise wiederspricht dem Gedanken einer rationellen und ökologisch orientierten Energieverwendung und wird im Modell nicht berücksichtigt. Dagegen ist eine Kombination aus wärme- und stromgeführter Fahrweise zulässig, indem die Motoraggregate über den eigentlichen Wärmebedarf hinaus ausgelastet werden. So kann der Betreiber die BHKW-Anlage zeitweise während der Hochtarifzeiten auslasten, wenn die Stromeinspeisung oder die Vermeidung von Strombezug am höchsten bewertet wird. Die überschüssige Wärme wird einem Wärmespeicher zugeführt.

Bei Eigennutzung des KWK-Stroms eignen sich vor allem Einzelobjekte mit hohen Strombezugskosten, so daß daraus hohe Stromgutschriften resultieren. Die Bewertung von KWK-Strom bei Eigennutzung ist davon abhängig, ob der Betreiber ein Tarifkunde, Sondervertragskunde oder ein Stadtwerk ist. Für die Betreiber kommunaler BHKW-Anlagen in der Verantwortung von Stadtwerken muß von niedrigeren Tarifsätzen als für private Betreiber im kommunalen Bereich ausgegangen werden. Energieversorgungsunternehmen mit eigenen Stromerzeugungsanlagen müssen geringere Stromgutschriften kalkulieren, so daß vor allem Nicht-EVU oder weiterverteilende Energieversorger an Blockheizkraftwerken interessiert sind[21].

Ein forcierter Ausbau dezentraler Nahwärme muß auch Anwendungsfälle einbeziehen, für die keine Eigennutzung möglich ist und der Überschußstrom in das öffentliche Netz eingespeist wird. Mit entsprechenden Stromgutschriften könnten Hemmnisse für den Einsatz der Kraft-Wärmekopplung durch Blockheizkraftwerke in Siedlungsgebieten abgebaut werden. Eine Stromvergütung nach dem Verbändemodell mit einer spezifischen Stromvergütung

[20] Vgl. *Pick*, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11, S. 519-524.

[21] Vgl. *Noske*, Harald: Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Parameter-Variation und Sensitivitätsanalyse, Jahrbuch Fernwärme international 1992, S. 288-290.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

zwischen 11,04 Pfg/kWh und 11,24 Pfg/kWh erbringt in einem Neubaugebiet nur ein sehr unbefriedigendes Ergebnis (Abbildung 58). Nahwärme muß sich auf Wohngebiete mit einem hohen Wärmeabnahmepotential analog einem hohen Anschlußwert pro Hausanschluß, wie er in Wohnblocksiedlungen gegeben ist, beschränken.

Eine Stromeinspeisung entsprechend dem City-Gate-Tarif verbessert hingegen deutlich die wirtschaftliche Situation. So kann Nahwärme bereits in Neubaugebieten in Mischbebauung mit einem mittleren Anschlußwert von 30 kW pro Gebäude, die durch Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie kleinere Wohnblöcke charakterisiert sind, wirtschaftlich dargeboten werden. Ein Vergütungssatz von 17 Pfg/kWh verbessert nochmals die Wirtschaftlichkeit, so daß schon in Reihenhaussiedlungen oder in Siedlungsgebieten mit Ein- und Mehrfamilienhäusern in lockerer Bebauung zumindest die Anlaufverluste nach 20 Jahren ausgeglichen werden.

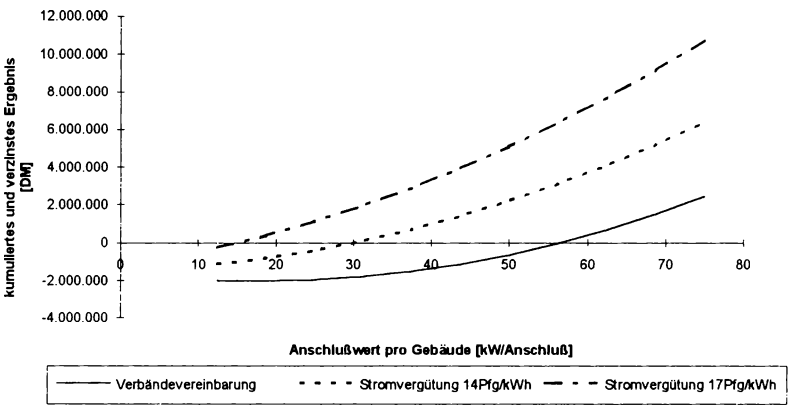

Abb. 58: Einfluß der Stromvergütung auf das wirtschaftliche Ergebnis (Neubaugebiet)

Ein während des Betrachtungszeitraums steigender Energiepreis kann hingegen nicht als Hinderungsgrund für den Einsatz von Nahwärme angesehen werden. Die Untersuchung geht von einem Szenario mit einer gleichmäßigen Energiepreissteigerung für Erdöl als Marktführer aus. Für die Brennstoffkosten eines erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerks und die Wärmekosten ölbetriebener Zentralheizungen wird der gleiche Kostenverlauf vorausgesetzt. Die Strompreise sollen unbeeinflußt von einer Energiepreissteigerung bleiben.

Die Auswirkung steigender Energiepreise auf die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung wird anhand eines Nahwärmeverbunds (Klinik, Neubaugebiet) und der ausschließlichen Versorgung eines Neubaugebiets verdeutlicht. Mit einer wachsenden jährlichen Steigerungsrate der Energiepreise verlängert sich für beide Versorgungsvarianten der Zeitpunkt des Break-even (Abbildung 59).

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

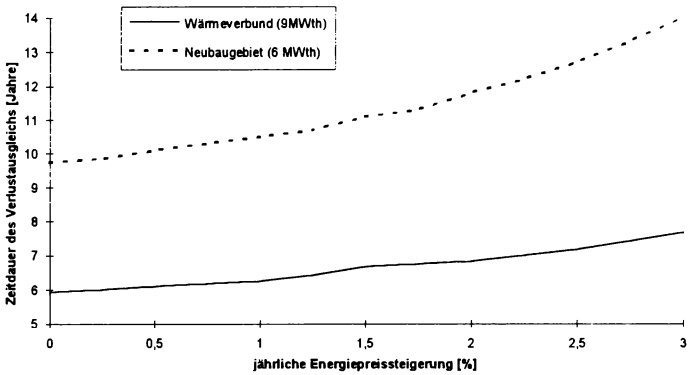

Abb. 59: Auswirkung einer Energiepreissteigerung (Nahwärmeverbund)

Der Ertrag des Wärmeverbundes wird monatlich mit variablen Kosten von 66 % bis 70 % belastet. Demgegenüber gehen in die Kalkulation des anlegbaren Wärmepreises abhängig vom mittleren Anschlußwert der Verbraucher nur anteilig Brennstoffkosten von 35 % bis 60 % ein. Die Erlössituation einer Nahwärmeversorgung wird durch den höheren Anteil der variablen Kosten gegenüber hausbezogenen Ölheizungen bei steigenden Energiepreisen stärker belastet. Ein hoher Fixkostenanteil ist bei steigenden Energiepreisen vorteilhaft. Es muß jedoch im Einzelfall die Auswirkung einer Energiepreissteigerung geprüft werden.

Ein abnehmender Energiebedarf zeigt ebenfalls nur geringen Einfluß auf das wirtschaftliche Ergebnis (Abbildung 60). Als Ursache für eine sinkende Wärmenachfrage können beispielsweise verbesserte Maßnahmen zur Wärmedämmung oder klimatische Einflüsse angeführt werden. Die Anschlußleistung reduziert sich im untersuchten Beispiel nach 20 Jahren durchschnittlich um ca. 20 %. Die Auslastung der Motoranlage vermindert sich dagegen im Mittel nur von rund 6500 auf 6300 Stunden pro Jahr. Dadurch verringert sich der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der gesamten Wärmeerzeugung nur um 1 % auf 59 %. Der nahezu unveränderten Auslastungsgrad resultiert aus der Auslegung der BHKW-Module auf die Wärmegrundlast.

Bei rückläufiger Nachfrage an Raumwärme, z.B. durch ansteigende Außentemperaturen vor allem in den Wintermonaten, ist von einer gleichbleibenden Wärmemenge zur Bereitung von Brauchwasser auszugehen. Der Anteil der Wärmegrundlast steigt mit niedrigerer Wärmehöchstlast an. Dieser Sachverhalt dokumentiert sich in höheren Vollbenutzungsstunden. Im Rechenbeispiel nehmen die Benutzungsstunden von 2390 auf 2460 Stunden pro Jahr zu. Als Fazit kann festgestellt werden, daß ein abnehmender Wärmebedarf aufgrund der oben genannten Bedingungen den wirtschaftlichen Erfolg einer Nahwärmeversorgung nicht wesentlich beeinträchtigt.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

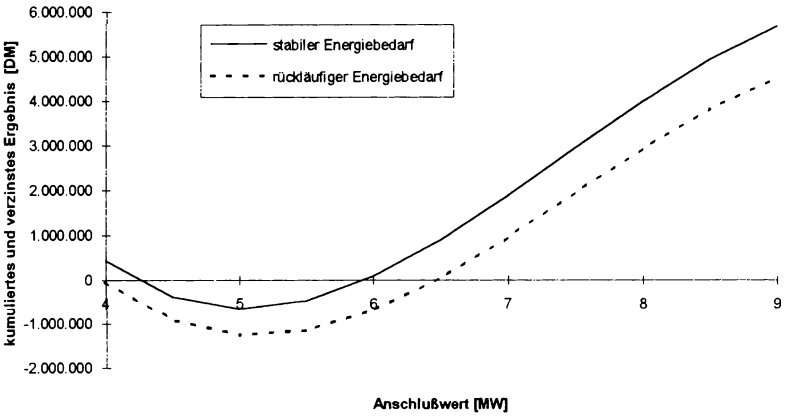

Abb. 60: Einfluß eines rückläufigen Energiebedarfs auf die Wirtschaftlichkeit (Nahwärmeverbund)

Die Untersuchungsergebnisse zeigen aufgrund der Vielzahl und unterschiedlichen Wirkung der Einflußparameter die Schwierigkeiten einer pauschalen Bewertung dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung durch BHKW-Anlagen auf. Die Spannbreite der Parametervariationen und deren Kombination läßt sich noch beliebig fortsetzen. Die bisherige Diskussion kann indessen nur einen Hinweis auf die vielfältigen Analysemöglichkeiten durch den Nahwärmesimulator geben.

Die Wirkung exogener Einflußgrößen ist von der Versorgungsvariante und dem Anschlußwert abhängig. Mit höherer Anschlußleistung des Versorgungsobjekts ist die BHKW-Anwendung unempfindlicher gegenüber Parametervariationen. Eine hohes Wärmeabnahmepotential ist daher von Vorteil. Die Verbindung von Verbrauchsschwerpunkten mit Wohnbebauung zu einem Wärmeverbund eröffnet Chancen für einen breiteren Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung insbesondere in Siedlungsgebieten.

3. Planung einer BHKW-Anlage

Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung ist neben energiepolitischen Rahmenbedingungen von technischen Restriktionen und Prämissen abhängig. Der Erfolg eines Nahwärmeprojekts wird maßgeblich durch die Dimensionierung der Motoraggregate bestimmt. Die Auslegung der BHKW-Module muß vor dem Hintergrund versorgungs- und energiepolitischer Vorgaben erfolgen und wird im wesentlichen durch zwei Parameter fixiert. Zum

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

einen wird der vorgesehene Anteil der thermischen Leistung eines Motors an der Wärmehöchstlast als Planungsgröße vorgegeben. Andererseits wird eine geforderte Mindestlaufzeit pro Motoraggegat festgelegt.

Mit längeren Motorlaufzeiten verbessert sich aufgrund der höheren Auslastung die Wirtschaftlichkeit des Blockheizkraftwerks (Abbildung 61). Im vorliegenden Beispiel eines Nahwärmeverbunds (5 MW_{th}) wird alternativ zum Referenzfall eine BHKW-Anlage mit einer thermischen Motorleistung von 14% an der Wärmehöchstlast untersucht. Je nach Leistungsvariante der Motoren sind Mindestlaufzeiten zwischen 4500 h/a und 5500 h/a erforderlich, um einen wirtschaftlichen Betrieb der BHKW-Anlage zu gewährleisten[22]. Die technische Variante mit 14 % Leistungsanteil erweist sich als vorteilhafter. Schon bei niedrigeren Laufzeiten bzw. geringerer Auslastung der Motoraggregate kann ein positives Ergebnis erzielt werden.

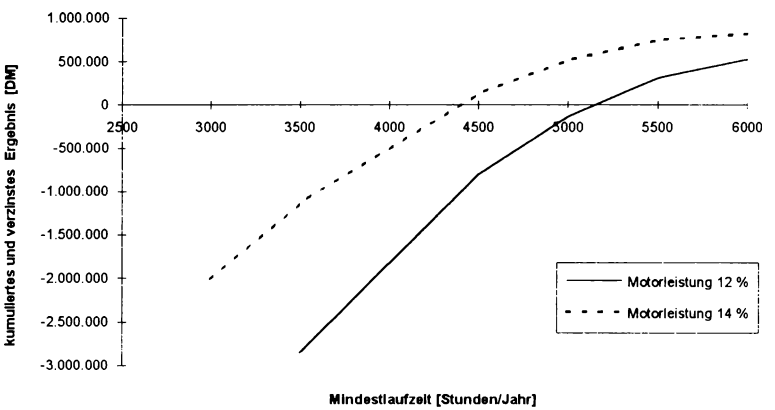

Abb. 61: Einfluß von Mindestlaufzeit und Motorleistung auf den wirtschaftlichen Erfolg

Motoren mit geringerer Leistungsstärke erfordern längere Laufzeiten bzw. eine höhere Auslastung für einen wirtschaftlichen Betrieb. Die Steigerung der thermischen Leistung der Motoranlage durch Zubau eines weiteren BHKW-Moduls oder Anheben der thermischen Leistung eines Motors erhöht zwar den Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung an der gesamten Wärmeerzeugung. Andererseits verringert sich für über die Wärmegrundlast hinaus dimensionierte

[22] In der Literatur werden für einen wirtschaftlichen Betrieb einer BHKW-Anlage Mindestlaufzeiten der Motoren zwischen 3500 h/a und 5000 h/a angegeben; vgl. *Zacharias*, Friedemann: Konzeption und Auswahl eines Verbrennungsmotor-BHKW: Energieversorgung für Nahwärmesysteme, Deutz MWM Mannheim, November 1992; sowie Arbeitsgruppe Blockheizkraftwerke: Kriterien zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 85 (1986), Heft 11, S.423-426.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

BHKW-Module die mittlere Laufdauer der Motoranlage, so daß sich die Auslastung und damit die Wirtschaftlichkeit verschlechtert. Ein möglichst hoher Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung sowie ein hoher Ertrag stellen somit zwei konkurrierende Zielsetzungen dar. Die Motordimensionierung muß im Einzelfall unter den gegebenen Rahmenbedingungen geprüft werden.

Abbildung 62 dokumentiert anhand eines Nahwärmeverbunds (5 MW_{th}) die wirtschaftlich sinnvolle Auslegung der BHKW-Module vor dem Hintergrund der stromwirtschaftlichen Randbedingungen. Die Stromgutschrift für die vollständige Einspeisung in das Verteilungsnetz eines EVU erfolgt einerseits durch einen von der bereitgestellten elektrischen Leistung unabhängigen Vergütungssatz von 11 Pfg/kWh. Zum anderen wird eine Bewertung nach der Verbändevereinbarung zugrunde gelegt.

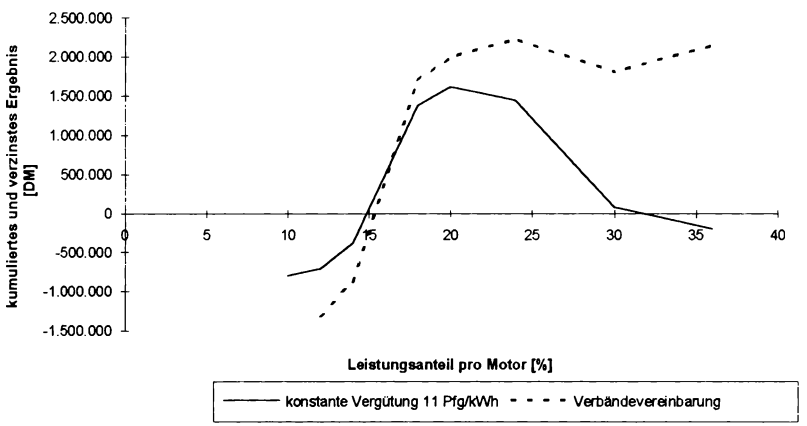

Abb. 62: Auslegung der Motoranlage in Abhängigkeit der Stromvergütung (Wärmeverbund)

Unabhängig vom Vergütungsmodell wird das beste wirtschaftliche Ergebnis in einem Leistungsbereich zwischen 18 % und 24 % Motorleistung an der Wärmehöchstlast erzielt. In beiden Anwendungsfällen kann indessen nur ein Aggregat mit einer geforderten Mindestlaufdauer von 4500 h/a gemäß der Vorgaben für den Referenzfall betrieben werden. Die im Referenzfall gewählte Konfiguration der Motoraggregate mit 12 % thermischer Motorleistung an der Wärmehöchstlast entspricht für den Nahwärmeverbund mit einem Anschlußwert von 5 MW_{th} gegenüber einem Leistungsanteil von 20 % keiner wirtschaftlich vorteilhaften Auslegung. Der Planer muß jedoch einen Kompromiß zwischen Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit einer Nahwärmeversorgung eingehen. Im vorliegenden Beispiel wäre unter versorgungstechnischen Aspekten der Betrieb einer BHKW-Anlage mit zwei Motoraggregaten und einem thermischen Leistungsanteil von jeweils 16 % trotz erlösbedingter

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Einbußen zu bevorzugen. Bei schadens- bzw. reparaturbedingtem Stillstand eines Aggregates steht mindestens ein Motor als Reserve zur Verfügung, so daß die Kesselanlage nicht die gesamte Reserveleistung bereitstellen muß.

Die Vergütungspraxis im Rahmen der Verbändevereinbarung bevorteilt BHKW-Anlagen mit einem hohen thermischen Leistungsanteil der Motoraggregate an der Wärmehöchstlast. In einem Leistungsbereich zwischen 20 % und 36 % zeigen sich nur geringe Unterschiede im wirtschaftlichen Ergebnis. Der Planer eines Blockheizkraftwerkes hat somit einen größeren Spielraum in der Auslegung der Motoren, so daß sich das Planungsrisiko erheblich vermindert. In den Wintermonaten stimmt der Verlauf des Strom- und Wärmebedarfs weitgehend überein. Die BHKW-Module werden vorwiegend während der Hochtarifzeiten der Stromnachfrage betrieben. Daraus folgt eine Stromeinspeisung mit einem höheren Arbeitspreis. Mit zunehmender Motorlaufzeit muß die Stromeinspeisung jedoch in die Niedrigtarifzone verlegt werden, so daß sich die spezifische Stromvergütung vermindert (Abbildung 63).

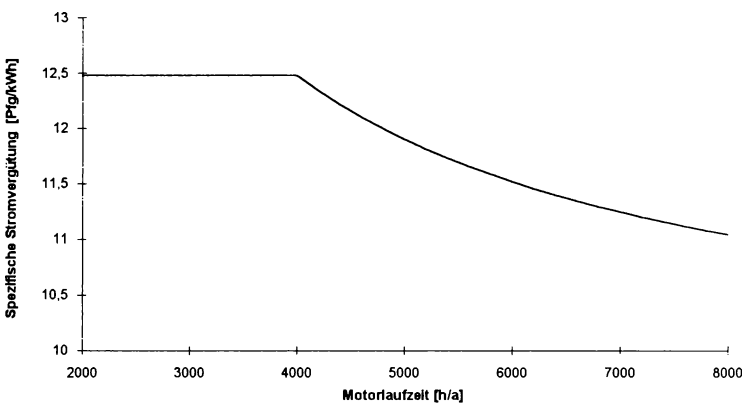

Abb. 63: Spezifische Stromvergütung in Abhängigkeit der Motorlaufzeit

Die Vergütung beträgt im vorliegenden Anwendungsfall bis zu einer Laufzeit von 4000 h/a der ins Netz einspeisenden BHKW-Module 12,5 Pfg/kWh. Der Vergütungssatz vermindert sich über 4000 h/a Motorlaufzeit kontinuierlich auf ca. 11 Pfg/kWh. Aus einem höheren Anteil der thermischen Motorleistung an der Wärmehöchstlast resultieren niedrigere Motorlaufzeiten. Die Verbändevereinbarung bestraft daher BHKW-Anlagen, die aufgrund langer Laufzeiten eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. Der Trend hin zu größeren Modulleistungen verbunden mit dem Betrieb nur eines Motors wird durch die Installation neuerer Anlagen bestätigt[23].

[23] Vgl. *Attig*, Dieter: Neue Auslegungskriterien für Blockheizkraftwerke, FWI, Jg. 24 (1995), Heft 1/2, S. 48-54.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Neben der sorgfältigen BHKW-Planung ist für den Investor der Eigenkapitaleinsatz von Bedeutung. Zur Beurteilung der Rentabilität des Eigenkapitaleinsatzes wird als Kenngröße die projektbezogene Eigenkapitalrendite ermittelt[24]. In Abbildung 64 sind für eine BHKW-Anlage zur Wärmeversorgung eines Krankenhauses mit einem Anschlußwert von 6 MW_{th} die Zeitdauer des Break-even und die projektbezogene Eigenkapitalrendite in Abhängigkeit vom gewünschten Eigenkapitalanteil dargestellt. Der gewünschte Eigenkapitalanteil entspricht dem Verhältnis des bereitgestellten Eigenkapitals zu den gesamten notwendigen Anlageinvestitionen.

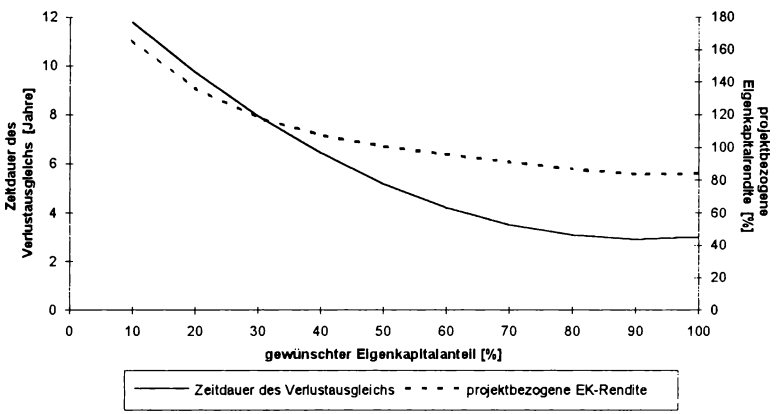

Abb. 64: Break-even-Punkt und projektbezogene EK-Rendite in Abhängigkeit der gewünschten EK-Quote

Mit zunehmendem Eigenkapitalanteil verringert sich die Zeitdauer des Break-even. Ursache ist die geringere Belastung durch Zinsen auf Bankkredite. Daneben vermindert sich die Rentabilität des eingesetzen Eigenkapitals. Eine Quote von 40 % erbringt eine projektbezogene Eigenkapitalrendite von 100 % nach 20 Jahren. Der Eigenkapitaleinsatz wird durch das kumulierte und verzinste Ergebnis zurückgewonnen[25].

III. Dezentrale Nahwärme im Wettbewerb

Die Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwangs für Nahwärme wird zukünftig auf deregulierten Energiemärkten wesentlich erschwert, so daß die Verbraucher auf einem lokalen Wärmemarkt frei über das gewünschte

[24] Siehe Kapitel B.III.1, Wirtschaftliche Erfolgsgrößen der Nahwärmeversorgung.

[25] Bei einem Eigenkapitaleinsatz von 40 % erscheint der Zeitpunkt des Break-even von 6 Jahren als adäquat. Deshalb wurde im Referenzfall eine gewünschte Eigenkapitalquote von 40 % vorgegeben.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Heizungssystem entscheiden können. Die Auswirkung einer unsicheren Bedarfslage und fehlender Planungssicherheit wird anhand des Szenarios eines freien Wettbewerbs für die Versorgungsvarianten "Nahwärmeverbund" und "Neubaugebiet" diskutiert. Sondervertragskunden unterliegen nicht dem Wettbewerbsprozeß, da deren Entscheidung für Nahwärme vorausgesetzt wird. Das Wettbewerbsszenario gilt daher nicht für Verbrauchsschwerpunkte.

Für die Ausführung und den Betrieb der untersuchten Versorgungsvarianten zeichnet eine Projektgesellschaft verantwortlich, an der die Wärmenutzer, das örtliche Energieversorgungsunternehmen, der Anlagebauer und ein Kapitalgeber beteiligt sein können. Die Gesellschaft übernimmt als Serviceleistung den Bau und den Betrieb der BHKW-Anlage, die Belieferung und Abrechnung von Wärme, sowie die Finanzierung. Im Rahmen eines Wärme-Direkt-Services trägt der Nahwärmeversorger die vollen Kosten für die Hausanschlüsse, einen Teil der Kosten für die Kompaktstation und die Wartungskosten. Damit entfallen die Grundgebühr für den Anschluß an die Nahwärmeversorgung. Dem Verbraucher wird ausschließlich ein arbeitsbezogener Preis für die verbrauchte Kilowattstunde Nutzwärme angerechnet, so daß der Abrechnungsmodus einem linearen Tarif entspricht.

Die Auswirkung einer durch Wettbewerb gekennzeichneten Versorgungssituation auf maßgebliche technische und wirtschaftliche Kenngrößen wird anhand eines Nahwärmeverbunds näher erläutert. Von einem Krankenhaus als Verbrauchsschwerpunkt ausgehend wird ein angrenzendes Neubaugebiet mit Nahwärme versorgt. Der Anschlußwert der Krankenhauses beläuft sich auf $3MW_{th}$. Der gesamte Anschlußwert der Neubausiedlung, die von Mehrfamilienhäusern und kleineren Wohnblöcken dominiert wird, beträgt 5 MW_{th}. Auf dem Gelände der Klinik wird zur Unterbringung der BHKW-Anlage eine Heizzentrale errichtet. Ein Wärmespeicher gleicht kurzzeitige Schwankungen des Wärmebedarfs aus. Die Klinik fragt nach Fertigstellung der BHKW-Anlage sofort die volle thermische Anschlußleistung nach. Das Neubaugebiet wird im Zeitraum von 6 Jahren erschlossen.

Die versorgungstechnischen und energiepolitischen Vorgaben basieren auf den im Referenzfall angenommenen Prämissen. Für die Stromeinspeisung in das Netz eines kommunalen oder regionalen Stromerzeugers wird unabhängig von der elektrischen Leistung ein Arbeitspreis von 11 Pfg/kWh berechnet. Der Preis für die Nahwärme orientiert sich am anlegbaren Wärmepreis. Die Aufnahme der Nahwärmeversorgung erfolgt nach 8 Monaten Bauzeit für das Blockheizkraftwerk.

Hohe Versorgungssicherheit und Komfort steigern das Vertrauen in Nahwärme. Infolge der positiven Erfahrungen von Nahwärmekunden entscheiden sich im Zeitverlauf auch Haushalte für Nahwärme, die sich zunächst aufgrund von Vorbehalten für eine Ölzentralheizung entschlossen haben. Die Akzeptanz für Nahwärme durch die privaten Verbraucher erhöht sich von 70 % als

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Anfangswert auf 82 % nach 20 Jahren (Abbildung 65). Im Gegensatz zu einer Versorgungssituation mit Anschlußzwang, für die der volle Anschlußgrad nach 6 Jahren erreicht wird, können unter Konkurrenzbedingungen im Zeitverlauf neue Kunden hinzugewonnen werden.

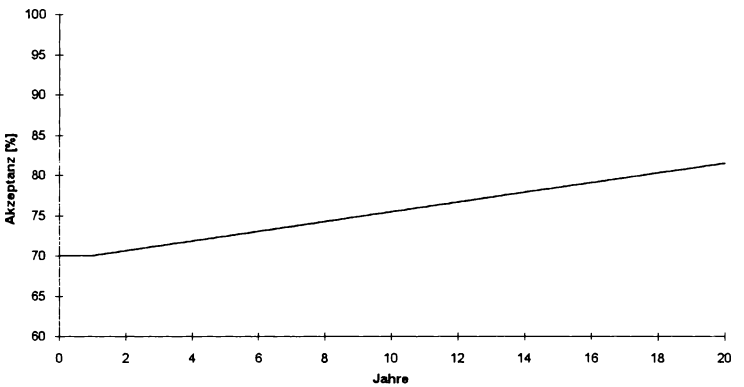

Abb. 65: Entwicklung der Akzeptanz im Wettbewerbsfall bei einer Preisgestaltung nach dem Anlegbarkeitsprinzip

Der hohe Wärmebedarf der Klinik und der Zuwachs an privaten Wärmekunden erfordert in den ersten beiden Betriebsjahren den Zubau von 4 Heizkesseln (Abbildung 66). Die günstige Anschlußentwicklung macht zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit im 6. Jahr die Installation eines weiteren Heizkessels notwendig. Die Systemauslegung sieht dagegen nur die Installation von vier Heizkesseln vor. In der Planung des Blockheizkraftwerks wurde jedoch für den Fall hoher Wärmenachfrage der Stellplatz für einen zusätzlichen Kessel berücksichtigt.

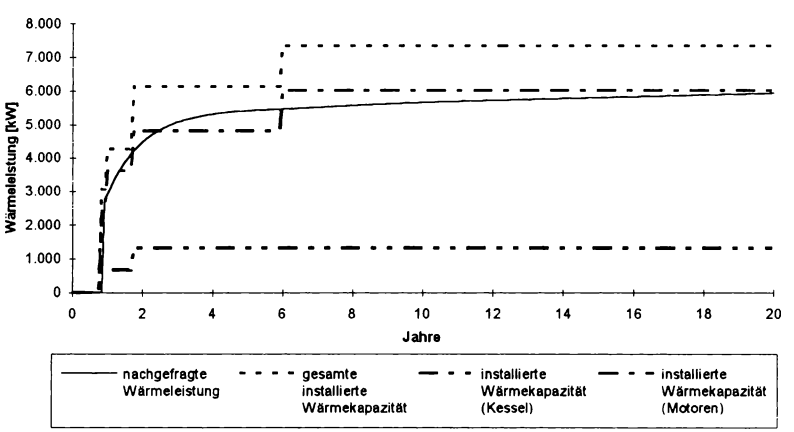

Abb. 66: Nachgefragte Wärmeleistung und installierte Wärmelast im Wettbewerbsfall

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Aus der geringen Wärmenachfrage bei Aufnahme der Nahwärmeversorgung resultieren hohe spezifische Wärmegestehungskosten. Mit steigender Nachfrage nach Wärme im privaten Sektor vermindern sich die spezifischen Kosten der Wärmegestehung. Im zweiten Jahr nach Projektbeginn unterschreiten die spezifischen Wärmekosten den über beide Verbrauchergruppen - private Haushalte und Sonderkunden - gemittelten anlegbaren Wärmepreis (Abbildung 67).

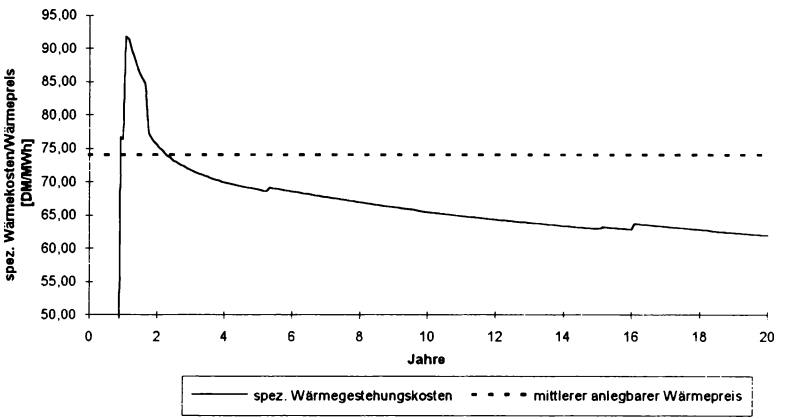

Abb. 67: Spezifische Wärmegestehungskosten und mittlerer anlegbarer Wärmepreis

Unter Konkurrenzbedingungen ist für den diskutierten Anwendungsfall eines Wärmeverbunds mit einem Anschlußwert von 8 MW_{th} der wirtschaftliche Betrieb einer BHKW-Anlage gegeben. Im 4. Betriebsjahr kann ein positives Betriebsergebnis erwirtschaftet werden (Abbildung 68). Die Anlaufverluste werden jedoch erst im 16. Jahr nach Projektbeginn ausgeglichen.

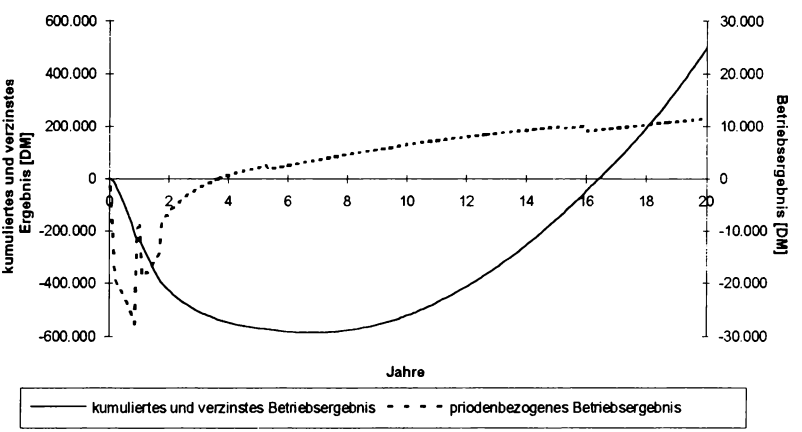

Abb. 68: Periodenbezogenes sowie kumuliertes und verzinstes Betriebsergebnis

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Im Gegensatz dazu können bei einem garantierten Anschluß aller privaten Verbraucher aufgrund eines Benutzungszwangs die Anlaufverluste bereits nach ca. 7 Jahren kompensiert werden. Unter den gegebenen Rahmenbedingungen verschlechtert sich somit die Wirtschaftlichkeit der Nahwärmeversorgung im Wettbewerb.

Im freien Wettbewerb können nur Versorgungsobjekte mit einem hohen Wärmeabnahmepotential wirtschaftlich erschlossen werden. Für die im Referenzfall getroffenen Prämissen gilt bei einem Wärmeverbund und einer Preisgestaltung nach dem Anlegbarkeitsprinzip als ökonomisch sinnvolle untere Grenze ein potentieller Anschlußwert von 9 MW_{th} (Abbildung 69).

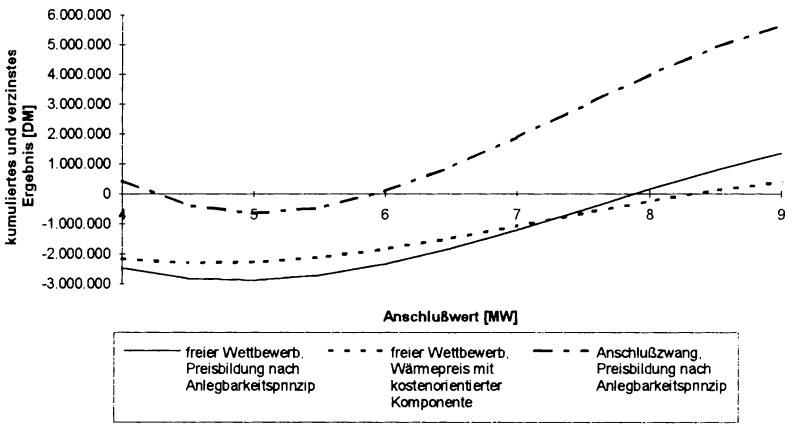

Abb. 69: Nahwärmeverbund unter Anschlußzwang und im freien Wettbewerb

Aufgrund der Wahlmöglichkeit der privaten Verbraucher für ein Heizungssystem wird innerhalb des Siedlungsgebiets im 20. Betriebsjahr lediglich ein Anschlußgrad von 82 % festgestellt. Dagegen wurde zur Bereitstellung einer Anschlußmöglichkeit für alle Verbraucher das Leitungsnetz auf den vollen Anschlußwert des Wohngebiets ausgelegt. Eine Minderauslastung ist die Folge. Aufgrund der hohen Investitionen in das Wärmenetz und die BHKW-Anlage wird das Ergebnis eines Nahwärmeverbunds durch ein nicht vollständig nahwärmeversorgtes Siedlungsgebiet belastet. Daraus resultiert bei Wohngebieten mit geringer Anschlußleistung ein hoher Fixkostenanteil. Mit zunehmendem potentiellen Anschlußwert des betrachteten Nahwärmeverbunds vermindert sich der Anteil der Fixkosten von ca. 40 % auf 30 %.

Die Anlageplanung basiert im Wettbewerbsfall auf der Befragung potentieller Wärmekunden. Tatsächlich entwickelt sich im vorliegenden Beispiel der Wärmebedarf aufgrund positiver Erfahrungen mit Nahwärme im Zeitverlauf günstiger als erwartet. Die nur unzureichend bekannte Bedarfslage im Falle

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

von Wettbewerb führt hingegen zu Planungsunsicherheit. Die Dimensionierung der BHKW-Module entspricht infolge der unsicheren Bedarfslage nicht den Planungsvorgaben. Aufgrund der wachsenden Nachfrage verringert sich der effektive thermische Leistungsanteil der BHKW-Module an der Wärmehöchstlast auf etwa 22 % gegenüber dem Planwert von 24 %. Der Anteil der Kraft-Wärme-Kopplung verringert sich gleichfalls von 60 % auf 55 %, woraus eine niedrigere Auslastung der BHKW-Anlage resultiert.

Alternativ zu der Preisgestaltung nach dem Anlegbarkeitsprinzip wird ein Wärmepreis mit einer kostenorientierten Preiskomponente kalkuliert, welcher der Mischform aus einer markt- und kostenorientierten Preiskalkulation entspricht. Der nach kostenorientierten Gesichtspunkten ermittelte Wärmepreis wird jedoch nur im Bereich der privaten Haushalte erhoben. Sondervertragskunden wird ausschließlich ein Preis für die abgenommene Nutzwärme in Höhe des anlegbaren Wärmepreises angeboten, da sie von einem Entscheidungsprozeß bezüglich der Wahl des Heizungssystems ausgenommen sind. Potentiellen Kunden wird zur Markteinführung der Nahwärme ein Wärmepreis auf Grundlage der geplanten Kosten angeboten.

Das Preisfindungsverfahren mit einer kostenorientierten Komponente erbringt keine Verbesserung des wirtschaftlichen Ergebnisses. Lediglich bei kleineren Anschlußwerten können die Verluste infolge eines Wärmepreises über dem Anlegbarkeitsniveau verringert werden (Abbildung 70). Ein günstiger "Angebotspreis" und führt zu einer größeren Akzeptanz als im Falle der Preisbildung nach dem Anlegbarkeitsprinzip. Ein höherer Anschlußgrad ist die Folge. Dagegen vermindern sich die Erlöse aus dem Absatz von Nutzwärme.

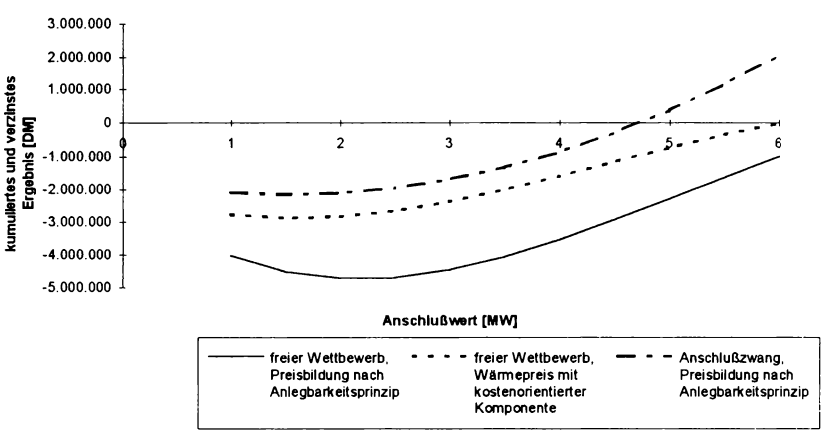

Abb. 70: Neubaugebiet unter Anschlußzwang und im freien Wettbewerb

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Eine Versorgungssituation ohne Verordnung eines Anschluß- und Benutzungszwangs droht die Chancen dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung im Wohnungsbau erheblich einzuschränken. Ein freier Wettbewerb verhindert gemäß der im Referenzfall zugrunde gelegten Prämissen den wirtschaftlichen Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung in Neubaugebieten. Lediglich Siedlungsgebiete mit einem spezifischen Anschlußwert von 80 - 100 kW_{th} pro Hausanschluß, die durch Wohnblöcke mit einer hohen Wärmedichte charakterisiert sind, können nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten mit Nahwärme versorgt werden. Im vorliegenden Beispiel beträgt die Streckenlast 5 - 6 MW/km[26]. Die Untersuchung zeigt somit, daß für bisher als "fernwärmewürdig" erachtete Versorgungsprojekte auch unter Konkurrenzbedingungen zumindest die Anlaufverluste ausgeglichen werden können.

1. Auslegung der Motoranlage bei unsicherer Bedarfslage

Eine Versorgungssituation im freien Wettbewerb ist im Gegensatz zu Anschlußzwang durch eine unsichere Bedarfslage charakterisiert. Unter Konkurrenzbedingungen basiert die Planung eines Blockheizkraftwerks auf der antizipierten Anschlußgradentwicklung im Versorgungsgebiet. Anhand der Befragung potentieller Nahwärmekunden wird ein Plan- bzw. Basiswert der Akzeptanz ermittelt. Im Falle einer Wohnsiedlung entwickelt sich der tatsächliche Anschlußgrad abhängig von der Akzeptanz potentieller Kunden zu Projektbeginn für Nahwärme (Abbildung 71).

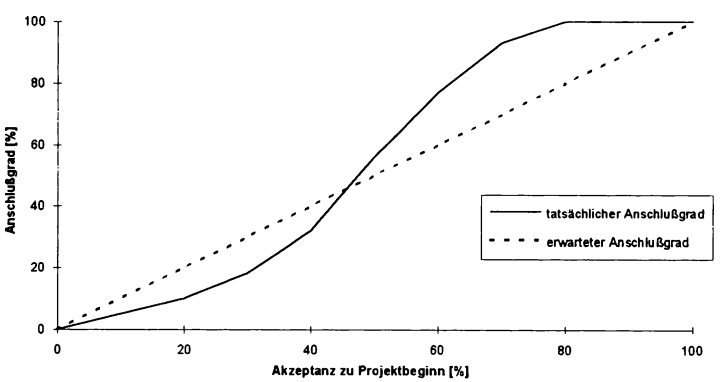

Abb. 71: Tatsächlicher und erwarteter Anschlußgrad in einem Neubaugebiet

[26] Ein solcher Wert entspricht einer mittleren Streckenlast, wie sie von Fernwärmeversorgungsunternehmen für ausgeführte Projekte ausgewiesen wurde. Allerdings muß kritisch angemerkt werden, daß die Streckenlast aufgrund der Vielzahl von Einflußfaktoren nicht als verbindliches Wirtschaftlichkeitskriterium angesehen werden kann; vgl. *Junk*, Herbert: Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985, S. 189.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Im vorliegenden Beispiel kalkuliert der Betreiber der BHKW-Anlage den Wärmepreis unter Berücksichtigung eines an der Kostensituation orientierten Preisaufschlags. Der Vergütungssatz der Stromeinspeisung in das elektrische Netz bewegt sich auf dem Niveau des City-Gate-Tarifs von 13 Pfg/kWh. Der potentielle Anschlußwert des Wohngebiets beträgt 6 MW_{th}.

Aus einem hohen Ansehen für Nahwärme resultiert nach Aufnahme der Nahwärmeversorgung eine positive Anschlußgradentwicklung. Infolge der günstigen Auslastung des Nahwärmesystems kann ein Wärmepreis unter dem Anlegbarkeitsniveau offeriert werden. Im Zeitverlauf werden aufgrund der positiven Geschäftsentwicklung neue Kunden hinzugewonnen. Der tatsächliche Anschlußgrad liegt nach 20 Jahren deutlich über den Erwartungen in der Planungsphase. Eine geringe Akzeptanz hingegen hat aufgrund der niedrigen Auslastung ein hohes Niveau der spezifischen Wärmegestehungskosten und damit einen Preisaufschlag auf den Wärmepreis zur Folge. Vor allem in der Aquisitionsphase werden potentielle Kunden von einem Nahwärmeanschluß abgehalten. Der Anschlußgrad entwickelt sich aufgrund des anhaltend hohen Preisniveaus im Geschäftsverlauf nur unbefriedigend, so daß die Erwartungen nicht erfüllt werden.

Die Planung von BHKW-Anlagen basiert anhand der Befragung potentieller Wärmekunden auf einem nur unzureichend bekannten tatsächlichen Verlauf des Wärmebedarfs. Die Auslegung der BHKW-Anlage entspricht im vorliegenden Beispiel bei einem Planwert der Akzeptanz von 50 % weitgehend der tatsächlichen Wärmenachfrage im Endausbau der Nahwärmeversorgung. Eine ökonomisch sinnvolle Auslegung der Motoraggregate wird wesentlich erschwert. Vor dem Hintergrund einer veränderten Wettbewerbssituation müssen somit Planungsrichtlinien wie sie ohne Wettbewerb gelten, einer Überprüfung unterzogen werden.

Die Auslegung der Motoranlage eines Blockheizkraftwerks wird anhand der im Referenzfall geltenden Vorgaben am Beispiel eines Wärmeverbunds diskutiert. Das Nahwärmeprojekt in der Verantwortung einer Projektgesellschaft sieht die Versorgung eines Krankenhauses mit einem Anschlußwert von 3MW_{th} und eines Neubaugebiets mit einem Gesamtanschlußwert von 5 MW_{th} vor. Die Motordimensionierung hat bei Anschlußzwang nur geringe Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit. Die garantierte Wärmenachfrage gewährleistet eine hohe Auslastung des Nahwärmesystems. Das beste wirtschaftliche Ergebnis wird bei einer thermischen Motorleistung zwischen 15 % und 18 % an der Wärmehöchstlast erzielt (Abbildung 72).

Im freien Wettbewerb verlängert sich die Zeitdauer des Break-even. Die Preisgestaltung erfolgt nach dem Anlegbarkeitsprinzip. Ursache für die ungünstigere wirtschaftliche Entwicklung ist ein niedrigerer Anschlußgrad gegenüber einer Situation unter Benutzungszwang. Die wirtschaftlich vorteilhafteste Auslegung liegt bei einer thermischen Motorleistung zwischen 15 % und

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

20 % an der Wärmehöchstlast. Außerhalb dieses Leistungsbereichs verlängert sich die Zeitdauer des Break-even signifikant. Unterhalb eines Leistungsanteils an der Wärmehöchstlast von 15 % können nach den im Referenzfall zugrunde gelegten Annahmen zwei Motoraggregate mit einer geforderten Mindestlaufzeit von 4500 h/a installiert werden. Mit dem Zubau des zweiten BHKW-Moduls entstehen zusätzlich Kosten, die infolge der niedrigeren Auslastung des Nahwärmesystems unter Wettbewerb das wirtschaftliche Ergebnis belasten.

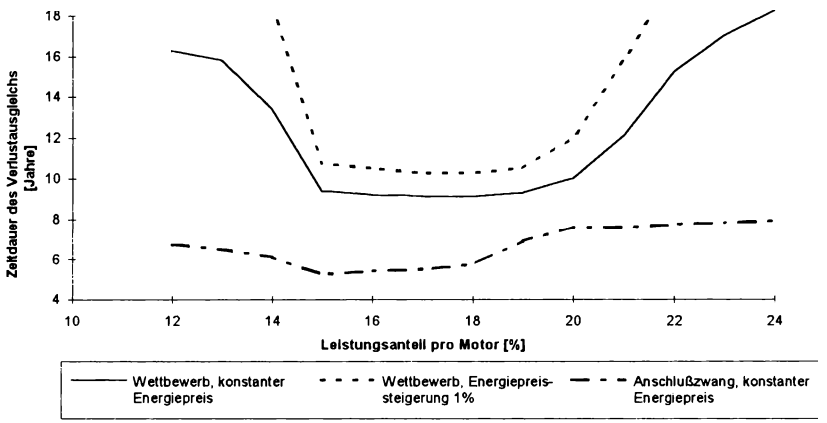

Abb. 72: Zeitdauer des Break-even in Abhängigkeit der Wettbewerbssituation und der Energiepreisentwicklung (Nahwärmeverbund)

Bei unsicherer Bedarfslage ist eine Anlagekonstellation mit nur einem Motoraggregat mit einer thermischen Motorleistung von 18 % zu bevorzugen. Diese Anlagendimensionierung ist durch einen niedrigen KWK-Anteil von 55% an der gesamten Wärmeerzeugung gekennzeichnet. Die Dimensionierungsempfehlung stimmt sowohl unter Anschlußzwang als auch im Wettbewerb weitgehend überein. Das Risiko einer Fehlplanung wird bei unsicherer Wärmenachfrage vermindert, wenn der Anlagenplaner die auch unter Anschlußzwang geltende Dimensionierungsempfehlung einhält. Die entsprechende Planungsempfehlung ist auf ein Szenario mit einer Energiepreissteigerung von jährlich 1 % übertragbar.

Im Wettbewerbsfall ist die Anlagenplanung von den stromwirtschaftlichen Randbedingungen abhängig, wie das Beispiel eines Nahwärmeverbunds mit einer potentiellen thermischen Anschlußleistung von 5 MW_{th} zeigt (Abbildung 73). Abweichend zum Referenzfall erfolgt die Strombewertung auf der Grundlage der Verbändevereinbarung. Der mittels Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Strom soll vollständig in das vorgelagerte Netz eines Energieversorgers eingespeist werden. Das Risiko einer Fehlplanung ist unter Wettbewerbs-

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bedingungen deutlich höher als unter Anschlußzwang. Während bei einer garantierten Wärmeabnahme unter Benutzungszwang bei thermischen Motorleistungen über 16 % der Wärmelast ein positives Ergebnis erzielt wird, zeigt sich im Wettbewerb, daß nur in einem engen Leistungsbereich von 18 % Leistungsanteil ein ökonomisch sinnvoller Betrieb der BHKW-Anlage möglich ist. Ein deutlicher Rückgang des kumulierten und verzinsten Ergebnisses ist bei mehr als 18 % der geplanten Motorleistung aufgrund einer niedrigeren Vergütung der Stromleistung zu verzeichnen. Ursache ist eine ungünstigere Auslastung des BHKW-Moduls.

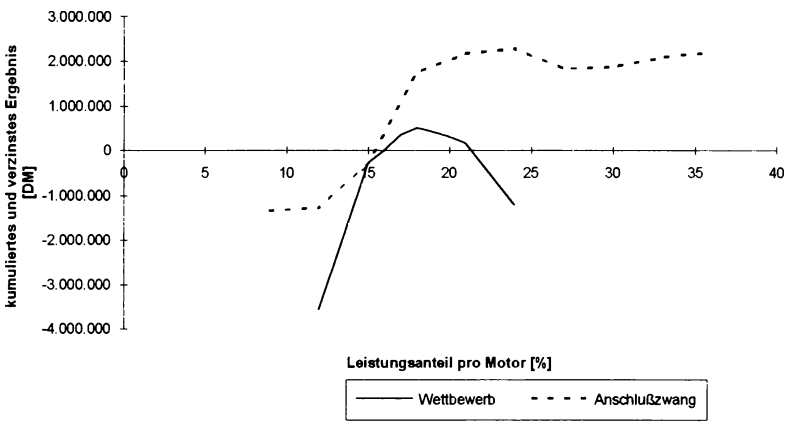

Abb. 73: Motordimensionierung in Abhängigkeit der Wettbewerbssituation bei einer Strombewertung nach der Verbändevereinbarung (Nahwärmeverbund)

Das Beispiel eines Nahwärmeverbundes dokumentiert, daß bei unsicherer Bedarfslage das günstigste wirtschaftliche Ergebnis durch die Installation nur eines BHKW-Moduls mit einem hohen Anteil der thermischen Motorleistung an der Wärmehöchstlast erreicht wird. Der Verbrauchsschwerpunkt ermöglicht eine hohe Auslastung des BHKW-Motors im Grundlastbereich. Die nur unzureichend bekannte restliche Wärmenachfrage wird günstiger mittels einer Heizkesselanlage befriedigt.

2. Auswirkung exogener Rahmenbedingungen

Die Wirtschaftlichkeit einer Nahwärmeversorgung wird im freien Wettbewerb aufgrund der Wechselbeziehung von Wärmemarkt und Versorgungsunternehmen von einem umfangreichen Datenkranz exogener Rahmenparameter beeinflußt. Um weitere Potentiale für dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung vor allem in Siedlungsgebieten unter Wettbewerbsbedingungen zu erschließen,

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

bedarf es verbesserter Rahmenbedingungen. Die Studie kann angesichts der Vielzahl von Einflußgrößen nur eine grobe Auswahl treffen, die sowohl energiewirtschaftliche als auch versorgungstechnische Rahmenparameter umfaßt.

Die hohen Investitionen in das Wärmenetz beeinflussen vor allem in Siedlungsgebieten das wirtschaftliche Ergebnis einer Nahwärmeversorgung. Die Bereitstellung einer Anschlußmöglichkeit für alle privaten Haushalte erfordert die vollständige Erschließung des Versorgungsgebietes durch ein Wärmenetz. Bei freier Wahl des Heizungssystems kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, daß sich alle potentiellen Kunden für einen Nahwärmeanschluß entschließen. Die Minderauslastung des Nahwärmesystems belastet infolge der hohen Kosten für die BHKW-Anlage und das Leitungsnetz die Ertragssituation.

In einem Neubaugebiet mit einem potentiellen Anschlußwert von 4 MW_{th} bemißt sich bei einer Leitungslänge von 1400 m der Anteil der Leitungskosten am gesamten Investitionsvolumen auf ca. 55 %. Die Vorgaben für den betrachteten Anwendungsfall entsprechen außer einer Stromvergütung nach dem City-Gate Tarif von 13 Pfg/kWh den im Referenzfall getroffenen Vorgaben. Im 10. Betriebsjahr erreichen die Fixkosten einen Anteil von 40 %. Die Anlaufverluste können bei einer Leitungslänge von 1400 m während des Betrachtungszeitraums von 20 Jahren nicht ausgeglichen werden (Abbildung 74).

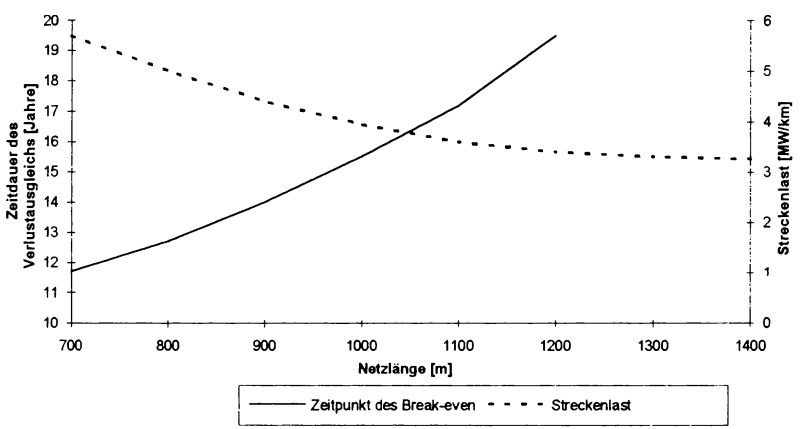

Abb. 74: Break-even-Punkt und Streckenlast in Abhängigkeit der Netzlänge (Neubaugebiet)

Mit abnehmender Netzlänge und entsprechend niedrigeren Kosten des Wärmenetzes verringert sich die Zeitdauer des Break-even. Die Verkürzung der Leitungslänge auf 700 m hat eine Halbierung der Investitionen in das Wärmenetz zur Folge. Der Anteil an den Leitungsinvestitionen vermindert sich auf

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

ca. 30 %. Für die Versorgungsvariante mit einer Leitungslänge von 700 m wird der Break-even nach 11,8 Jahren erreicht, so daß sich dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung im betrachteten Siedlungsgebiet unter wirtschaftlichen Aspekten bewährt.

Unter Wettbewerbsbedingungen muß im vorliegenden Beispiel für einen ökonomischen BHKW-Einsatz eine Streckenlastdichte über 4 MW_{th}/km mit einem durchschnittlichen Anschlußwert pro Wohngebäude von 45 kW vorliegen. Das Wohngebiet ist vorwiegend durch Mehrfamilienhäuser charakterisiert. Hohe Streckenlastdichten werden in Neubaugebieten aufgrund einer engeren Bebauung und kürzeren Leitungslängen erreicht. Dadurch verbessern sich die Einsatzbedingungen für die BHKW-Technik, so daß auch Wohnsiedlungen mit Reihen- und Mehrfamilienhäusern für Nahwärme erschlossen werden können.

Die Praxis der Strombewertung stellt auch unter Konkurrenzbedingungen ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung in Siedlungsgebieten dar. Die höheren Kosten infolge einer Minderauslastung des Nahwärmesystems sowie Investitionen in das Leitungsnetz und das Blockheizkraftwerk müssen vor allem in Wohngebieten durch die Stromgutschrift ausgeglichen werden. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten, ist im freien Wettbewerb eine Nahwärmeversorgung auf ein höheres Vergütungsniveau des KWK-Strom gegenüber einer Versorgungssituation ohne Konkurrenz angewiesen (Abbildung 75).

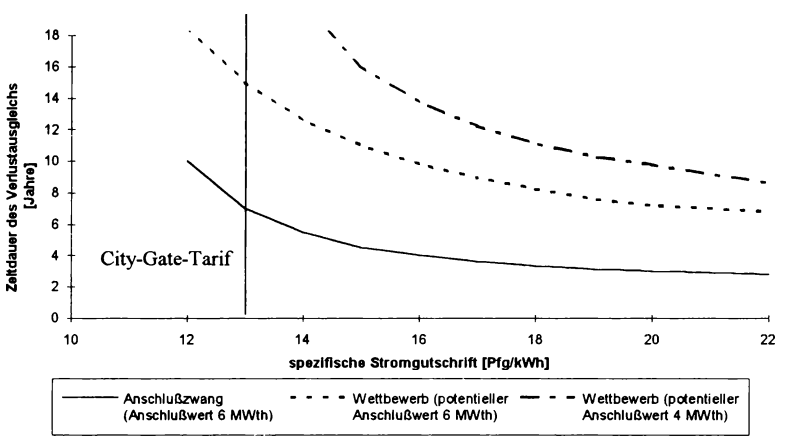

Abb. 75: Auswirkung der Strombewertung und der Wettbewerbssituation (Neubaugebiet)

Die für einen ökonomischen Betrieb geforderte Stromgutschrift ist jedoch im Einzelfall von der Siedlungstypologie und versorgungstechnischen Randbedingungen abhängig. In Neubaugebieten mit einer niedrigeren Streckenlast ist analog einem geringeren potentiellen Anschlußwert ein höherer Anteil an

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Investitionen in das Leitungsnetz nötig. Die Wirtschaftlichkeit dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung beruht auf einem hohen Vergütungsniveau des KWK-Stroms. Ein Stromtarif gemäß des City-Gate-Ansatzes ermöglicht unter den im Referenzfall getroffenen Annahmen indessen nur in Siedlungsgebieten mit einem hohen Anschlußwert einen wirtschaftlichen BHKW-Einsatz.

Im freien Wettbewerb gewährleistet in der Regel erst die Substitution von Strombezug den wirtschaftlichen Betrieb einer Nahwärmeversorgung. Mit höherem Anteil der Eigennutzung ist eine deutliche Steigerung des Ergebnisses zu verzeichnen (Abbildung 76).

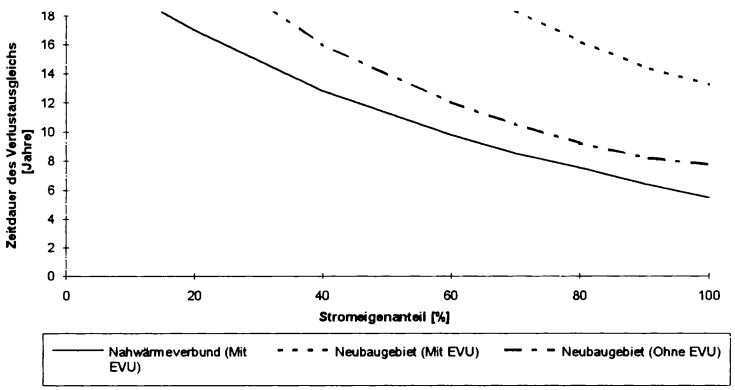

Abb. 76: Zeitpunkt des Break-even in Abhängigkeit des Stromeigenanteils unter EVU-Beteiligung

Die Strombewertung ist von den stromwirtschaftlichen Rahmenbedingungen abhängig. Im betrachteten Anwendungsfall erfolgt die Nahwärmeversorgung eines Wärmeverbunds mit einem potentiellen Anschlußwert von 7 MW_{th} durch eine Projektgesellschaft. An der Gesellschaft, die für den Betrieb und die Unterhaltung der Nahwärmeversorgung verantwortlich zeichnet, ist das örtliche Energieversorgungsunternehmen mitbeteiligt. Der Energieversorger unterhält ein eigenes Stromnetz, jedoch ohne eigene Kraftwerkskapazitäten. Für den verdrängten Strombezug müssen die Vergütungssätze der Stromlieferung eines Vorlieferanten, in der Regel eines überregionalen EVU, kalkuliert werden. Der Stromtarif liegt unter dem Preisniveau für private Kunden. Im vorliegenden Beispiel beträgt die spezifische Stromvergütung je nach Anteil der Eigennutzung zwischen 12,5 Pfg/kWh und 14 Pfg/kWh. Zur Minderung des Investitionsrisikos ist eine Eigennutzung des KWK-Stroms über 50 % gefordert.

Im freiem Wettbewerb sind Versorgungsprojekte in Siedlungsgebieten unter Beteiligung des örtlichen EVU auf eine hohe Eigennutzung des erzeugten KWK-Stroms angewiesen. Unter Annahme der gleichen Randbedingungen wie im zuvor diskutierten Wärmeverbund ist in einem Neubaugebiet mit einem potentiellen Anschlußwert von 4 MW_{th} erst ab einen Eigenanteil über

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

70% von einer wirtschaftlich akzeptablen Nahwärmeversorgung auszugehen. Die Nutzung des im KWK-Prozeß erzeugten Stroms von 70 % bis 100 % erfordert indessen einen weitgehend deckungsgleichen Wärme- und Strombedarf. Ein solcher Bedarfsverlauf läßt sich vor allem im Wohnungsbau in der Regel nicht realisieren.

Bei Substitution des Strombezugs von einem EVU können ohne Beteiligung des örtlichen Energieversorgers an einer Projektgesellschaft die höheren Tarifsätze für Sondervertragskunden oder private Kunden in Ansatz gebracht werden. Eine Zeitdauer des Break-even von 16 Jahren wird bereits bei einer Eigennutzung von 40 % erreicht. Im Wettbewerb können sich daher vor allem Projektgesellschaften ohne das Engagement eines kommunalen oder regionalen Energieversorgers behaupten. Es muß allerdings kritisch angemerkt werden, daß die ohne EVU-Beteiligung anfallenden zusätzlichen Investitionskosten in das Stromnetz im Rahmen der Studie nicht berücksichtigt wurden.

Unter verschärften Konkurrenzbedingungen eröffnen sich auf der Grundlage der Verbändevereinbarung Chancen für Nahwärme. Im Falle eines Nahwärmeverbundes wird von einer vollständigen Einspeisung in das öffentliche Stromnetz ausgegangen. Die Planungsempfehlung der BHKW-Anlage entspricht einer wirtschaftlich optimierten Motordimensionierung[27]. Das Anlagekonzept umfaßt den Betrieb nur eines Motoraggrets mit einem vorgesehenen Leistungsanteil von 18 % an der Wärmehöchstlast.

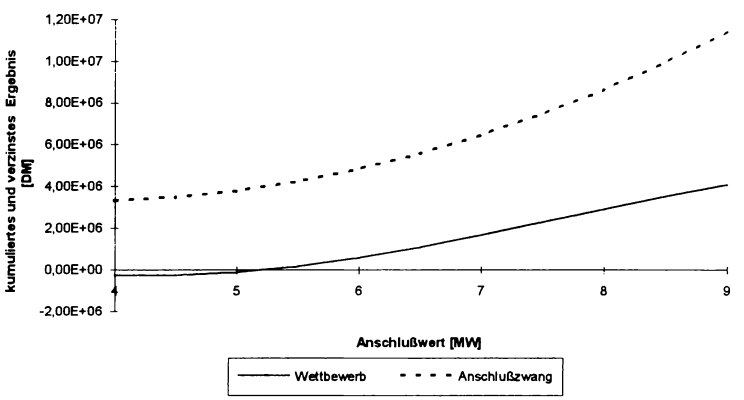

Abb. 77: Strombewertung nach der Verbändevereinbarung (Nahwärmeverbund)

Die Untersuchung zeigt, daß selbst kleinere Nahwärmeprojekte nach 20 Jahren nur einen geringen Verlust aufweisen, obwohl sich im Gegensatz zu einer Versorgungssituation mit Anschlußzwang die wirtschaftliche Situation verschlechtert (Abbildung 77). Ab einem Anschlußwert von 5 MW_{th} können die Anlaufverluste über den Betrachtungszeitraum vollständig ausgeglichen

[27] Vergleiche Abbildung 62.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

werden. Die Zeitdauer des Break-even verkürzt sich bei einem Anschlußwert von 9 MW_{th} auf 7,5 Jahre.

Das Resultat ist insofern von Bedeutung, als auch Versorgungsobjekte ohne die Möglichkeit einer Stromeigennutzung unter Konkurrenzbedingungen nach ökonomischen Gesichtspunkten mit Nahwärme versorgt werden können. Während die Aufmerksamkeit bisher auf Projekte mit einem hohen Anteil an Stromeigennutzung lag, rücken damit auch Konzepte in den Blickpunkt, die aufgrund der Versorgungskonstellation auf eine vollständige Stromeinspeisung angewiesen sind.

Eine Energiepreissteigerung führt in einem Wohngebiet unter Wettbewerbsbedingungen gemäß der im Referenzfall zugrunde gelegten Prämissen zu einer Verschlechterung des wirtschaftlichen Ergebnisses (Abbildung 78). Im untersuchten Beispiel der Nahwärmeversorgung eines Neubaugebiets mit einem potentiellen Anschlußwert von 6 MW_{th} wird zusätzlich ein Szenario angenommen, welches im Zeitverlauf ein kontinuierlich steigendes Ansehen der Nahwärme unterstellt. Als Grund kann ein stetig wachsendes Umweltbewußtsein der Verbraucher angeführt werden. Abweichend vom Referenzfall wird aufgrund der unsicheren Bedarfslage die Installation nur eines BHKW-Moduls mit einem thermischen Leistungsanteil von 12 % an der Wärmehöchstlast vorgesehen. Der Vergütungssatz in Höhe von 13 Pfg/kWh entspricht dem von der Fördergemeinschaft BHKW geforderten City-Gate-Tarif.

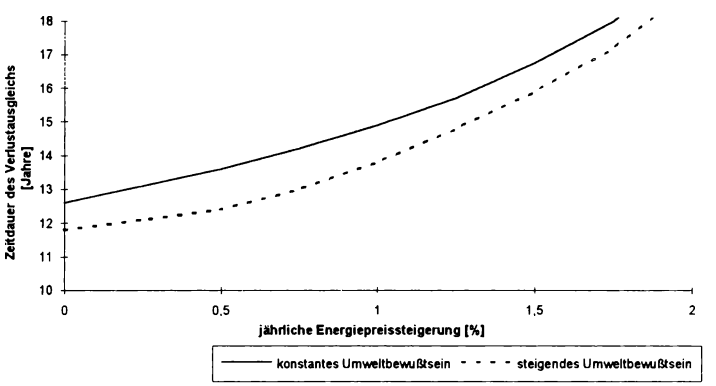

Abb. 78: Einfluß von Umweltbewußtsein und Energiepreissteigerung (Neubaugebiet)

Die Erwartung eines steigenden Umweltbewußtseins kann nicht als Motivation für ein Nahwärmeprojekt angeführt werden. In jedem Fall muß der wirtschaftliche Erfolg der Nahwärmeversorgung aufgrund geeigneter Rahmenbedingungen gegeben sein. Im angesprochenen Beispiel bewirkt ein steigendes ökologisches Bewußtsein keine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Der Basiswert der Akzeptanz beträgt aufgrund von Kundenbefragungen zu Projektbeginn 70 %. Preisbedingte Faktoren überwiegen. Deshalb vermag selbst ein

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

deutlich zunehmendes ökologisches Bewußstein die Akzeptanz nur wenig zu beeinflussen.

Mit der Untersuchung wird aufgezeigt, daß sich Nahwärme auch im freien Wettbewerb behaupten kann. Es muß jedoch das Resümee gezogen werden, daß unter den gegebenen Rahmenbedingungen dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung im Wohnungsbereich erst für Versorgungsgebiete mit einem höheren Anschlußwert wirtschaftlich vertretbar ist. Für die im Referenzfall zugrunde liegenden Prämissen gilt als untere Grenze einer wirtschaftlichen Versorgung ein spezifischer Anschlußwert über 80 kW/Anschluß, was einer durch Mehrfamilienhäuser und Wohnblöcken dominierten Bebauung entspricht.

Unter geeigneten Randbedingungen können im freien Wettbewerb dagegen auch Siedlungsgebiete mit geringer Anschlußdichte durch dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung erschlossen werden. Im Vergleich zum Referenzfall wird ein Szenario mit wachsendem Umweltbewußtsein und einer Energiepreissteigerung um jährlich 1 % angenommen (Abbbildung 79). Die Leitungslänge im Versorgungsgebiet beträgt 1000 m. Bei einer Strombewertung nach dem City-Gate-Tarif erhöht sich die Wirtschaftlichkeit trotz einer jährlichen Steigerung des Energiepreises.

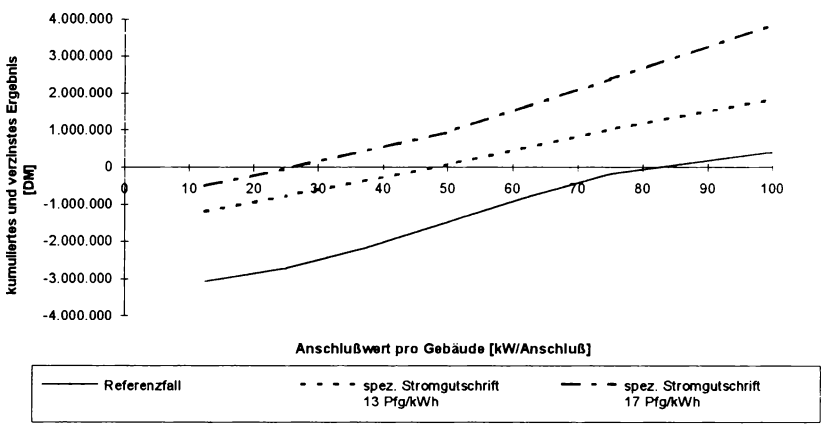

Abb. 79: Einfluß von Stromgutschrift, Energiepreissteigerung, Netzlänge und Umweltbewußtsein auf die Wirtschaftlichkeit (Neubaugebiet)

Eine Stromgutschrift von 17 Pfg/kWh verbessert ebenfalls die wirtschaftliche Situation, so daß bereits Wohngebiete mit spezifischen Anschlußwerten unter 30 kW/Anschluß aus ökonomischen Gesichtspunkten von Interesse sind. Durch die Erschließung von Reihenhaussiedlungen bzw. Ein- und Mehrfamilenhäuser mit Nahwärme eröffnen sich auf deregulierten Wärmemärkten auch im Stadtrandbereich und in ländlichen Gebieten Chancen für dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

IV. Formulierung von Maßnahmen zur Förderung von Nahwärme

Um einen gleichermaßen energie- als auch umweltpolitisch sinnvollen Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung in Siedlungsgebieten zu forcieren, gilt es Maßnahmen zur weiteren Förderung zu realisieren. Aufgabe der Politik ist es, durch geänderte Rahmenbedingungen auch unter verschärften Konkurrenzbedingungen Hindernisse zu beseitigen und den Weg für einen weiteren Ausbau der Nahwärme zu ebnen. In diesem Zusammenhang werden Fördermaßnahmen im Rahmen von Zuschüssen für Nahwärmeprojekte und die Einführung einer kombinierten Energie/CO_2-Steuer diskutiert.

1. Auswirkung einer Energie/CO_2-Steuer

In der Studie wird die Ausgestaltung einer kombinierten Energie/CO_2-Steuer nach dem Richtlinienentwurf der Kommission der Europäischen Gemeinschaft betrachtet.[28] Berechnungsgrundlage sind die im Entwurf genannten Steuersätze auf fossile Energieträger. Tabelle 5 zeigt die entsprechenden Steuersätze für fossile Energieträger anhand der Überarbeitung des Richtlinienvorschlags vom Mai 1995. Ausgangspunkt der Steuerberechnung ist ein anfänglicher Betrag von 3$ pro Barrel Rohöl[29]. Davon entfallen jeweils 50 % auf die Kohlendioxid- und die Energiesteuerkomponente.

Tabelle 5
Steuersätze auf fossile Energieträger

Steuer	3$ / Barrel			10$ / Barrel		
Brennstoff	En.-steuer DM/MWh	CO_2-Steuer DM/MWh	Steuer ges. DM/MWh	En.-steuer DM/MWh	CO_2-Steuer DM/MWh	Steuer ges. DM/MWh
Rohöl	1,44	1,44	2,88	4,79	4,79	9,58
Heizöl	1,44	1,42	2,86	4,79	4,72	9,51
Erdgas	1,44	1,09	2,53	4,79	3,65	8,44

Auf die CO_2-Komponente errechnet sich ein Hebesatz von 2,81 ECU/t CO_2. Der Steueranteil ist vom spezifischen Kohlenstoffanteil eines Energieträgers abhängig[30]. Bemessungsgrundlage der CO_2-Komponente ist die bei der Ver-

[28] Vgl. Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Einführung einer Steuer auf Kohlendioxidemissionen und Energie, KOM(95) 172 endg. vom 10.05.1995, Brüssel.

[29] Als Wechselkurse werden 1,50 DM/$ und 1,90 DM/ECU angenommen.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

brennung anfallende Kohlendioxidmenge. Auf die Energiekomponente entfällt ein Steueranteil von 0,21 ECU/GJ. Nach der Einführung der Steuer ist gemäß Artikel 9 (3) eine jährliche Erhöhung um jeweils einen Dollar vorgesehen, so daß nach sieben Jahren ein Betrag von 10 $ pro Barrel Rohöl erhoben wird.

Der Richtlinienvorschlag sieht für die Energiekomponente der Elektrizität eine "outputorientierte" Besteuerung vor. Um die Stromerzeugung in Kernkraftwerken und fossil befeuerten Kraftwerksanlagen nach dem CO_2-Gehalt der Einsatzenergien zu bemessen, ist eine Umrechnung auf den tatsächlichen Energieeinsatz notwendig. Der Stromerzeugung wird ein Wirkungsgrad von 36 % zugrunde gelegt, so daß eine Energiekomponente von 2,1 ECU/MWh_{el} (0,76 ECU/GJ) resultiert[31]. In Tabelle 6 sind die Steuersätze auf elektrischen Strom bei unterschiedlichem Energieträgereinsatz angegeben.

Tabelle 6

Energie/CO_2-Steuer auf Strom bei unterschiedlichem Energieeinsatz

Steuer	3$ / Barrel			10$ / Barrel		
Brennstoff	En.-steuer DM/MWh	CO_2-Steuer DM/MWh	Steuer ges. DM/MWh	En.-steuer DM/MWh	CO_2-Steuer DM/MWh	Steuer ges. DM/MWh
Erdgas	3,99	3,04	7,03	13,30	10,13	23,43
Steinkohle	3,99	5,01	9,00	13,30	16,70	30,00
Braunkohle	3,99	5,32	9,31	13,30	17,74	31,04
Kernenergie	3,99	-	3,99	13,30	-	13,30
Wasserkraft	1,44	-	1,44	4,81	-	4,81
Strom-Mix	3,99	3,44	7,43	13,30	11,48	24,78

Die Berechnung der tatsächlichen CO_2-Steuerkomponente gestaltet sich schwierig, da in der Regel die Stromerzeugung in einem Kraftwerkspark auf Basis verschiedener Energieträger erfolgt. Zu beachten ist, daß in nuklearen Kraftwerken keine CO_2-Emissionen anfallen. Dadurch reduziert sich der emissionsbezogene Steueranteil gegenüber einem ausschließlichen Kohleeinsatz.

[30] Grundlage der Berechnung ist der spezifische Rohöl-Emissionsfaktor von 0,0075 tCO_2/GJ und der Energieinhalt von 6,1 GJ/Barrel. Die entsprechenden Werte sind im Richtlinienentwurf angeführt; (GJ = Gigajoule).

[31] Der Umrechnungsfaktor beträgt 3,6 GJ = 1MWh ; 1 GJ (Gigajoule) = 10^9 J; 1MWh = 10^6 Wh

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Bislang gibt es für die steuerliche Behandlung des auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Stroms und der Wärme kein einheitliches Berechnungsmodell[32]. Problematisch ist vor allem die Zuordnung des Energieeinsatzes auf die Kuppelprodukte. Für die steuertechnische Handhabung bietet sich ein Verfahren an, das die erzeugte Wärmemenge inputseitig auf Basis der eingesetzten Primärenergie belastet. Der Berechnung liegt zudem die Annahme zugrunde, daß die Stromerzeugung in einem Blockheizkraftwerk anderweitig in einem Kraftwerk erzeugte Elektrizität verdrängt und somit Emissionen vermeidet.

Der energetische Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung kommt dadurch zum Ausdruck, daß die Wärme um den Steueranteil des erzeugten Stroms entlastet wird. Bemessungsgrundlage ist die Stromerzeugung in einem fiktiven Kraftwerkspark. In der Studie wird von einem Drittelmix von jeweils 33 % aus Stein- und Braunkohlekraftwerken sowie Kernkraftwerken ausgegangen. Regenerative Energieträger werden nicht berücksichtigt, da sie derzeit nur eine untergeordnete Rolle spielen. Die in der Kesselanlage erzeugte Wärmemenge wird auf Basis der eingesetzen Brennstoffmenge besteuert.

Die Energieerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung profitiert wegen der höheren Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie von einer Energie/CO_2-Steuer unabhängig vom Anschlußwert des Versorgungsobjekts. Das Untersuchungsergebnis zeigt jedoch, daß für den Anwendungsfall einer Klinik als Verbrauchsschwerpunkt eine kombinierte CO_2-/Energiesteuer, wie sie von der Europäischen Kommission empfohlen wird, die wirtschaftliche Situation nur wenig verbessert (Abbildung 80).

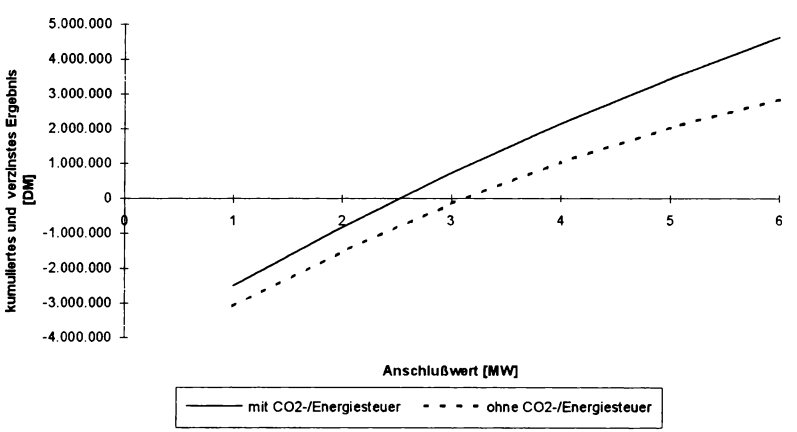

Abb. 80: Auswirkung einer CO_2-/Energiesteuer bei einem Verbrauchsschwerpunkt (Klinik)

[32] Vgl. *Wagner*, Gerhard: Auswirkungen einer CO_2-/Energiesteuer aus städtebaulicher Sicht, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42 Jg. (1992), Heft 12, S. 829.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Die Auswirkung einer entsprechenden Besteuerung ist jedoch vom Anwendungsfall abhängig. Im Rahmen eines Nahwärmeverbunds bewirkt eine kombinierte CO_2-/Energiesteuer eine deutliche Verbesserung der Wirtschaftlichkeit (Abbildung 81). Von einer CO_2-/Energiesteuer profitieren vor allem kleinere Versorgungsprojekte wie der Break-even in Abhängigkeit des Anschlußwertes zeigt. Mit der Einführung einer CO_2-/Energiesteuer können somit zusätzliche Potentiale für Nahwärme durch Versorgungsobjekte mit geringerem Anschlußwert erschlossen werden.

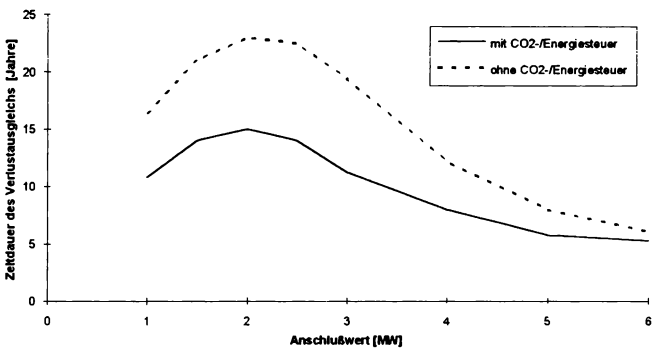

Abb. 81: Auswirkung einer CO_2-/Energiesteuer (Wärmeverbund)

Darüber hinaus wird für die Gestaltung einer "Ökosteuer" eine ausschließlich "outputorientierte" Emissionsteuer auf Basis der Kohlendioxidemissionen vorgeschlagen. Grundlage sind die Emissionen einer BHKW-Anlage bzw. die vermiedenen Emissionen durch Substitution von Stromerzeugung. In Abbildung 82 ist am Beispiel eines Nahwärmeverbunds eine Steuer auf Basis der CO_2-Emissionen einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer gegenübergestellt. Es zeigt sich indessen, daß eine emissionsbezogene Besteuerung nur einen geringen Vorteil gegenüber einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer erbringt.

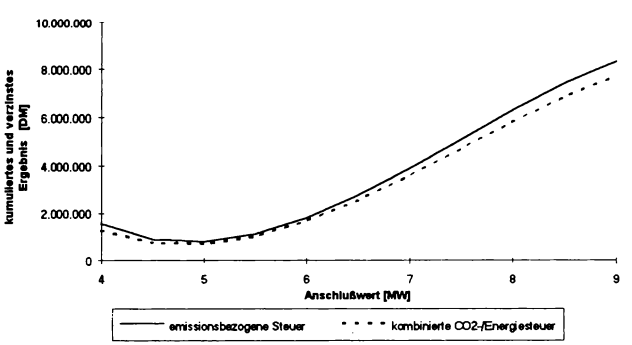

Abb. 82: Vergleich einer emissionsbezogenen Steuer mit einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer (Wärmeverbund)

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

2. Subventionierung von Nahwärmeprojekten

Ein großes Hemmnis für die Nutzung von Nahwärmepotentielen stellen die hohen Anlaufverluste dar. Versorgungsunternehmen müssen Vorleistungen zum Ausbau einer Infrastruktur erbringen. Beispielsweise muß die Auslegung der Hauptleitungen des Verteilungsnetzes den Erfordernissen im Endausbau entsprechen. Eine nachträgliche Leitungsverlegung ist mit großem Aufwand verbunden. Im Wettbewerbsfall sollte der Rohrquerschnitt einer Hauptleitung derart dimensioniert werden, daß für alle potentiellen Kunden ein Anschluß an Nahwärme gewährleistet ist. Die Anschlußentwicklung erfolgt jedoch mit einer zeitlichen Verzögerung mit der Folge einer temporären Minderauslastung. Hohen Kapitalkosten stehen am Anfang nur geringe Einnahmen entgegen. Aus diesem Grund ergeben sich während der Aufbauphase leitungsgebundener Systeme "Anlaufverluste"[33].

Fördermaßnahmen und Subventionen stellen als Anlaufhilfe ein wichtiges Instrument dar, um Investoren zu einem weiteren Ausbau der Fern- und Nahwärme zu bewegen[34]. Dem Einsatz von Fördermitteln muß allerdings eine eingehende Prüfung der Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmeprojektes vorausgehen, um die Subvention einer über die Anlaufphase hinaus defizitären Wärmeversorgung zu vermeiden. Das Bundesland Schleswig-Holstein gewährt "Zuwendungen für Maßnahmen von besonderer energiewirtschaftlicher Bedeutung oder mit einem Beitrag zur Weiterentwicklung der gemeinsamen Erzeugung von Strom und Wärme"[35]. Die Zuwendung durch nicht rückzahlbare Investitionszuschüsse erfolgt im Rahmen einer Projektförderung als Anteil- bzw. Festbetragsfinanzierung. Die Zuwendungshöhe beträgt bis zu 30 % der förderfähigen Kosten, die im wesentlichen die Planung und Inbetriebnahme umfassen.

Der Abbau von Subventionen erfaßt zunehmend auch die Förderung von Nahwärmeprojekten. Zudem setzt sich die Ansicht durch, daß Nahwärme ohne Fördermaßnahmen im Wettbewerb bestehen muß. Unter ökologischen Gesichtspunkten können jedoch Subventionen ein wichtiges Instrument darstellen, um der Nahwärme insbesondere im Wohnbereich zu einem weiteren Ausbau zu verhelfen. So eröffnet die Subventionierung vor allem in Neubaugebieten Chancen für einen verstärkten Einsatz von Nahwärme. In der Regel genügen schon geringe Zuschüsse, die Anlaufverluste zu vermindern.

---

[33] Vgl. *Junk*, Herbert: Anlaufverluste der Fernwärmeversorgung in betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht, ZfE, Heft 2, 1986, S. 123-129

[34] Vgl. *Stumpf*, Hans/ *Windorfer*, Eugen: Fernwärme in der Bundesrepublik Deutschland - Hindernisse für ihre Entwicklung, Ansatzpunkte für ihre öffentliche Förderung, Verlag C. F Müller, Karlsruhe, 1985, S. 63 ff.

[35] Vgl. Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen der Kraft-Wärme-Kopplung und des Fernwärmeausbaus (Programm "KWK und Fernwärme): Gl. NR. 6603.2 Erlaß des Ministeriums für Finanzen und Energie vom 18. Oktober 1994 -VI 720-604-232.-.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Im Rahmen der Studie werden Subventionen als prozentualer Anteil auf Investitionen für Anlagen zur Wärmeerzeugung und -verteilung bewilligt. Eine zunächst erfolgsneutrale Vereinnahmung wird erst über das verringerte Abschreibungspotential erfolgswirksam, indem sich die Anschaffungskosten um die Zuschüsse vermindern[36].

Die Förderung eines Nahwärmeprojekts zur Versorgung einer Klinik mit einem Zuschuß von 25 % auf die getätigten Anlageinvestitionen führt zu einer Steigerung des wirtschaftlichen Ergebnisses (Abildung 83). Im vorliegenden Beispiel nutzt ein Krankenhaus 30 % des erzeugten KWK-Stroms selbst. Abhängig von der Objektgröße werden Fördermittel zwischen ca. DM 200.000 und DM 570.000 bewilligt. Dennoch zeigt sich, daß eine Förderung von 25 % der Anlageinvestitionen keine entscheidende Verbesserung des wirtschaftlichen Erfolgs bewirkt. So verkürzt sich bei einer Objektgröße von 6 MW_{th} Anschlußwert mit Subventionierung der Zeitpunkt des Break-even von 3 auf 2,5 Jahre.

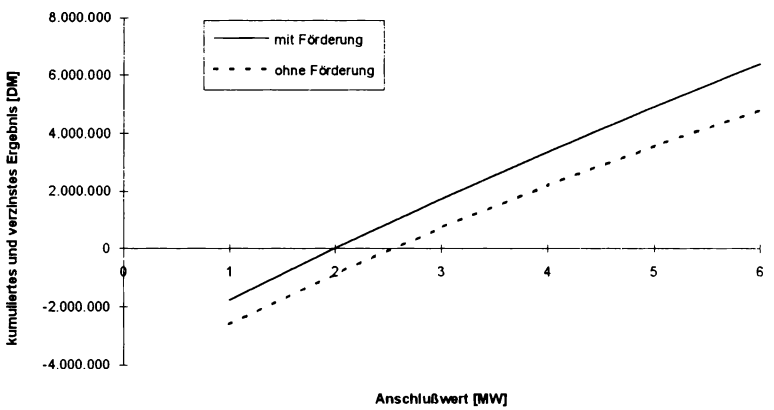

Abb. 83: Förderung der BHKW-Anlage einer Klinik

Demgegenüber bewirkt die Förderung von Nahwärmeprojekten unter Wettbewerbsbedingungen eine deutliche Steigerung des wirtschaftlichen Erfolgs. Am Beispiel eines Nahwärmeverbunds ist abhängig vom Fördersatz eine signifikante Verkürzung des Break-even-Zeitpunktes festzustellen (Abbildung 84).

[36] Vgl. *Eisele*, Wolfgang: Technik des betrieblichen Rechnungswesens: Buchführung - Kostenrechnung - Sonderbilanzen, 4. Auflage, Vahlen, München, 1993, S. 189.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

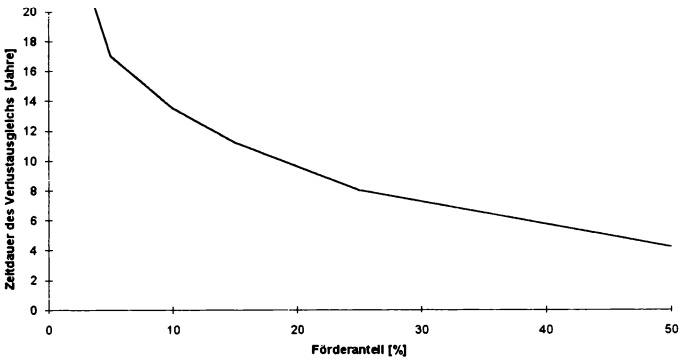

Abb. 84: Einfluß von Fördermaßnahmen auf den Break-even Nahwärmeverbund

Ursache einer Verbesserung der Wirtschaftlichkeit gegenüber einem Verbrauchsschwerpunkt sind die höheren Investitionen in das Leitungsnetz zur Anbindung eines Wohngebiets. Zur Förderung eines rationellen Energieeinsatzes durch dezentrale Nahwärme bedarf es im vorliegenden Anwendungsfall nur geringer Fördermittel. Die Anlaufverluste können auch bei einem vergleichsweise niedrigen Fördersatz von 10 % der gesamten Anlageinvestitionen nach 14 Jahren ausgeglichen werden. Die Subventionen für das Versorgungsobjekt mit einem Anschlußwert von 5 MW_{th} betragen DM 320.000.

Im freien Wettbewerb ist die Förderung der Nahwärmeversorgung eines Neubaugebiets erst für Versorgungsgebiete mit einem höheren Anschlußwert wirtschaftlich sinnvoll. Durch einen Fördersatz von 25 % können die Verluste bezogen auf das 20. Betriebjahr deutlich vemindert werden (Abbildung 85). Die Betriebskosten des Blockheizkraftwerks werden jedoch bei einem geringen Wärmebedarf sowie einer niedrigen Stromgutschrift nicht durch die Erlöse abgedeckt.

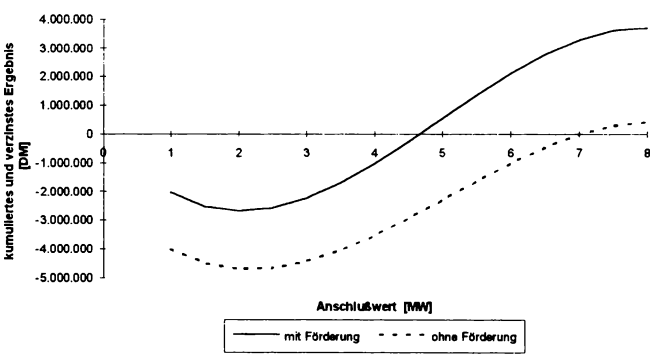

Abb. 85: Förderung eines Neubaugebiets mit einem Förderanteil von 25 %

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Fördermaßnahmen dürfen nicht zur "künstlichen Stützung" eines unrentablen Nahwärmeprojekts mißbraucht werden. Der Erfolg dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung ist unabhängig von Zuschüssen zu bewerten. Als Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg insbesondere unter Konkurrenzbedingungen müssen geeignete Rahmenbedingungen vorliegen.

Unter den verschärften Bedingungen eines freien Wettbewerbs können bei einer Kombination günstiger Rahmenbedingungen und energiepolitischer Maßnahmen, wie Energiebesteuerung oder Subventionierung, der rationelle Energieeinsatz im Wohnbereich mittels Blockheizkraftwerke als ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Alternative angesehen werden (Abbildung 86). Ein Nahwärmeprojekt zur Versorgung eines Neubaugebiets wird mit einem Fördersatz von 25 % bezuschußt. Zudem wird ein Szenario angenommen, das gleichzeitig die Erhebung einer kombinierten CO_2-/Energiesteuer und einen freien Wettbewerb vorsieht. Ein Elektrizitätsversorger als Abnehmer des eingespeisten Stroms gewährt eine Stromvergütung in Höhe von 14 Pfg/kWh gemäß des City-Gate-Tarifs. Die Leitungslänge innerhalb des Wohngebiets beträgt 700 m.

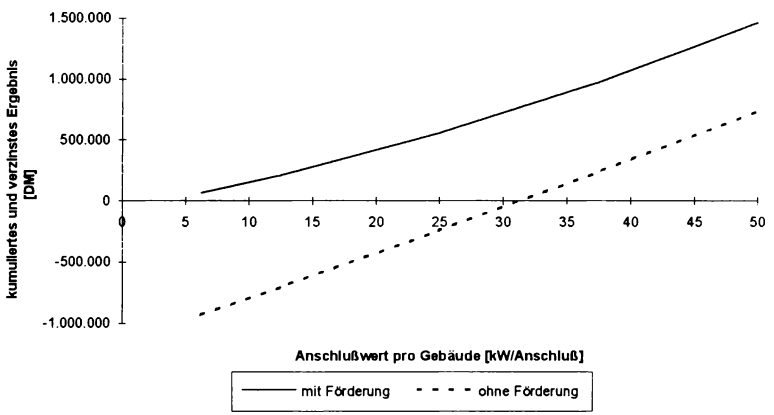

Abb. 86: Wirkung von Fördermaßnahmen unter Wettbewerb bei Erhebung einer CO_2-/Energiesteuer (Neubaugebiet)

Ein wirtschaftlich sinnvoller Einsatz dezentraler Kraft-Wärme-Kopplung ist bereits in Wohnsiedlungen mit einem Anschlußwert von 500 kW möglich. Der Anschlußwert pro Wohngebäude beträgt dabei 6,25 kW, wie er für Wohngebäude in Niedrigenergiebauweise charakteristisch ist. Auf Grundlage der diskutierten politischen Maßnahmen ist von einem erheblichen Potential an "nahwärmewürdigen" Versorgungsobjekten auszugehen. Die Grenzziehung einer wirtschaftlichen Nahwärmeversorgung verschiebt sich ohne energiepolitische Unterstützung zu deutlich höheren Anschlußwerten vergleichbar einer Bebauung mit Mehrfamilienhäusern.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

E. Anhang

I. Modellgleichungen

```
*****************************************************************
Wärmemarktsektor
*****************************************************************

(1)   Gesamtnutzwärme = SUM(Nutzwärme [kdn!])                    ~ MWh/Monat

(2)   Nutzwärme [kdn] = WÄRMEMENGE(MAX(Wärmeleistung
            Verbraucher [kdn], 0,) Streckfaktor [kdn])           ~ MWh/Monat

(3)   kdn : priv, sond

(4)   Wärmeleistung Verbraucher [sond] = MIN(Wärmehöchstlast Verbraucher,
                                         Wärmeleistung Nachfrage [sond])
      Wärmeleistung Verbraucher [priv] = MIN(Wärmehöchstlast Verbraucher -
                                         Wärmeleistung Nachfrage [sond],
                                         Wärmeleistung Nachfrage [priv])   ~ kW

(5)   Gesamtwärmeleistung Nachfrage=SUM(Wärmeleistung Nachfrage[kdn!]) ~ kW

(6)   Wärmeleistung Nachfrage [kdn] = DELAY FIXED(Wärmeleistung
                                       Vertrag [kdn],Bauzeit [geb],
                                       Wärmeleistung Vertrag [kdn])   ~ kW

(7)   Gesamtwärmeleistung Vertrag = SUM(Wärmeleistung Vertrag [kdn!])   ~ kW

(8)   Wärmeleistung Vertrag [kdn] = Anschlußwert Nahwärme [kdn] * GF   ~ kW

(9)   GF = Gleichzeitigkeitsgrad * Energiebedarfsfaktor                ~ dmls

(10)  Gleichzeitigkeitsgrad = 0.8                                      ~ dmls

(11)  Energiebedarfsfaktor = IF THEN ELSE(Schalter Energiebedarf=1,
                                 1 - RAMP(0.0014,96,240),1)            ~ dmls

(12)  Schalter Energiebedarf = 0                                       ~ dmls

(13)  Anschlußwert Nahwärme [kdn] = INTEG(Anschlußwert Zuwachs Nah [kdn]
                                     - Umrüstung [kdn],0)              ~ kW
```

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(14) Anschlußwert Zuwachs Nah [priv] = Erschließung [priv]
* Potentieller Wärmemarkt
* Akzeptanz Nahwärme

Anschlußwert Zuwachs Nah [sond]= Erschließung[sond]
* (Anschlußwert Markt[sond]
- Anschlußwert Nahwärme [sond]) ~ kW/Monat

(15) Erschließung [kdn] = 0.075, 1 ~ 1/Monat

(16) Anschlußwert Öl = INTEG(Anschlußwert Zuwachs Öl
+ Umrüstung [priv], 0) ~ kW

(17) Anschlußwert Zuwachs Öl = potentieller Wärmemarkt *
Akzeptanz Öl * Erschließung ~ kW/Monat

(18) potentieller Wärmemarkt = INTEG(-(Anschlußwert Zuwachs Nah [priv]
+ Anschlußwert Zuwachs Öl),0) ~ kW

(19) Gesamtanschlußwert Markt = SUM(Anschlußwert Markt [kdn!]) ~ kW

(20) Anschlußwert Markt [kdn]= IF THEN ELSE(Schalter Kunden [kdn]=1,
Anschlußwert [kdn],0) ~ kW

(21) Schalter Kunden[kdn] = 1, 1 ~ dmls

(22) Anschlußwert [kdn] = 2000, 3000 ~ kW

(23) Gesamtwärmeleistung Markt = SUM(Anschlußleistung Markt [kdn!]) ~ kW

(24) Anschlußleistung Markt [kdn] = Anschlußwert Markt [kdn] * GF ~ kW

(25) Umrüstung [priv] = Umrüstung Nahwärme - Umrüstung Öl
Umrüstung [sond] = 0 ~ kW/Monat

(26) Umrüstung Nahwärme = MAX(Anschlußwert Nahwärme[priv]
- Akzeptanz Nahwärme * Gesamtanschlußwert
Privat, 0) * Ersatzbereitschaft ~ kW/Monat

(27) Umrüstung Öl = MAX(Anschlußwert Öl - Gesamtanschlußwert Privat
* Akzeptanz Öl, 0) * Ersatzbereitschaft ~ kW/Monat

(28) Gesamtanschlußwert Privat = Anschlußwert Nahwärme [priv]
+ Anschlußwert Öl ~ kW

(29) Akzeptanz Nahwärme = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang = 0,
Akzeptanz, 1) ~ dmls

(30) Schalter Anschlußzwang = 1 ~ dmls

(31) Akzeptanz Öl = (1 - Akzeptanz Nahwärme) ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(32) Akzeptanz = Akzeptanz Preis - Gewichtung Akzeptanz*(1 - Ansehen) ~ dmls

(33) Gewichtung Akzeptanz = LOOKUP EXTRAPOLATE(twicht,
Wärmepreis Verhältnis) ~ dmls

(34) twicht ([(0,0)-(4,2)],(0,0),(0.1,0.05),(0.2,0.1),(0.3,0.2),(0.4,0.35),
(0.5,0.5),(0.6,0.7),(0.7,0.85),(0.8,0.95),(0.9,0.98),(1,1),(1.2,0.9),
(1.5,0.5),(1.75,0.15),(2,0.05),(2.2,0),(2.5,0)) ~ dmls

(35) Wärmepreis Verhältnis = ZIDZ(Wärmepreis tatsächlich [priv],
Wärmepreis anlegbar [priv]) ~ dmls

(36) Akzeptanz Preis = LOOKUP EXTRAPOLATE (tpreis,
Wärmepreis Verhältnis) ~ dmls

(37) tpreis ([(0,0)-(3,1)],(0,1),(1,1),(1.2,0.9),(1.5,0.5),(1.75,0.15),
(2,0.05),(2.2,0),(2.5,0)) ~ dmls

(38) Ansehen = SINTEG(Ansehen Änderung,AnseheBasiswert,0,1,:NA:,:NA:,:NA:)
~ dmls

(39) Ansehen Basiswert = 0.7 ~ dmls

(40) Ansehen Änderung = Versorgungsicherheit + Bewußtsein
+ Preiszufriedenheit ~ dmls

(41) Versorgungsicherheit = MIN(Versorgungsgrad, 0.0005) ~ dmls

(42) Versorgungsgrad = ZIDZ(Wärmelast gesamt - Gesamtwärmeleistung
Nachfrage, Gesamtwärmeleistung Nachfrage)/20) ~ dmls

(43) Bewußtsein = 0.0005 ~ dmls

(44) Preiszufriedenheit = (1 - Wärmepreis Verhältnis) / 100 ~ dmls

(45) Ersatzbereitschaft = LOOKUP EXTRAPOLATE(talter,Time) ~ dmls

(46) talter ([(0,0)-(240,1)],(0,0),(48,0),(60,0.02),
(96,0.1),(144,0.5),(180,0.9),(204,1),(240,1)) ~ dmls

(47) Wärmepreis anleg mittel = ZIDZ(SUM(Wärmepreis anlegbar [kdn!]
* Anschlußwert Markt [kdn!]),
Gesamtanschlußwert Markt) ~ DM/MWh

(48) Wärmepreis anlegbar [kdn] = spezifische Festkosten Öl [kdn] + (Steuer Öl
+ spezifische Brennstoffkosten Öl [kdn])
/ Wirkungsgrad Kessel - spezifische
Festkosten Nahwärme[kdn] ~ DM/MWh

(49) spezifische Festkosten Öl [kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tkosöl,
Anschlußwert spezifisch [kdn]) ~ DM/MWh

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(50) tkosöl ([(0,0)-(2000,200)],(0,0),(1,164), (13,111),(20,80),(36,57),
(77,46),(200,33),(750,22),(1000,22)) ~ DM/MWh

(51) Anschlußwert spezifisch [kdn] = ZIDZ(Anschlußwert Markt [kdn],
Verbraucher gesamt [kdn]) ~ kW/nr

(52) Verbraucher gesamt [kdn] = IF THEN ELSE(Schalter Kunden[kdn] = 1,
Verbraucher [kdn],0) ~ nr

(53) Verbraucher [kdn] = 50, 1 ~ nr

(54) spezifische Brennstoffkosten Öl [kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst,
Nutzwärme Verbraucher [kdn])
* Energiepreis Steigerung ~ DM/MWh

(55) tbrkst ([(0,0)-(10000,80)],(0,0),(1,70),(6.5,70),(14.5,58),(30,50),
(50,46),(60,44),(100,43),(300,41),(600,39),(1000,38),(1200,37.5),
(5000,35.5),(9000,34),(10000,34)) ~ DM/MWh

(56) Energiepreis Steigerung = IF THEN ELSE(Schalter Energiereisstg = 0, 1,
(1+Preissteigerung/Umrechnung Monat)^Time) ~ dmls

(57) Schalter Energiepreisstg = 0 ~ dmls

(58) Preissteigerung = 0.05 ~ 1/Jahr

(59) Umrechnung Monat = 12 ~ Monat/Jahr

(60) Nutzwärme Verbraucher[kdn]=WÄRMEMENGE(Anschlußwert
spezifisch[kdn]* GF, Streckfaktor [kdn])
* Umrechnung Monat ~ MWh/a

(61) spezifisch Festkosten Nahwärme [kdn] = LOOKUP EXTRAPOLATE(
tkosnah, Anschlußwert spezifisch [kdn]) ~ DM/MW

(62) tkosnah ([(0,0)-(200,200)],(0,0),(1,55),(13,35.5),(20,24.8),
(35,18),(77,12.1),(200,6.9),(750,2.2),(1000,2.2)) ~ DM/MWh

(63) Steuer Öl = Brennstoffsteuer Öl + Emissionssteuer Öl ~ DM/MWh

(64) Emissionssteuer Öl:HOLD BACKWARD::=IF THEN ELSE(Schalter
Schalter Emissionssteuer=0,0,CO2 Steuer Öl) ~ DM/MWh

(65) Schalter Emissionssteuer=0 ~ dmls

(66) Brennstoffsteuer Öl:HOLD BACKWARD::=IF THEN ELSE(
Schalter Energiesteuer=0,0,
CO2 Steuer Öl + Energiesteuer) ~ DM/MWh

(67) Schalter Energiesteuer = 0 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

****
Kapazitätssektor
****

(68) Leistung Komponente [geb] = Leistung Komponente [kes] * (Kessel geplant + Kessel zusätzlich) + Motoren geplant * Leistung Komponente [kwk]
Leistung Komponente [kwk]= IF THEN ELSE(Schalter, KWK=1, Motorleistung,0)
Leistung Komponente [etc] = Leistung Komponente [kwk]* Stromkennzahl
Leistung Komponente [kes] = Kesselleistung geplant / Kessel geplant
Leistung Komponente [ans] = Anschlußwert spezifisch [priv]
Leistung Komponente [hpt] = Streckenlast ~ kW

(69) Kessel geplant = 4 ~ dmls

(70) Schalter KWK = 1 ~ dmls

(71) Stromkennzahl = Wirkungsgrad elektrisch/Wirkungsgrad thermisch ~ dmls

(72) Wirkungsgrad thermisch = 0.55 ~ dmls

(73) Wirkungsgrad elektrisch = 0.34 ~ dmls

(74) Kesselleistung geplant = Gesamtwärmeleistung geplant - Motorleistung * MAX(Motoren geplant -1,0) ~ kW

(75) Kessel zusätzlich = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang=1,0,1) ~ dmls

(76) Motorleistung = Gesamtwärmeleistung geplant * Leistungsanteil Motor geplant ~ kW

(77) Leistungsanteil Motor geplant = 0.12 ~ dmls

(78) Gesamtwärmeleistung geplant = SUM(Wärmeleistung geplant[kdn!]) ~ kW

(79) Wärmeleistung geplant [sond] = Anschlußleistung Markt [sond] / (1-Netzverlust)

Wärmeleistung geplant [priv] = Anschlußleistung Markt [priv] / (1-Netzverlust)* Akzeptanz Planwert ~ kW

(80) Netzverlust = 0.05 ~ dmls

(81) Akzeptanz Planwert = IF THEN ELSE(Schalter Anschlußzwang =1, 1, Ansehen Basiswert) ~ dmls

(82) Streckenlast = ZIDZ(Gesamtanschlußwert Markt, Leitungslänge) ~ kW/m

(83) Leitungslänge = IF THEN ELSE(Schalter Kunden[priv]=1, Leitungslänge gesamt,Leitungslänge Sonderkunden) ~ m

(84) Leitungslänge gesamt = 1400 ~ m

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(85) Leitungslänge Sonderkunden = 50 ~ m

(86) Motoren geplant = SUM(Motorzubau geplant [Motor!]) ~ dmls

(87) Motorzubau geplant [Motor] = IF THEN ELSE(Schalter KWK=1:AND:
Motorlaufzeit geplant [Motor]
>=Motorlaufzeit minimum/
Umrechnung Monat,1,0) ~ dmls

(88) Motorlaufzeit minimum = 4500 ~ h/Jahr

(89) Motorlaufzeit geplant[Motor]=MOTORLAUFZEIT(Leistungsanteil
geplant [Motor], Streckfaktor geplant) ~ h/Jahr

(90) Motor : (mot1-mot4)

(91) Leistungsanteil geplant [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WLK[Motor],
Gesamtwärmeleistung geplant) ~ dmls

(92) Motorleistung WLK [Motor] = Motorleistung * (Motoranzahl [Motor]
- Schnittpunkt), 0) ~ kW

(93) Motoranzahl [Moto] = 1, 2, 3,4 ~ dmls

(94) Schnittpunkt = 0.5 ~ dmls

(95) Streckfaktor geplant= ZIDZ(SUM(Streckfaktor [kdn!]*Anschlußwert
Markt [kdn!]),Gesamtanschlußwert Markt) ~ dmls

(96) Streckfaktor [priv] = LOOKUP EXTRAPOLATE (tjdlfak, Anschlußwert
spezifisch [priv]) * Energiebedarfsfaktor WLK

Streckfaktor [sond] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tjdlzif,Kennziffer)
* Energiebedarfsfaktor WLK ~ dmls

(97) Energiebedarfsfaktor WLK = (1 + (1 - 1/Energiebedarfsfaktor)/10) ~ dmls

(98) tjdlfak ([(0,0.97)-(300,1.04)],(10,0.985),
(25,0.97),(80,0.985),(150,1),(200,1.03)) ~ dmls

(99) tjdlzif ([(1,0.85)-(3,1.15)],(1,0.89),(2,0.91),(3,1.12)) ~ dmls

(100) Kennziffer = 3 ~ dmls

(101) Streckfaktor tatsächlich = ZIDZ(SUM(Anschlußwert Nahwärme [kdn!])
* Streckfaktor [kdn!]), SUM(Anschlußwert Nahwärme[kdn!])) ~ dmls

(102) Wärmehöchstlast Verbraucher = Wärmehöchstlast * (1-Netzverlust) ~ kW

(103) Wärmehöchstlast = MIN(Wärmeleistung gefordert, Wärmelast gesamt) ~ kW

(104) Wärmeleistung gefordert =Gesamtwärmeleistung Vertrag/(1-Netzverlust) ~ kW

(105) Wärmelast gesamt = MIN(Wärmelast Erzeugung, Wärmelast Netz) ~ kW

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(106) Wärmelast Erzeugung = Kapazität installiert [kwk]
+ Kapazität installiert [kes] ~ kW

(107) Wärmelast Netz = Kapazität installiert [ans] + Anschluß Sonderkunden ~ kW

(108) Anschluß Sonderkunden = IF THEN ELSE(Hauptleitung >=
Leitungslänge Sonderkunden,
Anschlußwert Nahwärme [sond],0) ~ kW

(109) Kapazität installiert [Kompo] = DELAY FIXED(Kapazität [Kompo],
Bauzeit [Kompo],0) ~ kW

(110) Erzeugung : geb,kes,kwk,etc

(111) Netz : ans, hpt

(112) Bauzeit [Kompo] = 8, 8, 8, 8, 2, 1 ~ Monat

(113) Kapazität [Kompo] = INTEG (Zubau [Kompo] - Abbau [Kompo], 0) ~ kW

(114) Kompo : geb,kes,kwk,etc,ans,hpt

(115) Zubau [Kompo] = ZIDZ(Investition Zubau [Kompo],
Investition spezifisch [Kompo]) ~ kW/Monat

(116) Zubau gefordert [Erzeugung] = Kapazitätsengpaß [Erzeugung]
Zubau gefordert [ans] = MIN(Kapazitätsengpaß [ans], Kapazität [hpt])
Zubau gefordert [hpt] = MIN(Kapazitätsengpaß [hpt], Zubau Hauptleitung
* Streckenlast) ~ kW/Monat

(117) Zubau Hauptleitung = 100 ~ m/Monat

(118) Kapazität Abweichung [Kompo] = Kapazität benötigt [Kompo]
- Kapazität [Kompo] ~ kW

(119) Kapazitätsengpaß [Kompo] = MAX(Kapazität Abweichung[Kompo],0) ~ kW

(120) Überkapazität [Kompo] = - MIN(Kapazität Abweichung [Kompo],0) ~ kW

(121) Kapazität benötigt [geb] = QUANTUM(Wärmeleistung benötigt,
Leistung Komponente [geb])
+ Leistung Komponente [geb]
Kapazität benötigt [kes] = QUANTUM(Wärmeleistung benötigt
+ Reserveleistung Kessel,
Leistung Komponente[kes])
Kapazität benötigt [kwk] = Motoren gefordert * Leistung Komponente [kwk]
Kapazität benötigt [etc] = Motoren gefordert * Leistung Komponente [etc]
Kapazität benötigt [hpt] = Gesamtanschlußwert Markt
Kapazität benötigt [ans] = Anschlußwert Nahwärme [priv] ~ kW

(122) Wärmeleistung benötigt = Gesamtwärmeleistung Vertrag/(1-Netzverlust) ~ kW

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(123) Reserveleistung Kessel = Leistung Komponente[kes] - MAX(Motoren geplant - 1,0) * Motorleistung ~ kW

(124) Motoren gefordert = MIN(Motoren möglich, Motoren geplant) ~ dmls

(125) Motoren möglich = SUM(Motorzubau möglich [Motor!]) ~ dmls

(126) Motorzubau möglich = IF THEN ELSE(Motorlaufzeit möglich [Motor!] >=Motorlaufzeit minimum/Umrechnung Monat,1,0) ~ dmls

(127) Motorlaufzeit möglich [Motor] = MOTORLAUFZEIT(Leistungsanteil möglich [Motor], Streckfaktor tatsächlich) ~ h/Monat

(128) Leistungsanteil möglich [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WLK, Wärmeleistung benötig) ~ dmls

(129) Abbau [Erzeugung] = Ersatz gefordert [Erzeugung] - Ersatz tatsächlich [Erzeugung]
Abbau [hpt] = Ersatz gefordert [hpt] - Ersatz tatsächlich [hpt]
Abbau [Netz] = Ersatz gefordert [ans] - Ersatz tatsächlich [ans] + Überkapazität [ans] ~ kW/Monat

(130) Ersatz gefordert [Kompo] = DELAY FIXED(Zubau [Kompo] + Ersatz tatsächlich [Kompo], Nutzungsdauer [Kompo] * Umrechnung Monat,0) ~ kW/Monat

(131) Ersatz benötigt [Kompo] = MAX(Ersatz gefordert[Kompo] - Überkapazität[Kompo],0) ~ kW/Monat

(132) Ersatz tatsächlich [Kompo] = ZIDZ(Ersatzinvestition [Kompo], Investition spezifisch [Kompo]) ~ kW/Monat

(133) Motoren installiert = ZIDZ(Kapazität installiert[kwk], Leistung Komponente [kwk]) ~ dmls

(134) Kessel installiert = ZIDZ(Kapazität installiert[kes], Leistung Komponente [kes]) ~ dmls

(135) Anschlüsse = ZIDZ(Kapazität installiert [ans], Anschlußwert spezifisch [priv]) ~ dmls

(136) Hauptleitung = ZIDZ(Kapazität installiert [hpt], Streckenlast) ~ m

(137) Leistungsanteil KWK = ZIDZ(Kapazität installiert [kwk], Wärmehöchstlast) ~ dmls

(138) Gesamtwärme = WÄRMEMENGE(Wärmehöchstlast, Streckfaktor tatsächlich) ~ MWh/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(139) Brennstoffmenge gesamt = Brennstoffmenge KWK
+ Brennstoffmenge Kessel ~ MWh/Monat

(140) Brennstoffmenge KWK = Wärmemenge KWK/
Wirkungsgrad thermisch*Brennwert ~ MWh/Monat

(141) Brennwert = 1.1096 ~ dmls

(142) Wärmemenge KWK = Motorlaufzeit gesamt * Leistung
Komponente[kwk]/Umrechnung Energie ~ MWh/Monat

(143) Umrechnung Energie = 1000 ~ kWh/MWh

(144) Motorlaufzeit gesamt = SUM(Motorlaufzeit tatsächlich [Motor!]) ~ h/Jahr

(145) Motorlaufzeit tatsächlich [Motor] = MOTORLAUFZEIT(
Leistungsanteil tatsächlich [Motor],
Streckfaktor tatsächlich) ~ h/Monat

(146) Leistungsanteil tatsächlich [Motor] = ZIDZ(Motorleistung WLK [Motor]
* Motoren [Motor],Wärmehöchstlast) ~ dmls

(147) Motoren [Motor] = IF THEN ELSE(Motoranzahl [Motor]
<= Motoren installiert,1,0) ~ dmls

(148) Brennstoffmenge Kessel = Wärmemenge Kessel/Wirkungsgrad Kessel
* Brennwert ~ MWh/Monat

(149) Wirkungsgrad Kessel = 0.85 ~ dmls

(150) Wärmemenge Kessel = Gesamtwärme - Wärmemenge KWK ~ MWh/Monat

(151) Strommenge KWK = Wärmemenge KWK * (1 - Strom Eigenbedarf)
* Stromkennzahl ~ MWh/Monat

(152) Strom Eigenbedarf = 0.02 ~ dmls

(153) Wärmeanteil KWK = ZIDZ(Wärmemenge KWK, Gesamtwärme) ~ dmls

(154) Motorlaufzeit Durchschnitt = ZIDZ(Motorlaufzeit gesamt,
Motoren installiert) ~ h/Jahr

(155) Emissionen BHKW = Brennstoffmenge gesamt * CO2 Gas
- Emissionen Strom ~ kg/Monat

(156) Emissionen Strom = Strommenge KWK * CO2 Strom ~ kg/Monat

(157) CO2 Strom = 220 ~ kg/MWh

(158) CO2 Gas = 200.52 ~ kg/MWh

(159) Emissionen Heizöl = Gesamtnutzwärme / Wirkungsgrad Kessel
* CO2 Öl ~ kg/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(160) CO2 Öl = 265.5 ~ kg/MWh

(161) Emissionen Differenz = Emissionen BHKW - Emissionen Heizöl ~ kg/Monat

****
Finanz- und Rechnungswesen
****

(162) Anlageverm Anschaffkost gesamt = SUM(Anlageverm Anschaffkost [Kompo!]) ~ DM

(163) Anlageverm Anschaffkost [Kompo] = INTEG((Investition Zubau [Kompo] - Investition Abbau [Kompo]) * (1 -Subventionssatz) ,0) ~ DM

(164) Subventionssatz = 0 ~ dmls

(165) Investition Zubau [Kompo] = MAX(Investition tatsächlich [Kompo] - Ersatzinvestition benötigt [Kompo],0) ~ DM/Monat

(166) Investition Abbau[Kompo] = Investition spezifisch[Kompo] *Abbau[Kompo] ~ DM/Monat

(167) Anlageverm Verhältnis Erzeug = ZIDZ(Anlageverm Anschaffkost Erzeug, Anlageverm Anschaffkost gesamt) ~ dmls

(168) Anlageverm Verhältnis Netz = ZIDZ(Anlageverm Anschaffkost Netz, Anlageverm Anschaffkost gesamt) ~ dmls

(169) Anlageverm Anschaffkost Erzeug = SUM(Anlageverm Anschaffkost[Erzeugung!]) ~ DM

(170) Anlageverm Anschaffkost Netz = SUM(Anlageverm Anschaffkost[Netz!]) ~ DM

(171) Investitionen tatsächlich gesamt = SUM(Investition tatsächlich [Kompo!]) ~ DM/Monat

(172) Investition tatsächlich [Kompo] = IF THEN ELSE(Investition benötigt[Kompo] <= Finanzmittel verfügbar[Kompo], Investition benötigt [Kompo], Finanzmittel Komponente [Kompo]) ~ DM/Monat

(173) Finanzmittel Komponente[Kompo]= QUANTUM(Finanzmittel verfügbar[Kompo], Investition Komponente [Kompo]) ~ DM/Monat

(174) Investition Komponente [Kompo] = Leistung Komponete [Kompo] * Investition spezifisch [Kompo] ~ DM

(175) Investition benötigt gesamt = SUM(Investition benötigt[Kompo!]) ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(176) Investition benötigt[Kompo] = Zubau gefordert[Kompo]
* Investition spezifisch [Kompo]
+ Ersatzinvestition benötigt [Kompo]
~ DM/Monat

(177) Ersatzinvestition benötigt [Kompo] = Ersatz benötigt [Kompo] *
Investition spezifisch [Kompo]
~ DM/Monat

(178) Ersatzinvestition [Kompo] = MIN(Ersatzinvestition benötigt [Kompo],
Investition tatsächlich [Kompo]) ~ DM/Monat

(179) Finanzmittel verfügbar [geb] = Finanzmittel bewilligt
Finanzmittel verfügbar [kes] = Finanzmittel bewilligt -
Investition tatsächlich[geb]
Finanzmittel verfügbar [ans] = Finanzmittel bewilligt -
Investition tatsächlich[geb] -
Investition tatsächlich[kes]
Finanzmittel verfügbar [hpt] = Finanzmittel bewilligt -
Investition tatsächlich[geb] -
Investition tatsächlich[kes] -
Investition tatsächlich[ans]
Finanzmittel verfügbar [kwk] = Finanzmittel bewilligt -
Investition tatsächlich[geb] -
Investition tatsächlich[kes] -
Investition tatsächlich[ans] -
Investition tatsächlich[hpt]
Finanzmittel verfügbar [etc] = Finanzmittel bewilligt -
Investition tatsächlich[geb]
Investition tatsächlich[kes] -
Investition tatsächlich[ans]-
Investition tatsächlich[hpt] -
Investition tatsächlich[kwk] ~ DM/Monat

(180) Investition spezifisch [geb] = IF THEN ELSE(Schalter Gebäudenutzung = 0,
Gebäudekosten spezifisch,
Gebäudekosten spezifisch * 0.2)
Investition spezifisch [kes] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvkes,
Leistung Komponente [kes])
Investition spezifisch [kwk] = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvmot,
Leistung Komponente [etc])* Stromkennzahl
Investition spezifisch [etc] = Investition BHKW spezifisch * 0.5
Investition spezifisch [hpt] = LOOKUP FORWARD(thptspez,
(Gesamtanschlußwert Markt / 4) / Streckenlast Investition
spezifisch [ans] = ZIDZ(LOOKUP EXTRAPOLATE(tansspez,
Anschlußwert spezifisch [priv]),
Anschlußwert spezifisch[priv]) ~ DM/kW

(181) Schalter Gebäudenutzung = 1 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(182) tinvkes ([(0,0)-(2000,200)],(0,200),(200,200),(300,150),(500,100),(750,65),
(1000,45),(1250,35),(1500,35)) ~ DM/kW

(183) tinvmot ([(0,0)-(2000,4000)],(0,3500),(50,3500),(100,2000),
(200,1500),(400,1200),(600,1000),(1000,850),(1200,800),(1500,750),
(2000,750)) ~ DM/kW

(184) thptspez ([(0,0)-(20000,4000)],(0,380),(40,380),(90,420),(150,470),
(280,550),(570,630),(1000,650),(1700,770),(3000,840),(5000,940),
(10000,1120),(20000,1180)) ~ DM/m

(185) Gebäudekosten spezifisch = IF THEN ELSE(Schalter KWK=1:AND:
Motoren geplant>0,Investition BHKW spezifisch
* Motoren geplant * 0.5 * Leistung Komponente [etc]
/ Leistung Komponente [geb],120) ~ DM

(186) Investition BHKW spezifisch = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinvspez,
Leistung Komponente[etc] * Motoren geplant)
* (0.95 + Schnittpunkt/10) ~ DM/kW

(187) tinvspez ([(0,0)-(6000,4000)],(50,3000),(100,2000),(500,1500),
(1000,1300),(2000,1050),(3000,900),(6000,900),(6000,900)) ~ DM/kW

(188) Investition Anschluß = (LOOKUP EXTRAPOLATE(tansspez,
Anschlußwert spezifisch [priv]) ~ DM

(189) tansspez ([(0,0)-(1000,20000)],(0,0),(12,4000),(33,9000),(100,11000),
(500,13000),1000,13000)) ~ DM/nr

(190) Finanzmittel bewilligt = Innenfinanzierung bewilligt +
Außenfinanzierung bewilligt ~ DM/Monat

(191) Innenfinanzierung = MIN(Investition tatsächlich gesamt,
Innenfinanzierung bewilligt) ~ DM/Monat

(192) Innenfinanzierung bewilligt = MIN(Investition benötigt gesamt,
Innenfinanzierung potentiell) ~ DM/Monat

(193) Innenfinanzierung potentiell = MAX(Liquidität Innenfinanzierung
* EKQG,0) ~ DM/Monat

(194) Liquidität Innenfinanzierung = Liquidität Langkredit -
Tilgung Langkredit ~ DM/Monat

(195) Aussenfinanzierung = MIN(Investition tatsächlich gesamt - Innenfinanzierung
Aussenfinanzierung bewilligt) ~ DM/Monat

(196) Außenfinanzierung bewilligt = MIN(Aussenfinanzierung benötigt,
Kreditrahmen langfristig) ~ DM/Monat

(197) Aussenfinanzierung benötigt = Investition benötigt gesamt
- Innenfinanzierung bewilligt ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(198) Kreditrahmen langfristig = MAX(Kreditrahmen-Fremdkapital,0) ~ DM/Monat

(199) Kreditrahmen = ZIDZ(Eigenkapital, EKQM) ~ DM/Monat

(200) EKQM = 0.1 ~ dmls

(201) Kredit langfristig = INTEG(Kreditaufnahme langfristig -
Tilgung Langkredit, Kredit langfristig Startwert) ~ DM

(202) Kredit langfristig Startwert = Anlagevermögen Startwert + Geldmittel
Startwert- Eigenkapital Startwert ~ DM

(203) Kreditaufnahme langfristig = Aussenfinanzierung ~ DM/Monat

(204) Tilgung Langkredit = MIN(Tilgung langfristig gewünscht,
Liquidität Langkredit) ~ DM/Monat

(205) Liquidität Langkredit = MAX(Liquidität Kasse -
Tilgung Kurzkredit,0) ~ DM/Monat

(206) Tilgung langfristig gewünscht = Kredit langfristig/(Umrechnung Monat
* VMIN(Nutzungsdauer [Kompo!])) ~ DM/Monat

(207) Betriebsergebnis kumuliert = INTEG(Betriebsergebnis,0) ~ DM

(208) Betriebsergebnis = Umsatzerlöse - Gesamtkosten ~ DM/Monat

(209) Betriebsergebnis kumuliert verzinst = INTEG((Betriebsergebnis
verzinst Zuwachs - Betriebsergebnis kumuliert verzinst),
Betriebsergebnis verzinst Zuwachs - Betriebsergebnis) ~ DM

(210) Betriebsergebnis verzinst Zuwachs = ACTIVE INITIAL((
Betriebsergebnis kumuliert verzinst
* (1+Zinssatz lang monatlich))
+ Betriebsergebnis, Betriebsergebnis) ~ DM

(211) Gesamtkosten = Kosten Kapital + Kosten Verbrauch
+ Kosten Betrieb ~ DM/Monat

(212) Kosten Betrieb = Personalkosten + Instandhaltung + Verwaltung ~ DM/Monat

(213) Instandhaltung = Instandhaltung KWK + SUM(Anlageverm
Anschaffkost[Inskomp!] * Instandhaltungssatz [Inskomp!]
/ Umrechnung Monat) ~ DM/Monat

(214) Inskomp : geb, kes, etc, hpt

(215) Instandhaltungssatz [Inskomp] = 0.01, 0.02, 0.01, 0.02 ~ dmls

(216) Instandhaltung KWK = Strommenge KWK
* Instandhaltungssatz KWK ~ DM/MWh

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(217) Instandhaltungssatz KWK = LOOKUP EXTRAPOLATE(tinstand,
Leistung Komponente [etc]) ~ DM/MWh

(218) tinstand ([(0,0)-(2000,200)],(0,0),(50,35),(100,35),
(200,30),(500,25),(1500,20),(2000,15)) ~ DM/MWh

(219) Verwaltung = Anlageverm Anschaffkost gesamt * Verwaltungssatz
/ Umrechnung Monat ~ DM/MWh

(220) Verwaltungssatz = 0.015 ~ 1/Jahr

(221) Personalkosten = Personal * Personalsatz/Umrechnung Monat ~ DM

(222) Personal = ZIDZ(QUANTUM(Kapazität [geb], Personalleistung / 4),
Personalleistung / 4) * 0.25 + 0.25 ~ dmls

(223) Personalleistung = 8000 ~ 1/kW

(224) Personalsatz = 80000 ~ DM/Jahr

(225) Kosten Verbrauch = Brennstoffkosten + Steuer ~ DM/Monat

(226) Brennstoffkosten=Brennstoffmenge gesamt*Brennstoffkosten Gas ~ DM/Monat

(227) Brennstoffkosten Gas = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst,
Umrechnung Monat * Brennstoffmenge gesamt)
* Energiepreis Steigerung ~ DM/MWh

(228) Steuer = IF THEN ELSE(Schalter Emissionssteuer=0,
CO2-Energie Steuer, Emissionssteuer) ~ DM/MWh

(229) Emissionssteuer = Emissionen BHKW * CO2 Steuer Gas /1000 ~ DM/MWh

(230) CO2-Energie Steuer = Brennstoffmenge gesamt * Steuer Gas
- Strom Steuer ~ DM/Monat

(231) Steuer Gas:HOLD_BACKWARD: := IF THEN ELSE(Schalter Steuer = 1,
CO2 Steuer Gas + Energiesteuer,0) ~ DM/MWh

(232) Strom Steuer = Strommenge KWK * Steuer Strom ~ DM/Monat

(233) Steuer Strom :HOLD_BACKWARD: := IF THEN ELSE(Schalter Steuer=1,
Steuer Energ Strom,0) ~ DM/MWh

(234) Kosten Kapital = Abschreibungen gesamt + Zins Kredit langfristig
+ Zins Kredit kurzfristig ~ DM/Monat

(235) Abschreibungen gesamt = SUM(Abschreibungen [Kompo!]) ~ DM/Monat

(236) Abschreibungen [Kompo] = Anlageverm Anschaffkost [Kompo]
/ (Nutzungsdauer [Kompo]
* Umrechnung Monat) ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(237) Nutzungsdauer [Kompo] = 50, 30, 15, 20, 25, 25 ~ Jahr

(238) Zins Kredit langfristig = Kredit langfristig
* Zinssatz lang monatlich ~ DM/Monat

(239) Zinssatz lang monatlich = POWER(1+Zinssatz langfristig,1/12) - 1 ~ 1/Monat

(240) Zinssatz langfristig = 0.075 ~ dmls

(241) Zins Kredit kurzfristig = Kredit kurzfristig
* Zinssatz kurz monatlich ~ DM/Monat

(242) Zinssatz kurz monatlich = POWER(1+Zinssatz kurzfristig,1/12) - 1 ~ 1/Monat

(243) Zinssatz kurzfristig = 0.015 ~ 1/Monat

(244) Gesamtkosten spezifisch=ZIDZ(Gesamtkosten,Gesamtnutzwärme) ~ DM/MWh

(245) Wärmebereitstellkosten spezifisch = ZIDZ(Gesamtkosten - Stromvergütung,
Gesamtnutzwärme) ~ DM/MWh

(246) Verteilungskosten spezifisch = ZIDZ(Kapitalkosten Verteilung +
Instandhaltung Verteilung,
Gesamtnutzwärme) ~ DM/MWh

(247) Kapitalkosten Verteilung = SUM(Abschreibungen [Netz!])
+ Zinssatz lang monatlich
* Anlageverm Anschaffkost Netz
* (1-Eigenkapital Quote) ~ DM/Monat

(248) Instandhaltung Verteilung = Anlageverm Anschaffkost Netz
* Instandhaltungssatz [hpt] /
Umrechnung Monat ~ DM/Monat

(249) Wärmeerzeugkosten spezifisch = Wärmebereitstellkosten spezifisch -
Verteilungskosten spezifisch ~ DM/MWh

(250) Kosten fix=Kosten Kapital+Kosten Betrieb-Instandhaltung KWK ~ DM/Monat

(251) Kosten variabel = Kosten Verbrauch + Instandhaltung KWK ~ DM/Monat

(252) Kostenverhältnis fix = ZIDZ(Kosten fix,Gesamtkosten) ~ dmls

(253) Kostenverhältnis variabel = ZIDZ(Kosten variabel,Gesamtkosten) ~ dmls

(254) Umsatzerlöse = Wärmeerlös gesamt + Stromvergütung ~ DM/Monat

(255) Wärmeerlös gesamt = SUM(Wärmeerlös [kdn!]) ~ DM/Monat

(256) Wärmeerlös [kdn] = Nutzwärme [kdn] *
Wärmepreis tatsächlich [kdn] ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(257) Stromvergütung = IF THEN ELSE (Schalter Verbändemodell = 1,
Stromvergütung sonst, Stromvergütung Verbände) ~ DM/Monat

(258) Schalter Verbändemodell = 0 ~ dmls

(259) Stromvergütung sonst = Strombezug verdrängt
+ Stromvergütung EVU ~ DM/Monat

(260) Stromvergütung EVU = Strommenge KWK * (1 - Stromeigenanteil)
* Stromtarif Verkauf ~ DM/Monat

(261) Stromtarif Verkauf = 100 ~ DM/MWh

(262) Stromeigenanteil = 0 ~ dmls

(263) Strombezug verdrängt = Vergütung Leistung + Vergütung Arbeit ~ DM/Monat

(264) Vergütung Leistung = Kapazität installiert[etc] * Leistungspreis EVU
/ Umrechnung Monat* Stromeigenanteil ~ DM/Monat

(265) Leistungspreis EVU = 200 ~ DM/kW

(266) Vergütung Arbeit = (Stromtarif HT * Strommenge KWK * HT Anteil
+ Stromtarif NT * Strommenge KWK * NT Anteil)
* Stromeigenanteil ~ DM/Monat

(267) Stromtarif HT = 143 ~ DM/MWh

(268) Stromtarif NT = 87 ~ DM/MWh

(269) Stromvergütung Verbände = Stromvergütung Leistung
+ Stromvergütung Arbeit ~ DM/Monat

(270) Stromvergütung Leistung = SUM(Solleistung [Jazeit!] *
Leistungsanteil [Jazeit!]
* Motorlaufzeit Jazeit[Jazeit!] *
Leistungspreis Verbände /
(Höchstlaufzeit Jahr/2)) ~ DM

(271) Jazeit : som,win

(272) Höchstlaufzeit Jahr = 8000 ~ h/Jahr

(273) Leistungsanteil [Jazeit] = 0.33,0.66 ~ dmls

(274) Leistungspreis Verbände = 340 ~ DM/kW

(275) Solleistung [Jazeit] = Motoren gemeldet [Jazeit]
* Leistung Komponente [etc] ~ kW

(276) Motoren gemeldet [som] = MIN(Motoren installiert,1)
Motoren gemeldet [win] = MIN(Motoren installiert,2) ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(277) Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit] = SUM(IF THEN ELSE(
Motoren gemeldet [Jazeit] =
Motoranzahl [Motor!],
Motorlaufzeit tatsächlich [Motor!],0)) ~ h/Monat

(278) Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit] = IF THEN ELSE(
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit]>Höchstlaufzeit
Monat/2,Höchstlaufzeit Monat/2
- (Höchstlaufzeit Monat -
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit])
* (1-Laufzeit Verhältnis [Jazeit]),
Motorlaufzeit Solleistung [Jazeit]
* Laufzeit Verhältnis [Jazeit]) ~ h/Monat

(279) Höchstlaufzeit Monat = Höchstlaufzeit Jahr / Umrechnung Monat ~ h/Monat

(280) Laufzeit Verhältnis [Jazeit] = 0.2,0.8 ~ dmls

(281) Stromvergütung Arbeit = Stromtarif Mittelwert
* Strommenge KWK ~ DM/Monat

(282) Stromtarif Mittelwert = ZIDZ(Stromtarif Arbeitszeit,
Motorlaufzeit Jazeit gesamt) ~ DM/MWh

(283) Motorlaufzeit Jazeit gesamt = SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!]) ~ h/a

(284) Stromtarif Arbeitszeit = SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!]
* Stromvergütung HT [Jazeit!] * HT Anteil)
+ SUM(Motorlaufzeit Jazeit [Jazeit!] * NT Anteil
* Stromvergütung NT[Jazeit!]) ~ DM/MWh

(285) Stromvergütung HT [Jazeit] = 60,80 ~ DM/MWh

(286) HT Anteil = 0.8 ~ dmls

(287) Stromvergütung NT [Jazeit] = 47,63 ~ DM/MWh

(288) NT Anteil = 0.2 ~ dmls

(289) Stromvergütung spezifisch = ZIDZ(Stromvergütung,
Strommenge KWK) ~ DM/MWh

(290) Wärmepreis tatsächlich [priv] = IF THEN ELSE(
Schalter Preiskalkulation = 1,
Wärmepreis kostenorientiert,
Wärmepreis anlegbar [priv])
Wärmepreis tatsächlich [sond] = Wärmepreis anlegbar [sond] ~ DM/MWh

(291) Schalter Preiskalkulation = 0 ~ dmls

(292) Wärmepreis kostenorientiert = SMOOTH3(Wärmepreis anlegbar [priv]
+ Preisaufschlag, Glättung) ~ DM/MWh

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(293) Glättung = 24 ~ Monat

(294) Preisaufschlag = LOOKUP EXTRAPOLATE(tpreisauf, Kostendifferenz) ~ dmls

(295) tpreisauf ([(-100,-60)-(200,60)],(-100,-25),(-50,-25),(-40,-23),(-30,-19),(-20,-13),(-10,-6),(-5,-3),(0,0),(5,3),(10,6),(20,13),(30,19),(40,25),(50,30),(70,35),(100,40),(120,40)) ~ dmls

(296) Kostendifferenz = Wärmekosten spezifisch - Wärmepreis anlegbar [priv] ~ DM/MWh

(297) Wärmekosten spezifisch = IF THEN ELSE(Time<30, Plankosten spezifisch , Wärmebereitkosten spezifisch) ~ DM/MWh

(298) Wärmebereitkosten spezifisch = ZIDZ(Gesamtkosten - Stromvergütung - Wärmeerlös Sonderkunden, Nutzwärme[priv]) ~ DM/MWh

(299) Wärmeerlös Sonderkunden = Wärmepreis anlegbar [sond] * Nutzwärme [sond] ~ DM/Monat

(300) Plankosten spezifisch = ZIDZ(Plankosten - Wärmeerlös Sonderkunden geplant - Stromvergütung Plan, Nutzwärme geplant [priv]) ~ DM/MWh

(301) Wärmeerlös Sonderkunden geplant = Wärmepreis anlegbar[sond] *Nutzwärme geplant [sond] ~ DM/Monat

(302) Stromvergütung Plan = Stromtarif Verkauf * (1 - Stromeigenanteil) * Strommenge KWK geplant + Planvergütung Leistung + Planvergütung Arbeit ~ DM/Monat

(303) Planvergütung Leistung = Leistung Komponente [etc]* Motoren geplant * Leistungspreis EVU/ Umrechnung Monat * Stromeigenanteil ~ DM/Monat

(304) Planvergütung Arbeit = (Stromtarif HT*HT Anteil+ Stromtarif NT * NT Anteil) * Stromeigenanteil * Strommenge KWK geplant ~ DM/Monat

(305) Strommenge KWK geplant = Wärmemenge KWK geplant * Stromkennzahl * (1 - Strom Eigenbedarf) ~ MWh/Monat

(306) Plankosten = Plankosten Kapital + Plankosten Verbrauch + Plankosten Betrieb ~ DM/Monat

(307) Plankosten Betrieb = Plankosten Verwaltung + Personalkosten + Plankosten Instandhaltung ~ DM/Monat

(308) Plankosten Verwaltung = Investitionen Plan gesamt * Verwaltungssatz / Umrechnung Monat ~ DM/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(309) Plankosten Instandhaltung = SUM(Investitionen Plan [Inskomp!]
* Instandhaltungssatz [Inskomp!])
/ Umrechnung Monat
+ Strommenge KWK geplant
* Instandhaltungssatz KWK ~ DM/Monat

(310) Plankosten Personal = (ZIDZ(QUANTUM(Leistung Komponente [geb],
Personalleistung /4), Personalleistung/4)*0.25+0.25)
* Personalsatz/Umrechnung Monat ~ DM/Monat

(311) Plankosten Kapital = Plankosten Abschreibung + Plankosten Zins ~ DM/Monat

(312) Plankosten Abschreibung = SUM(Investitionen Plan [Kompo!]
/ (Nutzungsdauer [Kompo!]
* Umrechnung Monat)) ~ DM/Monat

(313) Plankosten Zins = Investitionen Plan gesamt * Zinssatz lang monatlich
* (1-EKQG) ~ DM/Monat

(314) Investitionen Plan gesamt = SUM(Investitionen Plan [Kompo!]) ~ DM

(315) Investitionen Plan [geb] = Investition spezifisch [geb] *
Leistung Komponente [geb]
Investitionen Plan [kes] = Investition spezifisch [kes] * Kessel geplant
* Leistung Komponente [kes]
Investitionen Plan [kwk] = Investition spezifisch [kwk] * Motor geplant
* Leistung Komponente [kwk]
Investitionen Plan [etc] = Investition spezifisch [etc] * Motoren geplant
* Leistung Komponente [etc]
Investitionen Plan [ans] = Investition spezifisch [ans]
* Anschlußwert Markt [priv]
Investitionen Plan [hpt] = Investition spezifisch [hpt]
* Gesamtanschlußwert Markt ~ DM

(316) Plankosten Verbrauch = Brennstoffmenge Plan
* Brennstoffkosten Plan ~ DM/Monat

(317) Brennstoffkosten Plan = LOOKUP EXTRAPOLATE(tbrkst,
Brennstoffmenge Plan * Umrechnung Monat) ~ DM/MWh

(318) Brennstoffmenge Plan = Brennstoff Plan Kessel +
Brennstoff Plan KWK ~ MWh/Monat

(319) Brennstoff Plan KWK = Wärmemenge KWK geplant * Brennwert
/ Wirkungsgrad thermisch ~ MWh/Monat

(320) Wärmemenge KWK geplant = SUM(Motorlaufzeit geplant [Moto!]
* Motorzubau geplant [Motor])
* Leistung Komponente [kwk]
/ Umrechnung Energie) ~ MWh/Monat

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(321) Brennstoff Plan Kessel = (Gesamtwärme geplant -
Wärmemenge KWK geplant)
/ Wirkungsgrad Kessel * Brennwert ~ MWh/Monat

(322) Gesamtwärme geplant = Gesamtnutzwärme geplant
/ (1 - Netzverlust)) ~ MWh/Monat

(323) Gesamtnutzwärme geplant = SUM(Nutzwärme geplant [kdn!]) ~ MWh/Monat

(324) Nutzwärme geplant [kdn] =WÄRMEMENGE(Wärmeleistung geplant [kdn]
*(1-Netzverlust), Streckfaktor [kdn]) ~MWh/Monat

(325) Eigenkapital = INTEG(Netto Gewinn -Netto Verlust,
Eigenkapital Startwert) ~ DM

(326) Eigenkapital Startwert = Investitionen plan gesamt * EKQG ~ DM

(327) EKQG = 0.35 ~ dmls

(328) Netto Gewinn = MAX(Netto Ergebnis,0) ~ DM/Monat

(329) Netto Verlust = - MIN(Netto Ergebnis,0) ~ DM/Monat

(330) Netto Ergebnis = IF THEN ELSE(Betriebsergebnis>0,Betriebsergebnis
* (1 - Steuersatz), Betriebsergebnis) ~ DM/Monat

(331) Steuersatz = 0.55 ~ dmls

(332) Geldmittel liquide = INTEG(Geldmittel Zugang - Geldmittel Abgang,
Eigenkapital Startwert) ~ DM

(333) Geldmittel Zugang = MAX(Cash flow,0)
+ Kreditaufnahme kurzfristig ~ DM/Monat

(334) Cash flow = Netto Ergebnis + Abschreibungen gesamt ~ DM/Monat

(335) Geldmittel Abgang = Tilgung Langkredit + Tilgung Kurzkredit
+ Innenfinanzierung - MIN(Cash flow,0) ~ DM/Monat

(336) Kredit kurzfristig = INTEG(Kreditaufnahme kurzfristig
- Tilgung Kurzkredit,0) ~ DM

(337) Kreditaufnahme kurzfristig = - MIN(Liquidität Kasse,0) ~ DM/Monat

(338) Liquidität Kasse = Geldmittel liquide + Betriebsergebnis ~ DM/Monat

(339) Tilgung Kurzkredit = MIN(Geldmittel Kurzkredit,
Kredit kurzfristig) ~ DM/Monat

(340) Liquidität Kurzkredit = MAX(Liquidität Kasse,0) ~ DM/Monat

(341) Bilanzsumme Pasiva = Fremdkapital + Eigenkapital ~ DM

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

(342) Fremdkapital = Kredit langfristig + Kredit kurzfristig ~ DM

(343) Eigenkapital Quote = ZIDZ(EK, Bilanzsumme Passiva) ~ dmls

(344) Bilanzsumme Aktiva = Geldmittel liquide + Anlagevermögen ~ DM

(345) Anlagevermögen = INTEG(Investition tatsächlich gesamt-
Abschreibungen gesamt,0) ~ DM

(346) Gesamtkapital Rendite = ZIDZ(Netto Ergebnis + Zins Kredit langfristig
+ Zins Kredit kurzfristig, Bilanzsumme Passiva) ~ dmls

(347) Umsatzrendite = ZIDZ(Netto Ergebnis,Umsatzerlöse) ~ dmls

(348) Eigenkapital Rendite = ZIDZ(Netto Ergebnis,Eigenkapital) ~ dmls

(349) EK Rendite Projges = ZIDZ(Betriebsergebnis kumuliert, Eigenkapital) ~ dmls

****
Programmsteuerung
****

(350) FINAL TIME = 240 ~ Monat

(351) INITIAL TIME = 0 ~ Monat

(352) SAVEPER = TIME STEP ~ Monat

(353) TIME STEP = 1 ~ Monat

(354) Jahr = TIME BASE(1995,0.08333333) ~ Jahr

MAKRO-Funktionen des Simulationsmodells

:MACRO: WÄRMEMENGE(Wärmelast,Streckfak)

WÄRMEMENGE = ((a1/6)*SF^4*8.76^6+(b1/5)*SF^3*8.76^5+(c1/4)*
SF^2*8.76^4+(d1/3)*SF*8.76^3+(e1/2)*8.76^2+8.76)
* Wärmelast/Umrechnung ~ MWh/Monat

Umrechnung = 12 ~ Monat*kW/MWh

SF = MAX(Streckfak,0.01) ~ dmls

a1 = -0.000338 ~ dmls

b1 = 0.00811 ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

c1 = -0.0721 ~ dmls

d1 = 0.299 ~ dmls

e1 = -0.663 ~ dmls

:END OF MACRO:

:MACRO: MOTORLAUFZEIT(Anteil,Streckfak)

MOTORLAUFZEIT = IF THEN ELSE(Anteil=0,0,X_JDL_8)
* Umrechnung ~ h/Monat

SF = MAX(Streckfak,0.01) ~ dmls

Umrechnung = 83.3333333 ~ h/Monat

X_JDL_8 = IF THEN ELSE(Y_JDL_7 < 0,X_JDL_7-0.04, X_JDL_7 + 0.04) ~ dmls

Y_JDL_7 = (a1 * SF^4 * X_JDL_7^5 + b1 * SF^3 * X_JDL_7^4 + c1 *SF^2 *
X_JDL_7^3 +d1*SF*X_JDL_7^2+e1*X_JDL_7+1) - Anteil ~ dmls

X_JDL_7 = IF THEN ELSE(Y_JDL_6 < 0,X_JDL_6-0.08, X_JDL_6 + 0.08) ~ dmls

a1 = -0.000338 ~ dmls

b1 = 0.00811 ~ dmls

c1 = -0.0721 ~ dmls

d1 = 0.299 ~ dmls

e1 = -0.663 ~ dmls

Y_JDL_6 = (a1*SF^4*X_JDL_6^5+b1*SF^3*X_JDL_6^4+c1*SF^2*
X_JDL_6^3 +d1*SF*X_JDL_6^2+e1*X_JDL_6+1) - Anteil ~ dmls

X_JDL_6 = IF THEN ELSE(Y_JDL_5 < 0,X_JDL_5-0.13, X_JDL_5 + 0.13) ~ dmls

Y_JDL_5 = (a1*SF^4*X_JDL_5^5+b1*SF^3*X_JDL_5^4+c1*SF^2*
X_JDL_5^3+d1*SF*X_JDL_5^2+e1*X_JDL_5+1) - Anteil ~ dmls

X_JDL_5 = IF THEN ELSE(Y_JDL_4 < 0,X_JDL_4-0.25, X_JDL_4 + 0.25) ~ dmls

Y_JDL_4 = (a1*SF^4*X_JDL_4^5+b1*SF^3*X_JDL_4^4+c1*SF^2*
X_JDL_4^3 + d1*SF*X_JDL_4^2+e1*X_JDL_4+1) - Anteil ~ dmls

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

```
X_JDL_4 = IF THEN ELSE(Y_JDL_3 < 0,X_JDL_3-0.5, X_JDL_3 + 0.5)        ~ dmls

Y_JDL_3 = (a1*SF^4*X_JDL_3^5+b1*SF^3*X_JDL_3^4+c1*SF^2*
            X_JDL_3^3+d1*SF*X_JDL_3^2+e1*X_JDL_3+1) - Anteil          ~ dmls

X_JDL_3 = IF THEN ELSE(Y_JDL_2 < 0,X_JDL_2-1, X_JDL_2 + 1)            ~ dmls

Y_JDL_2 = (a1*SF^4*X_JDL_2^5+b1*SF^3*X_JDL_2^4+c1*SF^2*
             X_JDL_2^3 +d1*SF*X_JDL_2^2+e1*X_JDL_2+1) - Anteil        ~ dmls

X_JDL_2 = IF THEN ELSE(Y_JDL_1 < 0,X_JDL_1-2, X_JDL_1 + 2)            ~ dmls

Y_JDL_1 = (a1*SF^4*X_JDL_1^5+b1*SF^3*X_JDL_1^4+c1*SF^2*
            X_JDL_1^3 +d1*SF*X_JDL_1^2+e1*X_JDL_1+1)-Anteil           ~ dmls

X_JDL_1 = 4                                                            ~ dmls

:END OF MACRO:
```

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

II. Externe Datensätze

Schalter für Szenarien:

Schalter Kunden[priv] = 1 {Schalter mit(=1), ohne (=0) private Kunden}

Schalter Kunden[sond] = 0 {Schalter mit(=1), ohne (=0) Sonderkunden}

Schalter KWK = 1 {Schalter für BHKW (=1) oder Heizwerk (=0)}

Schalter Anschlußzwang = 1 {Schalter für Anschlußzwang (=1)}

Schalter Gebäudenutzung = 0 {Schalter für Gebäudenutzung (=1))

Schalter Preiskalkulation = 0 {Schalter markt- (=0) oder kostenorientierte (=1) Preis-bildg.}

Schalter Verbändemodell = 0 {Schalter für Verbändevereinbarung (=1)}

Schalter Energiesteuer = 0 {Schalter für CO2-/Energiesteuer (=1)}

Schalter Emissionssteuer = 1 {Schalter für Emissionssteuer (=1)}

Schalter Energiepreisstg = 0 {Schalter für Energiepreissteigerung (=1)}

Schalter Energiebedarf = 0 {Schalter für rückläufigen Energiebedarf (=1)}

Marktbezogene Parameter:

Ansehen Basiswert = 0.7 {Anschlußbereitschaft anhand Befragung}

Bewußtsein = 0 {Zuwachs an Umweltbewußtsein pro Periode}

Technische Kennzahlen:

Gleichzeitigkeitsgrad = 0.8

Wirkungsgrad thermisch = 0.55

Wirkungsgrad elektrisch = 0.34

Wirkungsgrad Kessel = 0.90

Kessel geplant = 4

Leistungsanteil Motor geplant= 0.12

Strom Eigenbedarf = 0.03

Motorlaufzeit minimum = 4500 {h/a}

Schnittpunkt = 0.5

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Netzverlust	= 0.05	
Bauzeit[Kompo]	= 8,8,8,8,2,1	{geb,kes,kwk,etc,ans,hpt}

Stromtarife:

Stromvergütung HT[Jazeit]	= 60,85	{DM/MWh}	
Stromvergütung NT[Jazeit]	= 38,68	{DM/MWh}	{som,win}
Stromtarif HT	= 143	{DM/MWh}	
Stromtarif NT	= 84	{DM/MWh}	
Leistungspreis Verbände	= 340	{DM/kW}	
Leistungspreis EVU	= 200	{DM/MWh}	
Stromtarif Verkauf	= 110	{DM/MWh}	
Stromeigenanteil	= 0		

Betriebswirtschaftliche Kenngrößen:

EKQG	= 0.4	{gewünschte Eigenkapitalquote}
EKQM	= 0.1	{unterers Limit Eigenkapitalquote}
Nutzungsdauer[Kompo]	= 50, 20, 15, 30, 30, 25	{geb,kes,kwk,etc,ans,hpt}
Zinssatz langfristig	= 0.07	
Zinssatz kurzfristig	= 0.12	
Instandhaltungssatz[Inskomp]	= 0.015, 0.01, 0.02, 0.02	{geb,kes,etc,hpt}
Verwaltungssatz	= 0.015	
Personalsatz	= 80000	
Preissteigerung	= 0.01	{jährliche Steigerung Brennstoffpreise}
Subventionssatz	= 0	

Versorgungsobjekt:

Leitungslänge gesamt	= 1400	{m}
Leitungslänge Sonderkunden	= 50	{m}
Anschlußwert[priv]	= 1000	{kW}
Anschlußwert[sond]	= 3000	{kW}
Verbraucher[priv]	= 80	{private Wärmekunden}
Verbraucher[sond]	= 1	{Sondervertragskunden}
Kennziffer	= 3	{Kennzeichnung der Sonderkunden}

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

III. Vensim-Funktionen

:AND:	logische "UND"-Funktion;
DELAY FIXED(Eingabe, Verzögerungszeit, Startwert)	Verzögert einen Eingabewert um eine vorgegebene Verzögerungszeit;
HOLD_BACKWARD	Einlesen externer Daten mit Festhalten bis zum nächsten eingelesenen Datenwert;
IF THEN ELSE	(Wenn-Dann-Entscheidung);
INTEG(Rate,Startwert)	Integration einer Ratengröße beginnend mit Startwert;
LOOKUP EXTRAPOLATE(x-Wert, y-(Eigabe-)wert)	VENSIM-Tabellenfunktion, extrapoliert zwischen zwei Werten;
MAX(a,b)	Maximum-Funktion; Ausgabe des größeren Wertes von a oder b;
MIN(a,b)	Minimum-Funktion; Ausgabe des kleineren Wertes von a oder b;
MOTORLAUFZEIT	VENSIM-Makro zur Berechnung der Laufzeit der Motoraggregate;
QUANTUM(a,b)	Ausgabe einer Zahl <=a als ganzzahliges Vielfache von b;
RAMP(a,b)	Funktion zur Erzeugung eines rampenförmigen Kurvenverlaufs;
SINTEG(Rate; Startwert; :NA:)	Integration einer Ratengröße beginnend mit Startwert; begrenzt durch oberes und/oder unteres Limit;
SMOOTH3(Eingabe, Glättungszeit)	Exponentielle Glättung 3. Ordnung einer Ein gabe;
SUM(a_1 -a_n)	Summiert über die Eingabegrößen a_1 bis a_n;

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

SUM(Wert[Index!])	Summiert die einzelnen Werte einer Vektorgröße;
WÄRMEMENGE	VENSIM-Makro zur Berechnung der Wärmemenge anhand der geordneten Jahreslastkurve;
ZIDZ(a,b)	Division von a durch b, Division durch Null (b=0) per Definition gleich Null;

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Literaturverzeichnis

Ahn, Joachim/ *Brammer*, Fritz/ *Wendt*, Hartmut: Energieversorgung mit Brennstoffzellen Heizkraftwerk, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 25.

Asmuth, Peter/ *Schlusche*, Kai-Hendrik: Strategische Neuorientierung eines Regionalversorgers, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 5.

ASUE (Hrsg.): BHKW-Fibel: Energiesparende Blockheizkraftwerke - intelligente Technik für die Umwelt, o. J., Hamburg.

- BHKW in Krankenhäusern, o. J., Hamburg.
- Blockheizkraftwerke, Grundlage der Technik - Anwendungsmöglichkeiten, o. J., Hamburg.
- Contracting in der kommunalen und industriellen Energieversorgung, Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., o. J., Hamburg.
- Wärmelieferung: Beispiele, Grundlagen, Praxis-Hinweise für eine Energiedienstleistung, o. J., Hamburg.

Attig, Dieter: Neue Auslegungskriterien für Blockheizkraftwerke, FWI, Jg. 24, (1995), Heft 1/2.

Bach, S./ *Kohlhaas*, M./ *Meinhardt*, V./ *Prätorius*, B./ *Wessels*, H./ *Zwierner*, R.: Wirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuereform, DIW, Berlin, 1994.

Badenwerk AG: Berechnung der Jahreskosten von Wärmeversorgungsanlagen in Anlehnung an die VDI 2067, Karlsruhe, 1990.

Bammert, Ulrich/ *Stadler*, Andreas: Der neue Dienst am Kunden: Auf dem Weg zum innovativen Energiedienstleistungsunternehmen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7.

Bartsch, Michael/ *Dingeldey*, Thomas: Rechtsprobleme der Einspeisevergütung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 45. Jg. (1995), Heft 4.

Baur, Jürgen: Die politische Einigung über die Elektrizitäts-Binnenmarkt-Richtlinie, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 8.

Birnbaum, Karl Ulf/ *Wagner*, Hermann-Josef: Einheitliche Berechnungen von CO_2-Emissionen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg. (1991), Heft 1/2.

Böhnisch, Helmut/ *Langniß*, Ole/ *Nitsch*, Joachim/ *Staiß*, Frithjof: Einsatzbereich und Wirtschaftlichkeit von Blockheizkraftwerken in Kommunen, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95(1996), Heft 4.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Bossel, Hartmut: Modellbildung und Simulation - Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme, Vieweg, Wiesbaden, 1992.

Bozem, Karlheinz/ *Schulz*, Rolf: Dynamischer Wandel in der Versorgungswirtschaft - Erfahrungen mit deregulierten Energiemärkten, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg.(1996), Heft 3.

Braunmühl von, Wilhelm: Contracting - Idee, Umsetzung, Erfahrung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 44. Jg. (1994), Heft 6.

Brüning, Dietlinde/ *Naehring*, Friedrich/ *Rindelhardt*, Udo: Einspeisung von Solarwärme in konventionelle Fern- und Nahwärmesysteme, Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg., Heft 11, November 1994.

Buch, Alfred: Die Preise fließen, Energie, 32. Jg., Nr. 5, Mai 1980.

Buchholz, Werner/ *Eichhorn*, Peter: Wirtschaftliche Führung von Krankenhäusern, Nomos Verlagsgesellschaft, Baden-Baden, 1992.

Büdenbender, Ulrich: Energierecht - Eine systematische Darstellung des gesamten Rechts der öffentlichen Energieversorgung, Köln, 1982.

Bundesministerium für Wirtschaft: Energiepolitik für das vereinte Deutschland, BMWi, März, 1992.

- Gesetz zur Neuregelung des Energiewirtschaftsrechts, Entwurf in der Fassung vom 28. Januar 1994.

Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW): Strategien zur Milderung des Treibhauseffektes, Bonn, März 1991.

Bußmann, Werner: Fernwärme vom Acker, Pflanzenöl-BHKW-Projekt Jürgenstorf, Energie Spektrum, Heft 1, 1995.

Deutsches Atomforum e.V.: Dezentrale Energieversorgung - Mehr als ein Schlagwort? INFORUM Verlags- und Verwaltungsgesellschaft mbH, Bonn, 1993.

Deutscher Bundestag: Dritte Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesrepublik Deutschland, Bundes-Drucksache 9/893.

Dolado, Jose Javier: Qualitative simulation and system dynamics, System Dynamics Rewiew, Volume 8, Number 1, Winter 1992.

Dolinski, Urs/ *Ziesig*, Hans-Jochen: Sicherheits-, Preis, und Umweltaspekte der Energieversorgung, Duncker & Humblot, Berlin, 1976.

Doll, C.: Nutzung von Deponie- und Klärgas in einem Blockheizkraftwerk. In: VDI-Berichte Nr. 1019: Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen - Zukunftsmärkte der Technik, 1993.

Domman, Dieter: Fernwärme-Marketing und strategisches Verkaufen, 1. Auflage, VWEW, Frankfurt, 1992.

Eckerle, Konrad: Energiereport 2010, Prognos AG (Hrsg.), Schäffer Poeschel, Stuttgart, 1992

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Eckert, Lutz: Versuch einer Abgrenzung Nahwärme/Fernwärme, in: Nahwärme, Konzepte - Ausführungen: Betriebserfahrungen, Nr. 9 der ASUE Schriftenreihe, Vulkan-Verlag, Essen, 1985.

Eder, Franz: Die Quantifizierbarkeit von Substitutionsbeziehungen zwischen den Energieträgern Kohle, Heizöl, Gas und Strom bei den privaten Haushalten in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitschrift für Energie, Heft 2, 1985.

Edwin, Kurt/ *Kreusel*, Jochen: Kraft-Wärme-Kopplung und Photovoltaik - Energiepolitische Utopie, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 41. Jg. (1991), Heft 3.

Eisele, Wolfgang: Technik des betrieblichen Rechnungswesens: Buchführung - Kostenrechnung - Sonderbilanzen, 4. Auflage,Vahlen, München, 1993.

Eisenbeis, Horst: Kampf im Paragraphenwald, Energie Spektrum, 1/95 KWK-Spektrum.

Energiedaten ´95: Nationale und internationale Entwicklung, BMWi, Bonn, 1995.

Enquête-Kommission "Schutz der Erdatmosphäre" des Deutschen Bundestages (Hrsg.): Mehr Zukunft für die Erde - Nachhaltige Energiepolitik für dauerhaften Klimaschutz, Economica Verlag, 1995.

Eßer, Claudia: Die Elektrizität im europäischen Binnenmarkt, Schulz Kirchner, Idstein, 1994.

Euler, Hartmut: Einspeisevergütung für Blockheizkraftwerke: Brauchen wir eine neue Regelung, Fachtagung: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie und Umweltpolitik, Bonn, 6. März 1996.

Fiebig, Karl-Heinz/ *Kallen*, Carlo: Kommunaler Klimaschutz, Entwicklung von Programmen und konsequente Umsetzung, Der Städtetag, Heft 7, 1994.

Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke (FG BHKW): Stellungnahme zur Frage: Sollte Kraft-Wärme-Kopplung generell in das Stromeinspeisegesetz einbezogen werden? Anhörung im Bundesministerium für Wirtschaft zum "Erfahrungsbericht zum Stromeinspeisegesetz" am 27. Juli 1995.

Ford, Andrew: System Dynamics and the Sustainable Development of the Electric Power Industry, System Dynamics ´95 - Volume 1.

Forrester, Jay W.: Grundzüge einer Systemtheorie, Gabler, Wiesbaden, 1972.

- Industrial Dynamics, M.I.T Press, Cambridge (Mass.), 1961.

Friesenecker, Friedrich/ *Vetter*, Wolfgang: Gedanken zum Versorgungskonzept eines regionalen Versorgungsunternehmens, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 80 (1981), Heft 25.

Geiger, Bernd/ *Kleeberg*, Heinrich/ *Wagner*, Ulrich: Sektor Haushalte - Erreichtes, Hemmnisse und Perspektiven, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 8.

Geiger, Robert/ *Nebel*, Ulrich/ *Schlosser*, Wolfgang: Kraft-Wärme - Kopplung in den neuen Bundesländern, Energieanwendung, Energie- und Umwelttechnik, 43. Jg., Heft 6, Juni 1994.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.09.1980 (BGBl. I S. 1761).

Gesetz über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisegesetz) vom 7. Dezember 1990, Bundesgesetzblatt I Nr. 67 vom 14.12.1990, Seite 2633 bis 2634.

Gesetz zur Förderung der Energiewirtschaft (Energiewirtschaftsgesetz) vom 13.12.1935 (RGBl. I S.1451).

Gesetzesantrag des Landes Brandenburg: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Gesetzes über die Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Energien in das öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz), Bundesratsdrucksache 186/93 vom 23.03.1993.

Graham, Alan K./ *Morecroft*, John D.W./ *Senge*, Peter M./ *Sterman*, John D.: Model-supported case studies for management education, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992).

Grawe, Joachim: Der Europäische Binnenmarkt für Elektrizität - Wo stehen wie heute? StromTHEMEN, 11. Jg. (1994), Heft 3.

- Dezentrale Stromerzeugung - Stand und Aussichten, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 39. Jg. (1989), Heft 4.

Hagenmeyer, Ernst: Strom-Europa dehnt sich aus: gigantischer Energiemarkt in Sicht - Neue Märkte und neue Player forcieren Strukturwandel in der deutschen Stromwirtschaft, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7.

Hakansson, Knut: Handbuch der Fernwärmepraxis, Vulkan-Verlag, 3. Auflage, Essen, 1986.

Hantke, Heike: Landesenergiegesetz - Grenzen und Möglichkeiten, RdE, Nr. 4, 1992.

Heinen, Edmund: Industriebetriebslehre: Entscheidung im Industriebetrieb, 9. Auflage, Gabler, Wiesbaden 1991.

Henkel, Hartmut: Blockheizkraftwerke und Umwelt, GASWÄRME International, 41 (1992), Heft 11.

- Umweltschonender Erdgaseinsatz in KWK-Anlagen. In: *Suttor*, W/ *Suttor*, K.H.: Praxis der Kraft-Wärme-Kopplung, Technik, Umfeld und Realisation von KWK-Anlagen, Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung vom März 1993, C.F. Müller, Karlsruhe.

Hessisches Energiegesetz § 5, Gesetz über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen, 03.07.1985, GVBI Hessen.

Hinrichs, Manfred: persönliche Mitteilung, Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft mbH, 1995.

Hirschbichler, Franz: Kraft-Wärme-Kopplung mit Gasmotoren, Eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative, Sonderdruck aus "forschen, planen und bauen" Ausgabe 1994/95, MAN Dezentrale Energiesysteme, 1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Hoffmann, Thomas: BHKW auf dem Prüfstand, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95, (1996), Heft 3.

ISP Eduard Pestel Institut für Systemforschung: Vergleich der Strom- und Heizenergieerzeugung in gekoppelten und ungekoppelten Anlagen vor dem Hintergrund der Einsparmöglichkeiten durch Wärmedämmung, Teil 1: Systemvergleich und allgemeine Ergebnisse, Hannover, Juni 1994.

Jarass, Lorenz: Bewertungshilfen für Kraft-Wärme-Kopplung, BWK, Bd. 45 (1993), Nr. 1/2 Januar/Februar.

Junk, Herbert: Anlaufverluste der Fernwärmeversorgung in betriebs- und volkswirtschaftlicher Sicht, ZfE, Heft 2, 1986,

- Die Rolle von Versorgungskonzepten auf dem Wärmemarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1985.

Just, Wolfgang: Kommunale Energiekonzepte - Eine Dienstleistungsaufgabe für Energieversorgungsunternehmen, Der Städtetag, Heft 11, 1994.

Kahlert, Bernhard: Boomige Zeiten für BHKW, Energie Spektrum, August 1994.

- Die Wiege der Schadstoffe, Abgasreinigung bei BHKW-Anlagen, Teil I, Energie Spektrum, Heft 12, 1994.

Kaier, Ulrich: Was ist Contracting. In: Chancen mit Contracting: Finanzierung, Bau und Betrieb von Energieerzeugungsanlagen für Industrie und Kommunen, Resch Verlag, 1992.

Kleih, Gerhard/ *Kaintzyk*, Norbert: Einsatz von BHKW in der kommunalen Versorgung, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 44. Jg. (1994).

Klien, Jobst: Planungshilfe Blockheizkraftwerke, C.F. Müller, Karlsruhe, 1991.

Klopfleisch, Reinhard: Vom örtlichen Versorgungskonzept zum Saarbrücker Zukunftskonzept Energie. In *Leonhardt*, Willy/ *Klopfleisch*, Reinhardt/ *Jochum*, Gerhard, Kommunales Energie-Handbuch, C.F. Müller, Karlsruhe, 1989.

Knappstein, H./ *Nymoen*, H./ *Wissmann*, G./ *Droste*, W./ *Wolf*, D.: 200 kW-BHKW mit Brennstoffzellen - Stand der Ruhrgas/Thyssen -Demonstrationsvorhaben. In: VDI-Berichte Nr. 1019: Blockheizkraftwerke und Wärmepumpen - Zukunftsmärkte der Technik, 1993.

Kohlhaas, Michael/ *Welsch*, Heinz: Modell einer aufkommensneutralen Energiepreiserhöhung und ihre wirtschaftlichen Auswirkungen, Teil 1: Modell der Energiebesteuerung und Kompensation, Zeitschrift für Energie, Heft 1, 1995.

Kommission der Europäischen Gemeinschaft: Geänderter Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Einführung einer Steuer auf Kohlendioxidemissionen und Energie, KOM(95) 172 endg. vom 10.05.1995, Brüssel.

- Vorschlag für eine Richtlinie des Rates zur Einführung einer Steuer auf Kohlendioxidemissionen und Energie, KOM(92) 226 endg. vom 30.6.1992.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Kramer, W./ *Reitz*, P.: Energiewirtschaft braucht neue Strukturen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 43. Jg. (1993), Heft 9.

Lienhard, Hubert: Veränderter Energiemarkt - Anforderungen an die Kraftwerkshersteller, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 5.

Meadows, Dennis: Die Grenzen des Wachstums, Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart, 1972.

Meboldt, Hansjörg: Kälteerzeugung mit Fernwärme-Heizwasser, FWI, Jg. 22 (1993), Heft 4.

Meckel, Bernd: Wirtschaftliche Rahmenbedingungen für wirtschaftlichen BHKW-Einsatz in Krankenhaus. In: VDI- Bericht 1195, Blockheizkraftwerke '95 - Technik und Entwicklung, Wirtschaftlichkeit, Betriebserfahrungen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1995.

Meyer, Rolf: Blockheizkraftwerke im Wohnungsbau, Eine Chance für die Wohnungswirtschaft, Gas, Heft 6, 1993.

Meyer-Renschhausen, Martin: Organisations- und Finanzierungsformen energieeffizienter Energieerzeugungsanlagen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg., Heft 10, 1992.

Milling, Peter: Der technische Fortschritt beim Produktionsprozeß, Wiesbaden, 1974.

- Leitmotive des System-Dynamics-Ansatzes, Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt), 13. Jg (1984).

Morecroft, John D. W.: Executive knowledge, models and learning, European Journal of Operational Research, Jg. 59 (1992).

Muders, Herbert: Entwicklung der Blockheizkraftwerke in den neuen Bundesländern, Stand 1994, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 93 (1994), Heft 14.

Müh, Helmut/ *Sonntag*, Joachim: Perspektiven von Blockheizkraftwerken, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7.

Naill, Roger F.: A system dynamics model for national energy police planning, System Dynamics Review Volume 8, No. 1, Winter 1992.

Nietsch, Joachim: Wirtschaftliches und ausschöpfbares Potential der Kraft-Wärme-Kopplung in Baden -Württemberg, Untersuchung im Auftrag des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg, Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. , Stuttgart, Juni 1994.

Nitz, Dieter: Das Modell in der Planung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 88 (1989), Heft 25.

- Neue Ziele und Modelle für die Kapazitätsplanung? Elektrizitätswirtschaft, Jg. 89 (1990), Heft 5.

- Unternehmensplanung mit Plebis, dem Planspiel der HEW, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Noske, Harald/ *Kettig*, Frank: Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 91 (1992).

- Modellhafte BHKW-Wirtschaftlichkeitsrechnung mit Parameter-Variation und Sensitivitätsanalyse, Jahrbuch Fernwärme international 1992.

o.V.: Comeback im Kleinen, Energie Spektrum, Heft 3 (1995).

- Die sparsamste Gas-Technologie - Vollkostenvergleich spricht für Brennwerttechnik, Handelsblatt, 14.3.1995.

- Entwurf zur Energierechtsreform, StromTHEMEN, 10. Jg. (1993), Heft 12.

- Erdgasverbrauch legt weiter zu, Handelsblatt, 12.10.1995.

- Im Boom purzeln die Preise, Energie & Management, Mai 1995.

- Klimaschutzziel fast vergessen - EU/Ringen um Konzept für Klimasteuer, Handelsblatt, 4.10.1995.

- Komplexer Ablauf im Zeitraffer-Tempo, GeschäftsWelt, 1995, Heft 7.

- Kraft-Wärme-Kopplung, Der Minister für Finanzen und Energie des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), Kiel, 1995.

- KWK vom Kleinsten, Energie Spektrum, Januar 1994.

- Leistungsverdopplung in drei Jahren - Zahlen und Trends zur Entwicklung des deutschen BHKW-Marktes, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46.Jg. (1996), Heft 7, S. 425-427.

- Merkel votiert für Strompool, Handelsblatt, 29./30.9.1995.

- Rexrodt: Ökosteuer wird kommen, Handelsblatt, 13.5.1995.

- Sanierung geht voran, Energie Spektrum, Januar 1993.

- Simulationsmodelle geben Managern umfassende Entscheidungshilfe - Karrieregespräch mit Peter Eichhorst über virtuelles Management, Handelsblatt, 11./12.3.1995.

- Strom-Verbilligung trifft BHKW, ZfK, August 1995.

- Überzeugende Bilanz auf allen Linien - Blockheizkraftwerke als lokales Klimaschutz - Instrument, ZfK, April 1996.

- Zukunftstechnik, Brennstoffzellen - BHKW, Energie-Spektrum, Heft 9, 1994.

- Zur Bestimmung der Vergütung, die ein regionales Elektrizitätsversorgungsunternehmen an den Betreiber eines Blockheizkraftwerks zu zahlen hat, Schl.-H. OLG, Urteil vom 15.2.1994 - 6 U-Kart. 75/92 in RdE (Recht der Energiewirtschaft), Nr. 5, 1994.

Paul, R.: Technik und Emission kleinerer BHKW-Anlagen. In: VDI-Berichte Nr. 923: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, VDI-Verlag, 1991.

Pfaffenberger, Wolfgang: Elektrizitätswirtschaft, R. Oldenburg, München, 1993.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Pick, Hartmut: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie- und Umweltpolitik, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7.

Pick, Hartmut/ *Eisenbeis*, Horst: Initiativen der Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke, Gaswärme International, Band 44, Heft 11.

Piller, Wulf / *Rudolph*, Manfred: Kraft-Wärme-Kopplung - zur Theorie und Praxis der Kostenrechnung, 2. Auflage, VWEW, 1991.

Prognos AG: Energieversorgungskonzepte: Von der Planung zur Praxis - Ausgestaltung und Umsetzung vorliegender örtlicher und regionaler Energieversorgungskonzepte unter besonderer Berücksichtigung ihres Einflusses auf den Energieträger-Wettbewerb, Resch Verlag, 1986.

- Rationelle Energieverwendung und -Erzeugung ohne Kernenergienutzung: Möglichkeiten sowie energetische, ökologische und wirtschaftliche Auswirkungen, Untersuchung im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen, Basel, Köln, 1987.

- Umstellungskonzept Rheinauenstraße, Untersuchung im Auftrag der Stadtwerke Mannheim AG, Basel, 1985.

Pruschek, R./ *Bock*, J.: Energieeinsparung durch Kraft-Wärme-Kopplung - Potentiale und Grenzen. In: VDI-Bericht 923: Möglichkeiten und Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung, VDI Verlag, 1991.

Rath-Nagel, Stefan: Aufbau kommunaler Energiekonzepte, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42. Jg. (1992), Heft 1/2.

Richtlinie des Ministeriums für Wirtschaft: Mittelstand und Technologie des Landes Brandenburg über die Gewährung von Zuwendungen für die rationelle Energieverwendung vom 8.3.1991.

Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen der Kraft-Wärme-Kopplung und des Fernwärmeausbaus (Programm "KWK und Fernwärme): Gl. NR. 6603.2 Erlaß des Ministeriums für Finanzen und Energie vom 18. Oktober 1994 -VI 720-604-232.-.

Rumpel, Marc: Stand der Blockheizkraftwerkstechnik 1994 in Deutschland - Ergebnisse der VDEW - Erhebung, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 95 (1996), Heft 3.

RWE Energie AG: Energieflußbild der Bundesrepublik Deutschland. In: Energie Spektrum, September 1993.

Saibl, Barthold: Die Substanzerhaltung der EVU, Schulz Kirchner Verlag, Idstein, 1993.

Sawillion, Martin/ *Thöne*, Eberhard: Auslegung und Wirtschaftlichkeitsanalyse von Blockheizkraftwerken bei unsicherer Bedarfslage, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 16.

Schaab, Rüdiger/ *Poos*, Bernd: Preischaos auf dem BHKW-Markt? - Was dürfen BHKW kosten? Energie & Management, Nr.11/12, 1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Schaefer, H./ *Hartmann*, D./ *Jensch*, W.: Dezentrale Energieversorgung - Aspekte und Chancen, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 36. Jg. (1986), Heft 8.

Scheele, Ulrich: Regionale Auswirkung des Europäischen Binnenmarktes am Beispiel Energiewirtschaft, Diskussionsbeitrag Nr. V - 133 - 94, Volkswirtschaftliche Reihe des Institut für Volkswirtschaftslehre der Universität Oldenburg, 1994.

Schiffer, Hans-Wilhelm: Energiemarkt, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 43.Jg. (1993) Heft 3.

- Energiemarkt Bundesrepublik Deutschland, Verlag TÜV Rheinland, Köln 1995.

Schlange, Lutz: Strategische Bedeutung langfristiger Umfeldtrends, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 3.

Schlusche, Kai H.: Nahwärme flexibel gestalten, ZfK, September 1995.

Scholz, L.: Preisentwicklung der Energieträger. In: VDI-Bericht 684: Energietechnische Investitionen - Wirtschaftlichkeit und Finanzierung,VDI-Verlag, Düsseldorf 1988.

Schönberg, Ingo: Gut und teuer? KWK-Spektrum, März 1996.

Schüller, Karl Heinz: Methodisches Vorgehen bei Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Kraftwerken, Verlag TÜV Rheinland, 1985, Köln.

Schürmann, Heinz Jürgen: Mineralöl bleibt globaler Spitzenreiter, Handelsblatt, 25.8.1994.

Seifert, Bernd: Die Fernwärmepreisbildung in der Bundesrepublik Deutschland - eine Analyse der Preisentwicklungsmuster und ihre Bestimmungsfaktoren, FWI, Jg. 21 (1992), Heft 6.

Speer, F.: Energieversorgungskonzepte als Instrumente kommunalen Umweltschutzes. In: VDI-Berichte 543: Umweltschutz in der kommunalen Energieversorgung, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1986.

Stumpf, Hans/ *Windorfer*, Eugen: Fernwärme in der Bundesrepublik Deutschland, Verlag C. F Müller, Karlsruhe, 1985.

Suding, Paul, H.: Ökonomische Ansätze zur Analyse des Energieverbrauchs der Haushalte für Raumwärmezwecke, R. Oldenbourg Verlag, München, 1984.

- Problemadäquate Investitionsrechnung bei energietechnischen Investitionen. In: VDI-GET (Hrsg.), VDI-Berichte 684, Düsseldorf, 1988.

Suding, Paul H./ *Gummersbach*, M.: Energie für Wärmezwecke im Kleinverbrauchermarkt, R. Oldenbourg Verlag, München, 1986.

Suding, Paul H./ *Melzer*, Manfred/ *Seifert*, Bernd: Wirtschaftlichkeitsanalyse von Energieversorgungskonzepten, Zeitschrift für Energie (ZfE), Heft 3, 1985.

Thiele, Charles: Eiskalter Wettbewerb, Energie Spektrum, Heft 11, 1995.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Traube, K./ *Schulz*, W.: Ökologische und ökonomische Wirkung des Zubaus von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen, insbesondere von Blockheizkraftwerken, in der Bundesrepublik Deutschland - Abschlußbericht, Bremer Energie-Institut, Bremen, Januar 1995.

VDI-GET-Informationsschrift: Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil I, Der Verbrennungsmotor als Energiewandler, Düsseldorf, 1988.

- Rationelle Energieversorgung mit Verbrennungsmotoranlagen, Teil II, BHKW Technik, Düsseldorf, 1991.

VDI-Richlinie 2067: Blatt 1, Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlage, Düsseldorf, Dezember, 1983

- Blatt 2, Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen - Raumheizung, Düsseldorf, 1993.

- Blatt 7, Berechnung der Kosten von Wärmeerzeugungsanlagen, Blockheizkraftwerke, Düsseldorf, 1988.

- Heizungen, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Ausgabe 1983.

VIK: Grundsätze über die Intensivierung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Elektrizitätsversorgung und industrieller Kraftwirtschaft in der Fassung vom 27.06.1988, VIK-Mitteilungen 4/88. BDI/VIK/VDEW-Verbändevereinbarung 1979/88.

- Weiterentwicklung der Verbändevereinbarung über die stromwirtschaftliche Zusammenarbeit vom 27.09.1994. In: VIK-Mitteilung 5/94: VDEW, Frankfurt.

Verordnung über die Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV) vom 20.06.1980 (BGBl. I S.742).

Verordnung über den energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden (Wärmeschutzverordnung - WärmeschutzV), Bundesdrucksache 345/93, Bonn, 19. Mai 1993.

Vester, Frederic: Neuland des Denkens, 5. Auflage, dtv, Stuttgart, 1988.

Vondung, Andreas: Fernwärmeversorgung in Viernheim - Projekt BHKW Essigzapfen. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, 1995.

Voss, Karlheinz: Markterfolge nur durch eine weltweite Präsenz, Handelsblatt, 28.09.1995.

Wagener, Martin: Anschluß- und Benutzungszwang für Fernwärme, Boorberg, Stuttgart, 1989.

Wagner, Gerhard, Auswirkungen einer CO_2-/Energiesteuer aus städtebaulicher Sicht, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 42 Jg. (1992), Heft 12.

Weber, Wolfgang: Dienstleistungsorientierung von Versorgungsunternehmen als Voraussetzung eines erfolgreichen BHKW-Marketings, Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 46. Jg. (1996), Heft 7.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

- Dienstleistungsorientierung von Versorgungsunternehmen als Voraussetzung eines erfolgreichen BHKW-Marketings, Zusammenfassung des Vortrags zur Fachtagung Blockheizkraftwerke, 6. März 1996 in Bonn.

Weingarten, Ingolf/ *Roth*, Bernhard/ *Fuchs*, Peter: Blockheizkraftwerke - Patente für eine dezentrale Energieversorgung? Badenwerk AG, 1987.

Weise, Matthias: Contracting-ABC, Energie Spektrum, Juni 1994.

Witt, Johannes: Kriterienkatalog für den Einsatz von Blockheizkraftwerken in der Nahwärmeversorgung von Neubaugebieten, Öko-Institut e.V., Freiburg, 1992.

Zacharias, Friedemann: Konzeption und Auswahl eines Verbrennungsmotor-BHKW: Energieversorgung für Nahwärmesysteme, Deutz MWM Mannheim, November 1992.

Zacharias, Friedemann: persönliche Mitteilung, MWM, Mannheim, 1995.

Zinn, Hermann: Strategie der Landesregierung zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung. In: Kraft-Wärme-Kopplung in Hessen - Konzepte, Anlagen, Erfahrungen, Strategien und Perspektiven: Hessisches Ministerium für Umwelt Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Wiesbaden, 1995.

Zybell, G.: Neue Vergütungsmodelle für Stromeinspeisungen: Kostenorientiert, mit Leistungspreis privatwirtschaftlich vereinbart, Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94 (1995), Heft 1/2.

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Sachwortregister

Abschreibungsmodus 100, 156
Akzeptanz 69, 114ff
Anlaufverluste 226
Anlegbarkeit 73
Annuitätenmethode 94
Anschlußwert 83
Anschlußzwang 66
Außenfinanzierung 149
Bilanzierung 99, 171ff
Benutzungsstunden 89
Betreibergesellschaft 37
Betriebsergebnis 150
- kumuliertes und verzinstes 99, 151
Blockheizkraftwerk 19
- Anteil 26
- Aufbau 20,76
- Betriebsweise 75ff, 199
- Dimensionierung 75ff, 122
- Einsatz 23, 175
- Emissionen 18
- Hemmnisse 49ff
- im Wohnungsbau 31
- in der öffentlichen Versorgung 26ff
Bonität 91, 99
Break-even-Punkt 99
Brennstoffeinsatz 20
Brennwert 135
Cash flow 173
City-Gate-Tarif 47, 216
Contracting 36ff
Dezentrale Energiekonzepte 23
- Energieversorgung 40
Dezentralisierung 23
Dimensionierungsempfehlung 212
Direktwärme 25
Elektrizitätswirtschaft 39
Emissionen 20
- absolute 185, 196
- Gutschrift 137
- spezifische 196
Emissionssteuer 225
Energie/CO2-Steuer 42, 120, 222ff
Energiedienstleistungen 36ff
Energieflußbild 18
Energienutzung (effiziente) 18
Energiepolitik 39
Energiepreise 49, 104
Energiesteuer 42, 120, 222ff
Energieversorgungskonzepte 32
Energiewirtschaft 39
Energiewirtschaftsgesetz 37, 41
Entscheidungsregeln (Policis) 61
EU-Kommission 40
Europäischer Binnenmarkt 39
Feedback-Loop 60
Fernkältetechnik 32
Fernwärme 25
Finanzierungskonzepte 35
Förderprogramme 43, 226ff
Gasversorgungsunternehmen 35
Gasturbinen 199

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Gesamtkostenverfahren 100, 151, 170
Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkung 41
Gewinn- und Verlustrechnung 99, 170
Gleichzeitigkeitsgrad 83, 110
Haushaltstrompreise 50
Independent Power Producer (IPP) 43
Informations - Rückkopplungssysteme 59
Innenfinanzierung 148
Investitionen 94
- spezifische 143ff
- Zuschüsse 222
Kapitalwertmethode 94
Kausaldiagramme 53, 60
Klär- und Deponiegase 21
Klein-Blockheizkraftwerke 26
Klimabündnis 33
Kohlepfennig 50
Konsistenztest 178
Kraft-Wärme-Kopplung 17
Krankenhausfinanzierungsgesetz 51
kybernetische Betrachtung 59
Langfristplanungen 55
Liberalisierung 40
Liquidität 99
MAKRO-Funktion 107
Management flight simulator 55
Modell 53ff
- Bildung 53, 6
- computerbasiert 23, 53ff
- mentale 53
Modulbauweise 19
Nahwärme 24
- Markt 64ff
- Potentiale 28
- Simulator 56, 63
Niedertemperaturwärme 17, 26, 65
Niedrigenergiehausstandard 31
Norm-Gebäudewärmebedarf 83
Nischenversorger 35
Nutzwärme 65, 120
Nutzwärmekostenvergleich 70
Objektbezogene Wärmeversorgung 25
Objektgesellschaft 37
Ökosteuer 155, 222ff
Öffentliche Versorgung 26
Organisationskonzepte 35
Photovoltaik 21
Plausibilitätstest 178
Pool-Modell 41
Projektgesellschaft 37
Rationeller Energieeinsatz 17
Referenzfall 179
Regelkreise 60
Restwertmethode 100, 104
Rentabilität 99
Rohstoffressourcen 48
Service-public 40
Simulation 52ff
- Betrachtungshorizont 98
- computerbasiert 55
Solarwärme 21
Soll-Leistung 46
Sondervertragskunden 60
Stirling-Motoren 21
Streckenlastdichte 75
Streckfaktor 88, 126
Strombinnenmarkt 40
Stromeigennutzung 298
Stromeinspeisegesetz 45
Stromkennzahl 84, 122
Stromvergütung 44ff
Strukturkorrespondenz 177

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH

Strukturtheorie 58
Substitutionswettbewerb 65, 73
Substraktionsmethode 100
Subventionen 43, 139, 226ff
System 53, 58ff
- Grenzen 60
- Identifikation 62
- Modellierung 61
- sozioökomomisches 59
- Variablen 60
- Verhalten 59
System-Dynamics 58ff
Umweltbewußtsein 220
Unternehmensplanspiele 55
Unternehmensplanung 52
Unternehmensstrategien 58
VENSIM 107
Verbändevereinbarung 45, 159
Verbraucherverhalten 69
Verbrauchsschwerpunkt 66, 205
Verbrennungsverbot 66
Vermiedene Kosten 44
Versorgungskonzept 75
Versorgungsvarianten 175, 189ff
Vollbenutzungsstunden 89
Vollkostenrechnung 99
Vollkostenvergleich 71
Vorzeichentest 178
Wärme-Direkt-Service 34, 207
Wärmegestehungskosten 96, 99, 165
Wärmegrundlast 88
Wärmehöchstlast 83, 128
Wärmelastdichte 75
Wärmelastkurve 85, 124
Wärmeleistung 83
Wärmepreis 70, 163
- anlegbarer 73, 118ff
- kostenorientiert 74, 163
- marktorientiert 73, 163
Wärmeverbund 31, 180, 194
Wettbewerbssicherung 34
Wettbewerbsszenario 206ff
Wirtschaftlichkeit 94ff
- Einflußfaktoren 101
- Kenngrößen 99
Wirtschaftlichkeitsrechnung 94ff
- dynamische Rechenverfahren 94
- Zielkriterien 98ff

DOI https://doi.org/10.3790/978-3-428-49230-5
Generated for Hochschule für angewandtes Management GmbH at 88.198.162.162 on 2025-10-30 23:11:51
FOR PRIVATE USE ONLY | AUSSCHLIESSLICH ZUM PRIVATEN GEBRAUCH