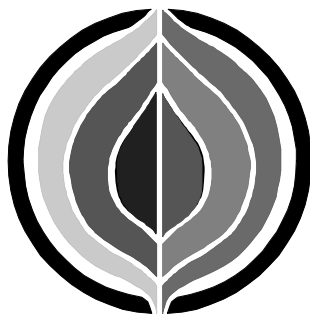


Biomasseheizwerke auf dem Prüfstand

Evaluierung von Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis von Biomasse in Deutschland

- gekürzte Fassung des Endberichts -



C.A.R.M.E.N.



Danksagung

Unser Dank gilt allen, die uns bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit unterstützt haben. Insbesondere möchten wir uns bei den Betreibern der Biomasseheizwerke bedanken, die unsere Fragen stets geduldig und bereitwillig beantwortet haben. Darüber hinaus gilt unser Dank dem Lehrstuhl für angewandte landwirtschaftliche Betriebslehre der Technischen Universität München, der uns an seinem umfassenden Wissen zur ökonomischen Analyse von Biomasseheizwerken teilhaben ließ. Bedanken möchten wir uns auch bei der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sowie beim Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, die das Projekt finanziell unterstützt haben.

Kurzfassung

In den 1990er Jahren wurden in Deutschland mehrere Biomasseheizwerke als Pilot- und Demonstrationsanlagen errichtet und in Betrieb genommen. Diese Projekte üben eine wichtige Beispielfunktion aus. Im Rahmen der Evaluierung wurden 12 Biomasseheizwerke in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen auf organisatorische, technische, ökonomische und ökologische Gesichtspunkte hin untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, dass mit den Heizwerken grundsätzlich eine sehr zuverlässige Wärmeversorgung bei sehr geringen Schadstoffemissionen und eine hohe Einsparung klimarelevanter Emissionen gegenüber einer Wärmebereitstellung mittels Heizöl oder Erdgas möglich war. Probleme ergaben sich jedoch insbesondere im Bereich der Wirtschaftlichkeit, die auf ein unausgewogenes Verhältnis zwischen der Höhe der Investitionen, dem Jahreswärmebedarf bei den Verbrauchern und den durchschnittlichen Wärmepreisen zurückgeführt werden konnten und sehr stark abhängig waren von der bedarfsgerechten Dimensionierung der Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilanlagen. Aus den Ergebnissen der Evaluierung werden Empfehlungen für die Optimierung vorhandener Anlagen und für die Realisierung zukünftiger Projekte abgeleitet, die in einem Kennzahlensystem zusammengefasst sind.

Inhalt

1	Einleitung	9
2	Grundlagen und Stand der Technik	11
2.1	Vorbemerkung	11
2.2	Nah- und Fernwärme in der Bundesrepublik Deutschland	11
2.2.1	Bedeutung und Voraussetzungen	11
2.2.2	Vor- und Nachteile	12
2.2.3	Wärmeerzeugung	13
2.2.4	Wärmeverteilung	13
2.3	Wärmeversorgung durch Biomasseheizwerke	14
2.4	Biomasse als Brennstoff	15
2.4.1	Eigenschaften	15
2.4.2	Verbrennungsprozess	16
2.4.2.1	Beispiel: Holzverbrennung	16
2.4.2.2	Emissionen	17
2.4.3	Brennstoffgewinnung	18
2.4.4	Brennstoffaufbereitung	18
2.4.5	Brennstofflagerung	19
2.4.6	Aschefraktionen und Ascheentsorgung	19
2.5	Technische Anlagen	20
2.5.1	Brennstoffeinbringung	20
2.5.2	Wärmeerzeugung	20
2.5.2.1	Feuerungssysteme	20
2.5.2.2	Anforderungen an Biomassefeuerungsanlagen	21
2.5.2.3	Kombination verschiedener Feuerungsanlagen	21
2.5.2.4	Wärmetauscher	22
2.5.2.5	Rauchgasreinigung	22
2.5.2.6	Auslegung der Wärmeversorgungsanlage	23
2.5.3	Wärmeverteilung	24
2.5.4	Mess-, Steuer- und Regeltechnik	25
2.6	Rechtliche Aspekte	26
2.7	Wirtschaftliche Aspekte	27
2.8	Ökologische Aspekte	28
2.9	Förderung	28
3	Evaluierung von 12 Biomasseheizwerken in Deutschland	30
3.1	Zielsetzung	30
3.2	Methodik	30

3.3	Ergebnisse	33
3.3.1	Entstehung der Biomasseheizwerke.....	33
3.3.2	Betriebsstruktur	35
3.3.2.1	Organisationsformen	35
3.3.2.2	Personalbedarf.....	36
3.3.3	Biomassebereitstellung	37
3.3.3.1	Art und Herkunft der Brennstoffe	38
3.3.3.2	Brennstoffmengen und -verfügbarkeit	39
3.3.3.3	Biomassepreise.....	40
3.3.3.4	Biomasselieferung.....	42
3.3.3.5	Biomasselagerung	42
3.3.3.6	Ascheverwertung	43
3.3.3.7	Biomasseliefervertrag	44
3.3.4	Wärmebereitstellung	45
3.3.4.1	Überblick.....	45
3.3.4.2	Biomassezuführung.....	45
3.3.4.3	Wärmeerzeugung	46
3.3.4.4	Wärmeverteilung.....	51
3.3.4.5	Datendokumentation und Datenauswertung	52
3.3.4.6	Störungen und Störungsmeldung	53
3.3.4.7	Wartung und Instandhaltung	53
3.3.4.8	Hilfsenergie	53
3.3.4.9	Wärmelieferungsvertrag.....	54
3.3.4.10	Versicherungsschutz des Wärmelieferanten	54
3.3.4.11	Anlagendokumentation	55
3.3.5	Gebäude und Flächenverbrauch.....	55
3.3.6	Investitionen.....	55
3.3.6.1	Einteilung in Investitionsgruppen	55
3.3.6.2	Betrachtung der Gesamtinvestitionen	56
3.3.6.3	Betrachtung der Investitionsgruppen	58
3.3.6.4	Anteile der Investitionsgruppen	61
3.3.6.5	Vergleich von Planung und Realisierung.....	61
3.3.7	Finanzierung.....	62
3.3.8	Ökonomie.....	63
3.3.8.1	Aspekte der ökonomischen Analyse	63
3.3.8.2	Ergebnisse der Kostenrechnung.....	63
3.3.8.3	Durchschnittliche Wärmepreise.....	67
3.3.8.4	Ergebnisse der Gewinn- und Verlustrechnung	67

3.3.8.5	Liquidität	70
3.3.8.6	Kritische Wärmepreise	70
3.3.8.7	Kritische Biomassepreise	71
3.3.8.8	Vergleich von Planung und Realisierung	71
3.3.8.9	Sensitivitätsanalysen	72
3.3.9	Förderung	75
3.3.10	Ökologie	76
3.3.10.1	Ökologische Aspekte	76
3.3.10.2	Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen	76
3.3.10.3	Lärmemissionen	77
3.3.10.4	Staub und Mikroorganismen	77
3.3.10.5	Schwermetalle in der Asche	78
3.3.10.6	Nährstoffentzug	79
3.3.10.7	Flächenverbrauch	79
3.3.10.8	Energetische Effizienz	80
4	Diskussion	82
4.1	Entstehung der Biomasseheizwerke	82
4.2	Organisation der Biomasseheizwerke	83
4.3	Biomassebereitstellung	83
4.4	Anlagentechnik	86
4.4.1	Nachbesserungsaufwand	86
4.4.2	Einfluss der Brennstoffqualität	87
4.4.3	Störungen und Schäden bei einzelnen Anlagenteilen	87
4.4.3.1	Brennstofftransporteinrichtungen	87
4.4.3.2	Wärmeerzeuger	88
4.4.3.3	Wärmeverteilung	89
4.5	Investitionen	89
4.6	Ökonomie	90
4.7	Ökologie	92
5	Empfehlungen	94
5.1	Grundlagenermittlung und Abnehmerstruktur	94
5.1.1	Erhebung der Ausgangssituation	94
5.1.2	Kennwerte der Abnehmerstruktur	94
5.1.3	Entwicklung der Abnehmerstruktur	95
5.1.4	Vorteilhafte und weniger vorteilhafte Abnehmerstrukturen	96
5.2	Investitionen	100
5.2.1	Maximal sinnvolle Investition	100
5.2.2	Investitionsminderungsmaßnahmen	100

5.3	Wirtschaftlichkeit.....	101
5.3.1	Kostendeckende und vertretbare Wärmepreise.....	101
5.3.2	Wirtschaftlichkeitsberechnung.....	102
5.3.3	Kosteneinsparpotenziale	103
5.4	Auslegung der Wärmeversorgungsanlage	103
5.5	Optimierungsmöglichkeiten.....	105
5.5.1	Optimierung des Anlagenkonzeptes	105
5.5.2	Optimierung der bestehenden Anlage.....	106
6	Kennzahlensystem	109
7	Zusammenfassung.....	113
8	Literatur.....	115

Vorwort

In den 1990er Jahren wurden in Deutschland zahlreiche Biomasseheizwerke als Pilot- und Demonstrationsvorhaben errichtet und in Betrieb genommen. Erfahrungen aus dem Betrieb bestehender Heizwerke zeigten Handlungsbedarf auf, derartige Nahwärmesysteme durch verbesserte Planungsdaten in ihrer Wirtschaftlichkeit zu optimieren. Mit dem Ziel, entsprechende Handlungsempfehlungen für die Realisierung zukünftiger Projekte zu geben, wurden 12 Biomasseheizwerke mit Pilot- und Demonstrationsfunktion in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen einer Evaluierung unterzogen. Dabei wurden insbesondere technische, ökonomische und organisatorische Gesichtspunkte untersucht und bewertet. Das Vorhaben „Evaluierung bestehender Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis Biomasse“ wurde in den Jahren 1998 und 1999 von C.A.R.M.E.N. – Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungsnetzwerk, Straubing, in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass mit den Heizwerken, auf Basis von verschiedenen Holzbrennstoffen und Stroh, grundsätzlich eine sehr zuverlässige Wärmeversorgung (Raumheizung, Warmwasser) bei sehr geringen Schadstoffemissionen und einer hohen Einsparung klimarelevanter Emissionen, gegenüber einer Wärmebereitstellung mittels Heizöl und Erdgas, möglich war. Probleme ergaben sich jedoch insbesondere im Bereich der Wirtschaftlichkeit, die auf ein unausgewogenes Verhältnis zwischen der Höhe der Investitionen, dem Jahreswärmebedarf bei den Verbrauchern und den durchschnittlichen Wärmepreisen zurückgeführt werden konnte.

Aus den Ergebnissen der Evaluierung werden Empfehlungen für die Realisierung zukünftiger Projekte abgeleitet, die in einem Kennzahlensystem zusammengefasst sind. Besonderes Augenmerk sollte auf eine wirtschaftliche Betriebsweise gelegt werden. Damit sollen die vorliegenden Ergebnisse Investoren, Betreibern und Planern zukünftiger Anlagen Hilfestellung bei der Errichtung von Biomassefeuerungsanlagen geben.

Fritz Brickwedde

Generalsekretär der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

1 Einleitung

Biomasse zählt zu den ältesten von Menschen genutzten Energieträgern. Vor mehr als 400.000 Jahren entdeckte der Mensch das Feuer und konnte damit seine Lebensqualität deutlich verbessern. Lange Zeit war das Brennholz eine wichtige Lebensgrundlage aller Bevölkerungsschichten. Erst im Zuge der Industrialisierung wurden die biogenen Brennstoffe durch die fossilen Energieträger Kohle, Heizöl und Erdgas weitgehend abgelöst. Inzwischen verbrennt der Mensch täglich mehr fossile Brennstoffe als in 1.000 Jahren entstanden sind. Erst das zunehmende Umweltbewusstsein der vergangenen 20 Jahre hat zu einer Rückbesinnung auf den nachwachsenden und umweltschonenden Energieträger Biomasse geführt. Denn Biomasse ist eine gespeicherte, lagerfähige und jederzeit bedarfsgerecht nutzbare regenerative Energie. Auch ist Biomasse ein heimischer Brennstoff, der zu einer Verringerung der Transportwege beitragen kann und die für die Wärmebereitstellung aufgewendeten Mittel in der Region belässt. Moderne, weitgehend automatisierte Biomassefeuerungen erlauben eine emissionsarme Verbrennung. Und weil Biomasse ständig nachwächst, ist die Energiebereitstellung mittels Biomasse im Gegensatz zur Nutzung fossiler Brennstoffe nahezu CO₂-neutral möglich.

Bei der energetischen Verwertung von Biomassefestbrennstoffen stand bislang vor allem die Wärmeversorgung im Vordergrund, weniger die Kraft-Wärme-Kopplung. Seit Anfang der 1990er Jahre wurden in Deutschland zahlreiche Nah- und einige Fernwärmekonzepte auf Basis der Biomasse realisiert. Die Wärmeversorgung erfolgt dabei durch ein zentrales Biomasseheizwerk, in dem zumeist Reststoffe aus der Land- und Forstwirtschaft (z.B. Restholz aus Durchforstungs- und Waldpflegemaßnahmen, Sägerestholz, Landschaftspflegematerial, Stroh) thermisch verwertet werden. Seltener ist die Verwendung von speziell angebauten Energiepflanzen. Über ein Wärmenetz wird die Wärme mehreren Abnehmern (z.B. Wohnhäuser, gewerblich oder öffentlich genutzte Gebäude) zur Verfügung gestellt, so dass eine Zentralheizung einschließlich Brennstofflager in den einzelnen Gebäuden entfallen kann. Neu an dieser Art der Wärmeversorgung ist weder die Verbrennungstechnologie - diese wurde im wesentlichen aus der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie übernommen - noch die Wärmeverteilung über ein Wärmenetz. Neu ist lediglich deren Kombination und ggf. die Anpassung der Holzverbrennungstechnologie an sehr unterschiedliche Biomassebrennstoffe wie Halmgüter mit niedrigem Ascheschmelzpunkt.

Zwei grundsätzliche Problemstellungen ergeben sich aus dieser Kombination. Zum einen müssen sich die Betreiber der Biomasseheizwerke,

anders als bei Holzfeuerungsanlagen in der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie, in besonderem Maße mit den ganz eigenen Bedürfnissen der Wärmeabnehmer (z.B. Preiswürdigkeit, Komfort, Informationsbedarf, hohe Lebensqualität) und deren Nutzerverhalten auseinandersetzen und die Betriebsweise des Heizwerks entsprechend darauf abstimmen. Zum anderen wird die Heizzentrale nun in der Regel abseits eines Holzbe- und -verarbeitenden Betriebes und in der Nähe der Wärmeabnehmer errichtet, was ein entsprechendes Logistikkonzept erforderlich macht - zumal in den Anlagen nun nicht mehr nur Industrierestholz, sondern auch Waldhackgut oder Halmgüter verwertet werden sollen.

Das Interesse an einer Nah- oder Fernwärmeversorgung mit Biomasse ist groß, denn der Anschluss an ein Biomasseheizwerk bietet für den Wärmekunden, gegenüber einer Wärmeversorgung aus einer eigenen Zentralheizung, mehrere Vorteile. Dementsprechend befindet sich eine ganze Reihe von Biomasseprojekten in der Diskussion, in der Planung oder die Heizwerke mussten ihre Zuverlässigkeit bereits unter Beweis stellen. Eine wichtige Beispielfunktion haben diesbezüglich die Pilot- und Demonstrationsanlagen, die in den 1990er Jahren in Deutschland realisiert wurden (siehe auch Liste der „Bayerischen Demonstrationsprojekte der energetischen Biomassenutzung“ im Internet unter <http://www.carmen-ev.de>). Diese Anlagen sind nun bereits seit mehreren Jahren in Betrieb, und ihre Betreiber können zahlreiche Erfahrungen vermelden. Vor allem im Hinblick auf die Planung und Realisierung zukünftiger Biomasseheizwerke scheint es deshalb an der Zeit, eine erste Zwischenbilanz zu ziehen. Die Fragestellungen lauten: Haben sich die Konzepte bewährt? Wo liegen eventuell Schwachstellen? Was ist bei der Realisierung zukünftiger Projekte zu beachten?

In den Jahren 1998 und 1999 hat der C.A.R.M.E.N. e.V. 12 Biomasseheizwerke in Deutschland detailliert untersucht und ausgewertet. Ziel dieser Arbeit war es, anhand einiger ausgewählter Anlagen beispielhaft eine umfassende Datenerhebung durchzuführen und möglichst vielfältige Erkenntnisse und Kennzahlen abzuleiten, die im Hinblick auf die Planung und Realisierung weiterer Projekte von Bedeutung sein könnten. Das Projekt „Evaluierung bestehender Pilot- und Demonstrationsanlagen zur regenerativen Energieerzeugung auf Basis Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland“ wurde vom C.A.R.M.E.N. e.V. in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München durchgeführt und mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.

2 Grundlagen und Stand der Technik

2.1 Vorbemerkung

Im Folgenden sollen einige wesentliche Grundlagen zur Wärmeversorgung über Nah- und Fernwärmenetze im allgemeinen und mittels Biomasse im besonderen genannt sowie ein Überblick über den Stand der Technik vermittelt werden. In den vergangenen zehn Jahren haben sich zahlreiche Fortschritte vor allem im Bereich der Biomasseverbrennungs- und der Rauchgasreinigungstechnik sowie bei der Mess-, Steuer- und Regelungstechnik ergeben. Auch die Kostensituation hat sich in einigen Bereichen deutlich geändert. Für die nachfolgende Darstellung der Evaluierungsergebnisse ist jedoch in erster Linie der Stand der Technik von Anfang der 1990er Jahre von Interesse, da die betrachteten Biomasseheizwerke in diesem Zeitraum errichtet wurden. Auf Neuerungen wird eingegangen, soweit sie für die Optimierung der bestehenden Anlagen oder hinsichtlich der Empfehlungen für kommende Projekte von besonderem Interesse sind.

2.2 Nah- und Fernwärme in der Bundesrepublik Deutschland

2.2.1 Bedeutung und Voraussetzungen

Zwischen Nah- und Fernwärme wird je nach Größe der Erzeugungseinheit und Ausdehnung des Netzes unterschieden, wobei die Übergänge fließend sein können. Die klassische Nah- oder Fernwärmeversorgung besteht aus einer Heizzentrale, dem Wärmeverteilnetz und den Hausstationen bei den Abnehmern oder Wärmekunden [70]. Bei der Fernwärmeversorgung ist die Heizzentrale in der Regel ein Heizkraftwerk [55]. In Österreich ist für kleine Nahwärmenetze auch der Begriff „Mikronetze“ aufgekommen. Dieser entspricht jedoch nicht den in Deutschland üblichen Regelbegriffen und soll deshalb im folgenden nicht weiter verwendet werden.

Die Versorgung mehrerer Gebäude mit Wärme über Heizleitungen durch ein zentrales Heizkraftwerk oder auch durch ein Heizwerk ist keine Neuerung unserer Zeit. Bereits im späten 19. Jahrhundert wurden zahlreiche Heiz(kraft)werke realisiert. Als Brennstoffe wurden Kohle oder Holz eingesetzt. Schon damals wiesen einzelne Wärmenetze Längen von mehreren Kilometern auf [55]. Heute liegt der Anteil der Fernwärme an der Wohnraumbeheizung, nach Angaben des Verbandes der Elektrizitätswirtschaft, bei etwa 12 % [81]. Rund 80 % der Fernwärme werden jährlich aus Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt. Reine Heizwerke,

die hauptsächlich mit Erdgas oder Heizöl betrieben werden, liefern nur rund 20 %, wobei diese in aller Regel auch nur den Spitzenbedarf decken, für den höhere Wärmepreise verlangt werden können. Etwa die Hälfte der Lieferungen geht an ca. 4,5 Mio. Haushalte [81]. Weitere Verbraucher sind Industrie, Handel, Gewerbe und öffentliche Einrichtungen.

Von überragender Bedeutung für die Fernwärmeversorgung sind demnach die Heizkraftwerke. Bei diesen Anlagen führt die Wärmenutzung im Vergleich zur reinen Stromerzeugung nicht nur zu einem höheren Gesamtwirkungsgrad. Die Wärme fällt zudem als besonders kostengünstiges Nebenprodukt an, und dies gilt als unabdingbare Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg einer Fernwärmeversorgung [67]. Nur durch eine kostengünstige Wärmequelle können die hohen Kosten der Wärmeverteilung kompensiert und wettbewerbsfähige Abgabepreise erreicht werden. Je aufwändiger die Netze sind, desto kostengünstiger muss die Wärmequelle sein. Der Umkehrschluss ist, dass lediglich ein kompaktes (Nahwärme-)Netz bei hoher Wärmebedarfsdichte unter Umständen auch eine etwas teurere Wärmequelle rechtfertigen kann.

2.2.2 Vor- und Nachteile

Als Vorteile der Nah- und Fernwärme gegenüber einer konventionellen Wärmeversorgung, mittels beim Abnehmer oder Kunden aufgestellter Heizkessel, werden regelmäßig die folgenden Punkte angeführt [70]:

- geringere Umweltbelastung,
- geringerer Bedienungs-, Wartungs- und Instandhaltungsaufwand beim Verbraucher,
- Raumersparnis beim Verbraucher und
- vergleichsweise hohe Betriebssicherheit.

Darüber hinaus wird oft das Argument genannt, dass bei einer Nah- oder Fernwärmeversorgung besonders flexibel auf geänderte Rahmenbedingungen reagiert werden kann, denn der zentrale Wärmeerzeuger kann schneller und problemloser an neue technische Entwicklungen angepasst werden als zahlreiche einzelne Heizkessel [36].

Als Nachteile der Nah- und Fernwärmeversorgung werden hauptsächlich die hohen Investitionen und die Abhängigkeit vom Wärmelieferanten gesehen [70].

2.2.3 Wärmezeugung

Der klassische Wärmeerzeuger einer Fernwärmeversorgung ist, wie unter 2.2.1 bereits dargelegt wurde, das Heizkraftwerk. Zum Einsatz kommen vorwiegend Heizkraftwerke mit Dampf- oder Gasturbinen. Darüber hinaus wurden aber auch reine Heizwerke realisiert. Als Brennstoffe werden vorwiegend Kohle, Öl oder Erdgas eingesetzt. Holz spielt eine eher untergeordnete Rolle und kam bislang nahezu ausschließlich in Anlagen der Holzbe- und -verarbeitenden Industrie zum Einsatz. Die Wärme dieser Anlagen wurde ausschließlich zur Beheizung der jeweiligen Gewerbe- und Industriebetriebe und zur Versorgung betriebsinterner Prozesse genutzt.

Seit Anfang der 1980er Jahre gewinnen Blockheizkraftwerke (BHKW) verstärkt an Bedeutung. Die BHKW werden zumeist mit Heizöl oder Erdgas betrieben. Ihr bevorzugtes Einsatzgebiet ist die Versorgung von Abnehmern mit hoher Wärmebedarfsdichte, also größere Gebäudekomplexe (z.B. Hallenbad, Pflegeheim) oder ein Zusammenschluss von bedeutenden Wärmeabnehmern über ein Nahwärmenetz [35]. Mittlerweile werden auch BHKW besonders kleiner Leistung angeboten, die größere Einzelobjekte (z.B. Wohnanlagen, Hotels, Gaststätten) versorgen können. Des Weiteren wurden in den vergangenen Jahren einige solare Nahwärmesysteme mit Kurz- oder Langzeitwärmespeicher realisiert [36].

Seit Anfang der 1990er Jahre wurden in Deutschland mehrere Pilot- und Demonstrationsanlagen der energetischen Biomassennutzung in Betrieb genommen. Hierbei erfolgt die Wärme- und/oder Kraftbereitstellung durch die Verbrennung von Biomasse (meist Holzhackschnitzel). Bei den ältesten dieser Anlagen handelt es sich um Konzepte, die in mehr oder weniger starker Anlehnung an bereits existierende Projekte in Österreich oder Dänemark erstellt wurden. Bislang konzentrieren sich die meisten Biomasseanlagen im süddeutschen Raum. Aus verschiedenen Gründen liegt der Schwerpunkt jedoch nicht bei der Kraft-Wärme-Kopplung, sondern es wurden überwiegend Heizwerke realisiert [33].

2.2.4 Wärmeverteilung

Für den Wärmetransport werden in den klassischen Nah- und Fernwärmenetzen üblicherweise Warmwasser, Heißwasser oder Dampf herangezogen. Der Transport erfolgt bevorzugt in Zweileitersystemen mit Vor- und Rücklaufleitung, aber auch das Dreileitersystem, bei dem zwei getrennte Vorlaufleitungen mit unterschiedlichen Betriebsbedingungen (Temperatur, Winter-/Sommerbetrieb) und eine gemeinsame Rücklaufleitung installiert werden, ist möglich [70].

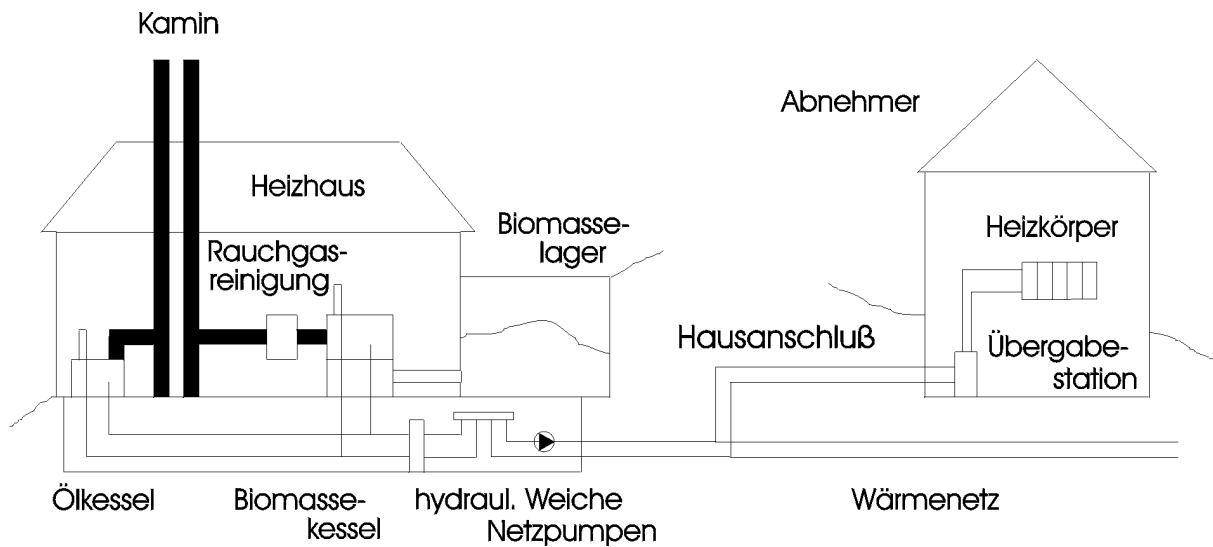
Die Betriebsweise kann mit stets konstanter Vorlauftemperatur oder gleitend, d.h. mit einer von der Außentemperatur abhängigen Vorlauftemperatur, erfolgen. Des Weiteren ist eine konstant gleitende Betriebsweise möglich, bei der die Vorlauftemperatur auch außerhalb der Heizperiode auf einem Mindestwert gehalten wird [70]. Bei Warmwasserheizungen wird das Wasser mittels Umwälzpumpen durch das Versorgungsnetz zum Verbraucher und zurück zur Heizzentrale gefördert. Die Pumpen sind in der Heizzentrale aufgestellt. Die Förderhöhe ergibt sich aus dem Druckverlust der Vor- und Rücklaufleitungen, dem Druckverlust beim Erzeuger und dem Druckverlust beim Verbraucher.

Das Bindeglied zwischen dem Wärmenetz und der Hausanlage ist die Hausstation, die sich aus der Übergabestation und der Hauszentrale zusammensetzt [30].

2.3 Wärmeversorgung durch Biomasseheizwerke

Die realisierten Biomasseheizwerke decken den Wärmebedarf von kommunalen und kirchlichen Einrichtungen (z.B. Schulen, Schwimmbäder, Wohnheime, Krankenhäuser), von Wohn- und Gewerbeobjekten sowie von Industriebetrieben vollständig und ganzjährig. Die Wärmeerzeugung in den Biomasseheizwerken erfolgt durch die Verbrennung von Biomasse - dies ist der eigentliche Unterschied zu herkömmlichen Nah- und Fernwärme Konzepten. Die Produkte dieser Verbrennung sind heiße Rauchgase und Asche. Die Wärme der Rauchgase wird an ein Wärmeträgermedium (meist Wasser) abgegeben. Durch ein z.B. erdverlegtes, isoliertes Rohrleitungsnetz (herkömmliches Nah- oder Fernwärmenetz) wird das Wärmeträgermedium zu den Verbrauchern gepumpt. Dort - in einem Wärmetauscher - wird dem Trägermedium die Wärme wieder entzogen und dem Heizkreislauf des Wärmekunden zugeführt. Dieser nutzt sie für die Raumbeheizung und die Warmwasserbereitung. Der Wärmetauscher dient demnach als Trennung zwischen dem Wärmenetz des Biomasseheizwerks und der kundenseitigen Installation und ersetzt gleichzeitig den eigenen Heizkessel des Wärmekunden. Das im Wärmetauscher abgekühlte Wärmeträgermedium fließt zurück zur Heizzentrale des Biomasseheizwerks, wo es im Wärmeerzeuger erneut aufgeheizt und wieder zu den Verbrauchern geleitet werden kann.

Bild 1: Schema eines Biomasseheizwerks (Beispiel)



Biomasseheizwerke bestehen demnach, wie viele andere herkömmliche Nah- und Fernwärmeprojekte, aus einer Heizzentrale, in dem die für die Wärmeerzeugung erforderlichen technischen Anlagenteile (z.B. Heizkessel, Rauchgasreinigung, Wasseraufbereitung) untergebracht sind, sowie aus einem Wärmenetz, über das das Heizwasser an die einzelnen Abnehmer verteilt wird (Bild 1). Die Heizzentrale ist mit einem Brennstofflager verbunden, aus dem der Brennstoff (z.B. Holzhackschnitzel, Strohballen, ggf. auch fossile Energieträger) automatisch in den Heizkessel transportiert wird. Die Versorgung von Privathaushalten sowie von kommunalen und kirchlichen Einrichtungen mit Wärme beschränkt sich in aller Regel auf die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser, wobei je nach Jahreszeit und Art des Abnehmers entweder der Raumwärmebedarf oder der Warmwasserbedarf überwiegen kann. Gleiches gilt für viele Gewerbe- und Industriebetriebe. Einige gewerbliche und industrielle Abnehmer benötigen darüber hinaus Prozesswärme (Dampf), was jedoch im Folgenden nicht weiter betrachtet werden soll.

2.4 Biomasse als Brennstoff

2.4.1 Eigenschaften

Für die Auslegung eines Biomasseheizwerks sind die Eigenschaften des vorgesehenen Biomassebrennstoffs wichtige Ausgangsgrößen. Die Brennstoffeigenschaften haben Einfluss auf die Dimensionierung zahlreicher Komponenten: Brennstofflager, Brennstofffördereinrichtungen, Feuerung, Rauchgasreinigung, Regelung der Anlage, Aschehandling [58]. Darüber hinaus wirken sie sich z.B. auf den Transportaufwand bei der Biomassebereitstellung, auf den Lagerplatzbedarf und die Lagerfähigkeit des Brenn-

stoffs, auf das Verbrennungsverhalten und die damit verbundenen Emissionen sowie auf die Verwertbarkeit der Asche aus. Für das Projekt „Biomasseheizwerk“ bedeutet dies, dass die Anlagenkonzeption und die Betriebsweise des Heizwerks nicht nur auf den Wärmeverbraucher und dessen Nutzerverhalten abgestimmt sein muss, sondern auch auf den vorgesehenen Brennstoff. Erschwerend kommt hinzu, dass die Eigenschaften der Biomasse erheblichen Schwankungen unterliegen können.

Im Wesentlichen lassen sich die Eigenschaften der festen Biomasse entsprechend ihrer Merkmale in zwei Gruppen unterteilen [3]: nach den chemisch-stofflichen Merkmalen und den physikalisch-mechanischen Merkmalen. Zu den chemisch-stofflichen Merkmalen gehört die Elementarzusammensetzung der Biomasse (z.B. der Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff, Chlor, Erdalkalien und Schwermetallen), der Wassergehalt, der Aschegehalt, der Heizwert, der Ascheerweichungspunkt und der Gehalt an Verunreinigungen und Störstoffen (z.B. Sand, Steine, Pilzsporen). Demgegenüber zählen Abmessungen, Teilchen- und Schüttdichte, Größenverteilung, Feinanteil und Abriebfestigkeit zu den physikalischen Merkmalen von Festbrennstoffen.

2.4.2 Verbrennungsprozess

Die Verbrennung von Biomasse wird allgemein als „schwierig“ eingestuft, denn komplexe Vorgänge und vielfältige Parameter sind zu beachten, die sich zudem gegenseitig beeinflussen können [52]. Zahlreiche Faktoren können die Verbrennung fördern, aber auch verschlechtern und zu unerwünschten, luftverunreinigenden Emissionen führen.

2.4.2.1 Beispiel: Holzverbrennung

Die Verbrennung von Holz lässt sich grundsätzlich in drei Phasen einteilen: Trocknung, Entgasung (Pyrolyse) und Verbrennung (Oxidation). In Tabelle 1 sind die einzelnen Phasen und die damit verbundenen Vorgänge wiedergegeben. Besonderer Aufmerksamkeit - vor allem im Hinblick auf die Effizienz der Feuerung und die Schadstoffemissionen - bedarf die 3. Phase, die Oxidation. Holz ist ein langflammiger Brennstoff. Etwa 70 % der im Holz enthaltenen chemisch gebundenen Energie wird bei der Oxidation der Brenngase freigesetzt. Läuft dieser Vorgang nicht optimal ab, führt dies zu einem schadstoffreichen Abgas und verursacht die Bildung von schwer flüchtigen organischen Stoffen (z.B. Ruß, Teer). Einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität der Verbrennung und den Wirkungsgrad der Anlage hat daher die Zuführung der Verbrennungsluft.

Tabelle 1: Phasen der Holzverbrennung

Phase	Temperaturbereich	Vorgang	Produkt	Prozess
1. Trocknung	bis 150 °C	Verdampfung des im Holz gebundenen Wassers		endotherm
2. Entgasung (Pyrolyse)	150 bis 600 °C	Freisetzung der Brenngase	Brenngase und Holzkohle	endotherm
3. Verbrennung (Oxidation)	400 bis 1.300 °C	Verbrennung der Brenngase und der Holzkohle	Asche	exotherm

2.4.2.2 Emissionen

Bei der Verbrennung von Biomasse treten sowohl vermeidbare als auch unvermeidbare Emissionen auf. Unvermeidbar ist die Entstehung von Wasserdampf, Kohlendioxid (CO₂) und Stickoxiden (NO_x) sowie die Freisetzung geringer Mengen Aschepartikel als Staubemissionen. Diese Emissionen können auch bei der optimalen Verbrennung von Biomasse beobachtet werden. Dahingegen ergeben sich die vermeidbaren Emissionen, wie Kohlenwasserstoffe (C_xH_y), Kohlenmonoxid (CO) und unverbrannte Partikel („Ruß“), als Folge einer unvollständigen Verbrennung. Durch eine Optimierung der Feuerung können diese Emissionen minimiert werden. Eine wichtige Leitgröße für die Beurteilung der Verbrennungsqualität ist die CO-Konzentration im Abgas.

Schadstoffemissionen bei Biomassefeuerungsanlagen können durch verschiedene Maßnahmen vermieden oder zumindest reduziert werden [9, 52, 53, 58], z.B. durch ausreichende Luftzufuhr, ausreichend hohe Temperaturen in der Oxidationszone der Brenngase, ausreichend gute Durchmischung der Verbrennungsluft mit den Brenngasen (Vermeidung von Stränenbildung!), ausreichend lange Verweilzeiten der Brenngase in der Verbrennungszone. Aber auch durch eine Optimierung der Brennstoffeigenschaften (z.B. geringer Stickstoff- und Chlorgehalt, geringer Wassergehalt, geringe Verunreinigungen) ist unter Umständen eine Möglichkeit der Schadstoffreduzierung gegeben. Grundsätzlich kann zwischen Primär- und Sekundärmaßnahmen unterschieden werden. Zu den Primärmaßnahmen zählen alle Maßnahmen, die vor der Verbrennung den Brennstoff beeinflussen („brennstoffseitige Primärmaßnahmen“) oder die an der Feuerung durchgeführt werden („feuerungsseitige Primärmaßnahmen“) [52]. Die im Anschluss an die Verbrennung durchgeführte Rauchgasreinigung - z.B. Entstaubung und Entstickung der Rauchgase - zählt zu den Sekundärmaßnahmen.

2.4.3 Brennstoffgewinnung

Naturbelassene biogene Festbrennstoffe werden als Energiepflanzen speziell angebaut oder fallen als Rest- und Abfallstoffe z.B. in der Land- und Forstwirtschaft oder im Holzbe- und -verarbeitenden Gewerbe an. Für die thermische Verwertung in Biomasseheizwerken sind derzeit aus Kostengründen lediglich biogene Reststoffe und Nebenprodukte von Interesse: z.B. Waldrestholz, das regelmäßig bei der Waldbewirtschaftung (Durchforstungs- und Pflegemaßnahmen) anfällt, Industrie- und Sägerestholz aus der Holzbe- und -verarbeitung, Flurholz aus der Landschaftspflege und in Einzelfällen auch Halmgüter (z.B. Getreidestroh). Diesen Stoffen ist gemein, dass zwar ggf. Kosten für Ernte, Lagerung, Aufbereitung und Transport berücksichtigt werden müssen, jedoch nicht für den Anbau. Die Verwendung von belastetem Altholz spielt derzeit bei Biomasseheizwerken im hier betrachteten Leistungsbereich zwischen 0,3 und 3 MW_{BM} unter anderem aus Akzeptanzgründen aber auch aus Kostengründen (teure Rauchgasreinigungstechnik!) keine Rolle.

Bezüglich des zur Verfügung stehenden Biomassepotenzials wird auf die einschlägigen Veröffentlichungen verwiesen (z.B. [47]). Die Beschaffung der Biomasse erfolgt auf sehr vielfältigem Wege, wobei hier das grundsätzliche Problem besteht, dass in Deutschland zwar Biomasse in größeren Mengen verfügbar ist und auch ein Markt für biogene Festbrennstoffe existiert, allerdings dieser Markt wenig transparent ist: Es besteht eine Vielfalt an Anbietern, Brennstoffarten, Aufbereitungsformen, Qualitäten und Preisen. Auch besteht eine unübersichtliche und mitunter unbekannte Angebotsvielfalt an Liefer- und Servicedienstleistungen [3, 23]. Für Biomasseheizwerke ist relevant, dass Reststoffe und Nebenprodukte aus der Land- und Forstwirtschaft meist von vergleichsweise kleinen Unternehmen (z.B. einzelne Waldbauern oder Lohnunternehmer) sowie von land- und forstwirtschaftlichen Zusammenschlüssen (z.B. Forstbetriebsgemeinschaften, Waldbauernvereinigungen, Gemeinschaften aus Landwirten) bereitgestellt werden. Der Vertrieb von Säge- und Industrie-restholz erfolgt im Wesentlichen über Großhändler.

2.4.4 Brennstoffaufbereitung

Ziel der Brennstoffaufbereitung ist es, die in der Regel äußerst inhomogen anfallenden Biomassen in eine besser handhabbare Form zu überführen. Dies dient der Vereinfachung der Brennstoffbereitstellung, der Lagerung, der Vermarktung und der Brennstoffverwertung. Darüber hinaus kann im Zuge der Brennstoffaufbereitung auch eine Qualitätsverbesserung herbeigeführt werden. Diese beruht auf einer Verbesserung der Lager- und Förderfähigkeit, einer Reduzierung der, durch biologischen

Abbau hervorgerufenen, Brennstoffverluste (und der damit verbundenen Pilzsporen- sowie Geruchsbelastung) und/oder einer Verbesserung der, für eine möglichst optimale Verbrennung, erforderlichen Brennstoffeigenschaften. Unterschieden wird, ob die Aufbereitung beim Erzeuger oder beim Verbraucher erfolgt und ob sie mit Hilfe stationärer oder mobiler Maschinen geschieht [3, 4, 53]. Die für Biomasseheizwerke relevanten Aufbereitungsschritte sind insbesondere die Zerkleinerung (bei Holz: Hacken oder Schreddern) und die Trocknung (z.B. Freilufttrocknung, seltener thermisch-apparative Trocknung) der Biomasse. Bei Halmgütern wird auch die Kompaktierung zu Ballen oder Pellets praktiziert.

2.4.5 Brennstofflagerung

Die Lagerung dient dem Ausgleich des saisonal schwankenden Brennstoffangebots und Wärmebedarfs sowie der Versorgungssicherheit. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen einer Lagerung beim Erzeuger und einer Lagerung beim Verbraucher. Die Lagerung der Biomasse kann auf drei Arten erfolgen [3, 4]:

- im Freien (offen oder geschützt),
- unter Dach (offen oder geschlossene Hallenwände) sowie
- in einem Behälter (Silo, Container, Bunker).

Von besonderem Interesse für die Betriebskosten der Lagerung ist die Art der Lagerbewirtschaftung, die sich auf den Aufwand für die Befüllung des Lagers und den Biomasseumschlag auswirken kann [53]. Wichtige Ausgangsgrößen für die Dimensionierung des Lagers sind der voraussichtliche Brennstoffbedarf, die voraussichtliche Qualität des Brennstoffs (z.B. Wassergehalt, Aufbereitungsform) und der voraussichtliche Brennstoffanfall [53]. Während der Lagerung biogener Festbrennstoffe erfolgt üblicherweise sowohl eine Trocknung durch die Eigenerwärmung der Biomasse als auch ein kaum vermeidbarer Substanzabbau durch biochemische und mikrobielle Vorgänge [4].

2.4.6 Aschefraktionen und Ascheentsorgung

Asche entsteht bei der Biomasseverbrennung aus den nicht brennbaren mineralischen Bestandteilen des Brennstoffs und den nicht brennbaren Begleitstoffen. Zu den Begleitstoffen zählen insbesondere Verunreinigungen, die durch Ernte und Lagerung eingetragen werden (Sand, Steine, evtl. Metallteile u.ä.). Darüber hinaus tragen im Brennstoff enthaltene Schwermetalle, Schwefel- und Chlorverbindungen sowie unverbrannter Kohlenstoff zur Aschebildung bei [58]. Verschiedene Parameter werden

zur Charakterisierung der Biomasseaschen herangezogen [3, 9]: Schmelzverhalten (Erweichungs-, Sinter-, Schmelz-, Fließtemperatur), Elementarzusammensetzung, Wasserlöslichkeit, pH-Wert, Korngröße, Dichte, Wassergehalt, spezifische Oberfläche, spezifische Leitfähigkeit, Glühverlust. Je nach Brennstoff, Aschefraktion und Betriebsbedingungen im Bereich der Feuerung können sich höchst unterschiedliche Werte ergeben. Von besonderem Einfluss sind die Temperaturen, die in den Bereichen vorherrschen, in denen die jeweilige Aschefraktion (Grob-, Mittel- oder Flugasche) anfällt [58]. Besondere Beachtung ist der ordnungsgemäßen Entsorgung der Aschen zuzuwenden, die ein nicht unerheblicher Kostenfaktor sein kann [52].

2.5 Technische Anlagen

2.5.1 Brennstoffeinbringung

Aus dem Biomasselager am Heizwerk, das z.B. mit dem LKW, mit landwirtschaftlichen Fahrzeugen, mit einem Radlader oder einem Kran beschickt wird, gelangt der Biomassebrennstoff über automatisch betriebene Fördereinrichtungen (z.B. Schubboden, Schneckenförderer, Trogkettenförderer, Förderband, Kran) zur Feuerungsanlage. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen:

- der Brennstoffaustragung (aus dem Lager),
- den Brennstofftransporteinrichtungen (von der Austragungs- zur Beschickungseinrichtung),
- der Brennstoffbeschickung (in die Biomassefeuerung) und
- den Sicherungseinrichtungen gegen Rückbrand.

2.5.2 Wärmeerzeugung

2.5.2.1 Feuerungssysteme

In Biomasseheizwerken erfolgt eine Warmwassererzeugung - seltener eine Heißwassererzeugung - durch die Verbrennung von Biomasse in Heizkesseln. Verschiedene Feuerungssysteme stehen hierzu zur Verfügung, wobei die Art und Beschaffenheit des Brennstoffs sowie die erforderliche Leistung der Feuerungsanlage ausschlaggebend für die Wahl eines bestimmten Systems sind (Kleinst-, Klein- oder Großanlage) [53]. Im Leistungsbereich zwischen 0,3 und 3 MW, in dem die hier betrachteten Biomassefeuerungen lagen, sind für die Verbrennung von Holz in Biomasseheizwerken vor allem Festbettfeuerungen üblich, insbesondere Unterschubfeuerungen und Rostfeuerungen mit Vorschubrost [53]. Eine

besondere Bauart ist die Pyrolysefeuerung (Vorofenfeuerung), bei der die Trocknung und Entgasung des Brennstoffs in einem Vorofen (Unterschub- oder Rostfeuerung) erfolgt, der mit dem separat stehenden Wärmetauscher durch ein Flammrohr verbunden ist. Im Flammrohr findet der Ausbrand der Brenngase statt. Darüber hinaus werden für die Verfeuerung von Halmgütern verschiedene speziell entwickelte Systeme angeboten, die zu meist auf einer Rostfeuerung basieren (z.B. sog. Zigarrenbrenner mit nachgeschaltetem Vorschubrost).

2.5.2.2 Anforderungen an Biomassefeuerungsanlagen

Die Verbrennung von Feststoffen ist im Vergleich zu der Verbrennung von flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen nicht nur mit einem deutlich höheren Aufwand im Hinblick auf Transport und Lagerung der Brennstoffe verbunden, auch die Gestaltung der Feuerung, d.h. die Feuerraumgeometrie sowie die Regelung des Verbrennungsvorgangs, bedürfen einer erheblich höheren Aufmerksamkeit (vgl. auch Kap. 2.4.2). Insbesondere führt die Verbrennung von Öl oder Gas zu einer kompakten Flamme, die einen sehr kleinen Brennraum erlaubt, der sogar gekühlt sein kann. Bei Biomassefeuerungen ist hingegen ein wesentlich größerer Feuerraum erforderlich, der zudem in verschiedene Zonen (Entgasungs- und Ausbrandzone) mit unterschiedlicher Luftzufuhr (Primär- und Sekundärluft) unterteilt und in der Regel nicht gekühlt sein sollte [53].

2.5.2.3 Kombination verschiedener Feuerungsanlagen

Die Regelbarkeit einer Biomassefeuerung ist begrenzt. Aus ökologischen, aber auch aus ökonomischen Gründen sollte der Biomassekessel vorwiegend im Bereich seiner Nennleistung betrieben werden; im Teillastbereich sind erhöhte Schadstoffemissionen und ein geringerer Wirkungsgrad zu erwarten. Wegen des schlechten Teillastverhaltens der Biomassekessel - in der Regel können Biomassefeuerungsanlagen nicht unter 20 % ihrer Nennleistung betrieben werden - sowie um ein redundantes Feuerungssystem zur Verfügung zu haben, werden häufig zwei Biomassekessel unterschiedlicher Nennleistung (monovalente Anlage) oder ein zusätzlicher fossil befeuerter Kessel als Spitzenlastkessel (bivalente Anlage)¹⁾ installiert. Prinzipiell ist es auch möglich einen Wechselbrandkessel aufzustellen, der wahlweise mit Biomasse oder Öl (Heizöl, Pflanzenöl) befeuert werden kann.

1) Der Begriff „bivalent“ wird hier – anders als z.B. in der 1. BImSchV - für den Fall genutzt, dass eine Öl- oder Gasfeuerungsanlage in Verbindung mit einer Biomassefeuerungsanlage betrieben wird.

Vereinzelt wurden zudem Biomasseheizanlagen realisiert, die zusätzlich

mit einer thermischen Solaranlage oder mit einem BHKW (Pflanzenöl, Biogas) ausgestattet sind.

2.5.2.4 Wärmetauscher

Im Wärmetauscher, der an die Feuerung anschließt, wird die Wärme der Rauchgase an ein Wärmeträgermedium abgegeben. Bei Biomasseheizwerken wird in aller Regel auf Flammrohr-Rauchrohrkessel zurückgegriffen. Durch die Installation eines Economizers in den Abgasstrom nach dem Kessel ist zudem die Rückgewinnung der fühlbaren Wärme aus dem Rauchgas möglich. Als Wärmeträgermedium wird üblicherweise vollentsalztes Wasser verwendet. Zu beachten ist, dass sich während des Betriebs des Kessels an den Rauchrohren Aschepartikel anlagern, die zu einer Verschlechterung des Wärmeübergangs führen können. Eine regelmäßige manuelle oder automatische Abreinigung der Rauchrohre (z.B. mit Bürsten oder Druckluft) ist deshalb unbedingt erforderlich. Je nach Qualität der Verbrennung sowie abhängig vom Durchmesser und von der Einbaulage der Rauchrohre (liegender oder stehender Kesselkörper) können längere oder kürzere Zykluszeiten zwischen den Reinigungen (sog. Reisezeiten) erreicht und damit der Aufwand für die Reinigung reduziert oder erhöht werden [53].

2.5.2.5 Rauchgasreinigung

Das Rauchgas einer Biomassefeuerung setzt sich aus der überschüssigen Verbrennungsluft und den Verbrennungsprodukten (z.B. CO_2 , H_2O , NO_x , Aschepartikel) zusammen. Die Verbrennungsprodukte können in luftverunreinigende und nicht luftverunreinigende Emissionen eingeteilt werden [52]. Die luftverunreinigenden Emissionen von Biomassefeuerungsanlagen dürfen bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten, was beispielsweise in Deutschland durch das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) geregelt ist. Die Emission von Schadstoffen lässt sich durch Primär- und Sekundärmaßnahmen reduzieren. Zu den bereits angesprochenen Primärmaßnahmen zählt die Optimierung des Ausbrandes und ggf. die Verbesserung der Brennstoffeigenschaften. Unter Sekundärmaßnahmen versteht man die der Feuerung nachgeschalteten Abgasreinigungsmaßnahmen. Bei naturbelassenen Biomassefestbrennstoffen beschränken sich die Sekundärmaßnahmen in der Regel auf die Entstaubung der Rauchgase. Die Zugabe von Zusatzstoffen, beispielsweise zur Minderung der NO_x -Konzentration im Rauchgas („Entstickung“ der Rauchgase), wird nur in Einzelfällen praktiziert [58].

Für die Entstaubung der Rauchgase stehen Fliehkraftabscheider (z.B. Einzel- oder Multizyklon), filternde Abscheider (z.B. Gewebeslauchfilter) und elektrostatisch wirkende Abscheider (Elektrofilter) zur Verfügung [52, 53]. Die Abscheider werden im Rauchgasweg nach dem Biomassekessel angeordnet und weisen unterschiedliche Abscheidegrade auf, die zudem von der Partikelgröße des Flugstaubs abhängen. Rauchgasnachbehandlungen, die über die Entstaubung hinausgehen, sind bei der Verbrennung naturbelassener Biomassebrennstoffe in der Regel nicht nötig um die gesetzlichen Grenzwerte einzuhalten. Von einigen Kesselherstellern wird jedoch auch für Feuerungsleistungen unter 1 MW eine in die Feuerungsanlage integrierte Rauchgasentstickung nach dem SNCR-Verfahren angeboten.

2.5.2.6 Auslegung der Wärmeversorgungsanlage

Die Wärmeversorgungsanlage muss die höchstmögliche Wärmelast des angeschlossenen Verbrauchers decken können. Sind mehrere Verbraucher an die Versorgungsanlage angeschlossen, ist die Wahrscheinlichkeit, dass alle Verbraucher gleichzeitig die höchste Leistung anfordern, mehr oder weniger gering. Diese Tatsache kann für die einzelnen Trassen durch die Einrechnung eines Korrekturfaktors, dem sog. Gleichzeitigkeitsfaktor, berücksichtigt werden. Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist ein Erfahrungswert und kann die Dimensionierung der Anlage erheblich beeinflussen, weshalb er sorgfältig gewählt werden muss. Die Höhe des Gleichzeitigkeitsfaktors - je nach Abnehmerstruktur kann er 0,5 bis 1 betragen - orientiert sich an der Art und der Anzahl der Abnehmer [58].

Grundlage für die Auslegung jeder Wärmeversorgungsanlage ist die Wärmebedarfsberechnung nach DIN 4701. Ist vorgesehen, dass Abnehmer an das Biomasseheizwerk angeschlossen werden, für die aus der Vergangenheit bereits Energieverbrauchswerte (z.B. bisheriger Heizöl- oder Erdgasverbrauch) vorliegen, so sollten diese (zusätzlich) berücksichtigt, aber auch kritisch hinterfragt werden. Desgleichen ist auf Auswirkungen von Wärmeschutzmaßnahmen (vgl. Wärmeschutzverordnung) sowie auf weitere Wärmequellen, die den Wärmebezug aus dem Biomasseheizwerk vermindern können (z.B. thermische Solaranlagen, Einzelfeuerstätten), zu achten. Und natürlich dürfen auch die Wärmeverluste der Wärmeverteilungsanlagen bei der Auslegung der Wärmeversorgungsanlage nicht außer Acht gelassen werden.

2.5.3 Wärmeverteilung

Vom Wärmetauscher des Biomassekessels, in dem die Wärme der Rauchgase an das Wärmeträgermedium abgegeben wurde, wird das Wärmeträgermedium durch in aller Regel unterirdisch verlegte, isolierte Rohrleitungen (Vorlaufleitung) zum Wärmeverbraucher gepumpt. Beim Wärmekunden ist meist ein Plattenwärmetauscher installiert, über den die Wärme des Trägermediums an den Heizwasserkreislauf des Abnehmers abgegeben wird. Dieser Wärmetauscher trennt also den Netzwasserkreislauf (primärseitiger Heizkreislauf) vom Heizwasserkreislauf des Abnehmers (sekundärseitiger Heizkreislauf). Oft ist der Wärmetauscher Bestandteil einer Übergabestation („Kompaktstation“) mit Wärmemengenzähler, Schmutzfänger, Absperrarmaturen, Stellventilen, DDC, Messfühler, Ladepumpen und ggf. Speichern [32]. In bestimmten Fällen kann es auch möglich sein, dass der Heizkreislauf des Abnehmers ohne Wärmetauscher direkt an das Wärmenetz des Heizwerks angebunden wird [70]. Das beim Verbraucher abgekühlte Wärmeträgermedium strömt durch Rücklaufleitungen zurück zur Heizzentrale des Biomasseheizwerks und kann dort erneut erwärmt und zu den Verbrauchern geleitet werden.

Zu den Wärmeverteilereinrichtungen gehören die hydraulischen Anlagenteile in der Heizstation (Rohrleitungen, Rohrdämmung, hydraulische Weiche zwischen Kesselkreis und Verteilkreis, Verteiler und Sammler, Netzpumpen, Armaturen, Wasseraufbereitung, Druckhalteanlage, Speicher), das Hauptnetz von der Heizzentrale zur Abzweigung beim Verbraucher (Vor- und Rücklaufleitungen) und die Hausanschlüsse (Hausanschlussleitung und Hausstation) [29, 30]. Die Hausstation setzt sich zusammen aus der Übergabestation für die vertragsgemäße Bereitstellung der Wärme hinsichtlich Druck, Temperatur und Volumenstrom sowie der Hauszentrale mit den für eine Heiz- und Trinkwasserversorgung erforderlichen Bauteilen (z.B. Umwälzpumpe, Wärmetauscher, Regelungseinrichtungen) [70]. Des Weiteren beziehen sich Teile der MSR-Technik (vgl. Kap. 2.5.4) auf die Wärmeverteilung, z.B. Temperaturmessungen, Wärmemengenzähler, Lecküberwachung. Die kundenseitigen Installationen (Hausanlage) zählen nicht mehr zu den Einrichtungen des Heizwerks; die Liefergrenze zwischen der Anlage des Wärmelieferanten und der Hausanlage ist meist die Hausstation, wobei die Übergabestation zwar beim Wärmekunden installiert ist, jedoch im Besitz des Wärmelieferanten verbleibt.

Für die Wärmeleitungen kommen, je nach den in der Leitung auftretenden Temperaturen und den möglichen Verkehrslasten, Stahl- oder Kunststoffmantelrohre zur Anwendung. Außerhalb des Heizhauses werden die Rohrleitungen ins Erdreich verlegt, wofür verschiedene Verlegever-

fahren (z.B. mit oder ohne Wärmevorspannung) in Frage kommen. Bei der Herstellung des Wärmenetzes müssen hierzu Rohrgräben ausgehoben werden, was je nach Verlegetiefe, Ausdehnung des Netzes, Bodenbeschaffenheit, Art der Geländeoberfläche, Lage und Schutz fremder Leitungssysteme oder anderer vorhandener Anlagen in erheblichem Maße zu den Kosten der Biomasseheizwerke beiträgt.

Netze und Netzpumpen werden in der Regel für den maximalen Leistungsbedarf ausgelegt. Die Anpassung der Pumpen an den tatsächlichen Leistungsbedarf erfolgt meist durch eine stufenlose Drehzahlanpassung der Pumpe mittels Frequenzumrichter. Wichtig ist u.a., dass die Netzpumpe möglichst in ihrem Wirkungsgradoptimum betrieben wird, da sonst ein unnötig erhöhter Stromverbrauch auftritt. Bei der Auslegung der Netzpumpe und der Netze wird in der Regel ein Kompromiss aus Investition und Betriebskosten geschlossen. Beispielsweise führen kleine Rohrlungsdurchmesser zu preisgünstigen Netzen und geringen Wärmeverlusten, allerdings müssen von der Pumpe größere Widerstände überwunden werden, was zu einem erhöhten Hilfsenergieverbrauch führt. Mit großen Durchmessern sind hohe Investitionen, hohe Wärmeverluste und allerdings auch eine geringe Pumpenergie verbunden.

Die sogenannte Spreizung errechnet sich als Differenz aus Netzvorlauf- und Netzurücklauftemperatur (Messpunkte am „Ausgang“ bzw. „Eingang“ der Heizzentrale). Diese Differenz sollte möglichst groß sein und nicht unter 25 K liegen [41]. Eine hohe Spreizung trägt in erheblichem Maße zur Reduzierung des Stromverbrauchs der Netzpumpen bei. Bei der indirekten Anbindung der Hausanlage an das Wärmenetz ist zudem die sogenannte Grädigkeitsregelung zu beachten. Demnach sollte die Temperaturdifferenz zwischen primär- und sekundärseitigem Rücklauf 2 K nicht überschreiten [31].

2.5.4 Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Die energetische Verwertung von Biomasse ist ein komplexer Verfahrensablauf, ein sogenanntes Mehrgrößensystem, das nur unter Einsatz einer geeigneten Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR-Technik) optimal betrieben werden kann [52]. Darüber hinaus ist durch die MSR-Technik eine Möglichkeit gegeben, die Investitionen, den Hilfsenergieaufwand sowie den Reparatur- und Personalaufwand zu reduzieren [53]. Gleichzeitig kann sich die Verfügbarkeit der Anlage erhöhen. Bedienungsfehler und damit verbundene Überlastungen der Anlage können vermieden werden, und es ist beispielsweise eine frühzeitige Alarmierung bei einer Verschlechterung des Wirkungsgrades (Abgastemperatur!) möglich, was zur Ausschöpfung entsprechender Einsparpotenziale beitragen kann. Durch eine

kontinuierliche Messung der wesentlichen Emissionen (CO und NO_x) und eine regelungstechnische Rückkopplung ist eine Optimierung des Emissionsverhaltens der Anlage möglich. Darüber hinaus kann die Dokumentation der Messwerte zu einer leichteren Ursachenermittlung bei Betriebsstörungen führen. Bezüglich des Personalaufwandes ist die Möglichkeit einer automatisierten Personalanforderung und der Fernüberwachung von besonderem Vorteil. Allerdings kann eine moderne MSR-Technik die Anlage auch deutlich verteuern.

Üblicherweise werden Biomassefeuerungsanlagen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS), mit Reglern (DDC) und mit Impulszählern (z.B. zur Erfassung der Wärmemengen oder des Heizölverbrauchs) ausgestattet. Des Weiteren zählen verschiedene Sensoren und Aktoren (z.B. Thermoelement, Widerstandsthermometer, Grenzwertschalter, Stellmotore), die auf der Prozessebene installiert werden und die die Prozesssignale (z.B. Strom- und Spannungswerte, Impulse) bereitstellen bzw. verarbeiten, zu der Grundausstattung einer MSR-Technik [52, 53].

Zu den wichtigsten Regelungsaufgaben in einem Biomasseheizwerk gehören die Anpassung der Kesselleistung an die Leistungsanforderung (Leistungsregelung) und die Optimierung der Verbrennung durch die Anpassung der Verbrennungsluft an den aktuellen Luftbedarf (Verbrennungsregelung). Wesentliche Grundlage für eine bestimmungsgemäße Regelung ist allerdings eine zuverlässige Messwernerfassung mittels geeigneter Messwernerfassungselemente. Eine weitere wichtige Aufgabe der MSR-Technik ist die Alarmüberwachung. So müssen Störungsmeldungen dokumentiert und ggf. automatisch ausgedruckt oder per Telefax oder Cityruf an das Wartungspersonal weitergeleitet werden. Bei erheblichen Störungen muss eine automatische Abschaltung der Anlage durchgeführt werden oder es sind zumindest Teile der Anlage außer Betrieb zu nehmen. Mit modernen Prozessleitsystemen lassen sich darüber hinaus Prozessvisualisierungen und eine automatisierte Datendokumentation (z.B. Monatsprotokoll) evtl. in Verbindung mit einer Datenauswertung (z.B. Trend-, Sollwertabweichungen) und einer grafischen Präsentation der Ergebnisse durchführen [53].

2.6 Rechtliche Aspekte

Bei der Realisierung eines Biomasseheizwerks sind zahlreiche rechtliche Vorschriften zu beachten. Neben Vorschriften mit einem Schwerpunkt auf sicherheitstechnischen Aspekten, die sich z.B. auf die Wärmebereitstellungs- und -verteilungstechnik (Technische Regeln, DIN usw.) oder auf bauliche Anlagenteile (Bauordnung, FeuVO) beziehen, sind vor allem auch immissionsschutzrechtliche Fragestellungen zu beachten. In

Deutschland regelt dies das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG). Ob ein Biomasseheizwerk als genehmigungsbedürftig oder nicht genehmigungsbedürftig eingestuft wird und welche Anforderungen damit verbunden sind, hängt nach BImSchG von der Feuerungswärmeleistung und von der Brennstoffart ab. Die immissionsschutzrechtliche Genehmigung schließt weitere behördliche Entscheidungen, wie die Baugenehmigung, ein („Konzentrationswirkung“). Des Weiteren müssen bezüglich der Ascheentsorgung einige rechtliche Rahmenbedingungen beachtet werden.

Hinsichtlich der Wärmeversorgung ist zu beachten, dass Nah- und Direktwärmeversorgungskonzepte grundsätzlich der Fernwärmelieferung rechtlich gleichgestellt sind und entsprechende Normen, Gesetze und Verordnungen stets berücksichtigt werden müssen, wie z.B. Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV), Verordnung über Heizkostenabrechnung (HeizkV), Allgemeine Gebührenordnung Fernwärme [75, 76]. Des Weiteren haben beispielsweise die Heizanlagenverordnung (HeizAnlV) oder die Wärmeschutzverordnung auch bei der Nah- oder Fernwärmeversorgung ihre Gültigkeit. Darüber hinaus sind zahlreiche weitere rechtliche Fragestellungen zu beachten, die sich unter anderem aus der Gestaltung von Brennstoffliefer- oder Wartungsverträgen, aus der Berücksichtigung steuerlicher Aspekte oder bei Eigentumsfragen (z.B. Nutzungs- und Wegnahmerechte einer Heizzentrale, die sich nicht im Eigentum des Betreibers befindet) ergeben können (siehe hierzu auch BGB, EStDV, EStR, StÄndG, MHG).

2.7 Wirtschaftliche Aspekte

Bei der Erstellung des Biomasseheizwerks und während dessen Betrieb entstehen Kosten, die schließlich von den Wärmeabnehmern getragen werden müssen. Bei einer Vollkostenrechnung sind dies die Wärmegestehungskosten. Die Deckung der Wärmegestehungskosten einschließlich der Bedienung sämtlicher Kredite durch die Einnahmen aus dem Wärmeverkauf ist eine Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb eines Biomasseheizwerks. Bereits im frühen Planungsstadium müssen deshalb sehr sorgfältige Wirtschaftlichkeitsberechnungen, z.B. in Anlehnung an VDI-Richtlinie 2067, zur Ermittlung eines kostendeckenden Wärmepreises durchgeführt werden. Zur Qualitätssicherung gehört aber auch, dass diese Berechnungen während der Planung und dem Bau des Biomasseheizwerks sowie nach dessen Fertigstellung laufend kontrolliert, aktualisiert und mit dem ursprünglichen Konzept verglichen werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung des wirtschaftlichen Erfolges bietet die Kostenvergleichsrechnung, insbesondere der Vergleich der Wärmegestehungskosten eines Biomasseheizwerks mit den Wärmegestehungskosten einer Wärmeversorgung auf Basis fossiler Brennstoffe. Allerdings ist die finanzielle Konkurrenzfähigkeit einer Wärmebereitstellung aus dem Biomasseheizwerk gegenüber einer Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Brennstoffe für die Frage der Wirtschaftlichkeit alleine nicht ausschlaggebend. Sie ist jedoch ebenso wie die ökologische Konkurrenzfähigkeit ein Argument, das die Abnehmerwerbung unterstützen kann. Von daher sollten nur solche Projekte als sinnvoll erachtet werden, die bei „akzeptablen“ Wärmepreisen einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb erlauben. Als Vergleichsbasis können beispielsweise [17], [18] und [19] herangezogen werden, oder es wird mit der Vollkostenrechnung für eine Einzelheizung verglichen.

2.8 Ökologische Aspekte

Für Biomasseheizwerke werden bei einem Vergleich mit einer Wärmebereitstellung durch fossile Brennstoffe meist die folgenden ökologischen Vorteile genannt:

- nahezu geschlossener CO₂-Kreislauf,
- verminderter Ausstoß an SO₂ und C_xH_y,
- sichere Brennstofflagerung und sicherer Brennstofftransport
- (keine Öl- oder Gasunfälle),
- kurze Transportwege,
- geringer Energieaufwand der Brennstoffbereitstellung,
- bewussterer Umgang mit Energie.

Inwieweit die oben genannten Aspekte auf Biomasseheizwerke zutreffen, ist u.a abhängig von der Art und dem Aufbereitungsgrad des verwendeten Biomassebrennstoffs, vom Aufwand für die Bereitstellung des Brennstoffs, vom Anteil fossiler (Spitzenlast-)Brennstoffe sowie von der Effizienz der Wärmebereitstellung.

2.9 Förderung

Heizwerke, die Biomasse als Brennstoff einsetzen, liegen erfahrungsgemäß an der Grenze der wirtschaftlichen Rentabilität. Insbesondere um die vergleichsweise hohen Investitionskosten zu senken und damit die Errichtung von Biomasseheizwerken zu ermöglichen, wurden verschie-

dene Möglichkeiten zur finanziellen Förderung entsprechender Projekte geschaffen. Dabei ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen staatlicher Förderpraxis und privaten Fördermitteln. Im Rahmen der staatlichen Förderpraxis werden vor allem Investitionskostenzuschüsse und verbilligte Darlehen, in Einzelfällen auch Steuervergünstigungen und Betriebskostenzuschüsse gewährt. Private Fördermittel wurden in der Vergangenheit vor allem von Energieversorgungsunternehmen als freiwillige Leistung in der Gestalt von Investitionskostenzuschüssen vergeben. Die staatlichen und privaten Förderungen können mit vielfältigen Auflagen verbunden sein (z.B. Art und Herkunft des verwendeten Brennstoffs, Mindestauslastung des Biomassekessels).

3 Evaluierung von 12 Biomasseheizwerken in Deutschland

3.1 Zielsetzung

Die Kombination einer Biomassefeuerungsanlage mit einem Nah- oder Fernwärmenetz kann vielfältige Fragestellungen hinsichtlich Technik, Ökonomie, Ökologie und Organisation aufwerfen und erfordert zudem die Berücksichtigung zahlreicher Interessen von direkt oder indirekt an dem Projekt beteiligten Personen, Firmen und Institutionen. Entsprechend hoch ist die Gefahr von Fehlplanungen. In den vergangenen zehn Jahren wurden auch in Deutschland mehrere Biomasseheizwerke realisiert, deren Betreiber und Wärmekunden von zahlreichen positiven Erfahrungen berichten können, gleichzeitig können diese aber auch auf begangene Fehler hinweisen und damit dazu beitragen, dass diese Fehler nicht wiederholt werden.

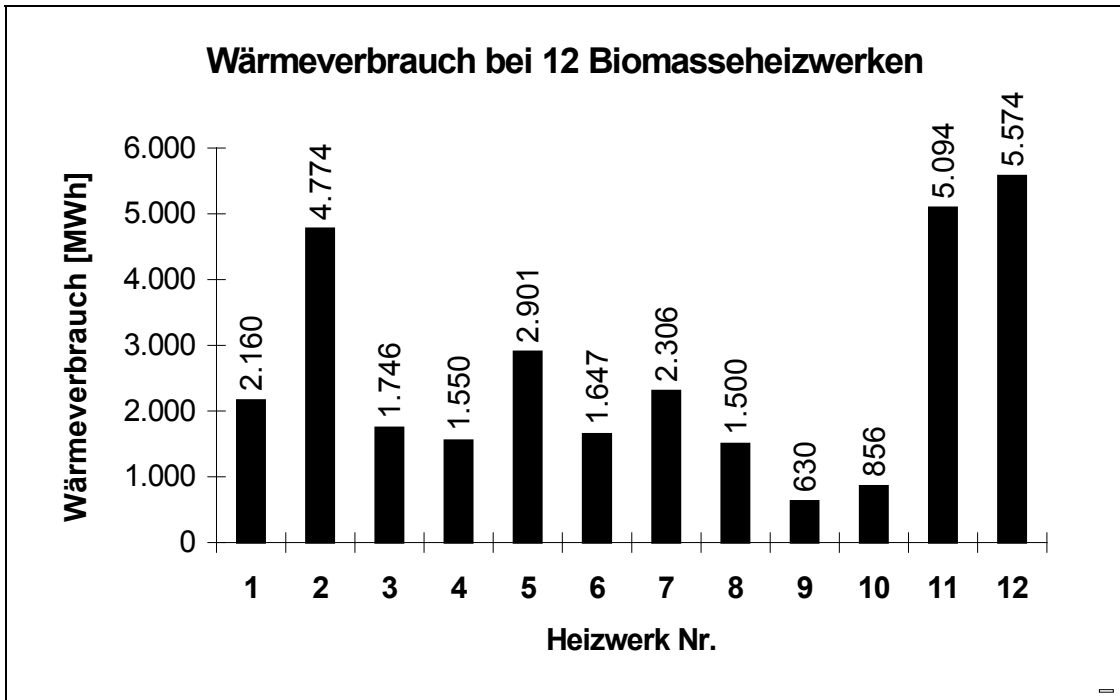
Eine systematische Erfassung der Erfahrungen aus bestehenden Biomasseprojekten in Bayern wird von C.A.R.M.E.N. e.V. seit 1995 durchgeführt. Eine Betrachtung für ganz Deutschland lag bislang nicht vor. Das Ziel der Evaluierung war es, anhand einer Auswahl vorhandener Pilot- und Demonstrationsanlagen beispielhaft eine umfassende Erhebung von Daten und Informationen durchzuführen und möglichst vielfältige Erkenntnisse und Kennzahlen abzuleiten, die im Hinblick auf die Planung und Realisierung weiterer Projekte sowie für die Optimierung vorhandener Anlagen von Bedeutung sein könnten. Entscheidungsträgern sollte damit eine Grundlage für die Beurteilung ihrer Vorhaben und eine Hilfe für die Vermeidung von Fehlplanungen an die Hand gegeben werden.

3.2 Methodik

In das Evaluierungsprojekt wurden 12 Biomasseheizwerke in Baden-Württemberg, Bayern, Niedersachsen und Thüringen einbezogen. Diese Heizwerke waren um das Jahr 1995 als Pilot- und Demonstrationsprojekte in Betrieb genommen worden und wiesen sehr unterschiedliche Abnehmerstrukturen mit Anschlussleistungen zwischen 0,5 MW und 3,3 MW auf: große, öffentlich genutzte Gebäude, Wohngebiete sowie gewerbliche und industrielle Abnehmer. In Diagramm 1 ist für die einzelnen Biomasseheizwerke die Wärmeabnahme bei den Verbrauchern wiedergegeben.

Als Betrachtungszeitraum wurde das Wirtschaftsjahr 1996/97 zugrunde gelegt. Die Nummern 1 bis 6 kennzeichnen die untersuchten Heizwerke in Bayern, die Nummern 7 bis 12 stehen für die Heizwerke im übrigen Bundesgebiet. Dies gilt auch für alle nachfolgenden Tabellen und Diagramme.

Diagramm 1: Wärmeverbrauch bei 12 Biomasseheizwerken



Das Evaluierungsprojekt wurde aufgeteilt in eine Erhebung von relevanten Daten und Informationen (Erfassung der Ist-Situation im Wirtschaftsjahr 1996/97), eine Auswertung der erhobenen Daten und Informationen (z.B. Vergleich der Ist-Situation mit der Planung) und eine anschließende Interpretation der Ergebnisse, die in eine Verallgemeinerung zur Bewertung weiterer bestehender oder geplanter Biomasseheizwerke mündete. In Tabelle 2 sind die Aspekte, zu denen eine Datenerhebung und Situationserfassung durchgeführt wurde, zusammenfassend dargestellt. Erhoben wurden insbesondere physikalisch-technische Daten, ökonomische Daten, ökologische Daten sowie sozio-ökonomische Informationen. Die Datenerhebung erfolgte vor Ort anhand eines Fragebogens. Befragt wurden die Betreiber der Heizwerke, in Einzelfällen waren aber auch die Wärmeabnehmer zu Auskünften bereit, die sich insbesondere über die Zufriedenheit mit der Wärmeversorgung, der Kundenbetreuung und der Preisgestaltung sowie über die Akzeptanz der anfallenden Kosten äußerten.

Tabelle 2: Evaluierung von 12 Biomasseheizwerken in Deutschland; Datenerhebung

Themenbereich	Datenerhebung zu ...
Entstehung der Biomasseheizwerke	Initiatoren, Ablauf, Realisierungszeitraum
Betriebsstruktur	Investoren und Betreiber, Organisations-/ Rechtsformen, Personalbedarf
Biomassebereitstellung und Ascheentsorgung	Art, Herkunft, Preise, Lieferung und Lagerung, Ascheverwertung, Liefervertragsgestaltung, Rechtsform des Lieferanten
Technik und Betriebsablauf	Wärmeerzeugung und -verteilung, MSR-Technik, Störungen und Störungsmanagement, Wartung, Erfahrungen, Hilfsenergiebedarf, Wärmeliefervertrag
Gebäude	bebaute Fläche, umbauter Raum, Raumausnutzung
Investition und Finanzierung	Investitionsgruppen und Gesamtinvestition, Vergleich von Planung und Realisierung, Eigenmittel und Fremdmittel (Herkunft, Höhe, Konditionen)
Ökonomie	Erhebung relevanter Daten für Kostenrechnung, Gewinn und Verlust, Liquidität, kritische Biomasse- und Wärmepreise, Vergleich von Planung und Realisierung, Sensitivitätsanalysen, steuerliche Einflüsse
Ökologie	Schadstoffemissionen, Treibhausgase, Lärm, Staub und Mikroorganismen, Asche (Schwermetalle, Nährstoffe), Flächenverbrauch, energetische Effizienz

3.3 Ergebnisse

3.3.1 Entstehung der Biomasseheizwerke

Die Realisierungsphase der untersuchten Biomasseheizwerke, die sich von der ersten Idee bis zur Inbetriebnahme und Abnahme der Anlage erstreckte und ggf. nachträgliche Verbesserungen sowie den weiteren Ausbau mit einschloss, wies einige charakteristische Stationen auf, die bei allen 12 analysierten Heizwerken beobachtet werden konnten und die jeweils in ähnlicher Reihenfolge auftraten:

- Idee und Information,
- Erstellung einer Machbarkeitsstudie (Vorplanung mit Grundlagen-ermittlung),
- Entscheidung für oder wider ein Biomasseheizwerk,
- Förderantrag,
- Gründung einer Betreibergesellschaft,
- Akquisition und Wärmepreisverhandlungen,
- Planung und Genehmigung,
- Förderbescheid,
- Ausschreibung und Vergabe,
- Objektüberwachung (mit Abnahme), Objektbetreuung, Dokumenta-tion,
- feierliche Einweihung,
- nachträgliche Verbesserungen und weiterer Ausbau.

Auslöser für die Realisierung der Biomasseheizwerke war entweder die Idee, geplante und/oder bestehende Abnehmer „umweltfreundlich“ zu beheizen, oder es sollten Holzabfälle gewinnbringend verwertet werden. Die Idee wurde jeweils von einem Initiator aufgegriffen, der das Projekt schließlich auch zu einem erfolgreichen Abschluss führte. Der Initiator hatte dabei vielfältige Aufgaben zu bewältigen, z.B. die Durchführung von Besichtigungsfahrten, die Suche nach geeigneten Wärmeabnehmern und anderen Partnern, das Zusammenbringen und die Koordination der Beteiligten, die Durchführung von Öffentlichkeitsarbeit. Hierbei konnte der Initiator Unterstützung von unterschiedlicher Seite erfahren. Bei den meisten Projekten war eine Unterstützung von Seiten der Stadt oder Ge-

meinde, in der das Projekt realisiert werden sollte, eine wichtige Voraussetzung. In Tabelle 3 ist die Herkunft der Initiatoren bei den 12 untersuchten Biomasseheizwerken dargestellt.

Tabelle 3: Herkunft der Initiatoren

Heizwerk Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Waldbauern	•	•								•		
Firmeninhaber					•	•	•	•				
Vertreter Stadt, Gemeind.			•	•					•		•	•
Holzbe-/verarbeitung								•				

Von der Machbarkeitsstudie, die als Grundlage für die Entscheidungsfindung diente und verschiedene charakteristische Elemente enthielt (z.B. Bestandsaufnahme, Ermittlung des Wärmebedarfs mit Plausibilitätsprüfung, Vergleich verschiedener Wärmebereitstellungsvarianten, Kosten- und Wirtschaftlichkeitsabschätzung in Anlehnung an VDI 2067, Skizzen und Lagepläne), bis zur Abnahme der Anlage vergingen bei 10 Projekten wenigstens zwei Jahre. Nur zwei Heizwerke waren bereits nach einem Jahr realisiert. Größere Verzögerungen traten bei zwei Heizwerken aufgrund von Schwierigkeiten bei der Gründung einer Betreibergesellschaft bzw. durch genehmigungsrechtliche Schwierigkeiten auf. Zum Vergleich: In den Machbarkeitsstudien hatte man zumeist mit nur einem Jahr als Realisierungszeitraum gerechnet. Der Aufwand für die Planung und die Realisierung der Anlage einschließlich Akquisition von Wärmekunden und Wärmepreisverhandlungen war um so größer, je mehr Verhandlungspartner (Wärmeabnehmer, Installateure, Architekten usw.) zu berücksichtigen waren.

Sechs Biomasseheizwerke haben nachträgliche Verbesserungen erfahren, deren Umfang deutlich über das Maß hinausging, das als üblich bezeichnet werden kann: Austausch des Biomassekessels (2 Anlagen), Austausch des Schubbodens (1 Anlage), Veränderung der Abgasführung und Abgasreinigung (3 Anlagen), umfangreiche Optimierungen im Bereich der Hydraulik (2 Anlagen), Erweiterung der Brennstofflagerung durch Hallenneubau (1 Anlage). Darüber hinaus mussten bei allen 12 Anlagen kleinere Optimierungen vorgenommen werden, z.B. Änderungen in der Anbringung der Sensoren bei den Brennstofftransporteinrichtungen sowie steuerungstechnische Optimierungen. Die Mehrzahl dieser Optimierungen beruhte auf eher zufällig aufgetretenen Störungen oder sonstigen Mangelerscheinungen, die während des regulären Betriebs der Anlagen festgestellt werden konnten; eine systematisch durchgeführte Optimierungsanalyse fand lediglich bei zwei Heizwerken statt. Bei vier Heizwerken wurde eine nachträgliche Erweiterung des Versorgungsgebietes durchgeführt, bei zwei

Heizwerken ist eine solche Erweiterung geplant und es werden entsprechende Reserven (Kesselleistung, Rohrdimensionierung, Gebäude u.ä.) vorgehalten.

3.3.2 Betriebsstruktur

3.3.2.1 Organisationsformen

In Tabelle 4 sind für die 12 untersuchten Biomasseheizwerke die Investoren und Betreiber wiedergegeben. Im Wesentlichen konnten vier Organisationsformen von Investoren und Betreibern festgestellt werden: eine Gesellschaft von Waldbauern als Investoren und Betreiber (Rechtsform z.B. GdB, GmbH, GmbH & Co.KG), Heizwerke zur Eigenversorgung (z.B. firmenintern geführt), kommunale Eigenbetriebe (meist GmbH) und Contractingmodelle. Auf Contractingmodelle wurde zurückgegriffen,

- wenn das Projekt von einer Kommune z.B. in Zusammenarbeit mit Waldbauern realisiert werden sollte, jedoch weder die Kommune noch die Waldbauern zu Investitionen bereit waren, oder
- wenn das Projekt einen Industriebetrieb mit Wärme aus Biomasse versorgen sollte und von dem Industriebetrieb kein Personal für die Betreuung der Heizanlage und die Brennstoffbeschaffung bereitgestellt werden sollte oder konnte.

Im ersten Fall kam das *Energielieferungsmodell (Energieliefercontracting)* zur Anwendung, bei dem das Eigentum an der Technik beim Contractor lag [80]. Im zweiten Fall wurde auf das *Betreibermodell (Betreibercontracting)* zurückgegriffen, bei dem der Wärmeabnehmer der Eigner der Technik war [80]. Contractingmodelle und Eigenbetriebe wiesen in der Regel höhere Personal- und Verwaltungskosten auf als firmeninterne oder von Waldbauern geführte Heizwerke. Insbesondere bei den Contractinganlagen war es üblich, dass Tätigkeiten an Unterauftragnehmer vergeben wurden, für die vom Contractor kein Personal bereitgestellt werden konnte (z.B. Betreuung der Anlage vor Ort, Versorgung mit Biomassebrennstoff). Damit konnten entsprechende Doppelaufwendungen verbunden sein.

Allerdings sollte es bei Contractingmodellen grundsätzlich auch möglich sein, dass derartige Nachteile ausgeglichen werden, indem der Contractor die Anlage kostengünstig erstellt und professionell betreibt. Dies setzt jedoch voraus, dass er über entsprechende Erfahrungen verfügt. Bei den untersuchten Pilot- und Demonstrationsprojekten, die von Contractoren errichtet und betrieben wurden, konnte lediglich eine professionelle Kundenbetreuung und ein herausragendes Marketing festgestellt werden. Im Übrigen waren selbst bei diesen Anlagen einige erhebliche Qualitäts-

mängel festzustellen, da die Kombination einer Biomassefeuerungsanlage mit einem Nah- oder Fernwärmenetz auch für die Contractoren ein Novum darstellte, das noch nicht in allen Details beherrscht wurde.

Tabelle 4: Investoren und Betreiber

Heizwerk Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Waldbauern	•	•	•									
betriebs eigenes HW						•	•	•				
Contractingmodell				•	•				•	•		
kommun. Eigenbetrieb											•	•

3.3.2.2 Personalbedarf

Der Personalbedarf der Biomasseheizwerke resultierte insbesondere aus der Bewältigung der folgenden Aufgaben:

- Wartung und Instandhaltung;
- Brennstoffbeschaffung;
- Kundenakquisition und -betreuung;
- Finanzmanagement;
- Öffentlichkeitsarbeit.

Der Aufwand für Betreuungs- und Verwaltungsaufgaben sowie für die Wartung der Anlage lag üblicherweise bei nicht mehr als 500 Stunden im Jahr. Waren zahlreiche Wärmekunden zu betreuen, konnten bis zu 700 Stunden erreicht werden, wenn nicht durch den Einsatz eines effizienten Verbrauchsdatenerfassungssystems und einer rationalisierten Kundenbetreuung Reduktionspotenziale ausgeschöpft wurden. Bei einigen Heizwerken mit hohem Brennstoffbedarf schlug zudem der größere Aufwand für die Abfertigung der zahlreichen Brennstofflieferanten mit einer deutlich erhöhten Stundenzahl zu Buche. Ansonsten erwies sich neben der regelmäßigen Kesselreinigung und der Störungsbehebung die Öffentlichkeitsarbeit als besonders zeitintensiv. Zu einer nicht unerheblichen Reduzierung des Personalaufwandes konnte die Auswahl der Systemkomponenten nach Bedienungsfreundlichkeit, Wartungsarmut und möglichst hohen Reisezeiten sowie ein intelligentes Störungsmanagement beitragen. Entsprechende Einsparpotenziale wurden bei den untersuchten Heizwerken allerdings eher selten ausgeschöpft. Von Vorteil war es, wenn man das spätere Wartungspersonal in die Planung und in den Bau der Anlage einbezogen hatte.

Spezifischer Personalbedarf

In den meisten Fällen lag der jährliche, auf die Anzahl der Anschlüsse bezogene Personalbedarf um 10 Stunden pro Anschluss und Jahr, wenn Ein- und Mehrfamilienhäuser versorgt werden (durchschnittliche verkaufte Wärmemenge zwischen 15 und 40 MWh pro Jahr und Anschluss). Bis 20 h/a traten in Ausnahmefällen auf, z.B. wenn vom Personal auch die Brennstoffbeschaffung, die Brennstoffaufbereitung (z.B. Hacken) und der Brennstoffumschlag durchgeführt werden mussten oder wenn sich das Projekt noch in der Startphase befand. Bei mehreren Anlagen konnte hier ein deutliches Reduktionspotenzial festgestellt werden. Waren einige Großkunden zu versorgen (z.B. Schulzentrum, Pflegeheim, Krankenhaus), wurde uns von den Betreibern auch ein Personalaufwand zwischen 40 und 80 Stunden pro Jahr und Anschluss genannt.

Wurde der Personalbedarf auf die Anschlussleistung der Verbraucher bezogen, so lag er in aller Regel bei nicht mehr als 0,5 Stunden pro kW und Jahr. Dieser Wert hing geringfügig vom Aufwand für die Beschaffung des Biomassebrennstoffs ab (z.B. Anzahl der Brennstofflieferanten und damit verbundener Überwachungs- und Abrechnungsaufwand, Organisation der Belieferung, Art des Brennstoffumschlages). War ein Gebiet mit zahlreichen Einfamilienhäusern zu versorgen (Neubauten oder Bestand), lagen die Werte meist zwischen 0,5 und 0,7 Stunden pro kW und Jahr. Werte um 1 h/kW und darüber traten nur in Ausnahmefällen auf.

Auf die Anschlussleistung und die Anzahl der Anschlüsse bezogen, konnten meist Werte zwischen 5 und 15 Stunden pro MW, Anschluss und Jahr festgestellt werden, insbesondere wenn Einfamilienhäuser zu versorgen waren. Dabei war der kleinere Wert für z.B. 200 Ein- und Mehrfamilienhäuser (durchschnittlicher Wärmebedarf 15 bis 40 MWh pro Anschluss und Jahr) und der größere Wert für z.B. 50 Ein- und Mehrfamilienhäuser charakteristisch. Auch hier hatte der Aufwand für die Brennstoffbereitstellung einen zwar geringen aber dennoch nicht unerheblichen Einfluss.

Wurde der jährliche Stundenaufwand auf die Nennleistung der Biomasseanlage bezogen, lag dieser Wert meist um 0,5 Stunden pro kW und Jahr, wenn die Biomasseanlage so ausgelegt war, dass wenigstens 80 % des Jahreswärmebedarfs abgedeckt werden konnten.

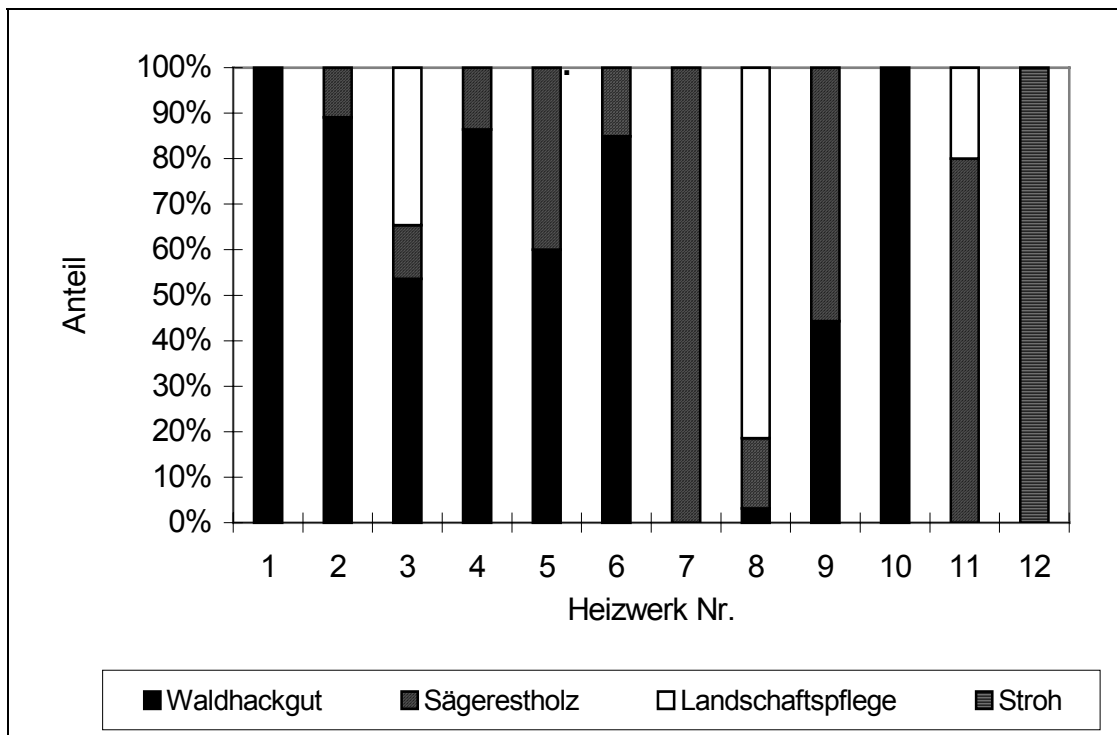
3.3.3 Biomassebereitstellung

Die Biomasselogistik bei Biomasseheizwerken umfasst die Beschaffung, die Lagerung und den Transport der Biomassebrennstoffe und schließt auch die Entsorgung der Asche ein. Bei den untersuchten Heizwerken konnten verschiedene Methoden der Biomassebereitstellung festgestellt werden, die im Wesentlichen von der Art der eingesetzten biogenen Brennstoffe, der Anzahl der Lieferanten und von der verbrauchten Brennstoffmenge abhängig waren.

3.3.3.1 Art und Herkunft der Brennstoffe

Von den 12 untersuchten Biomasseheizwerken wurden 11 mit naturbelassenen Holzhackschnitzeln (Hackschnitzel aus Waldholz, Sägerestholz aus der Holz be- und -verarbeitenden Industrie oder Landschaftspflegeholz) befeuert. Ein Heizwerk verwendete ausschließlich Stroh in Ballen. Altholz oder speziell angebaute Energiepflanzen wurden in den untersuchten Heizwerken nicht verwertet. In Diagramm 2 sind die Biomassebrennstofffraktionen der einzelnen Heizwerke dargestellt. Demnach nutzten nur zwei Anlagen ausschließlich Säge- oder Industrierestholz, das sie von Großlieferanten bezogen und das gelegentlich auch mit Landschaftspflege- oder Abraummateriale gemischt war. Fünf Heizwerke verwendeten nahezu ausschließlich Waldhackschnitzel aus der Region und kauften nur in Ausnahmefällen Sägerestholz zu. Vier Heizwerke verwendeten je nach Angebot, Preis, Bedarf und Auflagen im Förderbescheid eine sehr unterschiedliche Mischung aus Waldhackschnitzeln, Sägerestholz und Landschaftspflegeholz (Flurholz).

Diagramm 2: Anteil der Biomassefraktionen bei 12 Biomasseheizwerken



Bei den Heizwerken in Bayern fand sich ein vergleichsweise hoher Anteil an Waldhackschnitzeln. Nur in Ausnahmefällen - z.B. bei Engpässen nach starkem Schneefall - wurde hier auf Sägerestholz und Landschaftspflegematerial (Flurholz) zurückgegriffen, das aber nach wie vor aus der Region stammte. Diese Situation ist zum einen auf Förderauflagen zurückzuführen, die einen Mindestanteil an Waldhackschnitzeln (meist 50 % der Biomassebrennstoffe) forderten, zum andern spiegelt sie aber auch den landwirtschaftlichen Bezug mehrerer Betreibergesellschaften in Bayern wider (vgl. Kap. 3.3.2). Demgegenüber konnte bei den Heizwerken im übrigen Bundesgebiet ein vergleichsweise hoher Anteil an Industrierestholz festgestellt werden, das von Restholzhändlern bezogen wurde. Überwiegend oder ausschließlich Waldhackschnitzeln wurde bei den Projekten außerhalb Bayerns nur verwendet, wenn Land- und Forstwirte als Betreiber auftraten. Als Sonderfall muss das Strohheizwerk gesehen werden, das als Modellprojekt in einer stark vom Ackerbau geprägten Region entstanden ist.

3.3.3.2 Brennstoffmengen und -verfügbarkeit

In den sechs untersuchten bayerischen Heizwerken wurden im Jahr 1996/97 rund 18.000 srm Waldhackschnitzel, 3.800 srm Sägerestholz und 1.300 srm Landschaftspflegematerial (Flurholz) verfeuert. Der Biomassebedarf der einzelnen Anlagen lag zwischen knapp 2.000 srm und rund

6.500 srm. Demgegenüber wurden in den übrigen sechs Heizwerken in Baden-Württemberg, Thüringen und Niedersachsen rund 2.500 srm Waldhackschnitzel, 15.000 srm Sägerestholz und 5.600 srm Landschaftspflegematerial (Flurholz) sowie (in 1998) rund 2.200 t Stroh verwertet. Der Biomassebedarf von vier Heizwerken lag hier zwischen 1.500 und 3.200 srm Holzhackschnitzel, ein weiteres Heizwerk (Nr. 11) verbrauchte rund 15.000 srm Holzhackschnitzel. Bei diesen Zahlen handelt es sich zum Teil um Schätzwerte, da das Wartungspersonal insbesondere bei kostenfreiem Brennstoffbezug keine Aufzeichnungen über die bezogenen Mengen angefertigt hat.

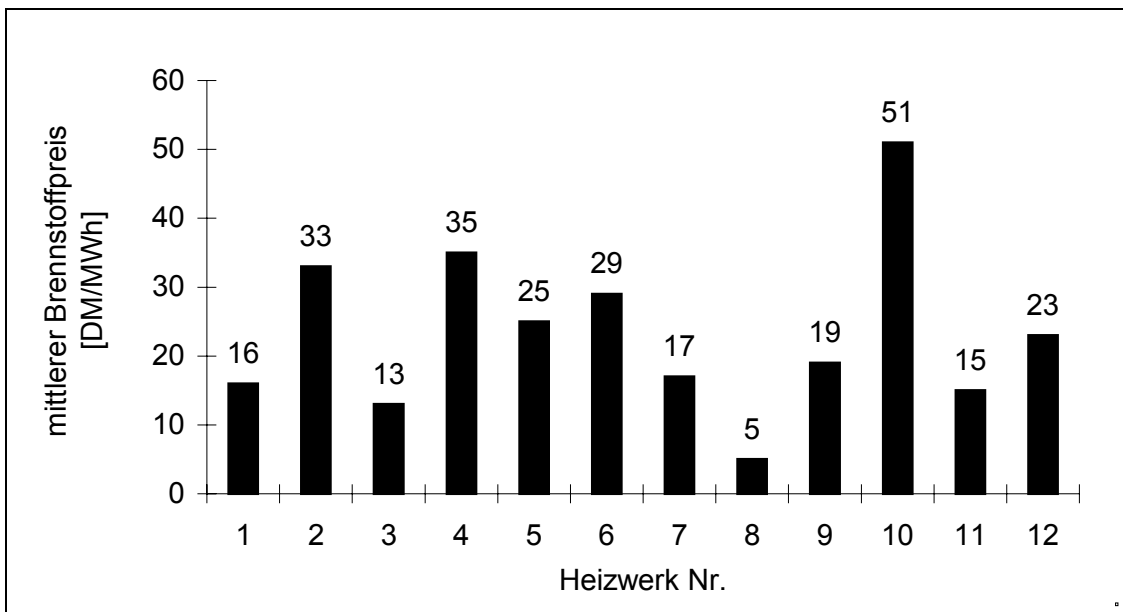
Im Vorfeld der Realisierung der Heizwerke wurde von Kritikern häufig die Befürchtung geäußert, dass die erforderlichen Brennstoffmengen nicht ausreichend in der Region verfügbar seien. Tatsächlich jedoch konnte bislang bei keinem der 11 mit Holzhackschnitzel befeuerten Biomasseheizwerke ein Versorgungsengpass festgestellt werden. Von den Betreibern wurde statt dessen übereinstimmend angegeben, dass grundsätzlich ein Überangebot an Energieholz festgestellt werden konnte. Probleme bezüglich der Brennstoffverfügbarkeit traten allerdings bei dem Strohheizwerk auf, da Stroh nur einmal im Jahr anfällt und das Strohpotenzial in der Umgebung des Heizwerks (Entfernung: max. 5 km) begrenzt oder sogar rückläufig war. Eine Verwendung von Stroh aus größeren Entfernungen hatte sich wegen des Transportaufwandes und der damit verbundenen Kosten als problematisch erwiesen. Erschwerend kam hinzu, dass bei Strohangel ein vorübergehendes Umsteigen auf einen günstigen biogenen Ersatzbrennstoff nicht möglich war, so dass teures Heizöl verfeuert werden musste, wenn das eingelagerte Stroh nicht ausreichte.

3.3.3.3 Biomassepreise

In Diagramm 3 sind die durchschnittlichen Preise frei Heizwerk (= Ausgaben für Brennstoff im Betrachtungszeitraum bezogen auf die verbrauchten MWh) wiedergegeben, die von den Betreibern der Heizwerke für den Biomassebrennstoffmix genannt wurden. Auffällig ist die sehr breite Streuung der Brennstoffmischpreise (5 bis 51 DM/MWh), die nur teilweise von dem verwendeten Brennstoffmix (Diagramm 2) abgeleitet werden konnte. In der Regel lag der Brennstoffmischpreis um so höher, je mehr Waldhackschnitzel eingesetzt wurden. Industrierestholz und Landschaftspflegematerial dienten als „Billigmacher“. Während für Waldhackschnitzel zumeist um 32 DM/MWh bezahlt wurde, lag das von den Großhändlern bezogene Industrierestholz um 17 DM/MWh. Flurholz war von besonders minderwertiger Qualität (hoher Wassergehalt, feine und kaum lagerfähige Hackschnitzel, hoher Grün- und Rindenanteil); zudem konnte es in Eigenleistung bezogen werden, so dass hierfür sehr niedrige Preise festzustellen

waren. Allerdings erfolgte die Preisgestaltung bei den untersuchten Heizwerken sehr individuell. Sie orientierte sich stark an der Organisationsform der Heizwerke, an wirtschaftlichen Gegebenheiten und an Förderauflagen, so dass im Einzelfall auch deutliche Abweichungen von den oben genannten Preisen registriert werden konnten.

Diagramm 3: Mittlerer Biomassebrennstoffpreis bei 12 Biomasseheizwerken



Die Preise für Waldhackschnitzel wurden von den meisten befragten Lieferanten als nicht oder kaum kostendeckend bezeichnet. Eine Ausnahme bildeten hier lediglich die Lieferanten von Heizwerk Nr. 10.

Spezifische Brennstoffkosten

Die spezifischen Brennstoffkosten sind die auf die im Betrachtungszeitraum erzeugte Wärmemenge bezogenen Brennstoffkosten für Biomassebrennstoffe und ggf. fossile Spitzenlastbrennstoffe. Je geringer der Jahresnutzungsgrad der Kessel im Betrachtungszeitraum war und je mehr teure fossile Brennstoffe in den Spitzenlastkesseln verfeuert wurden, desto höher waren die spezifischen Brennstoffkosten. Besonders günstige spezifische Brennstoffkosten um 20 DM/MWh konnten bei den Heizwerken festgestellt werden, die vorwiegend Industrierestholz und Landschaftspflegematerial und keine oder nur sehr wenig fossile Brennstoffe verwendeten, insbesondere bei den monovalenten Anlagen außerhalb Bayerns.

Bei den „bivalenten“ Heizwerken in Bayern, in denen mehr als 80 % der Jahreswärmeerzeugung mittels Biomasse bereitgestellt wurden und ein hoher Anteil an Waldholz verwendet wurde, lagen die spezifischen Brennstoffkosten meist um 40 DM/MWh, wenn nicht besonders günstige Biomassebrennstoffe eingesetzt wurden.

Preisbestimmung

Die Preisbestimmung erfolgte meist durch Schätzung. Nur in Einzelfällen wurde das Gewicht, das Volumen und/oder der Wassergehalt der Brennstoffe durch Messung (LKW-Waage, Handmesssonde) bestimmt. In zwei Fällen, bei denen jeweils ein einziger Lieferant für die Biomassebrennstoffversorgung verantwortlich war, wurde die Biomasselieferung entsprechend der vom Biomassekessel gelieferten Wärmemenge vergütet. Bei diesen Anlagen war der Brennstofflieferant jeweils auch für die Wartung des Kessels zuständig.

3.3.3.4 Biomasselieferung

Die Versorgung der Biomasseheizwerke mit Biomassebrennstoffen erfolgte je nach Art und Herkunft der Brennstoffe auf unterschiedliche Weise:

- Entweder durch den Heizwerksbetreiber selbst, der beispielsweise Waldholz aus dem eigenen Wald oder Restholz aus dem eigenen Holzverarbeitenden Gewerbebetrieb für das eigene Biomasseheizwerk bereitstellte,
- durch eigens für die Versorgung der Heizwerke gegründete Liefergesellschaften (GbR, GmbH, e.V.), die sich aus mehreren Land-/Forstwirten zusammensetzten, oder
- durch Großlieferanten und Transportunternehmen, die ausschließlich Industrierestholz und Flurholz lieferten.

Die Häufigkeit der Heizwerkbelieferung hing von der Lagerkapazität am Heizwerk, von der Jahreszeit und vom Brennstoff ab.

3.3.3.5 Biomasselagerung

Eine Zwischenlagerung der biogenen Brennstoffe kann in aller Regel nicht vermieden werden, da die Brennstoffe nicht zeitgleich mit dem Verbrauch anfallen. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen einer Lagerung am Heizwerk und einer Lagerung abseits des Heizwerks. Die Lagerung kann durch den Lieferanten des Brennstoffs oder durch den

Heizwerkbetreiber erfolgen. Bei den 12 Biomasseheizwerken fanden sich Brennstoffbunker, Lagerhallen und Freilager. Auf welche Lagerart man letztlich für die Lagerung der Biomasse am Heizwerk zurückgegriffen hatte und wie diese gestaltet war, hing zumeist von der Art und Qualität der Biomassebrennstoffe ab, die in den Heizwerken verwertet wurden.

In Tabelle 4 sind die Varianten der Brennstofflagerung am Heizwerk zusammengestellt, die bei den 12 Biomasseheizwerken vorgefunden werden konnten. Dabei fällt auf, dass am Heizwerk eine zusätzliche Lagermöglichkeit zum Brennstoffbunker, also eine Lagerhalle oder ein Freilager, nur dort geschaffen wurde, wo mit einer unregelmäßigen Verfügbarkeit des Brennstoffes gerechnet werden musste - z.B. wenn viele verschiedene Bezugsmöglichkeiten ausgeschöpft werden oder in größerem Umfang Landschaftspflegematerial zum Einsatz kommen sollte, das in Eigenleistung bereitgestellt wurde. Auf eine Lagerhalle anstelle eines Freilagere wurde in der Regel aus vier Gründen Wert gelegt: besserer Witterungsschutz, besserer Schutz vor unbefugtem Zugriff, bessere Platzausnutzung, geringe Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und damit höhere Akzeptanz aus der Bevölkerung.

Tabelle 4: Brennstofflagerung am Heizwerk

Heizwerk Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Brennstoffbunker	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	
Lagerhalle am Heizwerk	•		•		•						•	•
Freilager am Heizwerk					(•)	•		•			•	

Tabelle 5 nennt die Lagerkapazität für Biomasse am Heizwerk in Prozent des Jahresbrennstoffverbrauchs. Zu dem Strohheizwerk (Nr. 12) ist anzumerken, dass sich bei diesem die Lagerkapazität am Heizwerk erheblich von der insgesamt, also auch abseits des Heizwerks vorhandenen Lagerkapazität unterscheidet, nachdem vergleichsweise große Bauten für die Bevorratung eines ganzen Jahresbrennstoffbedarfs geschaffen werden mussten.

Tabelle 5: Lagerkapazität für Biomasse am Heizwerk

Heizwerk Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Lagerkapazität in % des Jahresbrennstoffbedarfs	27	6	131	2	19	33	8	22	14	11	11	6

3.3.3.6 Ascheverwertung

Bei der Verbrennung von Biomasse fällt Asche an. Die anfallenden

Aschemengen sind abhängig von der Brennstoffqualität und der Verbrennungsqualität. Bei den 11 mit Holzhackschnitzeln befeuerten Biomasseheizwerken lagen die angefallenen Aschemengen im Betrachtungszeitraum zwischen 1 und 3 m³ pro 100 MWh erzeugter Wärmemenge. Allerdings handelt es sich bei diesen Zahlen überwiegend um Schätzwerte, da die Aschemengen und die entsprechenden Kosten nur bei zwei Heizwerken detailliert nachvollzogen werden konnten. Für das Strohheizwerk wurde angegeben, dass pro verbrannter Tonne Stroh etwa 30 bis 50 kg Asche anfielen (also 3 bis 5 % Asche pro t Stroh), davon waren etwa 95% Rostasche.

Zwar wurden bei zehn Heizwerken die Aschefraktionen (Grob-, Mittel- und Feinasche) getrennt gesammelt, allerdings erfolgte nur bei zwei Heizwerken eine getrennte Entsorgung. Kostenpflichtig entsorgt wurde die gesamte Asche bei drei Heizwerken, nachdem den Betreibern hier aus verschiedenen Gründen (z.B. organisatorische Probleme, sehr große Aschemengen) eine anderweitige und eventuell kostengünstigere Verwertung nicht praktikabel erschien. Zwei dieser Heizwerke nahmen dazu die Hilfe eines Dienstleisters in Anspruch, der gegen ein Entgelt den Transport und die Entsorgung der Asche übernahm. Bei den übrigen neun Heizwerken wurde die Asche entweder vom Heizwerksbetreiber verwertet (z.B. kompostiert) oder kostenfrei vom Brennstofflieferanten zurückgenommen und z.B. als Beimischung zum Mist auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ausgebracht. Bei diesen Heizwerken wurden als Entsorgungskosten lediglich die Transportkosten angegeben.

3.3.3.7 Biomasseliefervertrag

Die Lieferung von Biomassebrennstoffen wurde lediglich bei fünf Heizwerken durch Lieferverträge zwischen dem Lieferanten und dem Betreiber bzw. Eigner des Heizwerks geregelt. Hierbei handelte es sich jeweils um Heizwerke, bei denen ein Hauptlieferant für die Brennstoffversorgung verantwortlich war. Bei drei weiteren Heizwerken waren die Mitglieder der Betreibergesellschaft gleichzeitig die Lieferanten, und diese verfügten entsprechend der Höhe ihrer finanziellen Beteiligung an der Gesellschaft über ein Lieferrecht.

Vor allem mit den Waldbauern wurden einige sehr langfristige Lieferverträge geschlossen (z.B. Laufzeit 10 Jahre). Hackschnitzel aus dem Holzbe- und -verarbeitenden Gewerbe waren nur bei einer Lieferung durch einen Zwischenhändler eventuell über Lieferverträge zu bekommen. Allerdings wiesen diese Verträge auch vergleichsweise kurze Laufzeiten auf. Ansonsten wurde Säge- und Industrierestholz je nach Angebot und verfügbarem Lagerplatz meist sehr kurzfristig bezogen.

Bezüglich der Vertragsgestaltung konnte unterschieden werden zwischen einem Biomasseliefervertrag, bei dem der Lieferant lediglich die Brennstofflieferung übernahm und nach Brennstoffqualität (Menge, Gewicht, Wassergehalt) bezahlt wurde, und dem Biomassewärmeliefervertrag, bei dem der Lieferant auch für die Wartung der Biomasseheizanlage zuständig war und die Vergütung entsprechend der bereitgestellten Wärmemenge erfolgte. In den Lieferverträgen wurden insbesondere die Art und Qualität der Brennstoffe, die Mindestliefermenge, die Preisgestaltung und Abrechnungsmodalitäten geregelt. Die Anpassung des Biomassepreises an sich ändernde Kosten für z.B. Biomassebezug, Lohn und Hilfsenergie erfolgte mittels Preisgleitklauseln. Aus den gewonnenen Erkenntnissen hat C.A.R.M.E.N. e.V. Empfehlungen für die Erstellung eines Liefervertrages erarbeitet.

3.3.4 Wärmebereitstellung

3.3.4.1 Überblick

Die untersuchten Biomasseheizwerke wiesen die folgenden Komponenten auf:

- Lager- und Versorgungseinrichtungen für Biomassebrennstoffe (Lagerhalle, Lagerbunker, Zuführorgane zur Biomassefeuerung),
- Lager- und/oder Versorgungseinrichtungen für fossile Brennstoffe (Öltank, Gasanschluss, Zuführorgane zum Öl- oder Gasbrenner),
- Heiztechnik (Heizkessel für Biomasse und ggf. fossile Brennstoffe, Rauchgasreinigung, Rauchgasableitung, Ascheaustragung, Hydraulik im Heizhaus, Hilfseinrichtungen),
- Wärmeverteilungsanlagen (Hauptnetz, Hausanschlüsse, Übergabestationen, Hilfseinrichtungen).

3.3.4.2 Biomassezuführung

Zu jedem Biomasseheizwerk gehörte ein Zwischenlager, das mit entsprechenden maschinellen Hilfsmitteln (Transportanhänger, Radlader, Gabelstapler, Krananlage usw.) befüllt wurde und aus dem der Biomassekessel je nach Leistungsanforderung automatisch mit Biomassebrennstoff versorgt wurde. Der Transport des Brennstoffs vom Zwischenlager zum Heizkessel geschah durch Transportvorrichtungen, z.B. Förderschnecken, Trogkettenförderer, hydraulische Fördervorrichtungen, die mitunter reversierbar ausgeführt waren oder (nur bei der Strohfeuerung) durch Krananlagen.

Die Steuerung der Transporteinrichtungen erfolgte überwiegend durch Lichtschranken. Auch der Füllstand der Dosierbehälter, die bei einigen Heizwerken zum Ausgleich unterschiedlicher Schneckenfördermengen zwischen einzelne Transportorgane geschaltet waren, wurde von Lichtschranken erfasst und als Ein- oder Ausschaltsignal an die Schneckenmotore weitergegeben. Um einen Rückbrand vom Biomassekessel zum Bunker zu unterbinden, war bei allen Anlagen zwischen der Dosier- und der Stokerschnecke eine Rückbrandsicherung (überwiegend Zellenrad-schleusen, seltener hydraulische Schieber oder Fallstrecke) installiert. Zusätzlich fand sich bei allen Heizwerken eine automatische Löscheinrichtung mit einem Sprinkler, der im Falle eines Rückbrandes aus einem kleinen Speicherbehälter oder direkt aus der Trinkwasserleitung Löschwasser in ein Zuführorgan, meist in die Stokerschnecke, einspeisen konnte.

Bei fünf Heizwerken (drei monovalente und zwei bivalente Anlagen) waren zwei Biomassekessel installiert. Die Aufteilung des Biomassebrennstoffs auf die beiden Kessel war bei diesen Anlagen entsprechend den räumlichen Gegebenheiten auf unterschiedliche Weise realisiert worden. Üblich war, dass nur ein Schneckenstrang vom Bunker zu den Biomassekesseln führte und erst dort eine Aufteilung der Förderstränge zu den beiden Kesseln erfolgte. Nur bei einem Heizwerk wurden gleich nach dem Bunker zwei Querförderschnecken installiert, so dass vom Bunker zu den Biomassekesseln zwei parallele Stränge führten. Der Betreiber begründete diese Art der Kesselbeschickung mit einer größeren Ausfallsicherheit, nachdem bei diesem Heizwerk vergleichsweise lange Transportwege zu überwinden und große Biomasse-mengen zu fördern waren.

3.3.4.3 Wärmeerzeugung

In den Heizanlagen erfolgt die Konversion der in der Biomasse chemisch gebundenen Energie in Wärmeenergie. Die vorgefundene Heiztechnik kann aufgeteilt werden in

- bivalente Anlagen, in denen zwei Brennstoffe verwertet wurden (neun Heizwerke) und
- monovalente Anlagen, in denen nur ein Brennstoff verwertet wurde (drei Heizwerke).

Bei den von uns als „bivalente“ Anlagen bezeichneten Anlagen wurde – und dies ist etwas abweichend von der in der 1. BImSchV genannten Definition - die Grundlast des Wärmebedarfs durch ein oder zwei Biomassekessel gedeckt. Für die Spitzenlast - mitunter auch als Reserve bei einem Defekt am Biomassekessel oder an der Brennstoffzuführung - stand zusätzlich ein Öl- oder Gaskessel zur Verfügung. Die drei monovalenten An-

lagen besaßen keinen fossil befeuerten Kessel. Statt dessen waren jeweils zwei Biomassekessel gleicher oder unterschiedlicher Nennleistung installiert. Die Zu- oder Abschaltung der Kessel erfolgte entsprechend der Leistungsanforderung (Kesselfolgeschaltung). Waren zwei gleichgroße Biomassekessel installiert, konnte die Zu- oder Abschaltung auch parallel oder im Hinblick auf eine möglichst gleiche Betriebsstundenzahl der Kessel erfolgen.

Während bei den monovalenten Anlagen der Wärmebedarf im betrachteten Betriebsjahr je zu 100 % durch Biomasse gedeckt wurde, lag der Anteil der Wärmeerzeugung aus Biomasse bei den bivalenten Anlagen zwischen 80 und 97 %. Eine Ausnahme war eine Heizzentrale, in der für die Abdeckung der Grundlast zwei wärmebedarfsgeführte BHKW's eingesetzt wurden. Der Biomassekessel diente hier ausschließlich für die Bereitstellung der Mittellast, so dass bei dieser Anlage nur gut 40 % des Jahreswärmebedarfs durch Biomasse gedeckt werden konnten. Bei Bedarfsspitzen wurde zusätzlich ein Ölkessel zugeschaltet. Die bivalenten Anlagen verwendeten meist Heizöl als zweiten Brennstoff; Erdgas wurde nur in zwei Fällen eingesetzt.

Installierte Nennleistung

In den Biomasseheizwerken wurden Biomassefeuerungen mit Nennwärmeleistungen zwischen 350 und gut 3 MW vorgefunden. Bei bivalenten Anlagen standen zusätzliche Öl- oder Gaskessel für die Abdeckung der Spitzenlast und evtl. als Leistungsredundanz bereit. Die installierten Gesamtleistungen lagen zwischen 700 kW und gut 7 MW.

Feuerungssysteme für Biomasse und Wärmetauscher

Folgende Feuerungssysteme für Biomasse wurden bei den 12 Biomasseheizwerken eingesetzt:

- Unter- oder Einschubfeuerung (vier Heizwerke),
- Rostfeuerung (fünf Heizwerke),
- Vorofenfeuerung (zwei Heizwerke),
- Strohballenfeuerung (ein Heizwerk).

Sämtliche Rostfeuerungsanlagen waren mit einem Vorschubrost und einer Rauchgasrezirkulation ausgestattet. Bei den monovalenten Anlagen kamen bevorzugt die etwas preisgünstigeren Unter- oder Einschubfeuerungen zum Einsatz. Die Beschickung der Feuerung erfolgte meist mittels Stokerschnecken, in Einzelfällen auch durch hydraulisch betriebene Schieber oder durch ein Schleuderrad. Die Entaschung erfolgte überwie-

gend automatisch in Container; lediglich bei einer Anlage musste die Asche regelmäßig manuell mit einem Industriestaubsauger aus der Feuerung entfernt werden.

Biomassekessel mit vertikalen, also stehenden Wärmetauschern konnten lediglich bei einem Heizwerk vorgefunden werden. Ein zusätzlicher Abgaswärmetauscher (Economiser) fand sich bei zwei Anlagen. Keine Anlage wies eine Rauchgaskondensation auf. Das Bauvolumen der in den Heizwerken vorgefundenen Biomassekessel lag ohne Anbauteile zwischen 6 und 20 m³/MW_{th} bei den Unterschub- und Rostfeuerungen sowie um 40m³/MW_{th} bei den Vorofenfeuerungen.

Rauchgasreinigung und -ableitung

Die Reinigung der Rauchgase des Biomassekessels erfolgte bei den Heizwerken durch

- Multizyklone (11 Heizwerke),
- Gewebefilter (zwei Heizwerke) und
- Elektrofilter (zwei Heizwerke).

Darüber hinaus wurde bei einem Heizwerk eine Rauchgasentstickung nach dem SNCR-Verfahren durchgeführt. Die Ableitung der Rauchgase erfolgte zumeist über freistehende Schornsteine (Edelstahlrohre oder doppelwandig mit Edelstahlinnenrohr und Außenisolierung) und ansonsten über vorhandene gemauerte Kaminanlagen, in die mitunter Edelstahlrohre eingezogen worden waren. Zur Überwindung des Druckverlusts im Abgasstrom wurden fest eingestellte sowie drall- oder frequenzgeregelte Saugzugventilatoren installiert.

Hydraulik

Das im Heizkessel erwärmte Wasser wurde bei der Mehrzahl der Anlagen über eine hydraulische Weiche, die den Kesselkreis mit dem Verteilkreis verband, auf eine Vorlaufsammelschiene geführt. Von der Sammelschiene zweigten die einzelnen Stränge des Wärmeverteilnetzes ab. Das Wasser wurde durch je zwei drehzahlregelbare Netzpumpen - die zweite Pumpe diente als Redundanz und konnte entweder automatisch oder von Hand zugeschaltet werden - zu den Verbrauchern gefördert. Die Pumpen waren im Heizhaus aufgestellt und arbeiten zumeist im Vorlauf, bei einigen Anlagen jedoch auch im Rücklauf. Die Drehzahl der Pumpen konnte abhängig von der Druckdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf geregelt werden. Vereinzelt fanden sich jedoch auch Netzpumpen mit einer fest eingestellten Drehzahl. Nur bei einem Heizwerk war infolge un-

günstiger Geländebedingungen eine zusätzliche Druckerhöhungsstation im rund 10 km langen Wärmeverteilungsnetz errichtet worden.

Mess-, Steuer- und Regeltechnik

Die MSR-Technik beschränkte sich bei der überwiegenden Zahl der Biomasseheizwerke auf das unbedingt notwendige, z.B. die Messung einzelner Temperaturen und des Durchflusses, die Ermittlung der Kesselleistung und der Betriebsstundenzahl sowie die Wiedergabe der wichtigsten Parameter auf einem Display, die Regelung der Heizkessel einschließlich Brennstoffzuführung und hydraulischer Anlage sowie die Alarmüberwachung mit Weitergabe von Störmeldungen an das Wartungspersonal. Eine automatisierte Datenarchivierung erfolgte bei fünf Heizwerken. Bei fünf weiteren Heizwerken konnte zudem eine Prozessvisualisierung vorgefunden werden. Drei Heizwerke sehr unterschiedlicher Größenordnung wurden fernüberwacht.

Wärmemengenzähler für die Erfassung der bereitgestellten bzw. übergebenen Wärmemenge wurden häufig nur installiert, wenn ein Wärmeverkauf stattfand und eine entsprechende Verbrauchserfassung für die Rechnungsstellung an den Wärmekunden benötigt wurde. Meist beschränkte man sich dann auf die Erfassung der an den Kunden übergebenen Wärmemenge und verzichtete auf die Erfassung der von der Heizzentrale an das Wärmenetz abgegebenen Wärmemenge. Überraschend häufig konnten fehlerhaft arbeitende Wärmezähler festgestellt werden, was in einigen Fällen auf die Wahl zu großer Zähler zurückzuführen war. Auch eine Erfassung der verbrauchten Hilfsenergie fand lediglich über die Abrechnung der Stromlieferung des EVU statt, die mitunter auch den Stromverbrauch benachbarter Räume einschloss und damit nur bedingt Informationen über den Hilfsenergieverbrauch der Heizanlage liefern konnte. Separate Stromzähler für Aggregategruppen oder gar einzelne Aggregate des Heizwerks (z.B. Netzpumpen) waren selten vorhanden.

In den Biomasseheizwerken erfolgte eine automatische Regelung der Heizkessel einschließlich Brennstoffzuführorgane und der hydraulischen Anlagen. Bezüglich der Biomassekessel wurde zumeist eine Regelung des Unterdrucks im Feuerraum, eine Regelung der Kesselleistung und eine Regelung der Verbrennung durchgeführt. Die Verbrennungsregelung erfolgte in Einzelfällen auch mittels einer CO-Sonde oder einer Oxi-Sonde im Abgas. Üblich war jedoch die Verbrennungsregelung auf Basis einer λ -Messung. Auf die Regler der Hausübergabestationen wurde nicht eingewirkt, und es fand auch keine Datenübertragung von der Hausübergabestation zum Heizwerk statt.

Nutzungsgrade und Volllaststunden

Der Nutzungsgrad der Biomasseheizanlage (ohne fossil befeuerten Spitzenlastkessel) errechnet sich als Quotient aus der Energiemenge, die dem Biomassekessel mittels Biomassebrennstoff zugeführt wird, und der von dem Biomassekessel bereitgestellten Wärmemenge. Er beschreibt die Ausnutzung der im Brennstoff gespeicherten Energie durch die Heiztechnik und sollte möglichst hoch sein. Bei den zwölf Biomasseheizwerken lagen die für den Betrachtungszeitraum (Wirtschaftsjahr 1996/97) ermittelten Nutzungsgrade der Biomasseheizanlagen zwischen 66 und 90 %, meist jedoch um 82 %. Die geringsten Nutzungsgrade wiesen die beiden Vorofenfeuerungen (<70 %), die drei monovalenten Anlagen (< 80 %) sowie einige überdimensionierte Biomassekessel auf. Die höchsten Nutzungsgrade erzielten gut ausgelastete Biomasseanlagen sowie eine Anlage mit Economiser.

Die Volllaststunden der Wärmeerzeuger errechnen sich als Quotient der bereitgestellten Wärmemenge und der Nennleistung des Wärmeerzeugers. Auch sie sollten möglichst hoch sein. Grundsätzlich ergaben sich relativ hohe Volllaststunden von 3.000 h und mehr nur bei Heizwerken, die bestimmte Großabnehmer versorgten, deren Leistungsbedarf eine besonders vorteilhafte Jahresdauerlinie ergab (z.B. Schulzentrum, Schwimmbad, Firmenkomplex). Bei einer Versorgung von Siedlungen (Wohnsiedlungen evtl. mit kleinem Gewerbe und teilweise Neubaugebiete) lagen die Jahresvolllaststunden zumeist um 2.500 h. Besonders gering waren sie, wenn die ursprünglich geplante Wärmeabnahme noch nicht erreicht war und damit eine deutliche Überdimensionierung der Biomassekessel vorlag. Dies war immer dann der Fall, wenn überwiegend oder ausschließlich Neubaugebiete versorgt werden sollten. Allerdings wiesen die Biomassekessel lediglich bei vier Heizwerken weniger als 2.500 Volllaststunden auf. Hierzu zählten die drei monovalenten Anlagen mit Volllaststunden um 2.000 h. Für die gesamte Heizzentrale (Biomasse und ggf. fossil befeuerter Spitzen-

lastkessel) konnten Jahresvolllaststunden von im Mittel 1.400 h festgestellt werden.

Vergleich: Installierte Nennleistung und Wärmebedarfsleistung

Lediglich bei vier Heizwerken stimmte die installierte Nennleistung (Biomasse + Spitzenlast) nahezu mit der Gesamtwärmebedarfsleistung der Verbraucher überein. Bei sechs weiteren Heizwerken fanden sich installierte Nennleistungen, die um 50 % über der Wärmebedarfsleistungen lagen. Eine installierte Nennleistung, die die Wärmebedarfsleistung erheblich überstieg, konnte bei Heizwerken festgestellt werden,

- die eine vollständige Ausfallreserve mittels fossil befeuerter Kessel vorhielten,
- bei welchen vergleichsweise große, bestehende Ölkesselanlagen in die Wärmeversorgung eingebunden worden waren oder
- die zum Zeitpunkt der Evaluierung noch nicht das ursprünglich vorgesehene Anschlusspotenzial erreicht hatten.

Darüber hinaus waren Überdimensionierungen aufgetreten, nachdem man im Rahmen von Verkaufsverhandlungen den nächstgrößeren Kessel zum Preis des kleineren, ursprünglich vorgesehenen Kessels bekommen hatte. Die Überdimensionierungen bei den 12 untersuchten Heizwerken reichten bis zu der 2,6-fachen Wärmebedarfsleistung. Lediglich ein Heizwerk war geringfügig unterdimensioniert, was sich in der Praxis jedoch kaum negativ bemerkbar machte.

3.3.4.4 Wärmeverteilung

An die Heizzentrale schloss bei jedem der 12 Biomasseheizwerke ein mehr oder weniger langes und in aller Regel unterirdisch verlegtes Nah- oder Fernwärmenetz an, über das die Wärme zu den Verbrauchern transportiert wurde. Die Längen der Wärmeleitungen und die Streckenbelegung waren sehr unterschiedlich. So konnten Trassenlängen zwischen 225 und rund 10.000 m festgestellt werden. Pro Anschluss hatte man je nach Abnehmerstruktur zwischen 25 und 225 m verlegt. Die trassenbezogenen Wärmeverbräuche lagen

- zwischen 3 und 5 MWh/m bei Heizwerken mit einzelnen großen Wärmeabnehmern (Schulen, Schwimmbad usw. mit mittleren Wärmeverbräuchen von 100 bis 700 MWh/a und einem Anteil der Hausanschlussleitungen am Hauptnetz von weniger als 20 %),
- um 1,5 MWh/m bei Heizwerken mit vergleichsweise dichter Wohnbebauung und einzelnen Großabnehmern (Mehrfamilienhäuser, Ge-

meindezentren usw. mit mittleren Wärmeverbräuchen von 33 und 100 MWh/a und einem Anteil der Hausanschlussleitungen am Hauptnetz von bis zu 50 %) und

- zwischen 0,5 und 0,7 MWh/m bei Heizwerken mit vorwiegend lockerer Wohnbebauung (meist Einfamilienhäuser mit mittleren Wärmeverbräuchen um 30 MWh/a und einem Anteil der Hausanschlussleitungen am Hauptnetz von mehr als 50 %).

Ein ähnliches Bild ergaben die trassenbezogenen Anschlussleistungen (Streckenbelegung). Die Wärmeverluste der Leitungen lagen zumeist deutlich unter 300 kWh/m. Nur bei besonders ungünstigen Netzparametern oder wenn man in größerem Umfang bestehende Leitungen übernommen hatte, fanden sich auch Werte um 350 kWh/m.

Eine Temperaturspreizung mit deutlich weniger als 25 K konnte nur bei einem Heizwerk festgestellt werden, das über ein vergleichsweise langes Wärmenetz bei bislang nur geringer Wärmeabnahme verfügte. Ein weiteres Heizwerk wurde nach Angaben der Betreiber mit einer hohen Vorlauf-temperatur von bis zu 95 °C gefahren, um eine zu geringe Spreizung und damit einen hohen Hilfsenergieverbrauch zu vermeiden. Auf ein spezielles Rohrüberwachungssystem, z.B. mittels Kupferdrähten, wurde nur bei Heizwerken verzichtet, die ein vergleichsweise kurzes und überschaubares Wärmenetz aufwiesen, so dass sich ein Wasserverlust auch ohne Überwachungssystem durch einen deutlichen Systemdruckabfall in der Rohrleitung bemerkbar machen konnte.

Die Nennweiten der Rohrleitungen ergaben ein sehr uneinheitliches und nicht immer nachvollziehbares Bild. In einigen Fällen waren überraschend große Durchmesser verbaut worden. Eher unterschiedlich waren auch die Verlegetiefen. Versorgungsleitungen wiesen meist eine Erdüberdeckung von weniger als einem Meter auf, Hausanschlussleitungen eine Erdüberdeckung von weniger als 0,7 Meter.

3.3.4.5 Datendokumentation und Datenauswertung

Bei den Biomasseheizwerken wurde nicht nur die Datenerfassung auf das unbedingt notwendige beschränkt, es wurde auch kaum von der Möglichkeit einer Datendokumentation oder -auswertung Gebrauch gemacht. Eine Ausnahme waren hier die Heizwerke, die von Contractoren betrieben wurden, sowie ein Heizwerk, das eine überdurchschnittlich hohe Personalbesetzung der Warte aufwies. Bei diesen Heizwerken konnten permanente EDV-gestützte Betriebsdatenarchivierungen sowie verschiedene Kommunikations- und Service-Systeme zur automatischen Datenfernübertragung vorgefunden werden.

3.3.4.6 Störungen und Störungsmeldung

Während des Betriebes eines Biomasseheizwerks können verschiedene Störungen an der Anlage auftreten. Diese Störungen werden erfasst und protokolliert (z.B. elektronischer Speicher, Drucker) und müssen schließlich an das Wartungs- oder Bereitschaftspersonal weitergeleitet werden, damit sie so rasch wie möglich oder so rasch wie nötig behoben werden können. Die untersuchten Biomasseheizwerke waren überwiegend nicht permanent mit Wartungspersonal besetzt (Betrieb ohne Beaufsichtigung nach TRD 604). Das Bereitschaftspersonal wurde bei diesen Anlagen gegebenenfalls automatisch über eine Störung informiert, wobei am häufigsten die Weitergabe der Störungsmeldung (Sammelmeldung) per Telefonwahlgerät erfolgte.

3.3.4.7 Wartung und Instandhaltung

Die Wartung der Anlagen beschränkte sich im Regelfall auf Kontrollgänge, die z.B. mehrmals täglich durchgeführt wurden, sowie auf eine zeitweise Reinigung der Anlage, insbesondere des Biomassekessels. Darüber hinaus musste vom Wartungspersonal auf Störungen reagiert werden, und die Störungen mussten beseitigt werden. Auch die Brennstofflieferung und die Ascheentsorgung wurde vom Wartungspersonal durchgeführt oder zumindest organisiert und kontrolliert. Darüber hinaus erfolgte durch den Heizwart die Anpassung der Sollwerte der Regelung am Beginn und am Ende der Heizsaison. Bei vier Contractinganlagen wurde zudem eine Fernüberwachung durchgeführt. Für die Wartung der fossil befeuerten Heizkessel und der in einem Heizwerk vorgefundenen Erdgas-BHKW's wurden bei einigen Heizwerken separate Wartungsverträge abgeschlossen.

3.3.4.8 Hilfsenergie

Für den Antrieb der Brennstoffaustragung aus dem Bunker (hydraulischer Schubboden, Schnecken), für die Brennstoffzuführung (Schnecken, Kettenförderer, hydraulische Vorrichtungen, Krananlagen), für Gebläse und Pumpen sowie für die Mess- und Regeltechnik, für Stellmotoren an Ventilen usw. wird Hilfsenergie (elektrischer Strom) benötigt. Bei den untersuchten Biomasseheizwerken lag der Gesamthilfsenergieverbrauch im Betrachtungszeitraum zumeist bei etwa 2 % der Jahreswärmeerzeugung. Ein deutlich höherer Stromverbrauch wurde lediglich bei Heizwerken registriert, deren Nahwärmenetze fehlerhaft und mit wenig Rücksicht

auf Effektivität ausgelegt waren (u.a. zu geringe Wärmeabnahme, zu geringe Spreizung, Überdimensionierungen, fest eingestellte Netzpumpen) oder bei welchen die kundenseitige Installation eine ungünstige Abstimmung aufwies. Bei diesen Anlagen konnten Werte zwischen 3 % und 5 % festgestellt werden.

3.3.4.9 Wärmelieferungsvertrag

Wärmelieferungsverträge wurden bei 11 Heizwerken zwischen Wärmelieferant und Wärmekunde geschlossen. In diesen Verträgen wurden u.a. die Preisgestaltung, Liefer- und Abnahmepflichten, Rechts- und Eigentumsverhältnisse sowie Abrechnungsmodalitäten geregelt. Die Vertragsgestaltung erfolgte häufig unter Berücksichtigung der Vorgaben nach AVBFernwärmeV. Bezüglich der Preisgestaltung ist zu erwähnen, dass sich der Wärmepreis zumeist aus einem verbrauchsabhängigen Arbeitspreis, einem verbrauchsunabhängigen Leistungspreis und einem verbrauchsunabhängigen Messpreis zusammensetzte. Etwa 40 % des Wärmepreises verursachte zumeist der Leistungspreis, etwa 60 % der Arbeitspreis, der Messpreis lag meist unter 1 % des Wärmepreises. Der Wärmepreis muss alle mit der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung verbundenen Kosten (Herstellungs- und Betriebskosten) decken können. Dies gilt auch für den Fall, dass sich z.B. Kosten für Brennstoffe oder Personal ändern. Die Anpassung des Wärmepreises an die sich ändernden Kosten erfolgte mittels einer vereinbarten Preisgleitklausel. Aus den gewonnenen Ergebnissen hat C.A.R.M.E.N. e.V. Vorschläge für die Gestaltung von Wärmelieferungsverträgen erarbeitet.

3.3.4.10 Versicherungsschutz des Wärmelieferanten

Von den Betreibern der Biomasseheizwerke wurden insbesondere die folgenden Versicherungen abgeschlossen: Haftpflichtversicherung, Versicherung gegen Feuer- und Leitungswasserschäden, Maschinenversicherung und Ölschadenversicherung (bei Heizöl als Spitzenlastbrennstoff). Bezüglich der Maschinenversicherung ist zu beachten, dass zwar ein schwerwiegender mechanischer Defekt, wie er z.B. bei einem BHKW auftreten kann, bei Heizkesseln kaum vorkommt, wohl aber Folgeschäden (z.B. durch eine ungünstige Abfolge von Ein- und Ausschaltvorgängen) sowie Konstruktionsmängel. Letztere können vor allem bei einem Konkurs des Kesselherstellers zu Problemen mit der Gewährleistung führen und lassen sich eventuell durch eine Maschinenversicherung abdecken.

3.3.4.11 Anlagendokumentation

Die Anlagendokumentation war in der Regel mangelhaft. Zwar lag meist ein Prinzipschema für die Anlage sowie eine Bedienungsanleitung für die Kessel vor, darüber hinausgehende Unterlagen, wie eine allgemeine Beschreibung der Anlage, eine Beschreibung der Funktion verschiedener Anlagenkomponenten (z.B. MSR-Technik) oder eine Bedienungsanleitung für das gesamte Heizwerk, fehlten allerdings oder waren unzureichend gepflegt.

3.3.5 Gebäude und Flächenverbrauch

Für die Lagerung der Biomassebrennstoffe, zum Schutz der Heiztechnik sowie ggf. für die Unterbringung von Wasch-, Umkleide- und Aufenthaltsräumen wurden neue Gebäude errichtet oder bestehende Gebäude angepasst oder erweitert. Waren die Heizwerke sehr kompakt und ohne unnötigen baulichen Ballast ausgeführt (kleiner Brennstoffbunker mit max. 10 % des Jahresbedarfs), so konnten spezifische Bauvolumen zwischen 200 und 350 m³/MW bzw. spezifische bebaute Flächen von weniger als 100 m²/MW festgestellt werden (jeweils auf die installierte Nennleistung bezogen!). Eine etwas großzügigere Bebauung einschließlich der Errichtung einer Lagerhalle, in der etwa 25 % des Brennstoffjahresbedarfs eingelagert werden konnte, führte zu spezifischen Bauvolumen bis 1.000 m³/MW oder zu spezifischen bebauten Flächen um 150 m²/MW. Hierunter fielen auch die Anlagen mit Vorofenfeuerungen. Spezifischen Bauvolumen von 2.000 bis 3.000 m³/MW oder spezifische bebaute Flächen um 650 m²/MW konnten bei einigen Heizwerken festgestellt werden, die über eine relativ kleine installierte Nennleistung verfügten, gleichzeitig jedoch eine sehr große Lagerhalle, großzügig gestaltete Heizräume sowie weitere Räume (Gemeinschaftsraum, Teeküche) besaßen.

3.3.6 Investitionen

3.3.6.1 Einteilung in Investitionsgruppen

Im Rahmen der Evaluierung wurden die Investitionen der Biomasseheizwerke so detailliert wie möglich erfasst. Für den Vergleich der Heizwerke untereinander wurden aus den zahlreichen Einzelinvestitionen Investitionsgruppen gebildet:

- Heizzentrale (aufgeteilt in biomassespezifische Anlagenteile, Spitzenlastkessel, Hydraulik im Heizhaus und ggf. BHKW),
- Wärmenetz,
- Übergabestationen,
- bauliche Maßnahmen,
- Maschinen/Geräte,
- Grunderwerb,
- Nebenkosten/Planung.

Anschließend wurden die Investitionen auf die installierte Nenn-Wärmeleistung in kW sowie auf die erzeugte oder verkaufte Wärmemenge in MWh bezogen. Damit konnte zum einen festgestellt werden, ob das Heizwerk „günstig“ oder „teuer“ realisiert wurde, zum anderen konnte über den Bezug auf die verkaufte Wärmemenge ermittelt werden, ob die Höhe der Investition gerechtfertigt war. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass die verkaufte Wärmemenge lediglich die Situation für ein bestimmtes - gutes, mittelmäßiges oder schlechtes - Wirtschafts- oder Kalenderjahr darstellt. Des Weiteren dürfen hinsichtlich der installierten Nennleistung nur die Wärmeerzeuger einbezogen werden, die auch in der Investitionssumme enthalten sind. Wärmeerzeuger, die bereits vorhanden waren und in das Versorgungskonzept eingebunden wurden, in deren Anschaffung jedoch nicht mehr investiert werden musste, blieben unberücksichtigt.

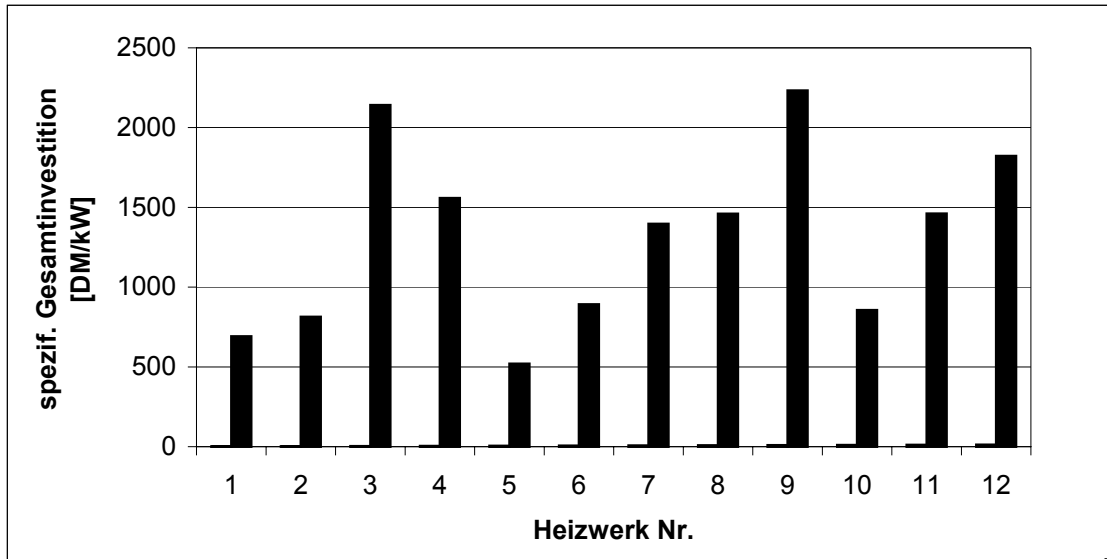
3.3.6.2 Betrachtung der Gesamtinvestitionen

Bei der Betrachtung der Gesamtinvestitionen (Heizwerk inkl. Wärmenetz) sollten zunächst die spezifischen Investitionen dargestellt werden, die sich bei einem Bezug der Gesamtinvestitionen auf die installierte Nennleistung (Diagramm 4) oder auf die verkaufte Wärmemenge (Diagramm 5) ergaben. Insbesondere im Hinblick auf einen Vergleich mit einer Versorgung durch Zentralheizungen erschien zusätzlich eine Betrachtung der auf die Anzahl der Anschlüsse bezogenen Investitionen interessant.

Gesamtinvestition bezogen auf Nennleistung oder Wärmeverbrauch

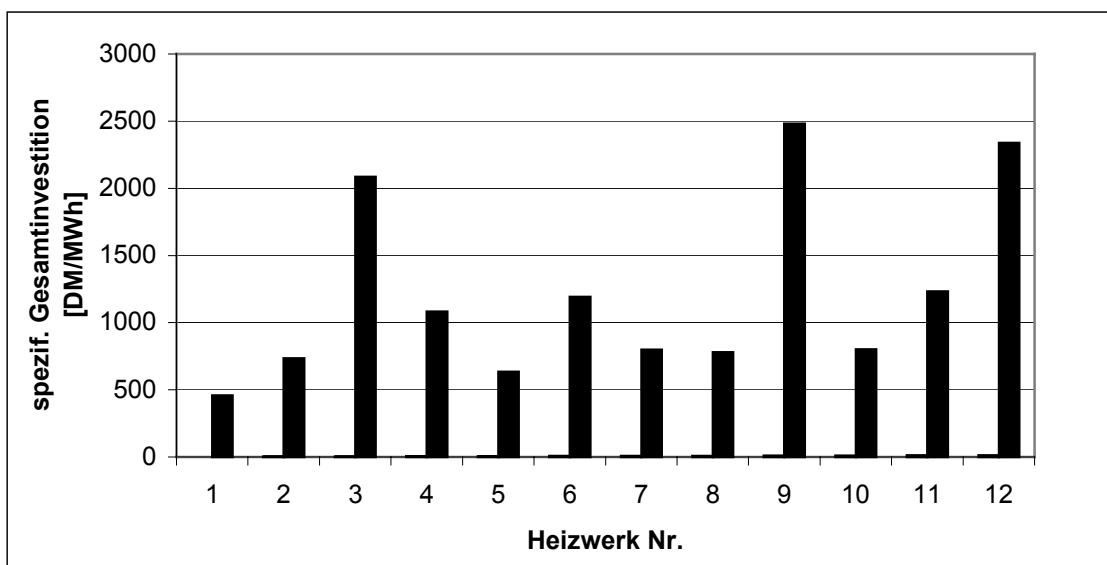
Aus Diagramm 4 lässt sich bereits grob ableiten, dass einige Projekte „eher teuer“, andere dahingegen „eher günstig“ realisiert wurden. So ergibt sich für die *Heizwerke 1* und *5* jeweils ein besonders günstiger Wert von weniger als 700 DM/kW und für die *Heizwerke 3* und *9* jeweils eine vergleichsweise hohe spezifische Investition von mehr als 2.000 DM/kW.

Diagramm 4: Spezifische Gesamtinvestition in DM/kW bei 12 Biomasseheizwerken



Ob die Investitionen im Hinblick auf den Wärmebedarf der Verbraucher auch gerechtfertigt waren, geht tendenziell aus Diagramm 5 hervor, in dem die Gesamtinvestitionen auf den Wärmeverbrauch bezogen wurden. So ergaben sich vergleichsweise günstige spezifische Investitionen von weniger als 750 DM/MWh für die *Heizwerke 1, 2* und *5*. Besonders hohe und wohl kaum gerechtfertigte Werte dahingegen fanden sich bei den *Heizwerken 3, 9* und *12*.

Diagramm 5: Spezifische Gesamtinvestition in DM/MWh bei 12 Biomasseheizwerken



Gesamtinvestition bezogen auf Anzahl der Anschlüsse

Bezieht man die Gesamtinvestition auf die Anzahl der Anschlüsse und die Anschlussleistung, so ergibt sich das folgende Bild:

- Waren Siedlungen (Baubestand und/oder Neubaugebiete) mit zahlreichen kleinen privaten und gewerblichen Abnehmern zu versorgen, so ergaben sich durchschnittliche Werte um 40.000 DM pro Anschluss (bzw. 25 DM pro Anschluss und kW), wenn das Ausbauziel weitgehend erreicht war, sowie Werte um 80.000 DM pro Anschluss (bzw. 80 DM pro Anschluss und kW), wenn die in der Planung vorgesehene Abnehmeranzahl noch nicht mobilisiert werden konnte (Neubaugebiete!).
- Die Projekte, die ausschließlich Großabnehmer versorgten, wiesen sehr einheitliche durchschnittliche Gesamtinvestitionen um 150 DM pro Anschluss und kW auf. Eine Ausnahme mit rund 200 DM pro Anschluss und kW war lediglich ein Heizwerk, in dem zusätzlich zwei BHKW's installiert worden waren.

3.3.6.3 Betrachtung der Investitionsgruppen

Um die Ursachen für die höchst unterschiedlichen spezifischen Investitionen der Biomasseheizwerke zu ergründen, wurde eine Analyse der auf die installierte Nennleistung (Biomasse + Spitzenlastkessel) bezogenen Teilinvestitionen „Heizzentrale“, „bauliche Maßnahmen“ und „Wärmenetz“ durchgeführt.

Heizzentralen

Bezüglich der Heizzentralen konnte festgestellt werden, dass die mit einer Unterschubfeuerung ausgestatteten Heizwerke die geringsten spezifischen Investitionen der Heizzentralen mit weniger als 600 DM/kW aufwiesen. Etwas teurer waren die Heizzentralen der mit einer Rostfeuerung ausgestatteten Heizwerke (um 700 DM/kW). Grundsätzlich wiesen die monovalenten Anlagen gegenüber den bivalenten Anlagen bei annähernd gleicher Leistung um 10 bis 20 % höhere Investitionen auf. Allerdings lagen die spezifischen Investitionen der monovalenten Anlagen mit Unterschubfeuerungen zumeist leicht unter den Werten, die vergleichbare bivalente Anlagen mit Rostfeuerung aufwiesen. Die spezifischen Investitionen der beiden mit Vorofenfeuerungen ausgestatteten Heizzentralen lagen mit 260 und rund 1.000 DM/kW deutlich unter bzw. deutlich über den Werten der übrigen Heizwerke, was insbesondere auf die Bauart der Voröfen und

die mit 3 bzw. 1 MW höchst unterschiedlichen Nennleistungen der Anlagen zurückgeführt werden konnte. Geringfügige Unterschiede ergaben sich durch die jeweils vorhandene Rauchgasreinigungstechnik.

Werden die Investitionen der Heizzentralen auf die Jahreswärmeerzeugung bezogen, so ergeben sich je nach Auslastung der Wärmeerzeugungsanlagen Werte zwischen 100 und gut 500 DM/MWh.

Biomassespezifische Anlagenteile

Die spezifischen Investitionen der biomassespezifischen Anlagenteile (Biomassekessel und Brennstoffaustragung) wurden noch einmal gesondert betrachtet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengefasst, wobei sich Abweichungen von den angegebenen Werten insbesondere durch die unterschiedlichen Rauchgasreinigungstechniken ergaben.

Tabelle 6: Spezifische Investitionen der biomassespezifischen Anlagenteile in DM/kW bei 12 Biomasseheizwerken

Wärmeerzeugung	spezif. Invest. Biomasseanlage
Unterschubfeuerungen (bivalente Anlagen; kombiniert mit Heizöl- oder Erdgasfeuerungen)	unter 200 DM/kW
Unterschub- oder Rostfeuerungen (monovalent)	um 450 DM/kW
Rostfeuerungen (bivalente Anlagen; kombiniert mit Heizöl- oder Erdgasfeuerungen)	450 bis 650 DM/kW

Werden die Investitionen der biomassespezifischen Anlagenteile auf die Jahreswärmeerzeugung aus Biomasse bezogen, so lassen sich drei Wertebereiche erkennen: Bei zwei Heizwerken mit sehr hoch ausgelasteten und vergleichsweise günstigen Biomassekesseln lagen die spezifischen Investitionen um 60 DM/MWh, sieben Heizwerke - davon eine monovalente Anlage - wiesen Werte um 200 DM/MWh auf und drei Heizwerke - davon zwei monovalente Anlagen - lagen um 500 DM/MWh.

Bauliche Anlagenteile

Sehr unterschiedlich waren auch die Investitionen in die baulichen Anlagenteile. Unter den baulichen Anlagenteilen wurden alle Investitionen zusammengefasst, die sich auf die Einhausung der Heiztechnik, die Brennstofflagerung (Bunker, Halle) und sonstige Hochbauten (z.B. Verwaltungsgebäude, Gemeinschaftsraum) bezogen. Hier konnten Werte zwischen 140 DM/kW und 540 DM/kW festgestellt werden. Der niedrigste Wert wurde von einem Heizwerk erreicht, für das ein neues, relativ kompaktes Heiz-

haus in Hanglage mit Brennstoffbunker (Lagerkapazität: 6 % des Brennstoffjahresbedarfs) errichtet worden ist. Der mit Abstand höchste Wert von 540 DM/kW findet sich bei einem Heizwerk, bei dem für eine eher geringe installierte Nennwärmeleistung ein besonders großzügiges Heizhaus (viel leerer Raum, zwei Versammlungsräume) mit umfangreicher Lagerhalle (Lagerkapazität: 131 % des Brennstoffjahresbedarfs) realisiert wurde.

Werden die Investitionen der baulichen Anlagenteile auf den Jahreswärmeverbrauch bezogen, ergeben sich Werte zwischen 120 und 530 DM/MWh. Bei sechs Heizwerken - davon zwei mit einer Lagerhalle für die Brennstofflagerung (Lagerkapazität: 10 bzw. 30 % des Jahresbedarfs) und sehr hoher Auslastung - konnten spezifische Investitionen der Einhausung um 150 DM/MWh festgestellt werden. Bei vier Heizwerken (umfangreiche Tief- oder Hochbauten) lagen die spezifischen Investitionen um 300 DM/MWh. Für zwei Heizwerke mit umfangreichen baulichen Maßnahmen und vergleichsweise niedriger Wärmeabnahme konnten Werte um 500 DM/MWh festgestellt werden.

Bezieht man die Investitionen der baulichen Anlagenteile auf die bebaute Fläche in m^2 und auf das umbaute Volumen in m^3 , so ergibt sich das folgende Bild: Besonders günstige Gebäude wurden vorgefunden, wenn keine oder kaum Tiefbaumaßnahmen erforderlich waren: um 150 DM/ m^3 bzw. um 500 DM/ m^2 . Meist lagen die Investitionen jedoch um 350 DM/ m^3 bzw. 1.500 DM/ m^2 . Musste ein vorhandener Heizraum an die neue Technik angepasst werden, traten spezifische Investitionen um 650 DM/ m^3 bzw. um 3.000 DM/ m^2 auf. Waren umfangreiche Tiefbaumaßnahmen erforderlich, fanden sich spezifische Investitionen von mehr als 900 DM/ m^3 bzw. um 5.000 DM/ m^2 . Bei diesen Anlagen entfiel jeweils wenigstens die Hälfte des Bauvolumens auf Tiefbauten (Brennstoffbunker und/oder Heizraum).

Wärmeverteilung

Bei der Wärmeverteilung erschien es sinnvoll, die Investitionen (hier: Gesamtverlegekosten) auf die Länge des Wärmenetzes zu beziehen und nicht auf die Abnahmeleistung, da die Abnahmeleistung einen eher „weichen“ Parameter darstellt. Dementsprechend konnte bei fünf Heizwerken für das Wärmenetz eine spezifische Investition um 400 DM/m festgestellt werden, bei vier Heizwerken mit etwas schwierigeren Verlegebedingungen (Verlegung innerorts in befestigtem Gelände) lag sie um 550 DM/m. Sehr geringe Werte wiesen zwei Heizwerke mit 240 bzw. 140 DM/m auf, bei denen die Nahwärmeleitungen besonders unproblematisch in unbefestigtem Gelände (Wiese, Acker) oder zusammen mit weiteren Infrastrukturmaßnahmen verlegt werden konnten, so dass relativ günstige

Investitionen entstanden.

Auf den Jahreswärmeverbrauch bezogen ergeben sich die folgenden Werte: Vier Heizwerke mit sehr kurzen Nahwärmenetzen und sehr hoher Wärmeabnahme wiesen Werte zwischen 50 und 200 DM/MWh auf, drei Heizwerke lagen um 300 DM/MWh und vier Heizwerke mit sehr langen Wärmenetzen und eher geringer trassenbezogener Wärmeabnahme fanden sich um 1.000 DM/MWh.

3.3.6.4 Anteile der Investitionsgruppen

Bei den untersuchten Biomasseheizwerken wurden zwischen 80 % und 97 % der Investitionskosten von der Heizzentrale, den baulichen Anlagenteilen und dem Wärmenetz verursacht. Die übrigen 3 bis 20 % wurden überwiegend von Planungs- und Nebenkosten verursacht. Nur in vier Fällen traten nennenswerte Investitionsanteile für Grunderwerb oder für sonstige Maschinen und Geräte sowie für Betriebsausstattung auf. Je nach Umfang des zu versorgenden Gebietes konnte ein größerer oder kleinerer Anteil der Investitionen auf das Nahwärmenetz entfallen. Bei den untersuchten Heizwerken lag dieser Anteil zwischen unter 10 % (hohe Wärmeabnahme auf engem Raum, Integration einer bestehenden Wärmeleitung) und bis zu 70 % (sehr weitflächiges Versorgungsgebiet), in der Regel jedoch zwischen 30 und 40 %. Auf die baulichen Anlagenteile entfielen meist um 40 % der Investition; lediglich bei einigen besonders großen Versorgungsgebieten traten Anteile unter 20 % auf.

3.3.6.5 Vergleich von Planung und Realisierung

Bei neun Biomasseheizwerken wurde ein Vergleich zwischen den geplanten Investitionen und den tatsächlich getätigten Investitionen durchgeführt. Dabei fiel zunächst auf, dass bei den meisten Heizwerken Mehrkosten gegenüber der Planung entstanden sind. Die Mehrkosten lagen zwischen 1 % und 9 %. Nur ein Heizwerk konnte deutlich günstiger als geplant realisiert werden; hier lagen die Einsparungen bei insgesamt 17 % gegenüber der Planung.

Mehrkosten traten vor allem bei der Ausstattung der Heizzentralen und bei den baulichen Anlagenteilen auf. Bei den Heizzentralen wurden Kostenüberschreitungen um 10 % festgestellt; in einem Fall lagen sie sogar bei 24%. Bei den baulichen Anlagenteilen traten Kostenüberschreitungen um 25 % auf, wobei in einem Fall ein Heizhaus errichtet wurde, das doppelt so teuer wie geplant war. Deutliche Einsparungen konnten nur bei den Nahwärmenetzen festgestellt werden. Allerdings waren diese Einsparungen in der Regel darauf zurückzuführen, dass tatsächlich nur ein geringeres Anschlusspotenzial erschlossen werden konnte als geplant.

Erschwerende Geländebedingungen und Planungsfehler führten bei zwei Heizwerken zu Mehrkosten von 6 bzw. 11 % bei den Wärmenetzen.

3.3.7 Finanzierung

Für die Finanzierung der Projekte wurden Eigen- und Fremdmittel eingesetzt. Die Eigenmittel teilten sich auf in Fördermittel und sonstige Eigenmittel. Die Fördermittel wurden jeweils als Investitionsförderungen gewährt (verlorene Zuschüsse) und konnten mit vielfältigen Auflagen verbunden sein (z.B. Anteil Biomasse am Gesamtbrennstoffeinsatz). Die sonstigen Eigenmittel waren z.B. Gesellschaftereinlagen und Baukostenzuschüsse. Als Fremdmittel wurden Kredite herangezogen (z.B. Kapitalmarktkredite, Förderkredite). Mitunter wurde auf zwei Kredite mit unterschiedlichen Konditionen zurückgegriffen.

Der Anteil der Förderung an der Investitionssumme lag bei den Heizwerken in Bayern zwischen 36 und 44 %. Bei den übrigen sechs Heizwerken in Baden-Württemberg, Thüringen und Niedersachsen lag er zwischen 11 und 34 %. Gesellschaftereinlagen ergaben sich meist bei Waldbauerngemeinschaften und waren in der Regel mit einem Biomasselieferrecht verbunden. Hausanschlussgebühren und Baukostenzuschüsse wurden in Anlehnung an AVBFernwärmeV erhoben. Demnach konnten z.B. bis 100 % der Kosten für des Hausanschlusses und bis 70 % für das Wärmeverteilstnetz auf den Anschließer umgelegt werden. Meist orientierten sich die Beiträge allerdings an den Investitionen, die alternativ für die Neuanschaffung einer Zentralheizung angefallen wären, wobei deutliche Unterschiede zwischen den in den alten und in den neuen Bundesländern errichteten Heizwerken festzustellen waren. Auf diese Weise konnten Eigenmittelanteile zwischen 30 und 100 % erzielt werden.

3.3.8 Ökonomie

3.3.8.1 Aspekte der ökonomischen Analyse

Im Folgenden sollen für die 12 Biomasseheizwerke einige Ergebnisse der ökonomischen Analyse dargestellt werden:

- Kostenrechnung,
- Gewinn- und Verlustrechnung,
- Liquiditätsrechnung,
- kritische Wärmepreise und kritische Biomassepreise,
- Vergleich von Planung und Realisierung.

Die Erläuterung der Ergebnisse erfolgt auf dem Wege des Vergleichs, wofür die Absolutwerte auf die Jahreswärmeabnahme bezogen und in Diagramme aufgetragen wurden. Allerdings ist, wie eingangs bereits bemerkt wurde, ein Vergleich der auf die Wärmeabnahme bezogenen Werte nicht unproblematisch. Es war einerseits nicht zu vermeiden, dass bei den einzelnen Heizwerken unterschiedliche Wirtschafts- oder Kalenderjahre betrachtet wurden, andererseits kann auch bei gleichen Betrachtungszeiträumen nicht uneingeschränkt davon ausgegangen werden, dass es sich für das einzelne Heizwerk um ein „typisches“ Betriebsjahr gehandelt hatte.

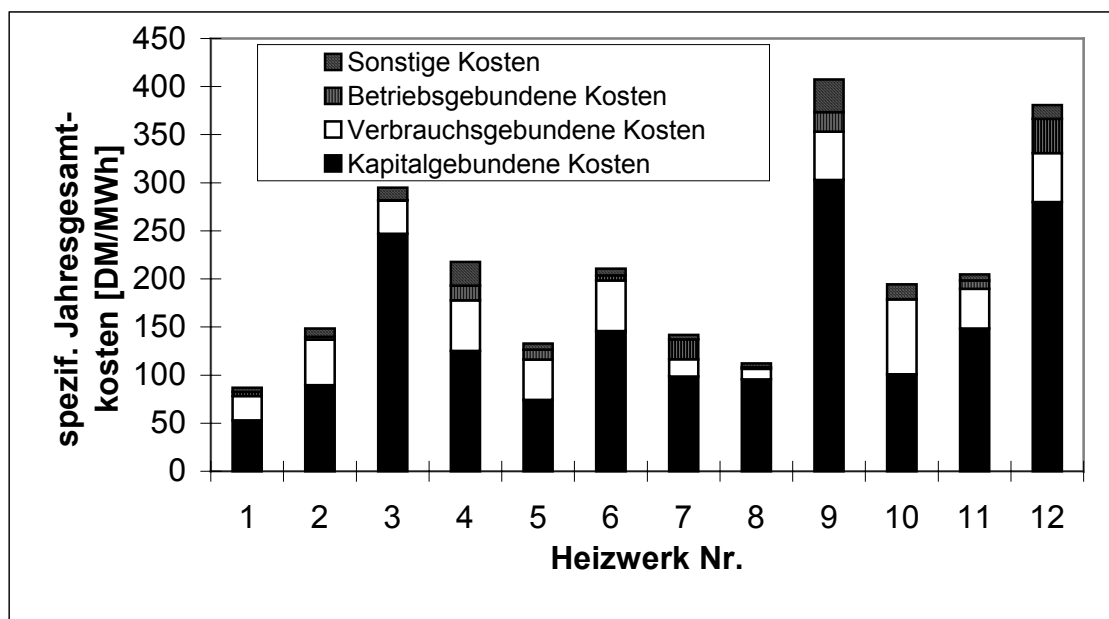
3.3.8.2 Ergebnisse der Kostenrechnung

Für die analysierten Projekte wurden Kostenrechnungen in Anlehnung an VDI 2067 mit den von den Betreibern angegebenen Daten eines bestimmten Betrachtungszeitraums (meist Wirtschaftsjahr 1996/97 oder Kalenderjahr) durchgeführt. Ermittelt wurden die kapitalgebundenen Kosten (aus Kapital- und Instandhaltungskosten), die verbrauchsgebundenen Kosten (Kosten für Brennstoffe, Hilfsenergie, Ascheentsorgung und sonstige Betriebsstoffe), die betriebsgebundenen Kosten (Kosten für Personal, Emissionsmessungen, Wartungsverträge) und sonstige Kosten (z.B. Kosten für Versicherung, Verwaltung, Pacht, Steuern und Steuerberatung). Aus den Jahresgesamtkosten wurden die spezifischen Wärmegestehungskosten abgeleitet und Schlüsse hinsichtlich des Einflusses der Förderung sowie der Konkurrenzfähigkeit gegenüber fossil befeuerten Heizwerken gezogen.

Wärmegestehungskosten

In Diagramm 6 sind die auf den Jahreswärmeverbrauch bezogenen Jahresgesamtkosten, also die Wärmegestehungskosten der untersuchten Biomasseheizwerke *ohne Förderung* und bei einem Standardzinssatz von 8 % p.a. (Betrachtungszeitraum 15 Jahre) dargestellt. Dabei fällt auf, dass unter den angenommenen Rahmenbedingungen nur ein Heizwerk Wärmegestehungskosten unter 100 DM/MWh erreicht hätte. Bei vier Heizwerken hätten die Wärmegestehungskosten zwischen 100 und 150 DM/MWh gelegen, vier weitere Heizwerke hätten Werte um 200 DM/MWh aufgewiesen. Bei drei Biomasseheizwerken hätten die Wärmegestehungskosten ohne Förderung sogar zwischen 250 und 400 DM/MWh gelegen.

Diagramm 6: Wärmegestehungskosten in DM/MWh bei 12 Biomasseheizwerken



Den größten Anteil an den Wärmegestehungskosten verursachten bei fast allen betrachteten Biomasseheizwerken die *spezifischen kapitalgebundenen Kosten*. Ihr Anteil lag in der Regel um 70 %, wenn der Einfluss der Förderung unberücksichtigt bleibt. Geringfügige Abweichungen hiervon traten lediglich auf, wenn besonders teure oder besonders günstige Biomassebrennstoffe eingesetzt wurden, die sich entsprechend erhöhend oder reduzierend auf die *spezifischen verbrauchsgebundenen Kosten* auswirkten, so dass sich die Anteile der kapitalgebundenen Kosten an den Jahresgesamtkosten im Einzelfall auch auf 60 % bzw. 80 % belaufen konnten.

Demnach hatten die spezifischen kapitalgebundenen Kosten den größten Einfluss auf die Höhe der Wärmegestehungskosten. Die spezifischen kapitalgebundenen Kosten wiederum waren insbesondere von der Abnehmerstruktur abhängig, d.h. von der Länge des Wärmenetzes und den damit

verbundenen Investitionen sowie in hohem Maße auch von der Wärmeabnahme. Des Weiteren konnten die Investitionen für die baulichen Anlagenteile und für die Heiztechnik die spezifischen kapitalgebundenen Kosten nicht unerheblich beeinflussen. Von eher untergeordneter Bedeutung waren demgegenüber die Kosten für Planung, Genehmigung usw. sowie für Brennstoffe.

Zu beachten ist, dass in die Berechnung der kapitalgebundenen Kosten nicht die tatsächlich aufgetretenen Instandhaltungskosten eingeflossen sind, sondern die Anhaltswerte nach VDI 2067. Die tatsächlichen Instandhaltungskosten waren in den betrachteten Wirtschafts- oder Kalenderjahren vorwiegend aufgrund von Gewährleistungen bei allen Heizwerken deutlich niedriger als die Werte nach VDI 2067. Darüber hinaus müssen die realen (meist günstigeren) Zinsbedingungen berücksichtigt werden, die ebenfalls zu einer, allerdings nur sehr geringfügigen, Reduzierung der Wärmegebungskosten (unter 1 DM/MWh) führten.

Hinsichtlich der *spezifischen betriebsgebundenen* und der *sonstigen Kosten*, die insgesamt zwischen 5 und 20 % der Wärmegebungskosten verursachten, fallen deutliche Unterschiede zwischen den von Waldbauern oder firmenintern betriebenen Heizwerken und den Contractingmodellen (*Heizwerke 4* und *9*) oder den unter ständiger Beaufsichtigung betriebenen Heizwerken (*Heizwerk 12*) auf. So gaben beispielsweise die Waldbauern deutlich geringere Verwaltungs- und Personalkosten an als die Contractoren. Bei den Contractinganlagen war für die Bereiche Brennstofflogistik, Wartung und Verwaltung jeweils eine andere Person zuständig. Diese wurde zudem vergleichsweise hoch vergütet, während die von Waldbauern geführten Anlagen mit einem eher geringen Personaleinsatz und einem geringen Stundensatz auskamen.

Einfluss der Förderung

Durch eine Investitionsförderung mit verlorenen Zuschüssen lassen sich die spezifischen kapitalgebundenen Kosten reduzieren, wenn eine Wiedergewinnung und Verzinsung der Zuschüsse nicht beabsichtigt ist und die Zuschüsse als „verloren“ betrachtet werden sollen. Allerdings darf die Bedeutung der Förderung nicht überschätzt werden, denn das Reduktionspotenzial der Förderung lag bei den 12 untersuchten Biomasseheizwerken je nach Anteil der kapitalgebundenen Kosten zwischen lediglich 3 DM/MWh („gute“ Projekte) und 18 DM/MWh („schlechte“ Projekte), wenn eine Investitionsförderung von 10 % gewährt wurde. Die Förderung kann demnach gerade bei den „besseren“ Projekten (hohe Wärmebedarfsdichte, geringe Wärmegebungskosten, geringer Anteil der spezifischen kapitalgebundenen Kosten an den Wärmegebungskosten usw.) lediglich

als Anschubhilfe gesehen werden, die die Finanzierung erleichtert, nicht jedoch die Wirtschaftlichkeit des Biomasseheizwerks entscheidend verbessern kann.

Konkurrenzfähigkeit

Biomasseheizwerke entstehen im Spannungsfeld der verschiedenen Interessenlagen von Initiatoren, Investoren, Betreiber, Biomasselieferanten und Wärmeabnehmern. Grundsätzlich besteht die Notwendigkeit, dass sich der Betrieb eines Biomasseheizwerks wirtschaftlich trägt. Insbesondere von Seiten der Wärmeabnehmer kann darüber hinaus das Bedürfnis bestehen, dass ein zumindest annähernd konkurrenzfähiger Betrieb eines Biomasseheizwerks z.B. im Vergleich zu einer Wärmeversorgung mittels Heizöl erzielt wird.

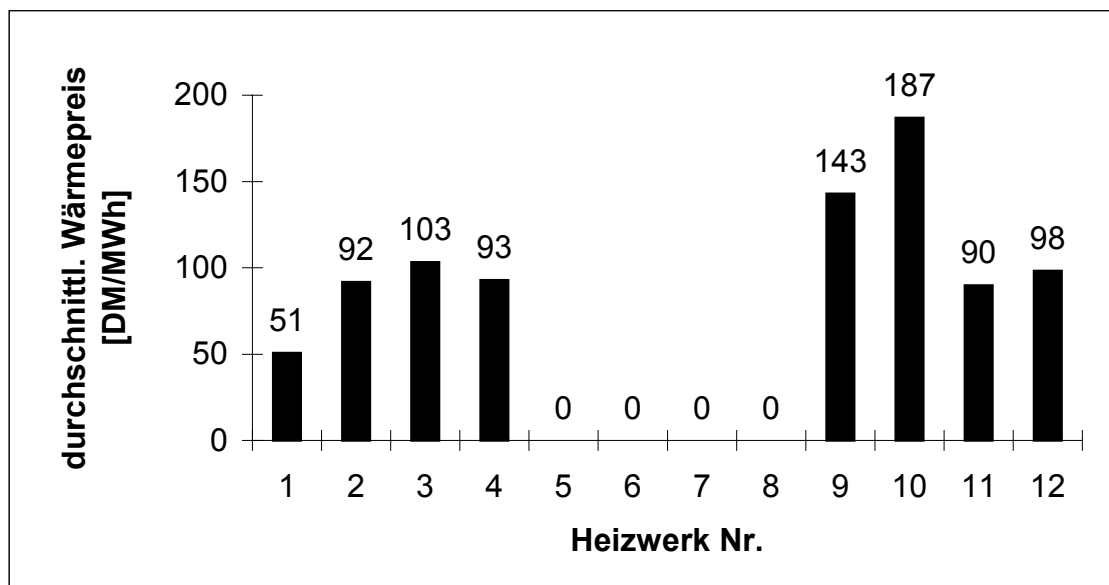
Im Rahmen der Evaluierung sollten u.a. Aussagen darüber gewonnen werden, wie viel Subventionsbedarf erforderlich ist, um Biomasseheizwerke mit einer Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Brennstoffe gleichzustellen, und bei welchem Preis fossiler Energieträger (Heizöl, Erdgas) Kostengleichheit besteht. Als Vergleichswert einer Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Brennstoffe kann beispielsweise der Fernwärmepreis herangezogen werden, der im Betrachtungszeitraum in Deutschland üblich war (z.B. [17], [18], [19]), oder es wird mit den Vollkosten verglichen, die bei einer Wärmebereitstellung mittels einer beim Abnehmer errichteten fossil befeuerten Zentralheizung angefallen wären. Im ersten Fall müssen zumeist Wärmepreise von weniger als 100 DM/MWh erzielt werden können. Bei dem Kostenvergleich mit einer Zentralheizung können die Wärmepreise je nach Abnehmerart zwischen 80 DM/MWh (Großabnehmer, Geschosswohnungsbau) und 190 DM/MWh (Einfamilienhaus) liegen.

Im Ergebnis wurde festgestellt, dass ohne Förderung bei fünf Heizwerken und mit Förderung bei neun Heizwerken eine finanzielle Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung mittels Zentralheizung gegeben war. Ohne Förderung lagen die Wärmebereitstellungskosten von lediglich zwei Heizwerken im Bereich der in Deutschland üblichen Fernwärmepreise, mit Förderung wurden diese von fünf Heizwerken erreicht. Bei sieben Biomasseheizwerken lagen die Wärmebereitstellungskosten deutlich über den seinerzeit in Deutschland üblichen durchschnittlichen Fernwärmepreisen, so dass für einen konkurrenzfähigen Betrieb eine entsprechend höhere Förderung oder z.B. negative Biomassepreise erforderlich gewesen wären. Es fanden sich aber auch Projekte, bei welchen selbst eine 100%ige Förderung noch keine Konkurrenzfähigkeit bewirkt hätte.

3.3.8.3 Durchschnittliche Wärmepreise

Wärmelieferverträge zwischen dem Abnehmer und dem Heizwerkbetreiber wurden abgeschlossen, wenn Wärme gegen Bezahlung an einen Abnehmer geliefert wurde. In den Verträgen wurden u.a. die Tarife für die Wärmelieferung festgelegt. Die Wärmetarife setzten sich in der Regel aus einem Grund- oder Leistungspreis sowie einem Arbeitspreis zusammen. Werden die Einnahmen eines Wirtschaftszeitraums für die Wärmelieferung auf die verkaufte Wärmemenge bezogen, so ergeben sich durchschnittliche Wärmepreise. Von den 12 untersuchten Biomasseheizwerken lieferten acht Wärme gegen Bezahlung an Wärmekunden. Bei diesen acht Heizwerken lag der durchschnittliche Wärmepreis um 100 DM/MWh (Diagramm 7); lediglich in drei Fällen wurde dieser Wert deutlich über- oder unterschritten. Es zeigte sich, dass die Wärmeverbraucher in aller Regel nicht bereit sind, für Wärme aus Biomasse einen erhöhten Preis („Umweltbonus“) zu zahlen. Statt dessen legt die Mehrzahl der Abnehmer viel Wert auf eine finanzielle Konkurrenzfähigkeit im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung mittels fossiler Brennstoffe.

Diagramm 7: Durchschnittliche Wärmepreise in DM/MWh



3.3.8.4 Ergebnisse der Gewinn- und Verlustrechnung

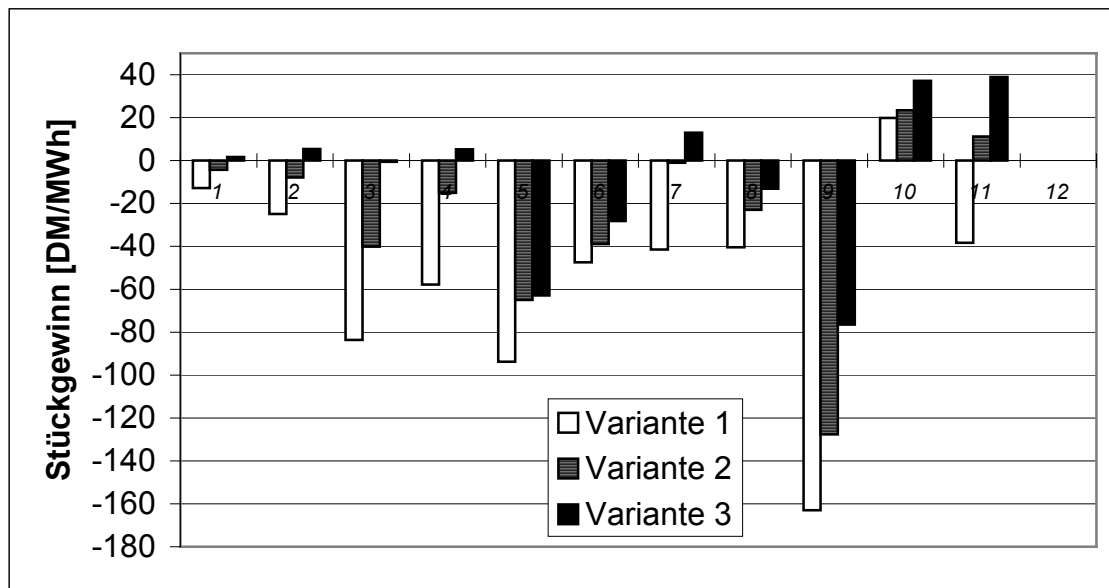
Den Jahresgesamtkosten können Jahresgesamtleistungen gegenüberstellen, z.B. Leistungen aus einem Verkauf der Wärme, aus günstigen Krediten sowie aus dem Verzicht auf eine Tilgung und Verzinsung des Eigenkapitals. Die Leistungen sollten die Kosten vollständig decken. Bei einer Überdeckung ergibt sich ein Gewinn, eine Unterdeckung führt zu einem

Verlust. Werden die Gewinne bzw. Verluste auf den Jahreswärmeverbrauch bezogen, ergeben sich Stückgewinne bzw. Stückverluste. Bezüglich der Gewinn- und Verlustrechnung wurden drei Varianten betrachtet:

1. Es erfolgte eine Tilgung und Verzinsung des gesamten eingesetzten Kapitals - auch der Fördermittel, die als Teil der Eigenmittel betrachtet werden. Es wurden zudem die Instandhaltungskosten nach VDI 2067 zugrunde gelegt.
2. Es erfolgte lediglich eine Tilgung und Verzinsung der Fremdmittel. Auf eine Wiedergewinnung und Verzinsung der Eigenmittel (einschl. Förderung) wurde verzichtet. Für die Instandhaltungskosten wurden die Kalkulationsgrundlagen nach VDI 2067 angesetzt.
3. Es erfolgte wie in 2. lediglich eine Tilgung und Verzinsung der Fremdmittel. Darüber hinaus wurden die tatsächlichen Instandhaltungskosten angenommen.

Im ersten Fall entstanden sehr hohe Jahresgesamtkosten, da nicht nur die eingesetzten Kredite bedient werden mussten, sondern auch die Eigenmittel wiedergewonnen werden sollten. Im zweiten Fall wurde auf die Wiedergewinnung der Eigenmittel verzichtet, so dass die Förderung und die sonstigen Eigenmittel (z.B. Gesellschaftereinlagen, Baukostenzuschüsse) vollständig verloren sind. Dies hat zur Folge, dass keine Rücklagen gebildet wurden und ggf. für eine Erneuerung der Anlage Kredite aufgenommen werden müssen. Im dritten Fall wurde mit sehr geringen Instandhaltungskosten gerechnet, da z.B. davon ausgegangen wurde, dass die Instandhaltung auch zukünftig wie bisher zum Großteil über die Herstellergewährleistung abgewickelt werden kann, was jedoch eher unrealistisch ist. Für die drei Varianten ergaben sich Stückgewinne, wie sie in Diagramm 8 dargestellt sind. Aus Anonymisierungsgründen wurde das Strohheizwerk in diesem Diagramm nicht aufgeführt. Bei den Heizwerken Nr. 5, 6, 7 und 8 muss berücksichtigt werden, dass hier die Betreiber zugleich die Wärmeabnehmer waren und die angegebenen Gewinne bzw. Verluste zugleich die Wärmepreise des Eigners waren.

Diagramm 8: Stückgewinn in DM/MWh bei 12 Biomasseheizwerken



Demnach konnte für sechs Biomasseheizwerke ein wirtschaftlich defizitärer Betrieb im Betrachtungszeitraum nachgewiesen werden, wenn Variante 1 zugrunde gelegt wird. Erst durch den Verzicht auf die Wiedergewinnung und Verzinsung aller eingesetzter Eigenmittel (z.B. Gesellschaftereinlagen, Hausanschlusskosten, Baukostenzuschüsse, Fördermittel) war es den Betreibern bei fünf dieser sechs Anlagen möglich, Verluste zu vermeiden (Variante 2 und 3). Dieser Verzicht auf die Abschreibung der Eigenmittel verhinderte jedoch, dass Rücklagen gebildet wurden, so dass Fremdmittel aufgenommen werden müssen, wenn die verbrauchte Anlage einmal ersetzt werden muss. Probleme sind zudem in naher Zukunft durch den Ablauf der Herstellergewährleistung und damit verbundene erhöhte Instandhaltungskosten bei fünf Heizwerken zu erwarten.

Ein kalkulatorischer Gewinn konnte lediglich bei *Heizwerk 10* erzielt werden, dessen Betreiber einen besonders hohen durchschnittlichen Wärmepreis (180 DM/MWh) mit dem einzigen Wärmeabnehmer - einer Gemeinde - ausgehandelt hatte. Bei vier weiteren Heizwerken (Nr. 5, 6, 7, 8) waren die Betreiber zugleich die Wärmeabnehmer. Für diese Projekte, bei deren Realisierung vergleichsweise kurze Wärmenetze angelegt werden mussten, errechneten sich durchschnittliche bis hohe Wärmepreise für den Eigener der Heizwerke (40 bis 100 DM/MWh bei Variante 1).

Die höchst unbefriedigende wirtschaftliche Situation einiger Biomasseheizwerke kann auf ein unausgewogenes Verhältnis zwischen der Höhe der Investitionen, dem Jahreswärmebedarf bei den Verbrauchern und dem durchschnittlichen Wärmepreis zurückgeführt werden. Zudem wird sie

erheblich von der Auslastung der Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilanlagen beeinflusst und hängt damit auch davon ab, ob die Anlage bedarfsgerecht dimensioniert ist. Eine Rücksprache mit den Betreibern ergab, dass in der Praxis tatsächlich nach den Varianten 2 oder 3 vorgegangen wird. Bei den Heizwerken Nr. 3, 6, 8 und 9 war der ursprünglich geplante Ausbau der Wärmeabnahme im Betrachtungszeitraum noch nicht erreicht, so dass sich bei diesen Anlagen in den kommenden Jahren noch Änderungen bezüglich der Gewinne und Verluste ergeben können. Bei *Heizwerk 9* wurden beispielsweise die erheblichen Verluste von dem Contractor getragen, der sich durch eine baldige Verdichtung des Wärmenetzes eine höhere Wärmeabnahme, eine höhere Auslastung und damit zumindest eine Reduzierung des Verlustes erhofft.

3.3.8.5 Liquidität

Mit den Biomasseheizwerken muss zum einen ein wirtschaftlich tragfähiger Betrieb erzielt werden können (Rentabilität), zum anderen müssen aber auch bestehende Zahlungsverpflichtungen erfüllt werden können (Liquidität). Bei der Liquiditätsrechnung ist der von der Art der Finanzierung abhängige Kapitaldienst - die tatsächlich geleisteten Auszahlung für Zins und Tilgung - zu berücksichtigen. Je mehr Eigen- und Fördermittel zur Verfügung stehen, desto niedriger ist der Kapitaldienst. Dem Kapitaldienst stehen Leistungen aus dem Wärmeverkauf gegenüber, die zu entsprechenden Einzahlungen führen. Als Differenz lässt sich der Einzahlungs- bzw. Auszahlungsüberschuss berechnen. Von den acht Biomasseheizwerken, die Wärme verkauft haben, wiesen sechs Heizwerke einen mehr oder weniger großen Einzahlungsüberschuss auf, bei zwei Heizwerken lag ein Auszahlungsüberschuss vor.

3.3.8.6 Kritische Wärmepreise

Stellt man den tatsächlichen durchschnittlichen Wärmepreisen (vgl. Kap. 3.3.8.3) die kritischen Wärmepreise gegenüber, die für einen kostendeckenden Betrieb der Heizwerke als Preisuntergrenze erforderlich wären, so wird Folgendes deutlich: Bei fünf Heizwerken war der aktuelle Wärmepreis für eine Betrachtung nach den Varianten 2 und 3 (vgl. Kap. 3.3.8.4) zumindest annähernd ausreichend. Meist lagen die Wärmepreise hier um 100 DM/MWh, einmal sogar bei nur rund 50 DM/MWh. In einem Fall wäre auch ein etwas geringerer Wärmepreis möglich gewesen. In zwei Fällen mit Wärmepreisen um 100 DM/MWh wäre jedoch auch für einen zumindest nach Variante 3 kostendeckenden Betrieb ein um 30 bzw. 60 % höherer Wärmepreis notwendig gewesen. Unberücksichtigt blieben in dieser Betrachtung vier Heizwerke, deren Eigner gleichzeitig Wärmeabnehmer waren.

3.3.8.7 Kritische Biomassepreise

In Kap. 3.3.3.3 wurde bereits auf den durchschnittlichen Biomasse-mischpreis der einzelnen Heizwerke eingegangen. Stellt man diesen tatsächlichen Mischpreis dem kritischen Biomasse-mischpreis gegenüber, der bei Variante 1, 2 oder 3 (vgl. Kap. 3.3.8.4) für einen kostendeckenden Betrieb des Heizwerks als Preisobergrenze erforderlich oder möglich gewesen wäre, so wird deutlich, dass

- nach Variante 1 bei sieben von acht Heizwerken ein negativer kritischer Biomasse-mischpreis, also eine Zuzahlung zur Brennstoff-lieferung, für einen erfolgreichen Betrieb erforderlich gewesen wäre,
- nach Variante 2 bei drei von acht Heizwerken eine Zuzahlung zum Brennstoff in Höhe von 10 bis 40 DM/MWh hätte erfolgen müssen und
- nach Variante 3 bei einem von acht Heizwerken eine Zuzahlung zum Brennstoff um 40 DM/MWh hätte erfolgen müssen.

Auch in dieser Betrachtung blieben die vier Heizwerke unberücksichtigt, deren Eigner gleichzeitig Wärmeabnehmer waren.

3.3.8.8 Vergleich von Planung und Realisierung

Im Vergleich zum Planungskonzept hatte man nur bei drei Heizwerken die vorausgesagten Wärmegestehungskosten (annähernd) eingehalten. Bei den übrigen neun Heizwerken ergaben sich z.T. deutlich höhere Kosten als geplant. Im Wesentlichen war dies auf die folgenden Gründe zurückzuführen:

- Es entstanden höhere Investitionen als geplant.
- Die Wärmeabnahme und/oder die Einnahmen aus dem Wärmeverkauf fielen niedriger als erwartet aus.
- Die effektive Förderquote fiel niedriger als erwartet aus, nachdem die Gesamtinvestition gestiegen, die Fördersumme jedoch nach oben begrenzt war.

Die geringsten Abweichungen und die besten wirtschaftlichen Ergebnisse fanden sich bei den Heizwerken, die ausschließlich einen oder mehrere bestehende Wärmeabnehmer mit hohen Wärmeverbräuchen (z.B. gemeindeeigene Liegenschaften, Schulzentren, Krankenhaus, Pflegeheim) über ein verhältnismäßig kurzes, evtl. bereits bestehendes Wärmenetz versorgten. Größere Abweichungen entstanden bei Biomasseheizwerken, an die

(zusätzlich) zahlreiche kleine private oder gewerbliche Abnehmer angeschlossen werden sollten. Besonders große Unterschiede zwischen Planung und Ausführung wiesen die sechs Projekte auf, bei denen zusätzlich oder ausschließlich Neubaugebiete durch das Biomasseheizwerk versorgt werden sollten.

Den (unerwarteten) wirtschaftlichen Schwierigkeiten wurde auf unterschiedliche Weise mit höchst unterschiedlichem Erfolg begegnet, z.B. durch die Reduzierung der Biomassevergütung (nur möglich, wenn Betreiber gleichzeitig Brennstofflieferanten waren), durch die Erhöhung des durchschnittlichen Wärmepreises (oft unter massiven Protesten der Wärmekunden), durch Verzicht auf eine Wiedergewinnung und Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals oder durch eine Verdichtung des Wärmenetzes.

3.3.8.9 Sensitivitätsanalysen

Mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse sollte zum einen der Einfluss verschiedener Parameter z.B. auf die Wärmegestehungskosten ermittelt werden. Darüber hinaus sollten für neun der 12 Biomasseheizwerke verschiedene Unter- oder Obergrenzen einzelner Parameter als Kennwerte ermittelt werden. Insbesondere stellte sich die Frage, bei welcher Wärmebedarfsdichte (Untergrenze) und bei welcher Gesamtinvestition (Obergrenze) sich für die einzelnen Projekte akzeptable Wärmegestehungskosten um 100 DM/MWh eingestellt hätten. Des Weiteren sollte der Einfluss der Auslastung von Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilungsanlagen untersucht werden.

Einfluss verschiedener Parameter auf die Wärmegestehungskosten

In den Diagrammen 9 und 10 ist beispielhaft für das *Heizwerk 2* der Einfluss des Biomasse-mischpreises bzw. der Höhe der Gesamtinvestition auf die Wärmegestehungskosten wiedergegeben. Bei *Heizwerk 2* handelt es sich um ein Projekt mit einer vergleichsweise hohen Wärmebedarfsdichte (3 MWh/m). Von den sieben Kunden konnten Hausanschlusskosten (HAK) und Baukostenzuschüsse (BKZ) in Höhe von insgesamt rund 15 % der Gesamtinvestition eingeholt werden. Für die Berechnung wurde ein Zinssatz von 6,4 % p.a. sowie Instandhaltungskosten nach VDI 2067 zugrunde gelegt. Auffällig ist der eher geringe Einfluss des Biomasse-mischpreises und der Förderung auf die Wärmegestehungskosten sowie der bei einer hohen Förderung geringe Einfluss einer Reduzierung der Investition.

Diagramm 9: Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit vom Biomasse-mischpreis
(Beispiel: Heizwerk 2)

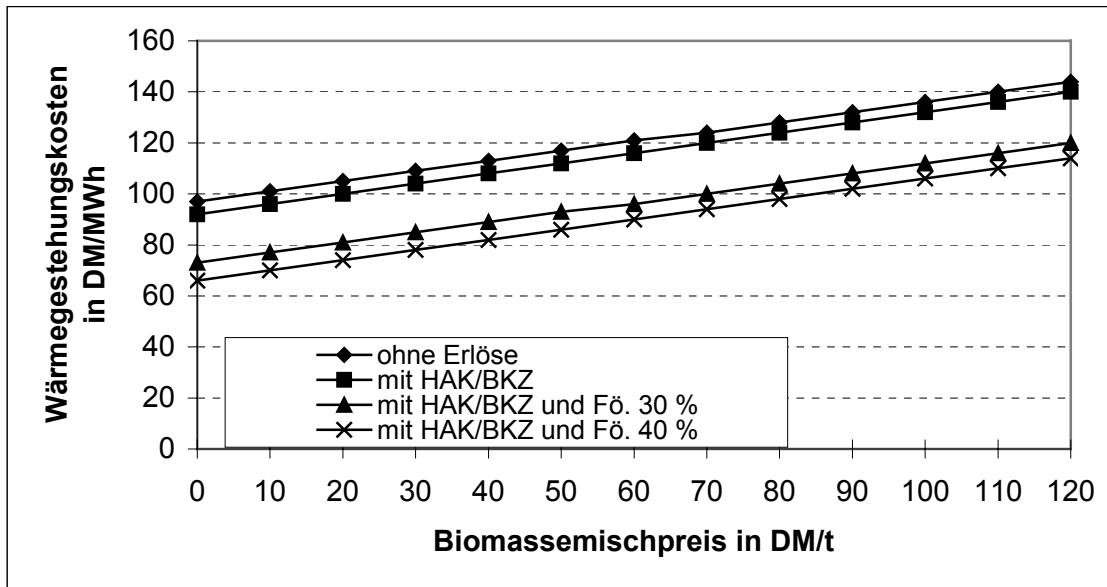
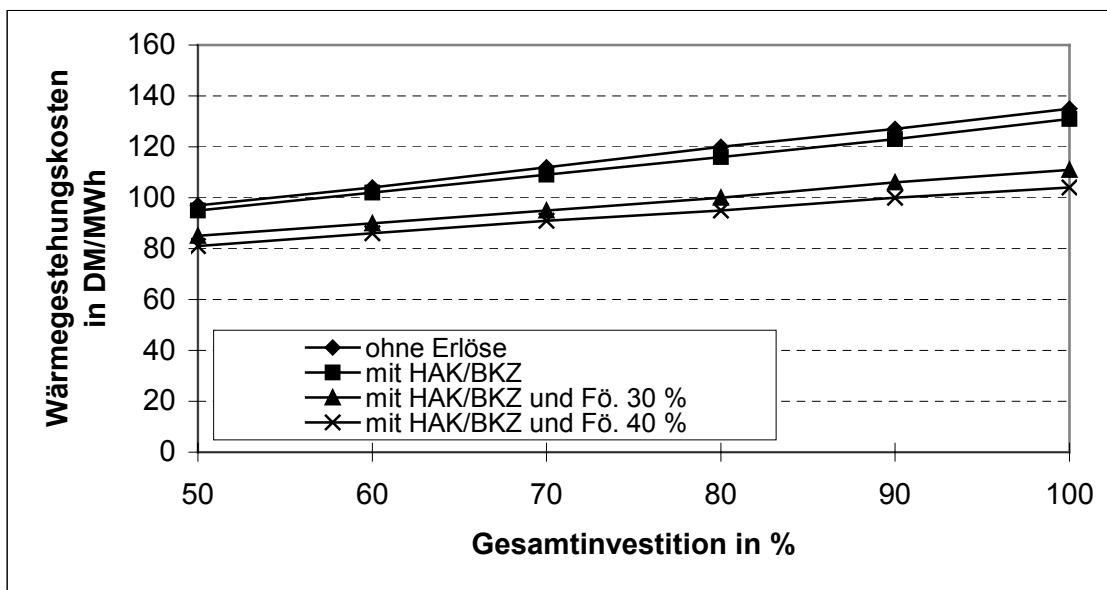


Diagramm 10: Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit von der Gesamtinvestition (Beispiel: Heizwerk 2)



Kritische Wärmebedarfsdichte

Bezüglich der kritischen Wärmebedarfsdichte (Untergrenze) konnte festgestellt werden, dass diese bei sieben Heizwerken, also bei 78 % der Anlagen, um 2 MWh/m gelegen hätte, wenn eine Förderung nicht erfolgt wäre (Variante 1), und bei zwei Heizwerken um 4 MWh/m. Durch die Förderung wurden diese Untergrenzen meist um 20 bis 30 % reduziert, so

dass bei den meisten Heizwerken eine Mindestwärmebedarfsdichte von etwa 1,5 MWh/m erforderlich gewesen wäre, um bei erfolgter Förderung und einem durchschnittlichen Wärmepreis von 100 DM/MWh noch einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb erzielen zu können.

Maximal zulässige spezifische Gesamtinvestition

Bezüglich der für einen durchschnittlichen Wärmepreis von 100 DM/MWh maximal zulässigen spezifischen Gesamtinvestition (= auf den Wärmeverbrauch bezogene Gesamtinvestition) ergaben sich ohne Förderung (Variante 1) bei fünf Projekten Werte um 400 DM/MWh, bei vier weiteren Heizwerken wären lediglich 100 DM/MWh zulässig gewesen. Bei letzteren handelte es sich ausschließlich um Projekte mit einer im Vergleich zur Gesamtinvestition sehr geringen Wärmeabnahme - vor allem um Heizwerke, bei denen das ursprünglich vorgesehene Wärmeverbrauchspotenzial noch nicht erschlossen werden konnte und die tatsächliche spezifische Gesamtinvestition zwischen 2.000 und 2.500 DM/MWh lag. Dies war stets dann der Fall, wenn Neubaugebiete versorgt wurden.

Die Förderung führte bei den meisten Heizwerken zu einer Erhöhung dieses Maximalwertes. Bei den „guten“ - gut ausgelasteten - Projekten war diese Erhöhung deutlicher ausgeprägt als bei den „schlechten“ - schlecht ausgelasteten - Projekten. Auffällig war, dass die o.g. „besonders schlechten“ Projekte, für die ohne Förderung nur ein Maximalwert von etwa 100 DM/MWh zulässig gewesen wäre, auch bei einer Förderung kaum eine wesentliche Erhöhung der zulässigen spezifischen Gesamtinvestition aufwiesen; sie lag nun um 120 DM/MWh. Bei den übrigen Heizwerken wären bei erfolgter Förderung maximal zwischen 500 und 750 DM/MWh zulässig gewesen. Lediglich in zwei Ausnahmefällen - es waren die einzigen Projekte, bei welchen ohne Förderung bereits Wärmegestehungskosten von weniger als 100 DM/MWh möglich gewesen wären - hätten auch spezifische Gesamtinvestitionen um 950 DM/MWh noch einen durchschnittlichen Wärmepreis von 100 DM/MWh zugelassen.

Auslastung

Die Auslastung der (Biomasse-)Anlage übt naturgemäß einen erheblichen Einfluss auf das wirtschaftliche Ergebnis eines Bioenergieprojekts aus, auf den maximal zulässigen Brennstoffpreis, auf die Höhe der maximal zulässigen Investitionen, auf den Fördermittelbedarf usw. Dies ist keine neue Erkenntnis und hat sich bei den untersuchten Anlagen auch bestätigt. Eine schwierige Fragestellung ist jedoch, welche Mindestauslastung (Jahresvolllaststunden) sinnvoller Weise erreicht werden sollte.

Hier hat sich bei der Mehrzahl der untersuchten Projekten gezeigt, dass

bei niedrigen Preisen für fossile Brennstoffe eine möglichst hohe Jahresvolllaststundenzahl anzustreben ist. Der Spitzenlastkessel kommt dann verstärkt zum Einsatz, und es wird mehr teurer fossiler Spitzenlastbrennstoff verbraucht. Dies kann auf Kosten der ökologischen Bilanz erfolgen und kann auch nur bis zu einem bestimmten Heizöl- oder Erdgaspreis empfohlen werden, dessen Höhe von weiteren anlagenspezifischen Parametern abhängt (z.B. mittlerer Wärmepreis).

3.3.9 Förderung

Den Biomasseheizwerken wurden auf dem Wege der Anteilsfinanzierung Investitionsförderungen als Anschubfinanzierung gewährt. Die Bewilligungsbescheide wurden in der Regel auf Basis der in den Machbarkeitsstudien getroffenen Annahmen erstellt. Die Bescheide der bayerischen Heizwerke wiesen u.a. Auflagen bezüglich des Brennstoffeinsatzes auf: Es musste ein Mindestanteil der Biomasse an der Wärmeerzeugung sowie ein Mindestanteil an Biomasse aus der heimischen Land- und Forstwirtschaft erzielt werden. Gleichzeitig wurde für diese Heizwerke eine vergleichsweise hohe Förderung auf sämtliche Anlagenteile gewährt, wohingegen bei den Heizwerken im übrigen Bundesgebiet zumeist nur die Investitionen der biomassespezifischen Anlagenteile bei nahezu „freier“ Brennstoffwahl (naturbelassener Brennstoff!) bezuschusst wurden.

Der Anteil der Förderung an der Investitionssumme lag bei allen Heizwerken in Bayern über 35 % und bei allen Heizwerken im übrigen Bundesgebiet unter 35 %. Wie unter Kap. 3.3.8.2 bereits dargelegt wurde, hatte die Förderung nur einen begrenzten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage; bei „schlechten“ Projekten war der Einfluss höher als bei „guten“ Projekten. Allerdings konnte bei den Heizwerken, die eine hohe Förderung (> 35 %) erfahren hatten, Folgendes beobachtet werden:

- Die Entscheidung für den Bau eines Biomasseheizwerks war möglicherweise leichter gefallen, da das Argument der besonders hohen Förderung bei der Entscheidungsfindung unterstützend hinzugezogen werden konnte.
- Eine hohe Förderung verleitete offensichtlich einige Investoren zu vergleichsweise hohen, eventuell nicht tragbaren Investitionen, nachdem vor allem bei diesen Projekten ein unausgewogenes Verhältnis von Investition und Wärmeabnahme festgestellt werden konnte.
- Es wurde verhältnismäßig viel in bauliche Maßnahmen investiert.
- Es wurde eine teure Heiztechnik eingebaut.

3.3.10 Ökologie

3.3.10.1 Ökologische Aspekte

Bei der Entscheidung für den Bau der Biomasseheizwerke stand nicht zuletzt auch der Umweltgedanke im Vordergrund. Im Rahmen der Evaluierung wurden einige ökologische Aspekte der Biomasseheizwerke betrachtet: Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen, Lärmemissionen, Belastungen durch Staub und Mikroorganismen, Schwermetalle in der Asche, Nährstoffentzug, Flächenverbrauch, energetische Effizienz.

3.3.10.2 Emissionen von Schadstoffen und Treibhausgasen

Die thermische Verwertung von Energieträgern ist mit Schadstoffemissionen verbunden. Lokale Emissionen entstehen durch die Verbrennung der Energieträger und belasten die nähere Umgebung des Heizwerks. Darüber hinaus treten Emissionen bei der Gewinnung, bei der Aufbereitung und beim Transport der Brennstoffe auf, die zusammen mit den lokalen Emissionen zu einer globalen Emissionsbelastung führen. Abhängig von Art und Herkunft der Energieträger, der Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnik sowie vom Nutzungsgrad der Wärmeerzeugung können sich die lokalen und globalen Schadstoffemissionen einzelner Energieumwandlungsprozesse erheblich voneinander unterscheiden.

Im Rahmen der Evaluierung wurden die lokalen und globalen Emissionen folgender Schadstoffe bei den Biomasseheizwerken für den jeweiligen Betrachtungszeitraum (Wirtschaftsjahr, Kalenderjahr) ermittelt: Kohlenmonoxid (CO), Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO₂) und Staub. Darüber hinaus wurden die Emissionen des treibhausrelevanten Kohlendioxid (CO₂) sowie die Beiträge von CH₄ und N₂O (berücksichtigt im CO₂-Äquivalent) untersucht. Mit den Ergebnissen wurde ein Vergleich der einzelnen Biomasseheizwerke durchgeführt und es konnten Rückschlüsse auf die Ursache von besonders hohen oder besonders geringen Emissionswerten gezogen werden. Des Weiteren wurden die ermittelten Werte mit den zulässigen Grenzwerten sowie mit den möglichen Emissionen einer Wärmeerzeugung mittels Heizöl und Erdgas verglichen. Die Bestimmung der Emissionswerte erfolgte mit dem Berechnungsprogramm GEMIS. Darüber hinaus lagen für mehrere Heizwerke Emissionsmessungen vor, die in die Untersuchung und Bewertung einbezogen wurden. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist in Tabelle 7 und Tabelle 8 aufgeführt.

Tabelle 7: Jährliche Mehremissionen (**lokale Emissionen**) durch 12 Biomasseheizwerke im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung mittels Heizöl EL und Erdgas H eines Vergleichsheizwerks (nach GEMIS)

Vergleichsbrennstoff („Vergleichsheizwerk“)	Mehrbelastung durch 12 Biomasseheizwerke in t/a				
	CO ₂ -Äquiv.	CO	NO _x	SO ₂	Staub
Heizöl EL	-138.479	+266	+62	+8	+68
Erdgas H	-98.070	+267	+8	+174	+70

Tabelle 8: Jährliche Mehremissionen (**Gesamtemissionen**) durch 12 Biomasseheizwerke im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung mittels Heizöl EL und Erdgas H eines Vergleichsheizwerks oder einer Zentralheizung (nach GEMIS)

Vergleichsbrennstoff	Mehrbelastung durch 12 Biomasseheizwerke in t/a					
	CO ₂ -Äquivalent	CO ₂	CO	NO _x	SO ₂	Staub
Heizöl EL (Heizwerk)	-147.000	-153.000	+265	+70	-49	+67
Heizöl EL (Zentralh.)	-101.000	-107.000	+239	+88	+11	+68
Erdgas H (Heizwerk)	-109.000	-102.000	+266	+56	+177	+74
Erdgas H (Zentralh.)	-73.000	-70.000	+246	+118	+179	+74

Damit wird deutlich, dass durch die Biomasseheizwerke im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung mittels fossiler Brennstoffe in erheblichem Maße klimarelevante Emissionen eingespart werden konnten. Allerdings war dies zumeist mit einer (wenn auch relativ geringfügigen) Erhöhung der Schadstoffemissionen (CO, NO_x, Staub, mitunter auch SO₂) verbunden. Bei einem Vergleich der Biomasseheizwerke mit fossil befeuerten Zentralheizungen machten sich insbesondere die Verluste der Wärmenetze zu Ungunsten der Biomasseheizwerke bemerkbar.

3.3.10.3 Lärmemissionen

Mehrere Geräuschquellen konnten im Zusammenhang mit den Biomasseheizwerken lokalisiert werden, z.B. Transportfahrzeuge, Ventilatoren, Wärmetauscherreinigungsvorrichtung. Grundsätzlich sind die Lärmemissionen durch die untersuchten Biomasseheizwerke jedoch eher gering und treten wenn überhaupt nur kurzzeitig auf. Beschwerden von Anliegern aufgrund von Ruhestörungen durch das Heizwerk konnten nicht festgestellt werden.

3.3.10.4 Staub und Mikroorganismen

Seit einiger Zeit stehen die möglichen gesundheitlichen Belastungen

durch den Umgang mit Holzhackschnitzeln im Biomasseheizwerk vermehrt zur Diskussion. Kritiker warnen vor der Gefahr durch Staub und Mikroorganismen (z.B. Pilzsporen, Bakterien), die aus dem über einen längeren Zeitraum eingelagerten Biomassebrennstoff aufgewirbelt und vom Menschen eingeatmet werden können. Dort könnten sie zu Reizungen, Allergien oder Atemwegserkrankungen führen, wenn eine langandauernde Einwirkung oder eine kurze, besonders starke Einwirkung erfolgen würde.

Bei den untersuchten Biomasseheizwerken konnte festgestellt werden, dass die darin beschäftigten Personen in der Regel nur kurzzeitig mit dem Material in Berührung kamen. Insbesondere beim Abkippen des Brennstoffs in den Bunker wurden größere Staubmengen aufgewirbelt. Darüber hinaus treten kurzzeitige Einwirkungen auf, wenn der Brennstoff mit einem Radlader in einer Lagerhalle umgeschlagen wird. Vom Wartungspersonal wurde der Umgang mit dem Hackgut nicht als Belastung empfunden. Für eventuelle Anlieger belief sich die Belastung durch die Lagerung und durch das Umschlagen des Hackguts auf einem Niveau, das sich kaum von üblichen Belastungen aus der Umgebung unterschied. Als belastend wurden von dem Wartungspersonal allerdings ungünstig gestaltete (z.B. undichte oder von Hand umzusetzende) Ascheentsorgungsvorrichtungen sowie die Reinigung der Biomassekessel von Hand benannt.

3.3.10.5 Schwermetalle in der Asche

Pflanzen sammeln Schadstoffe. Beispielsweise üben Baumkronen eine Filterwirkung auf die oberflächennahen Luftmassen aus. Die Bäume filtern im Laufe ihrer Lebenszeit erhebliche Schadstoffmengen aus der Luft und lagern sie in der Biomasse ein. Darüber hinaus werden Luftschadstoffe durch den Regen in den Boden und anschließend in die Pflanze transportiert. In der Biomasse erfolgt demnach eine Anreicherung von Schadstoffen, insbesondere von Schwermetallen. Diese Anreicherung steigt mit der Lebensdauer der Pflanze und der Schadstoffbelastung von Luft und Boden und hängt zudem von der Aufnahmefähigkeit der Pflanze ab. Bei der Verbrennung der Biomasse werden die Schadstoffe insbesondere in der Feinasche aufkonzentriert.

Bei einigen der untersuchten Biomasseheizwerken fanden sich sehr hohe Schwermetallgehalte in der Asche von Schwachholz und insbesondere bei Flurholz aus der Pflege von Straßenbegleitgrün. Bei Weizenstroh konnte ein eher geringer Schwermetallgehalt festgestellt werden. Durch die thermische Verwertung der Biomasse in Heizwerken kann demnach eine Separation der Schwermetalle aus der Umwelt erfolgen und die Anreicherung von Schadstoffen in Böden und Pflanzen vermindert werden, wenn die schadstoffreiche Flugasche getrennt von der Rostasche gesammelt, ent-

sorgt, deponiert und somit aus dem natürlichen Kreislauf ausgeschleust wird. Eine getrennte Entsorgung von Rost- und Flugasche wurde jedoch nur bei zwei der 12 untersuchten Biomasseheizwerke durchgeführt, so dass in der Praxis kaum von einer Schwermetallseparierung durch die Biomasseheizwerke ausgegangen werden kann.

3.3.10.6 Nährstoffentzug

Durch die stoffliche und energetische Nutzung von Biomasse werden den Böden am Entnahmeort Nährstoffe entzogen, da eine Einlagerung der Nährstoffe aus abgestorbenen Pflanzen in den Boden verhindert wird. Ein Ausgleich des Nährstoffentzuges wäre theoretisch durch die Wiederausbringung der Asche am Entnahmeort möglich, da die bei einer Verbrennung von Biomasse anfallende Asche einen beträchtlichen Nährstoffgehalt aufweist. In der Praxis ist diese Nährstoffrückführung über die Holzaschenausbringung jedoch meist nur schwer zu verwirklichen. Entnahme- und Ausbringungsort stimmen tatsächlich nur selten überein. Zudem spielen bei der Nährstoffrückführung auch der Zeitpunkt der Wiederausbringung und die Menge der wieder ausgebrachten Nährelemente eine wichtige Rolle. Deshalb lassen sich geringfügige Nährstoffverluste in der Praxis kaum vermeiden.

Bei zwei der 12 untersuchten Biomasseheizwerke lag eine Brennstoff- und Aschenanalyse vor, anhand derer die Nährstoffgehalte der eingesetzten Brennstoffe sowie der Aschefractionen dargestellt werden konnten. Bei neun der 12 untersuchten Biomasseheizwerke wurde die Asche auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht (z.B. als Beimischung zum Mist) und diente damit der Substitution von sonstigen Düngemitteln. Eine Rückführung der Nährstoffe an den Ort der Brennstoffgewinnung konnte nur beim Strohheizwerk festgestellt werden. Hier wurden sämtliche Aschefractionen auf den landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht, von denen das Stroh als Brennstoff geborgen worden war.

Allerdings muss in diesem Zusammenhang auch darauf hingewiesen werden, dass in Deutschland die rechtliche Situation bezüglich der Aschenausbringung noch weitgehend ungeklärt ist. Problematisch erscheinen insbesondere die Schwermetallgehalte in den Feinaschefractionen (vgl. Kap. 3.3.10.6). Des Weiteren führt die Untermischung von Holzaschen unter die Gülle in aller Regel zu einer ungünstigen Veränderung des pH-Wertes.

3.3.10.7 Flächenverbrauch

In Kap. 3.3.5 wurde bereits auf den Flächenverbrauch der Biomasseheizwerke durch die Errichtung von Gebäuden eingegangen. Demnach lag

die auf die installierte Nennleistung (Biomasse + Spitzenlastkessel) bezogene bebaute Fläche bei den untersuchten Heizwerken zumeist zwischen 50 und 200 m²/MW. Nur zwei Heizwerke wiesen einen deutlich höheren Flächenverbrauch mit Werten um 650 m²/MW auf, die auf sehr großzügige Baumaßnahmen mit besonders viel Leerraum zurückzuführen sind. Die Absolutwerte der bebauten Flächen lagen zwischen 80 m² und 1.200 m². Allerdings berücksichtigen diese Werte nur den Flächenverbrauch für Gebäude und nicht einen eventuellen zusätzlichen Flächenverbrauch für Zufahrtsstraßen und Freilagerplätze.

3.3.10.8 Energetische Effizienz

Ein weiteres ökologisches Kriterium ist die Ausnutzung der eingebrachten Brennstoffe durch die vorhandene Heiztechnik und durch die Wärmeverteilereinrichtungen. Für die vorgefundenen Biomassekessel konnten Nutzungsgrade zwischen 66 und 92 % im Betrachtungszeitraum ermittelt werden, wobei hauptsächlich Werte um 80 % vorgefunden werden konnten (siehe auch Kap. 3.3.4.3). Bei den Spitzenlastaggregaten lagen sie zwischen 78 und 86 %. Die Nutzungsgrade der Wärmenetze lagen je nach Abnehmerstruktur zwischen 63 und 97 %. Für das Gesamtsystem aus Wärmezeugung und Wärmeverteilung errechneten sich Jahresnutzungsgrade zwischen 43 und 79 %.

Deutlich wurde vor allem der erhebliche Einfluss einer mehr oder weniger guten Wärmebedarfsermittlung und der Entwicklung der Wärmeabnahme. So konnten besonders niedrige Nutzungsgrade der Wärmeverteilung und des Gesamtsystems bei den Heizwerken festgestellt werden, die zahlreiche kleine, meist private Abnehmer (z.B. Wohnsiedlung, Neubaugebiet) versorgten, insbesondere wenn ein sehr umfangreiches Versorgungsgebiet mit z.T. schleppender Anschlusswilligkeit und einer entsprechenden Überdimensionierung der Wärmezeuger oder Wärmeverteilereinrichtungen vorlag. Hohe Werte ergaben sich für gut kalkulierbare Projekte mit kurzen Wärmenetzen bei vergleichsweise hohen jährlichen Wärmeverbräuchen (z.B. Schulzentrum). Die Brennstoffverluste, die möglicherweise beim Umschlagen des Brennstoffs auftraten, konnten als besonders geringfügig erkannt und vernachlässigt werden.

Der Energieaufwand für Gewinnung, Aufbereitung und Bereitstellung lag bei den vorgefundenen Biomassebrennstoffen (Waldhackgut und Stroh aus der Region um das Heizwerk; Industrierestholz aus der Region oder aus weiteren Entfernungen) um ein Vielfaches unter dem Aufwand, der für die Bereitstellung von Erdgas oder Heizöl erforderlich gewesen wäre. Bei Waldhackgut, Stroh und Industrierestholz lag er jeweils unter 1 %, wohingegen für die Bereitstellung von Erdgas und Heizöl rund 10 % bzw.

rund 12 % erforderlich gewesen wären.

4 Diskussion

4.1 Entstehung der Biomasseheizwerke

Eine besonders wichtige Funktion bei der Entstehung eines Biomasseheizwerks kommt offensichtlich dem Initiator zu. Von seinem Engagement und von seinem Durchhaltevermögen hängt es im Wesentlichen ab, ob die Idee in ein konkretes Vorhaben umgesetzt und dieses Vorhaben schließlich realisiert wird oder schon beim ersten größeren Problem wieder aufgegeben wird. Wichtig ist, dass der Initiator eine Unterstützung erfährt. Wenn viele verschiedene Wärmekunden gewonnen werden sollen und die Wärmeleitungen vorwiegend in öffentlichem Grund verlegt werden müssen, scheint der Rückhalt durch die Gemeinde oder durch die Stadt, in der das Projekt realisiert werden soll, eine unabdingbare Voraussetzung zu sein. Auffällig ist allerdings, dass nur drei der Biomasseheizwerke in einem an das Erdgasverbundnetz angeschlossenen Gebiet realisiert worden sind.

Bezüglich des Zeitraums, der für die Realisierung des Heizwerks erforderlich ist, ist aufgefallen, dass allein für die Zeitspanne vom Vorliegen der Machbarkeitsstudie bis zur Abnahme der Anlage etwa zwei Jahre zu veranschlagen sind. Geringere Zeiträume sind lediglich bei sehr einfachen Abnehmerstrukturen und optimaler Abstimmung aller Beteiligte zu erwarten, z.B. wenn es das zweite Biomasseheizwerk im gleichen Ort ist. Unbefriedigend ist die große Anzahl der Verbesserungen, die nachträglich an den Anlagen durchgeführt werden mussten und die in einigen Fällen sogar den Austausch des Biomassekessels umfasst haben. Gezielte Qualitätssicherungsmaßnahmen hätten wohl in den meisten Fällen zu einer Vermeidung solch zeitintensiver, kostenmehrender und vor allem auch image-schädigender Anlaufschwierigkeiten beitragen können. Von daher scheint es besonders wichtig zu sein, dass bei zukünftigen Projekten gerade auf die Qualitätssicherung und auf eine systematische Optimierung wesentlich mehr Wert gelegt wird.

Allerdings darf auch davon ausgegangen werden, dass die Anlagen mittlerweile einen wesentlich höheren technischen Standard erreicht haben. Erhebliche technische Probleme, wie sie bei den ersten Biomasseheizwerken durchaus aufgetreten sind, sollten bei neueren „Standardheizwerken“ nicht mehr vorkommen. Von nicht immer kalkulierbarem Einfluss sind jedoch die höchst unterschiedlichen Brennstoffqualitäten, die nach wie vor zu Störungen sehr unterschiedlichen Ausmaßes an den Brennstofftransporteinrichtungen und im Bereich der Wärmeerzeugung führen können. Diesem Problem sollte in Zukunft noch mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden als bisher: Anlage und Brennstoff müssen bestmöglich aufeinander

abgestimmt werden, wozu auch vertragliche Vorgaben und das Einholen von Garantien dienen können.

4.2 Organisation der Biomasseheizwerke

Es hat sich gezeigt, dass bei der Wahl einer geeigneten Rechtsform für die Investoren- bzw. Betreibergesellschaft zahlreiche Entscheidungskriterien zu berücksichtigen sind. Soll eine Initiatorengesellschaft gegründet werden, bietet sich möglicherweise die Gründung einer Gesellschaft des bürgerlichen Rechts (GbR) an. Sobald konkrete Schritte eingeleitet werden müssen (z.B. Vergabe von Planungsleistungen, Bau der Anlage), kann beispielsweise die Gründung einer GmbH oder einer GmbH & Co. KG vorgenommen werden. Contractingmodelle können eine sinnvolle Alternative zu herkömmlichen Betreibermodellen sein. Allerdings scheint es von Vorteil zu sein, wenn ein Contractor gefunden wird, der mit den Besonderheiten vertraut ist, die bei der Realisierung eines Biomasseheizwerks beachtet und bewältigt werden müssen. Durch einen erfahrenen Contractor lassen sich die Investitionen möglicherweise reduzieren, wohingegen die Betriebskosten gegenüber herkömmlichen Modellen steigen können.

Der Personalaufwand hängt im Wesentlichen von der Art und der Menge der einzusetzenden Biomassebrennstoffe ab, von der Anzahl der zu betreuenden Brennstofflieferanten und deren Lieferrhythmus sowie von der Anzahl der zu betreuenden Wärmekunden. Das Aufgabenpensum wird gerne unterschätzt. Allerdings lassen sich in diesen drei Bereichen mitunter auch nachträglich noch Optimierungsmaßnahmen im Hinblick auf eine Reduzierung des Personalaufwandes durchführen. Ein vierter wesentlicher Aufgabenblock ist die Wartung und Instandhaltung der Anlage, deren Umfang insbesondere durch die Auswahl geeigneter Anlagenkomponenten (Qualitätssicherung!) und durch die Einführung eines geeigneten Störungsmanagements (z.B. Unterscheidung in kritische und nicht kritische Störungen) bestimmt und möglicherweise reduziert werden kann. Zudem darf der Aufwand für die Öffentlichkeitsarbeit nicht unterschätzt werden.

4.3 Biomassebereitstellung

Bezüglich der Brennstoffbeschaffung ist aufgefallen, dass bei den Heizwerken in Bayern ein relativ hoher Anteil an Waldhackschnitzeln verwendet wurde und auch die weiteren Biomassebrennstoffe (z.B. Sägerestholz) gerne aus der unmittelbaren Umgebung bezogen wurden. Bei den Heizwerken im übrigen Bundesgebiet war dahingegen in der Regel das günstigste Brennstoffangebot entscheidend für die Wahl des Lieferanten, was aber mitunter zu sehr großen Transportentfernungen geführt hat. Zudem wurden außerhalb Bayerns lediglich in solchen Fällen überwiegend

oder ausschließlich Waldhackschnitzel eingesetzt, bei den Land- und Forstwirte die Initiatoren und Betreiber der Heizwerke waren.

Demnach spiegelt sich in der Herkunft des Biomassebrennstoffs zumeist auch die Herkunft der Initiatoren und/oder Betreiber wider. Bei „freier“ Brennstoffwahl wird möglichst einfach zu beziehende und möglichst günstige Biomasse verwendet: Der Sägewerksbetreiber nimmt Sägerestholz, der Waldbauer greift vorwiegend auf Waldhackgut zurück, alle anderen kaufen Restholz von Restholzhändlern zu. In Bayern hatte die Förderung, die einen Mindestanteil an Waldholz voraussetzte, einen besonderen Einfluss auf den verwendeten Biomassebrennstoff und auf die Struktur der Heizwerksbetreiber; hier fanden sich vorwiegend bäuerlich geprägte Initiatoren- und Betreibergesellschaften sowie ein entsprechend hoher Anteil an Waldhackschnitzeln.

So unterschiedlich wie die verwendeten Biomassebrennstofffraktionen waren, so unterschiedlich waren auch die Brennstoffpreise: Waldhackschnitzel führten zumeist zu hohen Preisen, Industrierestholz zu mittleren und Flurholz zu niedrigen Preisen bei allerdings sehr geringer Brennstoffqualität. Dass bei Waldhackschnitzeln in Einzelfällen auch mittlere sowie überdurchschnittlich hohe Vergütungen angetroffen wurden, lag meist an den Betreibern der Heizwerke, die bei diesen Anlagen ihre eigenen Brennstofflieferanten waren und je nach wirtschaftlicher Situation des Heizwerks ihre eigenen Brennstoffpreise hinauf- oder herabsetzen konnten. Eine vergleichbare Flexibilität fand sich bei den übrigen Betreibergesellschaften nicht. Dennoch: Die meisten Waldhackschnitzellieferanten beklagten die geringen, nicht oder kaum kostendeckenden Preise, deren Höhe nach Ansicht der Lieferanten wenig Anreiz zur Biomasselieferung geboten haben.

Auch die Lagerung der Biomasse am Heizwerk fiel höchst unterschiedlich aus. Ausschlaggebend für die Gestaltung des Lagers war in den meisten Fällen jedoch offensichtlich nicht der Brennstoff, sondern eher die Bebauungsmöglichkeit, insbesondere die vorhandenen Platzverhältnisse. War genügend Platz vorhanden, wurden große Lager geschaffen, herrschten beengte Verhältnisse vor, so musste man sich mit geringeren Lagerkapazitäten begnügen. An zweiter Stelle standen die finanziellen Verhältnisse (z.B. eine hohe oder niedrige Förderung) sowie psychologische Aspekte (Witterungsschutz, Schutz vor unbefugtem Zugriff, mögliche optische Beeinträchtigung der Umgebung).

Erst an sehr später Stelle fand bei überraschend vielen Projekten der Brennstoff und dessen Eigenschaften Einfluss in die Gestaltung der Lagerung. In dieser wenig auf den Brennstoff ausgerichteten Rangordnung der Planungsvorgaben scheint auch die Ursache für die meisten der mitt-

lerweile im Bereich von Lagerung, Logistik sowie bei der Biomasetechnik aufgetretenen Mängel zu liegen: Fehlplanungen ergaben sich immer dann, wenn die Lagerart nicht an die individuell vorhandenen logistischen Voraussetzungen und wenn die Technik nicht an die besonderen Eigenschaften des verwendeten Brennstoffs angepasst war - vor allem, wenn man bei der Planung von einem Standardbrennstoff ausgegangen war und schließlich beim Betrieb des Heizwerks auf eine völlig andere Brennstoffqualität zurückgreifen musste. In entsprechend vielen Fällen wurde die Ausführung von Lagerhallen und Lagerbunkern vom Wartungspersonal und von den Brennstofflieferanten als mangelhaft empfunden.

In diesem Zusammenhang kann ein weiterer deutlicher Mangel festgestellt werden: Bei überraschend wenig Heizwerken wurde eine Qualitätskontrolle beim Bezug des Biomassebrennstoffs durchgeführt. Lediglich vereinzelt erfolgte eine Gewichts- oder Wassergehaltsbestimmung oder es wurde in unregelmäßigen Abständen eine kurze Inaugenscheinnahme vorgenommen. Ein Grund für die geringe Beachtung der Brennstoffqualität war sicherlich der damit verbundene erhöhte Aufwand bei der Brennstoffentgegennahme. Leider musste in mehreren Fällen aber auch festgestellt werden, dass Betreiber und Wartungspersonal schlichtweg kaum Kenntnisse über die Zusammenhänge zwischen Brennstoffqualität, Lagerung und Verbrennung besaßen und deshalb beim Brennstoffeinkauf eher auf den Preis als auf die Qualität bedacht waren. Einzig wenn eine Feuerungsanlage bedient werden musste, die nur ein sehr geringes Toleranzband bezüglich der einzusetzenden Brennstoffqualitäten zuließ, waren die Betreiber gezwungen gewesen, die geeignete Brennstoffqualität durch einen relativ langwierigen Experimentierprozess und unter Eingehung mehrerer Kompromisse einzugrenzen und entsprechende Vorgaben an die Brennstofflieferanten weiterzugeben.

Als ein Sonderfall ist das Strohheizwerk zu betrachten. Bei diesem ist zunächst aufgefallen, dass der mittlere Biomassebrennstoffpreis mit 23 DM/MWh weder besonders hoch noch besonders niedrig lag. Allerdings hatte man bereits nach dem ersten Betriebsjahr festgestellt, dass im Hinblick auf eine optimale thermische Verwertung und möglichst geringer Lagerverluste besonders hohe Anforderungen an die Brennstoffqualität (Wassergehalt, Ballengröße) zu stellen sind. Auch die Lagerung war nicht unproblematisch, da besonders umfangreiche Lagerräume notwendig waren. Eine ganz erhebliche Schwierigkeit stellte jedoch die bedarfsgerechte Biomassebeschaffung dar. Stroh fällt nur einmal im Jahr an, der Vorrat muss dann über ein Jahr vorhalten - wofür entsprechend große Lagerkapazitäten zu schaffen sind -, und das Stroh lässt sich bei einer sog. Zigarrenfeuerung nicht durch einen anderweitigen biogenen Brennstoff

ersetzen. Ist der Strohvorrat vorzeitig aufgebraucht, muss mit teurem fossilen Spitzenlastbrennstoff geheizt werden. Mit Holzhackschnitzeln betriebene Heizwerke haben hier deutliche Vorteile. Bei diesen Anlagen kann wahlweise z.B. auf Waldhackgut, Industrierestholz oder Flurholz zurückgegriffen werden, und auch die Lagerung am Gewinnungs- oder Aufbereitungsort (z.B. im oder am Wald) ist zumeist ohne größere Probleme möglich.

Bezüglich der Aschemengen ließ sich - soweit die Mengen noch nachvollzogen werden konnten - eine sehr gute Übereinstimmung mit den Literaturwerten feststellen. Wenn nicht z.B. behördliche Auflagen dagegen sprechen (Luftkurorte!), stellt die Verwertung der Aschen als Düngerersatz auf landwirtschaftlichen Flächen offensichtlich die gängige Praxis dar. Eine bei der Untermischung zur Gülle allerdings oft übersehene Problematik ist die Beeinflussung des pH-Wertes der Gülle. Die Rücknahme der Asche (Mengen, Entsorgungswege, Auflagen usw.) sollte frühzeitig geklärt und eventuell sogar vertraglich festgehalten werden.

4.4 Anlagentechnik

4.4.1 Nachbesserungsaufwand

Nach Aussage aller Betreiber lieferten die untersuchten Heizwerke sehr zuverlässig Wärme an die Abnehmer. In vielen Fällen waren jedoch Nachbesserungen an den technischen Anlagenteilen erforderlich gewesen, insbesondere im Bereich der Biomassekessel (Feststofffeuerungen!), aber auch bei der Biomasselagerung und der übergeordneten MSR-Technik. Nur in Einzelfällen wurden nachträglich ergänzende Maßnahmen an der Wärmeverteilung durchgeführt. Der Kundenanlage und ihrer Einbindung wurde kaum Beachtung geschenkt, außer wenn durch eine fehlerhafte Auslegung der Kundenanlage der Betrieb des Heizwerks besonders negativ beeinflusst worden war oder die Betreuung der Kundenanlage zu den Aufgaben des Heizwarts gehörte.

Auffällig ist der sehr unterschiedlich hohe Aufwand für die Nachbesserungsmaßnahmen und die Tatsache, dass der Anlass für Ergänzungen und Optimierungen an den Anlagen meist nicht nur Materialermüdungen waren, sondern mehrfach auch Konstruktions- und Auslegungsfehler. Häufige Nachbesserungen oder gar ein kompletter Kesseltausch belasten aber das Vertrauen in die Technik. Besonders wichtig erscheint es deshalb, dass die Fehler nicht nur erkannt und behoben werden, sondern dass die Erfahrungen aus diesen Fehlern in eine laufende und systematische Optimierung der Anlagen münden.

4.4.2 Einfluss der Brennstoffqualität

Unter 4.3 wurde bereits auf die Problematik einer fehlenden Qualitätssicherung beim Biomassebezug hingewiesen. Offensichtlich beruhten zahlreiche Störungen und Schäden bei den untersuchten Biomasseanlagen darauf, dass man auf eine rechtzeitige Benennung von Qualitätsanforderungen verzichtet hatte. So wurde bei der Planung in aller Regel von einem Standardbrennstoff ausgegangen, in der Praxis führten dann Übergrößen, Feinanteile, unterschiedliche Wassergehalte u.ä. zu Betriebsstörungen und Schäden an verschiedenen Bauteilen. Typische Beispiele sind

- Brückenbildungen durch zu große Hackschnitzel oder lange Spreissel,
- Rinde, die sich um eine Schecke gewickelt hat,
- größere Teile, die die Lichtschränke gesperrt haben,
- Feinstaub, der Lagerschäden verursacht hat,
- Pfropfenbildung und die Bildung senkrechter Wände im Brennstoffsystem,
- unerwartet hohe Belastung des Austragungssystems,
- versagende Lichtschränke,
- problematischer Schwachlastbetrieb.

Ein erhöhter Verschleiß der Anlage, Leistungsmangel, erhöhte Schadstoffemissionen und einige Totalausfälle konnten in vielen Fällen auf inhomogene und qualitativ minderwertige Brennstoffe zurückgeführt werden. Es erscheint deshalb besonders wichtig, dass beim Brennstoffbezug verstärkt auf die Qualität geachtet wird. Brennstoff und Anlage müssen aufeinander abgestimmt werden. Die Mindestanforderungen an den Brennstoff sind vom Anlagenhersteller zu benennen und müssen mit dem Brennstofflieferanten vertraglich abgesichert werden.

4.4.3 Störungen und Schäden bei einzelnen Anlagenteilen

4.4.3.1 Brennstofftransporteinrichtungen

Zu den anfälligsten Bauteilen der untersuchten Biomasseheizwerke zählte das Brennstofftransportsystem. Hier wurden je nach Positionierung von Brennstofflager und Wärmeerzeuger sehr vielfältige individuelle Lösungen realisiert, und mindestens ebenso vielfältig waren die nachträglichen Optimierungsversuche.

In den meisten Fällen konnten bezüglich der Anordnung und Ausführung von Schnecken, Kratzkettenförderern, Fallschächten u.ä. deutliche Abweichungen von den Planskizzen festgestellt werden. Von den Betreibern wurde mitgeteilt, dass den Transportsystemen in der Mehrzahl der Fälle zunächst relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt worden ist und man während der Installation dann zu zahlreichen Änderungen aus dem Stegreif gezwungen war (typisches Beispiel: Anbringung und Ausrichtung der Sensoren). Da ein kleiner Ausfall am Transportsystem üblicherweise den Stillstand der gesamten Biomasseteknik verursacht, hatte man bei zwei Anlagen die Transportstränge sogar doppelt installiert, um im Notfall ein redundantes System zur Verfügung zu haben. Darüber hinaus waren bei einigen Heizwerken reversierbare Schnecken installiert worden.

Diese vielfältigen, individuellen und bei jeder Anlage neu erdachten Lösungen sind es offensichtlich aber auch, die bei den Transporteinrichtungen eine von Anlage zu Anlage stetig fortschreitende Optimierung im Hinblick auf eine geringere Störanfälligkeit behindern. Bei der Erstellung der Brennstofftransporteinrichtungen bedarf es deshalb verstärkt einer besonders guten Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller (meist Kesselhersteller), dem Planer und der ausführenden Firma. Die Hersteller sollten klare Vorgaben nennen können, und es sollten entsprechende Garantien eingeholt werden.

4.4.3.2 Wärmerezeuger

Bei einigen Heizwerken war die Qualität der Biomassekessel noch nicht überzeugend. Einzelne Bauteile wiesen überraschend geringe Standzeiten auf (z.B. Schamottierung, Rost, Schneckenlager und Schneckenröge). Bei mehreren Biomassekesseln wurde über geringe Reisezeiten, über eine schlechte Ausbrandqualität und über eine geringe Wartungsfreundlichkeit geklagt. Mitunter konnten auch schon nach einer relativ kurzen Betriebszeit Undichtigkeiten der Feuerung und damit verbundener Falschluffeintritt festgestellt werden.

Zwar lassen neuere Anlagen einen etwas höheren Qualitätsstandard erwarten, als es bei den untersuchten Anlagen aus der Mitte der 1990er Jahre der Fall war, dennoch erscheint auch für die Wärmerezeuger die Einführung geeigneter Qualitätssicherungsmaßnahmen zwingend erforderlich. Diese Maßnahmen dürfen allerdings nicht zu einer zusätzlichen Kostenbelastung führen, sondern sie sollten viel mehr ein mögliches Mittel zur Aufwand- und Kostenreduzierung sein.

Ähnliches gilt offensichtlich für die Rauchgasreinigungstechnik und die MSR-Technik. Die Effektivität mehrerer Entstaubungs- und Entstickungssysteme war geringer als erwartet. Dies konnte insbesondere auf Probleme

im Bereich der Feuerung (Luftzuführung, Temperaturen, unruhige Feuerführung u.ä.), auf kurzzeitig auftretende Störungen (z.B. Online-Kesselreinigungssysteme) sowie auf eine ungleichmäßige Rauchgasführung und falsch dimensionierte Reinigungsanlagen (Teillastbetrieb!) zurückgeführt werden. Darüber hinaus waren Schäden an Gewebefiltern durch zu hohe Rauchgastemperaturen und Funkenflug entstanden. Die MSR-Technik hat aufgrund verschiedener Ursachen entweder falsch gearbeitet (z.B. überdimensionierte Wärmemengenzähler, ungünstig angebrachte Temperaturfühler, Staubbelastung in den Schaltschränken), war falsch eingestellt oder arbeitete einfach zu wenig flexibel.

4.4.3.3 Wärmeverteilung

Obwohl es sich bei den Nah- und Fernwärmenetzen nicht um Neuentwicklungen gehandelt hat, konnten auch in diesem Bereich zahlreiche Fehler registriert werden. Möglicherweise falsch gewählte Kenngrößen (Gleichzeitigkeitsfaktor, Rohrrauigkeit), eine fehlerhafte Auswahl und Auslegung der Rohrleitungen und der Netzpumpen (regelmäßig traten hier Überdimensionierungen auf, so dass die Pumpen die überwiegende Zeit in Teillast betrieben wurden), Bypässe und fehlerhafte oder ungünstig ausgelegte Sekundärkreisläufe haben eine geringe energetische Effizienz der Gesamtsysteme und einen hohen Hilfsenergieverbrauch der Netzpumpen verursacht. Häufigste Ursache für Dimensionierungsfehler war allerdings die unsichere - meist zu geringe - Wärmeabnahme.

4.5 Investitionen

Erwartungsgemäß lagen die Gesamtinvestitionen bei den meisten Biomasseheizwerken auf einem vergleichsweise hohen Niveau. Dies wird besonders deutlich, wenn man sich die Versorgung der Siedlungen (Baubestand und/oder Neubaugebiete) betrachtet: Würden bei diesen Projekten alle Investitionen (Heiztechnik, Heizhaus, Lagerraum und Netz) auf die Abnehmer umgelegt werden, so ergäben sich Beträge zwischen knapp 40.000 DM pro Abnehmer bei optimaler Abnehmerentwicklung und knapp 100.000 DM pro Abnehmer bei schleppender Abnehmerentwicklung, insbesondere bei Neubaugebieten mit zögerlicher Aufsiedelung und/oder bei besonders energiesparender Bauweise. Diese Beträge liegen weit über dem, was für eine Einzelbeheizung der Objekte (Zentralheizung, Heizungs- und Lagerraum, Schornstein) erforderlich wäre.

Allerdings fanden sich auch einige Projekte, bei welchen zumindest ansatzweise eine Bereitschaft zur Verwirklichung einer kostengünstigen Lösung sowie einer dem Wärmebedarf und der Auslastung gerecht werdenden Ausführung des Heizwerks zu erkennen war. Dies waren allerdings

vorwiegend Projekte, bei welchen wenige Großabnehmer (z.B. Schulzentrum, Pflegeheim) versorgt wurden und eine relativ hohe Kalkulations-sicherheit gegeben war. Lediglich drei Heizwerke waren ausgesprochen teuer realisiert worden und wiesen auch im Hinblick auf den Wärmeverkauf und die Auslastung eher ungerechtfertigt hohe Investitionen auf. Hierbei handelte es sich ausnahmslos um Projekte, bei welchen nicht nur eine grundsätzlich geringe Bereitschaft zu Kosteneinsparungen festgestellt werden konnte, sondern bei denen zudem auch noch die Wärmeabnahme weit hinter der ursprünglich prognostizierten Zahl zurückgeblieben war - häufig waren Neubaugebiete zu versorgen.

Bezüglich der Heizzentralen fällt auf, dass die monovalenten Anlagen mit Unterschubfeuerungen in ihrer Anschaffung nicht teurer waren als die bivalenten Anlagen mit einer Biomasse-Rostfeuerung und einem Öl- oder Gas-Spitzenlastkessel. Darüber hinaus ist aufgefallen, dass die Kostendegressionseffekte im unteren Leistungsbereich zunehmend geringer werden. Bei den baulichen Anlagenteilen wird deutlich, dass als Tiefbauten ausgeführte Lager (Lagerbunker) in der Regel deutlich teurer waren als Hochbauten (z.B. Lagerhalle) mit vergleichbarer Lagerkapazität. Die günstigste Variante war jedoch ein als kleiner Hochbau (z.B. in Hanglage) errichteter Lagerbunker. Auch kann der Umbau eines vorhandenen Heizraums deutlich teurer sein als der Neubau. Das sehr uneinheitliche Bild, das die Investitionen der Verteilanlagen abgaben, resultiert hauptsächlich aus den sehr unterschiedlichen Verlegebedingungen sowie aus unterschiedlichen Anteilen der Hausanschlüsse am Gesamtnetz.

Der Vergleich von Planung und Realisierung führt zu dem Ergebnis, dass bei fast allen betrachteten Biomasseheizwerken deutlich höhere Investitionen im Vergleich zur Planung angefallen sind. Lediglich bei den Wärmenetzen konnten in Einzelfällen deutliche Einsparungen festgestellt werden. Diese mussten jedoch meist darauf zurückgeführt werden, dass im Vergleich zur Planung nur ein sehr geringes Anschließerpotenzial mobilisiert werden konnte. Bei der Betrachtung der Finanzierung fällt bei der Förderung eine klare Trennungslinie zwischen den Biomasseheizwerken in Bayern und den Biomasseheizwerken im übrigen Bundesgebiet auf. Alle betrachteten Heizwerke in Bayern haben eine Investitionsförderung erhalten, die über 35 % der jeweiligen Gesamtinvestition lag, alle übrigen Heizwerke wurden mit einer Investitionsförderung bedacht, die unter 35 % der Gesamtinvestition lag.

4.6 Ökonomie

Den größten Einfluss auf die Höhe der Wärmegestehungskosten hatten die spezifischen kapitalgebundenen Kosten; diese verursachten in der Re-

gel um 70 % der Wärmegestehungskosten. Demgegenüber waren die spezifischen verbrauchsgebundenen, betriebsgebundenen und sonstigen Kosten eher von untergeordneter Bedeutung. Daraus folgt, dass zur Reduzierung der Wärmegestehungskosten bereits bei der Realisierung des Biomasseheizwerks auf eine möglichst hohe Auslastung sowie möglichst geringe Investitionen geachtet werden muss; eine nachträgliche Kostenreduzierung bei Brennstoff und Personal ist meist nicht mehr zielführend. Die Förderung hatte lediglich bei besonders „schlechten“ Projekten mit geringer Auslastung einen deutlichen Einfluss auf die Höhe der spezifischen kapitalgebundenen Kosten und auf ihren Anteil an den Wärmegestehungskosten.

Nachdem die Länge des Wärmenetzes und die damit verbundenen Investitionen in aller Regel durch die jeweilige Abnehmerstruktur vorgegeben ist, müssen sich Investitionsminderungen wohl auf die baulichen Anlagenteile sowie auf die Heiztechnik beschränken. Dies lässt den Schluss zu, dass Biomasseheizwerke bei den derzeitigen Rahmenbedingungen lediglich für die Versorgung solcher Abnehmerstrukturen besonders gut geeignet sind, die möglichst geringe spezifische Kapitalkosten des Wärmenetzes erlauben. Liegen die Netzkosten höher, so muss im Gegenzug je nach Höhe des erzielbaren Wärmepreises insbesondere bei den baulichen Anlagenteilen und der Heiztechnik wieder entsprechend gespart werden. Im Regelfall werden derzeit Wärmepreise von nicht mehr als 100 DM/MWh von den Wärmekunden akzeptiert. Nur in Einzelfällen können den Abnehmern auch höhere Preise vermittelt werden (z.B. bei einem Vergleich der Absolutkosten).

In der Vergangenheit wurden diese Zusammenhänge bei der Realisierung der Biomasseheizwerke oft missachtet. So konnten bei mehreren der 12 untersuchten Biomasseheizwerke erhebliche wirtschaftliche Defizite festgestellt werden, die auf ein unausgewogenes Verhältnis zwischen der Höhe der Investitionen, dem Jahreswärmebedarf bei den Verbrauchern und dem durchschnittlichen Wärmepreis zurückzuführen waren und regelmäßig in Verbindung mit einer zu geringen Auslastung der Biomasseanlage sowie der Gesamtanlage infolge Überdimensionierung auftraten. Zusätzlich ergab sich das Problem, dass bei den meisten Projekten höhere Kosten als geplant entstanden waren. Hier scheint nicht zuletzt auch die Förderung eine gewichtige Rolle gespielt zu haben, denn offensichtlich hat eine hohe Förderung eher zu einer leichtfertigen Überhöhung der Investitionen geführt als eine niedrige Förderung. Eine niedrige Förderung scheint von vornherein einen gewissen Zwang zum Sparen ausgeübt zu haben. Von daher erscheint die Vorgabe von Kennwerten gerade im Bereich der Investitionen in Verbindung mit der Forderung nach einer nicht zu niedrigen Auslastung der Biomasseanlage ein wichtiges Mittel, um

wirtschaftliche Defizite bei zukünftigen Projekten zu vermeiden.

4.7 Ökologie

Die Ergebnisse der ökologischen Analyse zeigen, dass Biomasseheizwerke im Vergleich zu einer Wärmebereitstellung auf Basis fossiler Brennstoffe insbesondere bei den klimarelevanten Emissionen zu einer deutlichen Entlastung beitragen. Bei den Schadstoffen CO, NO_x, SO₂ und Staub treten jedoch Mehrbelastungen auf. Die Höhe der Einsparungen bzw. Mehrbelastungen ist von zahlreichen Faktoren abhängig, unter anderem von der eingesetzten Verbrennungs- und Rauchgasreinigungstechnik sowie vom Nutzungsgrad der Anlage.

Ein beinahe charakteristischer Unterschied des Gesamtnutzungsgrades konnte zwischen Abnehmern mit hohem Wärmebedarf auf engstem Raum und sehr weitläufigen Abnehmerstrukturen festgestellt werden. Auffällig ist zudem der Unterschied zwischen Abnehmern, die zum Zeitpunkt der Realisierung des Biomasseheizwerks bereits bestanden hatten, und Neubauten, bei welchen eine Abschätzung des Wärme(leistungs)bedarfes durchgeführt werden musste. Bei letzteren ist es bei Wärmeerzeugern und Wärmeverteilereinrichtungen zu erheblichen Überdimensionierungen gekommen, vor allem, wenn nicht nur einzelne Neubauten zu versorgen waren, sondern ganze Neubaugebiete.

Es ist von daher kaum überraschend, dass eine besonders geringe energetische Effizienz des Gesamtsystems regelmäßig bei den Anlagen zur Versorgung von Wohngebieten festgestellt werden konnte, insbesondere bei Neubaugebieten. Die Jahresnutzungsgrade des Gesamtsystems lagen hier zum Teil unter 50 %, was die Wärmeversorgung solcher Abnehmer durch ein Biomasseheizwerk durchaus in Frage stellen kann.

Der geringe Nutzungsgrad ist bei derartigen Projekten auf verschiedene Ursachen zurückzuführen: relativ lange Wärmenetze bei nur geringer Wärmeabnahme, erhebliche Schwankungen der Auslastung zwischen Winter- und Sommerbetrieb und damit schwierige Auslegung der Netze und der Netzpumpen, Unsicherheiten bei der Entwicklung der Wärmeabnahme, fehlerhafte Einbindung und Betriebsweise der zahlreichen Sekundärkreisläufe u.ä. In diesem Bereich scheint es deshalb durchaus noch weiteren Optimierungs- und damit Forschungsbedarf zu geben, wenn Biomasseheizwerke auch in Zukunft für die Versorgung von Wohngebieten herangezogen werden sollen. Allerdings zeigen die Ergebnisse der Evaluierung diesbezüglich auch Grenzen auf. So ist mit Hilfe der MSR-Technik wohl bei zukünftigen Projekten eine bessere Einbindung der kundenseitigen Installation in den Primärkreislauf möglich, jedoch sind damit allein die weiteren grundsätzlichen Probleme, die bei der Versorgung von Wohnge-

bieten auftreten - z.B. die Frage der Wirtschaftlichkeit - noch nicht lösbar.

Die häufig als Argument für ein Biomasseheizwerk angeführte Möglichkeit einer Schwermetallseparierung durch eine getrennte Sammlung und Entsorgung von Grob-, Mittel- und Feinasche wird in der Praxis offensichtlich noch nicht allzu häufig wahrgenommen, denn lediglich bei zwei der 12 Biomasseheizwerke konnte eine solche Separierung beobachtet werden, die zudem auf behördliche Auflagen zurückgeführt werden konnte. Bei den übrigen Heizwerken wurde zumeist die gesamte Asche – einschließlich der verstärkt schwermetallbelasteten Feinasche - auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht. Dies erscheint aufgrund der hohen Eluatbelastung der Feinaschen nicht unproblematisch, zumal von verschiedenen Seiten für die Feinaschen sogar eine untertägige Ablagerung gefordert wird.

5 Empfehlungen

5.1 Grundlagenermittlung und Abnehmerstruktur

5.1.1 Erhebung der Ausgangssituation

Eine wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Betrieb eines Biomasseheizwerks ist eine sorgfältige Erhebung der Ausgangssituation vor der Realisierung der Anlage, insbesondere die möglichst exakte Ermittlung des Wärmebedarfs und des Leistungsbedarfs der Wärmeverbraucher, denn nur so können Überdimensionierungen und andere Fehlkalkulationen vermieden werden. Hierzu sind die einschlägigen Bedarfsermittlungsverfahren anzuwenden (DIN 4701). Auf Besonderheiten (Nutzerverhalten, klimatische Gegebenheiten, Wärmedämmstandards, zusätzliche Bedarfsdeckung z.B. durch thermische Solaranlagen) und deren mögliche Auswirkungen auf Auslegung und Betrieb des Heizwerks ist unbedingt zu achten. Vorteilhaft ist es, wenn überwiegend oder ausschließlich bestehende Wärmeabnehmer versorgt werden sollen, für die belastbare Angaben über den Wärmeverbrauch z.B. aus dem bisherigen Heizölverbrauch sowie über den Lastgang vorliegen.

5.1.2 Kennwerte der Abnehmerstruktur

Grundlage für jede Wärmeversorgung müssen der Wärmekunde und dessen Nutzerverhalten sowie dessen Bedürfnisse sein, zumal der Wärmeverkauf die einzige Einnahmequelle bei Biomasseheizwerken ist. Entscheidend für die Auslegung des Heizwerks ist der Jahreswärmeverbrauch und die Wärmebedarfsleistung der Abnehmer. Darüber hinaus ist die Struktur der Abnehmer - z.B. Trassenlänge pro Anschluss, Netz- und Wärmebelegung (kW/m bzw. kWh/m), Geländebedingungen, Entwicklung des Netzes - von grundlegender Bedeutung. Die derzeitigen Rahmenbedingungen lassen es sinnvoll erscheinen, dass nur für Abnehmerstrukturen eine Wärmeversorgung durch Biomasseheizwerke vorgesehen wird, die die in Tabelle 9 aufgeführten Kennzahlen und Voraussetzungen erfüllen können.

Tabelle 9: Kennzahlen der Abnehmerstruktur

Kennwert	mindestens erforderlich	optimal
Wärmebelegung	1,5 MWh/(m*a)	> 3 MWh/(m*a)
Netzbelegung	1 kW/m	2 kW/m
Kennwert	maximal sinnvoll	optimal
Zeitraum für Mobilisierung der Abnehmer	3 Jahre	< 3 Jahre

Als besonders vorteilhaft haben sich Wärmenetze mit einer Wärmebelegung von 3 MWh/m und mehr herausgestellt. Solche Werte ergaben sich, wenn ausschließlich (bestehende) Großabnehmer mit einem mittleren Jahreswärmeverbrauch über 100 MWh pro Anschluss versorgt wurden, z.B. Schulzentren, Pflegeheime. Die Wärmebelegungen der Wärmenetze reduzierten sich, wenn zusätzlich oder ausschließlich kleine privat und gewerblich genutzte Gebäude mit mittleren Jahreswärmeverbräuchen unter 100 MWh pro Anschluss versorgt wurden. Wärmebelegungen unter 1,5 MWh/(m*a) erscheinen in der Regel nicht sinnvoll (vgl. Kap. 3.3.8.9). Lediglich bei *optimaler* Auslegung von Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung auf die Wärmeabnahme kann auch ein Wert von 1 MWh/(m*a) noch zu einem einigermaßen tragfähigen Konzept führen; dies ist aber eher die Ausnahme und war bei der vorliegenden Untersuchung nur einmal der Fall.

5.1.3 Entwicklung der Abnehmerstruktur

Grundsätzlich ist nicht nur die Höhe des theoretisch erzielbaren Jahreswärmebedarfs, der Wärmebedarfsleistung und der Wärmebelegung des Netzes von Interesse, sondern auch der Zeitpunkt, an dem diese Werte spätestens erreicht werden. Für die Erzielung eines wirtschaftlich tragfähigen und ökologisch sinnvollen Betriebes ist es erforderlich, dass das erwartete und der Wirtschaftlichkeitsberechnung zugrunde gelegte Wärmebedarfspotenzial möglichst rasch erschlossen wird und eine möglichst rasche Wärmeabnahme in der erwarteten Höhe erfolgt. Vorteile haben hier erfahrungsgemäß die Projekte, bei denen ausschließlich wenige bestehende Großabnehmer (z.B. Schulzentren) versorgt werden sollen. Erhebliche Probleme (Kennzeichen: Überdimensionierungen, geringe Jahresvolllaststunden der Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilanlagen, geringe energetische Effizienz, geringe Temperaturspreizung im Wärmenetz, hoher Hilfsenergieverbrauch) traten überall dort auf, wo vorwiegend Siedlungsgebiete (insbesondere Neubaugebiete) als Abnehmer vorgesehen waren.

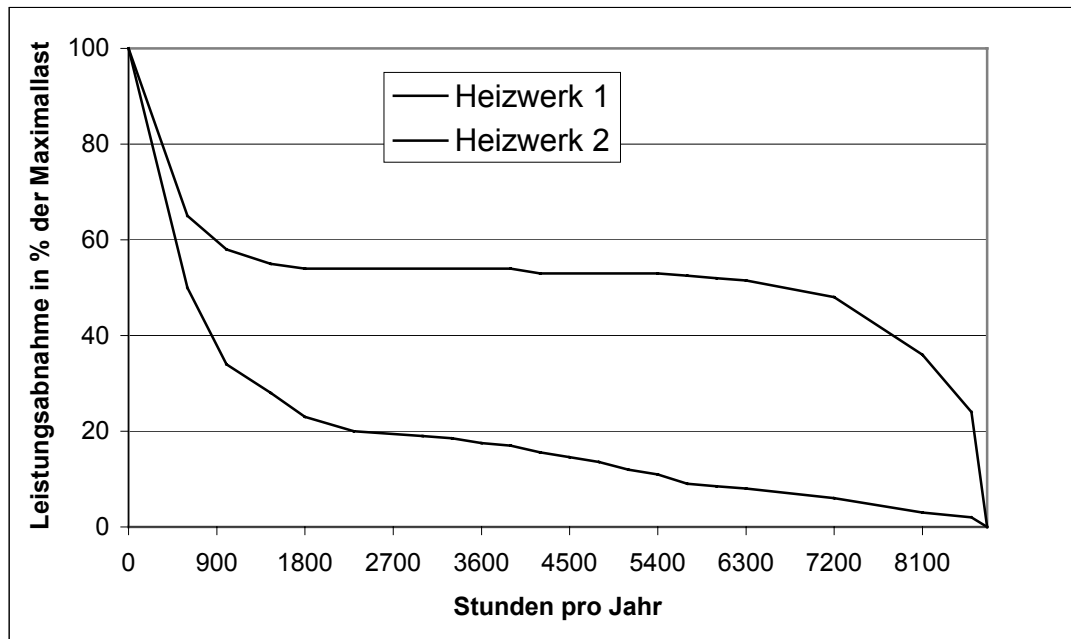
Allgemein kann gesagt werden, dass nur sichere Abnehmer bzw.

Kunden als Grundlage für die Auslegung des Heizwerks und die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen werden sollten. Versorgungsobjekte, bei welchen ein Anschluss und eine Wärmeabnahme höchst unsicher sind, sollten lediglich als zusätzliche Option betrachtet werden, die das Projekt bei einem Anschluss verbessern können und bei einem Wegfall nicht zu einer deutlichen Verschlechterung führen. Von daher erscheint es sinnvoll, dass zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Biomasseheizwerks z.B. wenigstens 70 % der für einen wirtschaftlich tragfähigen Betrieb des Heizwerks vorgesehenen Jahreswärmemenge abgenommen werden können. Die übrigen 30 % sollten spätestens nach 2 bis 3 Jahren erschlossen sein. Dies gilt auch für Teilabschnitte. In diesem Zusammenhang sollte für die Realisierung der Heizzentrale und des Wärmenetzes mit einem Zeitraum von wenigstens zwei Jahren gerechnet werden, der von dem Vorliegen der Vorstudie über die Beantragung von Fördermitteln bis zur Abnahme der Anlage verstreichen kann.

5.1.4 Vorteilhafte und weniger vorteilhafte Abnehmerstrukturen

Biomasseheizwerke finden dort günstige Voraussetzungen, wo ein sehr hoher und gut kalkulierbarer Wärmebedarf auf engstem Raum vorhanden ist. Eingangs wurde bereits erwähnt, dass eine wichtige Voraussetzung für ein auch wirtschaftlich erfolgreiches Bioenergieprojekt die möglichst exakte Bestimmung der voraussichtlichen Abnahme der Wärmeleistung ist. In Diagramm 11 sind Jahresdauerlinien für zwei der untersuchten Projekte dargestellt. Linie 1 weist deutlich günstigere Voraussetzungen für die Wärmebereitstellung durch ein Biomasseheizwerk auf als Linie 2. So konnten bei dem ersten Projekt – hier ist ein Hallenbad der größte Wärmekunde – deutlich höhere Vollaststunden der Biomasseanlage und ein wesentlich geringerer Verbrauch fossiler Spitzenlastbrennstoffe festgestellt werden als bei dem zweiten Projekt, bei dem vorwiegend Wohngebäude (Ein- und Mehrfamilienhäuser) versorgt werden. Bei Heizwerk 1 lag die Nennwärmeleistung der Biomasseanlage bei 40 % der größten Wärmeleistungsabnahme, bei Heizwerk 2 lag sie bei gut 60 %.

Diagramm 11: Jahresdauerlinie zweier Biomasseheizwerke



Die ungünstigsten Voraussetzungen bieten Baugebiete, vor allem wenn überwiegend Einfamilienhäuser errichtet werden. Der Wärmebedarf der einzelnen Gebäude ist hier inzwischen so gering, dass eine ökonomisch tragfähige Wärmeversorgung mittels Biomasseheizwerk nur noch bei besonders hohen Wärmepreisen (z.B. 200 DM/MWh und mehr) oder bei besonders drastischen Kosteneinsparungen möglich ist. Dieser erhebliche Nachteil von Neubaugebieten ist auch durch eine Realisierung in Etappen (Bauabschnitte und daran angepasste schrittweise Realisierung der Wärmeversorgung; evtl. Heizcontainer mit Heizölkessel anstelle eines Biomasseheizwerks am Beginn der Aufsiedelung) nicht zu ändern. Die etappenweise Realisierung kann lediglich dazu beitragen, dass das bei Baugebieten besonders große Risiko einer Fehldimensionierung der Wärmeversorgungsanlage (Auslegung Wärmeerzeuger und Wärmeverteilung) etwas reduziert wird. Günstigere Voraussetzungen für eine Beheizung mittels Biomasse scheinen im verdichteten Wohnbau zu liegen. Einzelne oder mehrere Geschosswohnungsbauten, die über ein möglichst kurzes Nahwärmenetz an die Heizzentrale angeschlossen werden, sollten einen wirtschaftlichen Betrieb der Heizanlage zulassen. Aber auch bei solchen Versorgungsobjekten ist es notwendig, dass rasch angeschlossen und Wärme abgenommen wird.

Vorteile hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit könnte bei Neubaugebieten möglicherweise die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) anstelle einer reinen Wärmeerzeugung bieten, wenn die Stromeinspeisung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz vergütet wird und auch ein vom Einzelfall abhängi-

ger, entsprechend hoher Wärmepreis erzielt werden kann. Aufgrund der höheren Auslastung sind es bei der KWK weniger die Kapitalkosten, die die Wirtschaftlichkeit der Anlage belasten, sondern die Brennstoffkosten. Die wirtschaftliche und technische Eignung einer KWK muss aber im Einzelfall geprüft werden. Und natürlich sollte auch nur auf eine Technik zurückgegriffen werden, deren zuverlässige Funktion nachgewiesen ist. Allerdings kann die KWK die wirtschaftliche Situation im Vergleich zu einem reinen Heizwerk auch nur verbessern, wenn die geplante Wärmeabnahme rasch erzielt wird und die Kosten eingehalten werden. Das Risiko einer möglicherweise schleppenden Aufsiedelung eines Neubaugebiets kann auch die KWK nicht reduzieren.

Eher kritisch sind auch sehr große und unübersichtliche Versorgungsgebiete zu sehen. Diese erfordern eine besonders sorgfältige Planung. Die Wärmeabnahme sollte auch bei derartigen Projekten möglichst gut abgesichert sein. Hierzu kann wiederum die Realisierung der Wärmeversorgung in Etappen beitragen, also indem Bauabschnitte mit weitestgehend gesicherter Wärmeabnahme definiert werden, für die dann das Heizwerk ausgelegt wird. Ein Bauen auf Vorrat und ein unkoordiniertes Erschließen von Erweiterungsmöglichkeiten sollte vermieden werden.

Grundsätzlich sollte gerade bei sehr umfangreichen Versorgungsgebieten auf eine exakte Dokumentation geachtet werden. Erweiterungen sollten erst dann durchgeführt werden, wenn die erste Ausbaustufe abgeschlossen ist und hierzu Ergebnisse (Wirtschaftlichkeit, Technik, Organisation, Anschlusswilligkeit/Akzeptanz) vorliegen. Die Erweiterung ist dann vorab wiederum auf ihre technische Machbarkeit, ökonomische Tragfähigkeit und ökologische Sinnhaftigkeit zu prüfen, denn auch eine Erweiterung kann entweder zu einer Verbesserung oder zu einer Verschlechterung des Projekts führen. Allgemein erscheint ein an die Erschließung eines Versorgungsgebietes angepasster schrittweiser Ausbau der Heizzentrale vorteilhafter als ein risikobehaftetes Bauen auf Vorrat, auch wenn der schrittweise Ausbau möglicherweise mit etwas erhöhten Investitionen verbunden ist.

Besonders vorteilhaft können Hallenbäder, Schulzentren, Pflegeheime u.ä. sein, zumal hier nur wenige Ansprech- und Verhandlungspartner zu berücksichtigen sind. Allerdings ist gerade bei Schulzentren darauf zu achten, dass im Sommer die Wärmeabnahme drastisch zurückgeht und während den Sommerferien die Wärmeversorgung vollständig eingestellt werden muss. Der zusätzliche Anschluss von wenigen Wohngebäuden an eine Anlage zur Versorgung eines Schulzentrums ist deshalb in der Regel wenig sinnvoll, denn im Sommer müsste der Warmwasserbedarf der Wohnhäuser durch das Spitzenlastaggregat möglicherweise über das für

diesen Bedarfsfall überdimensionierte Wärmenetz gedeckt werden und würde z.B. bei bivalenten Anlagen zu einem erhöhten Heizölverbrauch führen.

Problematisch für die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit des Heizwerks kann es auch sein, wenn zusätzlich regenerative Wärmequellen (z.B. thermische Solaranlagen) zur Abdeckung der Wärmelast herangezogen werden sollen, da diese mit der Biomasse um die Grundlast konkurrieren. Durch eine thermische Solaranlage wird der vom Biomasseheizwerk zu deckende Wärmebedarf reduziert, die Investition jedoch wird in aller Regel höher. Nur wenn die Anlage besonders sorgfältig ausgelegt und die Sommerlast nicht zu groß ist, kann eine solche Lösung zu einem tragfähigen Konzept führen. Andernfalls ist es möglich, dass mehr teurer fossiler Spitzenlastbrennstoff verbrannt wird als bei einem Heizwerk ohne Solaranlage.

Ähnliches konnte bei Versorgungskonzepten festgestellt werden, bei welchen neben dem mit Biomassefestbrennstoffen versorgten Heizwerk auch noch ein BHKW (Brennstoff: Erdgas oder Biogas) vorhanden war. Solche Versorgungskonzepte sind naturgemäß mit einem zusätzlichen Schwierigkeitsgrad verbunden und sollten, wenn sie überhaupt in Betracht gezogen werden, besonders sorgfältig geplant werden und auf einer gewissenhaften Grundlagenermittlung basieren. Stets sollte man sich dabei bewusst sein, dass auch bei einer solchen Kombination die einzelnen Komponenten (Biomassekessel und BHKW) um die Grundlast konkurrieren, so dass im späteren Betrieb der Anlage eine optimale Auslastung in der Regel nur für eine Energiebereitstellungseinheit gegeben ist und die Wärmegestellungskosten entsprechend höher liegen können als bei einem reinen Heizwerk oder Heizkraftwerk. Dies ist leider zumeist der Preis, wenn eine aus ökologischen Gesichtspunkten durchaus zu begrüßende, weitgehend autarke Energieversorgung mittels Bioenergie angestrebt wird. Des weiteren muss die Regelung der beiden Einheiten besonders aufeinander abgestimmt sein. Bei der Realisierung eines Nahwärmenetzes, das zusätzlich die Abwärme einer Biogasanlage nutzt, ist zudem zu beachten, dass die Biogasanlage vor allem im Sommer Überschusswärme produziert, im Winter diese aber verstärkt für die Beheizung des Fermenters benötigt.

5.2 Investitionen

5.2.1 Maximal sinnvolle Investition

Eine Begrenzung der Gesamtinvestition auf maximal 750 DM/(MWh*a) erscheint im Regelfall sinnvoll. Nur in begründeten Ausnahmefällen (z.B. wenn ein hoher Wärmepreis akzeptiert wurde und eine günstige Versorgungsstruktur sowie eine hohe Auslastung vorliegt) können bis 1.000 DM/(MWh*a) noch zu tragfähigen Konzepten führen. Anlagen mit einer Gesamtinvestition von mehr als 1.000 DM/(MWh*a) erscheinen bei den derzeitigen Rahmenbedingungen nicht sinnvoll, insbesondere nicht bei den sehr geringen Auslastungen der meisten Wärmeversorgungsanlagen.

5.2.2 Investitionsminderungsmaßnahmen

Ein sehr großes Kosteneinsparpotenzial konnte bei den baulichen Anlagenteilen festgestellt werden. Es wurde deutlich, dass in der Vergangenheit bei sehr vielen Biomasseheizwerken - und dies vor allem in Bayern - in einer Höhe in Gebäude investiert worden ist, die in keinem sinnvollen Verhältnis zu dem Ertrag des Heizwerks und zur Auslastung der Anlage steht. Hier wird man sich bei zukünftigen Projekten angesichts der gegebenen engen (wirtschaftlichen) Rahmenbedingungen auf das unbedingt notwendige beschränken müssen: auf die Lagerung des Brennstoffs sowie auf den Schutz der Heiztechnik vor Witterungseinflüssen und unbefugtem Zugriff.

Angesichts ihrer Vorbildfunktion wurden Biomasseheizwerke in der Vergangenheit gerne mit einem entsprechend repräsentativen Charakter errichtet, was sich bei einigen Anlagen sehr deutlich in erhöhten Kosten ausdrückte. Im Rahmen der Evaluierung ist aufgefallen, dass zudem die Höhe der in Aussicht gestellten Förderung einen erheblichen Einfluss darauf hatte, ob das Heizwerk mehr oder weniger aufwendig realisiert wurde. Gerade die Vorbildfunktion sollte es jedoch sein, die bei zukünftigen Projekten einen Anlass für eine möglichst rationelle Realisierung geben sollte. Eine möglichst hohe Qualität bei gleichzeitiger Ausschöpfung aller Kosteneinsparpotenziale sollte das Ziel sein.

Bezüglich der baulichen Anlagenteile muss grundsätzlich beachtet werden, dass der Umbau vorhandener Räumlichkeiten zur Anpassung an die Verfeuerung von Biomasse unter Umständen mit deutlich höheren Kosten verbunden sein kann als der Neubau einer Heizzentrale „auf der grünen Wiese“. Hier sollte im Einzelfall entschieden werden, welches die bessere Lösung ist. Als die günstigste Variante eines Brennstofflagers hat sich ein als kleiner Hochbau oder ein in Hanglage errichteter Brennstoffbunker

herausgestellt. Tiefbauten waren deutlich teurer als Hochbauten mit vergleichbarem Fassungsvermögen. Im Leistungsbereich bis etwa 500 kW können Containerlösungen eine Alternative zu aufwendigen Heizhäusern bieten. Eine Umfrage bei verschiedenen Anbietern hat ergeben, dass bei derartigen Anlagen die spezifische Investition (Container, ein Biomassekessel, Hydraulik, MSR-Technik) meist unter 500 DM/kW liegt. Die Unterbringung eines Spitzenlastkessels und die Schaffung eines Brennstofflagers am Heizwerk muss zusätzlich berücksichtigt werden.

Zu den Vorteilen eines großen Vorratsraumes (Lagerhalle oder großer Bunker) gehört sicherlich die Möglichkeit einer flexiblen Biomassebereitstellung und einer Lohnhäckslung von Waldholz. Dem steht jedoch der gravierende Nachteil der erhöhten Investition gegenüber. Es sollte deshalb für jeden Einzelfall genau abgewogen werden, ob eine Lagerhalle oder ein großer Bunker sinnvoll und möglich, d.h. finanzierbar ist. Kurz gesagt: Wenn kein finanzieller Spielraum für die Schaffung eines größeren Lagersraums am Heizwerk vorhanden ist, muss darauf verzichtet und eventuell eine weniger komfortable Lösung angenommen werden. Ohnehin sind die Brennstoffqualitätseinbußen durch eine Lagerung im Freien geringer als es oft angenommen wird. Auch können intelligente und dennoch preisgünstige Logistikkonzepte - das hat die Erfahrung gezeigt - einiges an Komforteinbußen ausgleichen.

Die Investitionen in Krananlagen waren bei den untersuchten Heizwerken deutlich höher, als die Investitionen in Radlader bei vergleichbaren Anlagen. Dem steht die Automatisierbarkeit, die offensichtlich etwas geringere Reparaturanfälligkeit und der etwas geringere Wartungsbedarf einer Krananlage gegenüber. Bei kleinen Heizwerken sollte eher von einer Krananlage abgesehen werden, wenn nicht besondere Gründe (z.B. Erfordernisse der Lagergestaltung) dafür sprechen.

Weitere Einsparpotenziale können sich durch eine gewissenhafte Auslegung der Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlage sowie durch eine Überarbeitung der vorliegenden MSR-Konzepte ergeben. Voraussetzung hierfür ist wiederum eine fundierte Grundlagenermittlung (Screening).

5.3 Wirtschaftlichkeit

5.3.1 Kostendeckende und vertretbare Wärmepreise

Grundsätzlich sollten nur solchen Projekte realisiert werden, die einen wirtschaftlich tragfähigen Betrieb des Biomasseheizwerks bei vertretbaren Wärmepreisen erlauben. Zu einem wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb gehört, dass die Wärmegestehungskosten von den erzielbaren Einnahmen aus dem Wärmeverkauf gedeckt, insbesondere Kredite bedient werden

können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Wärmekunde nur in Einzelfällen bereit ist, für Nahwärme aus Biomasse einen deutlich höheren Wärmepreis zu zahlen als es für Wärme aus fossilen Brennstoffen üblich ist. Aber auch wenn ausschließlich oder überwiegend Eigenversorgung betrieben werden soll, sollte auf die Einhaltung eines sinnvollen und tragbaren Wärmepreises geachtet werden. Als Vergleichswert können beispielsweise Fernwärme-Preisevergleiche herangezogen werden. Als akzeptabel werden derzeit meist Wärmepreise von nicht mehr als 100 DM/MWh angesehen.

5.3.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung

Wird keine Eigenversorgung durchgeführt, ist der Betreiber eines Biomasseheizwerks auf den Wärmeverkauf angewiesen – dies ist seine einzige Einnahmenquelle! Für jedes Projekt sollte deshalb im Vorfeld eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt werden. Die VDI-Richtlinie 2067 bietet hierfür eine gute Basis, auch wenn einige Kennwerte an die besonderen Bedingungen der Biomasseheizwerke angepasst werden müssen. Besonders wichtige Voraussetzungen wie Brennstoffpreise und Wärmeverkauf sollten z.B. durch (Vor-)Verträge, also durch Brennstoff- bzw. Wärmelieferungsverträge oder durch entsprechende Absichtserklärungen bereits zu Beginn der Planung abgesichert sein. Dies bedeutet, dass frühzeitig mit der Kundenakquisition begonnen werden muss. Eine Umfrage zur Ermittlung der allgemeinen Anschlusswilligkeit bietet allein keine ausreichende Sicherheit.

Bei Neubaugebieten ist in geeigneter Weise ein öffentlich-rechtlich festgesetzter Anschluss- und Benutzungszwang in den Bebauungsplan aufzunehmen. Dies bedarf allerdings verschiedener rechtlicher Voraussetzungen (z.B. bestimmter örtlicher Anlass, Umweltschutz, Schutz der Grundlagen des Lebens) und wird in der aktuellen Rechtsprechung etwas kontrovers diskutiert. Andernfalls kann eine entsprechende privatrechtliche Regelung getroffen werden. Zudem ist auf eine zügige Entwicklung der Bebauung zu achten. Unsichere Abnehmer sollten nur als Option betrachtet werden, die die wirtschaftliche Situation des Projekts verbessern können und bei einem Wegfall nicht zu einer drastischen Verschlechterung führen dürfen. Auch sollte die Brennstoffversorgung und die Preisbildung frühzeitig geklärt sein; dies ist umso wichtiger, je größer der jährliche Brennstoffbedarf ist. Im Übrigen sollten stets realistische Annahmen getroffen werden, die auch einer kritischen Hinterfragung standhalten.

Während der Bauausführung sollte besonders streng auf eine Einhaltung der Kosten geachtet werden, ggf. sollten dem Planer entsprechende Vorgaben genannt und Erfolgsprämien ausgelobt werden, soweit dies mit der

HOAI vereinbar ist. Während der Realisierung des Biomasseheizwerks und auch nach dessen Fertigstellung sollte die Wirtschaftlichkeitsberechnung regelmäßig überprüft und aktualisiert werden.

5.3.3 Kosteneinsparpotenziale

Zur Vermeidung von wirtschaftlichen Verlusten erscheint es wichtig, dass bei zukünftigen Projekten noch stärker als bisher auf eine Erzielung möglichst geringer Wärmegestehungskosten sowie auf eine Absicherung der für einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb notwendigen Grundlagen geachtet wird. Zur Reduzierung der Wärmegestehungskosten müssen vor allem die spezifischen kapitalgebundenen Kosten niedrig gehalten werden, die bei den untersuchten Projekten um 70 % der Wärmegestehungskosten verursacht haben. Da der Umfang des Wärmenetzes und damit die Kapitalkosten der Wärmeverteilung in aller Regel vorgegeben sind, müssen sich Reduzierungen der kapitalgebundene Kosten insbesondere auf die Ausstattung der Heizzentrale und auf bauliche Anlagenteile konzentrieren. Hier muss der Grundsatz gelten, dass Investitionen nur für das unbedingt Notwendige vorgesehen werden. Aber auch beim Wärmenetz sollte verstärkt auf eine (kosten-) optimierte Auslegung geachtet werden; bei den untersuchten Heizwerken konnten in mehreren Fällen drastische Überdimensionierungen festgestellt werden.

Die Höhe der Personalkosten, aber auch die Höhe der Biomassebrennstoffkosten hat bei Biomasseheizwerken einen vergleichsweise geringen Einfluss auf die Wärmegestehungskosten. Wichtig ist deshalb, dass bereits bei der Realisierung des Heizwerks sämtliche Maßnahmen, die die Gesamtinvestition mindern und die Auslastung erhöhen können, ausgenutzt werden. Eine nachträgliche Kostenreduzierung z.B. bei Brennstoff oder Personal ist meist nicht mehr zielführend. Auch darf der Einfluss der Förderung auf die Wirtschaftlichkeit eines Biomasseheizwerks nicht überschätzt werden. Dennoch kann ein möglichst hoher Eigenmittelanteil an der Finanzierung von Vorteil sein.

5.4 Auslegung der Wärmeversorgungsanlage

Nur eine gewissenhafte und korrekte Dimensionierung der Wärmeversorgungsanlage kann in Verbindung mit einer sorgfältigen Grundlagenermittlung zu einem technisch, wirtschaftlich und auch ökologisch zufriedenstellenden Ergebnis führen. Eine wesentliche und sehr einflussreiche, aber leider oft unterbewertete Grundlage ist die Wahl des Gleichzeitigkeitsfaktors. Diese wirkt sich in erheblichem Maße auf die Dimensionierung der Anlage aus. Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist ein Erfahrungswert. Ein zu groß gewählter Gleichzeitigkeitsfaktor führt zu Überdimensionierungen,

die mit zahlreichen negativen Folgen verbunden sein können.

Auch die Aufteilung der erforderlichen Wärmeleistung auf die einzelnen Wärmeerzeuger muss in geeigneter Weise vorgenommen werden. Überdimensionierungen, geringe Volllaststunden und ein mit geringen Wirkungsgraden und hohen Schadstoffemissionen verbundener übermäßiger Teillastbetrieb müssen vor allem bei dem zur Abdeckung der Grundlast genutzten Biomassekessel vermieden werden. Eine wesentliche Rolle spielt hier die korrekte Ermittlung der Jahresdauerlinie und eine sorgfältige Anpassung des Grundlastkessels an den zu erwartenden Lastgang. Unbedingt zu beachten sind die Angaben des Kesselherstellers, z.B. hinsichtlich Lage des Wirkungsgradmaximums oder der erforderlichen Brennstoffqualitäten.

Des Weiteren muss entschieden werden, ob eine monovalente oder eine „multivalente“ Anlage installiert werden soll. Grundsätzlich hat es sich gezeigt, dass eine monovalente Anlage mit zwei Biomasse-Unterschubfeuerungen nicht teurer sein muss als eine „bivalente“ Anlage mit einer Biomasse-Rostfeuerung und einem Öl- oder Gas-Spitzenlastkessel. Allerdings ist bei einer „bivalenten“ Anlage die Möglichkeit einer hohen Volllaststundenzahl der Biomasseanlage gegeben - sie sollte möglichst nicht unter 2.500 h liegen - wohingegen die monovalenten Anlagen je nach Abnehmer *insgesamt* nur um 2.000 h aufweisen, was u.a. mit niedrigen Nutzungsgraden, erhöhten Schadstoffemissionen und Materialschäden sowie mit wirtschaftlichen Nachteilen verbunden sein kann. Als Grundsatz sollte gelten: Eine möglichst hohe Auslastung der Biomasseanlage ist anzustreben, zumal sich hierdurch der negative Einfluss höherer Investitionen auf die Wirtschaftlichkeit abschwächen lässt; bei einer besonders hohen Auslastung muss allerdings verstärkt auf die Brennstoffkosten (auch eventuelle fossile Spitzenlastbrennstoffe!) geachtet werden.

Besonders wichtig ist zudem die Abstimmung der Lager-, Transport und Feuerungstechnik auf den einzusetzenden Brennstoff. Nur so kann ein einwandfreier Betrieb der Biomasetechnik erzielt werden. Als in der Regel nicht sinnvoll hat es sich erwiesen, wenn die nächstbeste (nächstbilligste) Biomasetechnik installiert wurde, und dann die für deren Feuerung erforderliche Brennstoffqualität irgendwie bereitgestellt werden musste. Häufige Störungen und mangelnde Leistung waren die Folge. Meist ist es zweckdienlicher, wenn dem Anlagenlieferanten Vorgaben bezüglich der vorgesehenen Brennstoffsportimente benannt werden und hierauf aufbauend entsprechende Garantien (z.B. hinsichtlich Nennwärmeleistung, kleinste Wärmeleistung, Wirkungsgrade, Emissionen, Reisezeiten, Lebensdauer, Störungshäufigkeit) eingeholt werden können. Dazu muss im Vorfeld allerdings bekannt sein, welche Brennstoffqualitäten (z.B. Wassergehalt, Größenverteilung) zum Einsatz kommen sollen. Entsprechende Qualitäts-

anforderungen sind in den Brennstofflieferverträgen zu benennen.

Generell sollte auf Garantien zukünftig mehr Wert gelegt werden als bisher, und zwar nicht nur auf Garantien hinsichtlich des Erreichens einer bestimmten Nennleistung bei einem bestimmten Brennstoffsortiment, sondern auch z.B. hinsichtlich Wartungsaufwand, Volllaststundenzahl, Störungshäufigkeit. Gegebenenfalls sollten Erfolgsprämien ausgelobt werden (soweit dies mit der HOAI vereinbar ist!). Des Weiteren ist auf eine Dokumentation der Anlage, auf eine Pflege der Anlagendokumentationen sowie auf eine Dokumentation von Betriebsdaten und Störungen verstärkt zu achten. Bei den untersuchten Anlagen bestanden hier erhebliche Mängel. Zu einer entsprechenden Qualitätssicherung gehört aber auch, dass Erfolgskontrollen stattfinden.

5.5 Optimierungsmöglichkeiten

Bezüglich der Optimierung muss unterschieden werden zwischen einer Optimierung des Anlagenkonzeptes *vor* der Realisierung der Anlage, z.B. im Rahmen der sog. Screening-Phase, und einer nachträglichen Optimierung der bestehenden Anlage.

5.5.1 Optimierung des Anlagenkonzeptes

Bei Nah- und Fernwärmekonzepten auf der Basis von Biomasse kommt einer laufenden Optimierung des Anlagenkonzeptes in den ersten Planungsphasen angesichts der Vielzahl zu beachtender Parameter eine sehr große Bedeutung zu. Hier werden die Weichen gestellt für erfolgreiche und weniger erfolgreiche Vorhaben. Vieles, was in den ersten Planungsphasen versäumt und nicht sorgfältig genug betrachtet wurde, kann im Nachhinein nicht mehr korrigiert werden und zu erheblichen Erschwernissen und Verzögerungen führen. In den ersten Planungsphasen müssen u.a. die folgenden Punkte recherchiert und zum Teil auch schon festgelegt werden:

- Wärmebedarfsstruktur;
- Brennstoffbeschaffung (Verfügbarkeit, Qualität, Transport und Lagerung, voraussichtliche Preise);
- Organisationsform, Finanzierung, Kooperation;

Die erste Planungsphase ist insbesondere charakterisiert durch eine noch nicht in allen Punkten abgesicherte Datenbasis, mit der jedoch bereits erste orientierende Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowie Vergleichsberechnungen für verschiedene Versorgungsvarianten (mono-/bivalent; mit/ohne KWK) durchgeführt werden müssen. Es folgt die Entscheidung für ein

bestimmtes Versorgungskonzept und dessen (erste) Festlegung (z.B. Wahl der Kesselnennwärmeleistungen). Anschließend muss dieses Konzept anhand von verschiedenen Kriterien, die z.B. aus Sensitivitätsanalysen gewonnen werden können, weiter optimiert werden.

5.5.2 Optimierung der bestehenden Anlage

Bei Biomasseheizwerken müssen drei Komponenten möglichst optimal aufeinander abgestimmt sein: die Konversionstechnik (Biomassefeuerung mit Brennstoffzuführung, Rauchgasreinigung usw.), die Wärmeverteilung (Primärkreislauf) und die kundenseitige Installation (Sekundärkreislauf). Je nach Qualität von Planung und Ausführung ergibt sich bei bestehenden Anlagen ein mehr oder weniger großes Optimierungspotenzial. Viele Optimierungsmaßnahmen können mit einem vergleichsweise geringen Aufwand durchgeführt werden. Zu den möglichen Maßnahmen gehören u.a. die folgenden:

- Qualitätssicherung beim Bezug von Biomassebrennstoffen;
- erforderlichenfalls Brennstoffvorbehandlung durchführen;
- möglichst homogener Brennstoff und möglichst geringer (aber nicht zu geringer) Wassergehalt;
- Optimierung der Lagerung und des heizwerkinternen Brennstoffumschlags;
- Beseitigung möglicher Quellen für Störungen und Schäden an Brennstofftransporteinrichtungen, Biomassefeuerungsanlagen und Wärmetauschern;
- Optimierung der Wärmebereitstellung (Feuerungsanlage, Wärmetauscher, Rauchgasreinigung, Wärmeverteilung incl. Gestaltung/Einbindung der Hausanlagen);
- nachträgliche Maßnahmen zur Reduzierung des Verbrauchs fossiler Spitzenlastbrennstoffe und des Hilfsenergieverbrauchs (z.B. auch durch interne Maßnahmen bei den Kunden; bei Schulen usw. Hausmeister einbinden!);
- Verbesserung der Wärmemengenerfassung;
- Optimierung der Kundenbetreuung und Beratung bei der Ausführung der Kundenanlage (hierzu auch: Kundenanlage prüfen, Rücklauftemperaturen vertraglich vereinbaren, Maßnahmen zur Erzielung möglichst niedriger Rücklauftemperaturen);

- Reduzierung von Geräuschbelastungen;
- Erhöhung des Nutzungsgrades;
- Verbesserungsmaßnahmen im Bereich der Gestaltung von Brennstofflagerung, Heizraum, Ascheaustragung;
- nachträgliche Reduzierung des Personalaufwandes
- Wärmebedarfsstruktur verbessern (Netzverdichtung vor Netzerweiterung).

Grundsätzlich konnte festgestellt werden, dass bei der Mehrzahl der untersuchten Biomasseheizwerke noch ein durchaus beachtliches Optimierungspotenzial vorhanden ist, das sinnvoll (wirtschaftlich!) ausgeschöpft werden sollte. Eine Auflistung der einzelnen Schritte würde den Rahmen dieser Kurzfassung jedoch sprengen und soll eventuell an anderer Stelle einmal nachgeholt werden. Dennoch muss noch einmal betont werden, dass vieles, was vor der Realisierung der Anlage versäumt wurde, im Nachhinein kaum noch zu korrigieren ist. Hierzu zählen nicht nur Fehler im Bereich der Technik oder der Wirtschaftlichkeit, auch die Wartungs- und Bedienungsfreundlichkeit (z.B. Gestaltung des Heizraums, Platz für Kesselreinigung und Reparaturen, Ascheentsorgung) erschien in mehreren Fällen unzureichend. Mehrfach wurde vom Wartungspersonal geäußert, dass die Anlage den Eindruck hinterlasse, als sei sie von einem Theoretiker und nicht von einem Praktiker geplant worden. Auf eine auch ergonomisch sinnvolle Gestaltung der Heizanlage sollte daher verstärkt geachtet werden.

Bislang erfolgte die Optimierung der Biomasseheizwerke meist nur aufgrund einer Störung oder eines sonstigen Mangels. Wünschenswert wäre jedoch eine systematische Optimierung. Eine Grundlage hierfür kann bereits die Dokumentation und anschließende Auswertung der wichtigsten Betriebsdaten und der Störungen sein, die regelmäßig und wenn möglich automatisiert durchgeführt werden sollte. Dazu gehört insbesondere auch eine vollständige Erfassung der eingesetzten Brennstoffe sowie der Wärmemengen bei den Verbrauchern *und* bei den Erzeugern, denn nur so kann die Effizienz der Anlage einwandfrei nachvollzogen werden. Bezüglich der Wärmemengemessung ist auf die Installation von Wärmemengenzählern mit geeigneten Messbereichen zu achten. Wünschenswert sind Wärmemengenzähler bei jedem Verbraucher, nach jedem Wärmeerzeuger und als zusätzliche Kontrollmöglichkeit am „Ausgang“ des Heizwerks. Zudem sollte zumindest der Hilfsenergiebedarf der Netzpumpen erfasst werden.

Beachtet werden muss zudem, dass die Erweiterung eines Versorgungs-

gebietes nicht ohne weiteres eine Optimierung der Anlage darstellt, da sie nicht automatisch zu nennenswerten Vorteilen führen muss, insbesondere nicht zu (deutlichen) wirtschaftlichen Verbesserungen. Ganz im Gegenteil kann eine Erweiterung auch eine Verschlechterung des Projekts verursachen, wenn die neuen Abnehmer ungünstigere Voraussetzungen als die Abnehmer des ursprünglichen Projekts aufweisen. Die Erweiterung sollte deshalb genauso intensiv auf technische Machbarkeit, wirtschaftliche Tragfähigkeit (z.B. Ermittlung des Deckungsbeitrags über Teilkostenrechnung) sowie auf ökologische Sinnhaftigkeit und auf eine Einhaltung sinnvoller Kennzahlen geprüft werden wie das eigentliche Nahwärmeprojekt. Zudem muss auf eine Dokumentation der Erweiterungsmaßnahmen unbedingt geachtet werden, da das Projekt sonst schnell unübersichtlich werden kann.

Zu einem optimierten Betrieb eines Heizwerks gehört aber auch, dass der Betreiber und das Wartungspersonal hinsichtlich der technischen Zusammenhänge sowie der Belange der Wirtschaftlichkeit über zumindest ausreichende Kenntnisse verfügen. Bei mehreren Heizwerken konnte ein erhebliches Wissensdefizit festgestellt werden. In vielen Fällen war nicht einmal bekannt, welche Besonderheiten bei der Holzverbrennung zu beachten sind und welche Möglichkeiten es gibt, die Anlage oder Anlagenteile zu optimieren. Eine verstärkte Schulung des für den Betrieb der Heizanlage verantwortlichen Personals ist deshalb wünschenswert.

6 Kennzahlensystem

Aus den Ergebnissen der Evaluierung wurden von C.A.R.M.E.N. Kennzahlen bezüglich der Realisierung von Biomasseheizwerken abgeleitet. Diese Kennzahlen wurden mit den Daten weiterer Biomasseheizwerke, die von C.A.R.M.E.N. betreut werden (derzeit etwa 100), verglichen. In Tabelle 10 ist ein Auszug aus dem Kennzahlensystem für ein Biomasseheizwerk dargestellt, das sich derzeit in der Planung befindet. Ein Vergleich der Planungsdaten mit den Sollwerten bzw. mit den als sinnvoll betrachteten Werten ermöglicht erste Rückschlüsse auf die Qualität des Vorhabens.

Zu beachten ist allerdings, dass die in der Tabelle genannten Kennwerte nicht beliebig auf weitere Projekte übertragen werden können, denn es sind bei der Definition mehrerer Kennwerte die unterschiedlichen Voraussetzungen bei einzelnen Bioenergieprojekten (z.B. Auslastung der Biomasseanlage, mittlerer Wärmepreis, Verhältnis von kapitalgebundenen zu verbrauchsgebundenen Kosten) zu berücksichtigen. So kann sich beispielsweise durch eine Variation der Investition oder des Kalkulationszinssatzes (Finanzierung) die maximal sinnvolle Höhe der verbrauchsgebundenen Kosten des Beispielheizwerks ändern. Auch spielt die Auslastung der Biomasseanlage - also des oder der Biomassekessel - eine wesentliche Rolle. Der Personalaufwand ist in aller Regel abhängig von der Anzahl der zu betreuenden Wärmekunden bzw. der Übergabestationen sowie von der Anzahl der Biomasse-Brennstofflieferanten und der Organisation der Brennstofflieferung, weniger von der Größe der Anlage.

Die Kennwerte müssen demnach stets als projektspezifisch variabel betrachtet werden. Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen lässt sich die mögliche Bandbreite für das einzelne Projekt ermitteln. Im Folgenden wurde allerdings auf die Angabe von weitergehenden, mehr oder weniger starken Verallgemeinerungen (z.B. Funktionen, mathematischen Modelle) verzichtet, da diese in der Praxis wenig handhabbar sind und bei leichtfertiger Übertragung auf anders gelagerte Projekte rasch zu Fehlinterpretationen führen können.

Tabelle 10: Kennzahlensystem für ein Biomasseheizwerk (Beispiel)

Benennung	Einheit	Ist-Wert	Soll-Wert/ sinnvoll	Kennzahlen eingehalten?	
				ja	nein
Abnehmerstruktur					
Wärmebelegung	MWh/m	5	> 1,5 (> 3)		
Netzbelegung	kW/m	2,7	> 1		
Wärmeerzeugung					
Volllaststunden Biomasse	h	3.440	> 2.500		
Anteil Biomasse am Wärmebedarf	%	96	>= 80		
Wärmeverteilung					
Wärmeverlust	kWh/m	280	< 400		
Investitionen					
biomassespezif. Anlagenteile	DM/kW	319	<= 400		
Heizzentrale	DM/kW	228	< 500		
Wärmeverteilung (Trassenm.)	DM/m	612	< 600		
	(W*Verbrauch)	DM/MWh	119	< 300	
bauliche Maßnahmen (bebaute Flä.)	DM/m ²	2.550	< 3.000		
	(umb. Vol.)	DM/m ³	232	< 600	
	(Br*stoffbunker)	DM/m ³	412	< 450	
	(Lagerhalle)	DM/m ³	k.A.	<= 250	
Gesamtinvestition (inst. Nennl.)	DM/kW	748	< 1.000		
	(W*Verbrauch)	DM/MWh	660	< 750	
Heizhaus und Brennstofflager					
bebaute Fläche (inst. Nennl.)	m ² /MW	100	< 150		
	(W*Verbrauch)	m ² /GWh	89	<= 100	
umbautes Volumen (inst. Nennl.)	m ³ /MW	1.104	< 700		
	(W*Verbrauch)	m ³ /GWh	975	<= 500	
Lagerkapazität	%	8	<= 10		
Ökonomische Berechnung					
kapitalgebundene Kosten	DM/MWh	59	<= 50		
verbrauchsgebundene Kosten (Wald+Bill+Öl)	DM/MWh	48	< 50		
betriebsgeb. und sonstige Kosten	DM/MWh	11	<= 12		
Wärmegestehungskosten (ohne Erlöse)	DM/MWh	118	<= 100		
	(mit HAK+BKZ)	DM/MWh	111		
	(mit Förderung 40 %)	DM/MWh	91	< 100	
jährl. Einnahmen pro Trasseninvest.	%	63%	> 20%		
Rentabilität (Unternehmer)	%	1			
Rentabilität (Unternehmung)	%	1			
Hilfsenergie	%	2	2		
Personalbedarf	h/a	505	<= 700		
	(Anschlüsse)	h/a	101	<= 80	
	(Anschlussleistng.)	h/(kW*a)	0,2	<= 0,5	
	(Anschl./Leistng.)	h/(MW*a)	32	<= 60	
	(Nennwärmel. Bm)	h/(kW*a)	0,5	0,5	
Ascheentsorgung (MWh Biomasse)	DM/MWh	0	<= 1		
Förderung					
bezogen auf Energie-Input	DM/MWh	205	< 250		
Biomassezins (Fördermittel Bayer. StMELF)	%	14,2	>= 10		
Biomassezins (Fördermittel gesamt)	%	14,2	>= 10		

Mit dem in Tabelle 10 dargestellten, praxisnahen Beispielheizwerk (bivalente Anlage) soll ein Krankenhaus versorgt werden. Für das Heizhaus ist ein relativ kompakter Neubau unter Ausnutzung einer Hanglage vorgesehen. Die Betreibergesellschaft soll sich aus mehreren Waldbauern zusammensetzen. Der Wärmeabnehmer hat zugesagt, bei einer Versorgung durch das Biomasseheizwerk einen durchschnittlichen Wärmepreis von maximal 95 DM/MWh zu akzeptieren. Eine Erdgasvollversorgung der Objekte würde voraussichtlich zu Wärmegestehungskosten von nur 84 DM/MWh führen (Preisliste vom Sommer 2000). Das Projekt weist in den meisten Punkten sinnvolle Kennzahlen auf, zumal eine relativ hohe Auslastung erreicht werden kann (Biomasseanlage: rund 3.500 Jahresvolllaststunden). Überdurchschnittlich erscheint lediglich das Bauvolumen, das allerdings aufgrund der vergleichsweise hohen Auslastung der Anlage noch akzeptiert werden kann (vgl. spezif. Investitionen der baulichen Anlagenteile in DM/MWh). Dennoch hat der Planer Nachbesserungen zugesagt. Ein wirtschaftlich tragfähiger Betrieb des Heizwerks scheint im Falle einer entsprechenden Förderung möglich zu sein. Im Vergleich zu einer Erdgasvollversorgung ist zwar eine ökologische Konkurrenzfähigkeit gegeben, eine finanzielle Konkurrenzfähigkeit konnte bislang jedoch nicht erzielt werden - es werden jährliche Mehrkosten in Höhe von gut 30.000 DM erwartet.

Setzt man für das Vorhaben einen um 5 % höheren Jahreswärmebedarf an, sind um bis zu 7 % höhere kapitalgebundene Kosten oder um bis zu 9% höhere verbrauchsgebundene Kosten für ein unverändertes wirtschaftliches Ergebnis möglich. Einen deutlich geringeren Einfluss hat der Kalkulationszinssatz; wird dieser um 5 % verringert, so können die kapitalgebundenen oder die verbrauchsgebundenen Kosten um bis zu 2 % reduziert werden.

Eine Erhöhung der Förderquote würde sich bei diesem Projekt eher unwesentlich auswirken, u.a. weil das Verhältnis der kapitalgebundenen zu den verbrauchsgebundenen Kosten relativ gering ist. Auch muss in diesem Zusammenhang beachtet werden, dass bei den meisten Bioenergieprojekten zwar ein (Teil-)Verzicht auf eine Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals - also auch der Fördermittel - möglich ist, auf die Wiedergewinnung des Eigenkapitals allerdings nicht mehr verzichtet werden sollte (vgl. Kap. 3.3.8.4). Denn die in früheren Jahren oft erhoffte Reduktion der Investitionen bei Bioenergieanlagen, die gerne als Begründung für diesen Verzicht herangezogen wurde, ist bis heute nicht eingetreten und zeichnet sich für die nahe Zukunft auch nicht ab. Von daher sollte der Einfluss der Investitionsförderung grundsätzlich mit Vorsicht betrachtet werden.

Beachtet werden muss außerdem, dass sich einzelne Parameter (z.B. der Wärmebedarf) im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht linear auswirken können. Eine Erhöhung der Auslastung durch den Anschluss weiterer Wärmekunden ist im vorliegenden Fall nicht möglich. Würde ein etwas kleinerer Biomassekessel installiert werden, so würde sich zwar die Auslastung der teuren Biomasetechnik erhöhen, allerdings müsste auch entsprechend mehr teurer fossiler Spitzenlastbrennstoff eingesetzt werden, was die Wirtschaftlichkeit des Beispielprojekts nur bei einem Heizölpreis von weniger als 0,55 DM/Liter nicht übermäßig belasten würde. Bei einem höheren Heizölpreis würde die Reduzierung der Leistung des Biomassekessels zu kalkulatorischen Verlusten führen.

Grundsätzlich kann festgestellt werden: Den bedeutendsten Einfluss scheint bei diesem Projekt die Auslastung des Biomassekessels, der Verzicht auf unnötigen Investitionsballast und - mit beidem verbunden - die Gewissenhaftigkeit der Planung zu haben.

7 Zusammenfassung

Bei der Kombination einer Biomassefeuerungsanlage mit einem Nah- oder Fernwärmenetz müssen vielfältige Aufgabenstellungen gelöst werden, um ein tragfähiges Konzept entwickeln zu können. Mit dem Ziel, Optimierungsvorschläge für bestehende Biomasseheizwerke zu nennen und Handlungsempfehlungen für die Realisierung zukünftiger Projekte abzugeben, wurde eine umfassende Evaluierung von 12 Biomasseheizwerken in Deutschland durchgeführt. Dabei wurden insbesondere technische, ökonomische, ökologische und organisatorische Fragestellungen betrachtet.

Als Ergebnis konnte festgestellt werden, dass mit den Heizwerken grundsätzlich eine zuverlässige Wärmeversorgung bei sehr geringen Schadstoffemissionen und einer hohen Einsparung klimarelevanter Emissionen gegenüber einer Wärmebereitstellung mittels Heizöl oder Erdgas möglich war. Probleme ergaben sich jedoch insbesondere im Bereich der Wirtschaftlichkeit, die auf ein unausgewogenes Verhältnis zwischen der Höhe der Investitionen, dem Jahreswärmebedarf bei den Verbrauchern und den durchschnittlichen Wärmepreisen zurückgeführt werden konnten. Von besonderem Einfluss war hierbei die bedarfsgerechte Dimensionierung von Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilanlagen und insbesondere die damit verbundene Auslastung der Biomasseanlage. Aus den Ergebnissen der Evaluierung werden Empfehlungen für die Realisierung zukünftiger Projekte abgeleitet, die in einem Kennzahlensystem zusammengefasst sind.

Zu den wichtigsten Empfehlungen zählt, dass bei zukünftigen Projekten - mehr noch als bisher - auf eine wirtschaftliche Betriebsweise geachtet werden muss. Grundsätzlich sollten nur noch solche Projekte realisiert werden, die einen wirtschaftlich erfolgreichen Betrieb bei akzeptablen Wärmepreisen erwarten lassen. Derzeit werden meist Wärmepreise um 100 DM/MWh akzeptiert. Soll dieser Wärmepreis kostendeckend sein, müssen in der Regel die folgenden Voraussetzungen erfüllt werden:

- Die Wärmebelegung einer geplanten Trasse (Wärmeverbrauch pro Trassenmeter) sollte wenigstens $1,5 \text{ MWh}/(\text{m} \cdot \text{a})$ betragen.
- Wenigstens 70 % der für einen wirtschaftlich tragfähigen Betrieb des Heizwerks erforderlichen Wärmemenge sollten in der ersten Heizperiode nach der Inbetriebnahme des Heizwerks abgenommen werden können. Die restlichen 30 % sollten nach spätestens drei Jahren abgenommen werden.
- Die Gesamtinvestition (Heizwerk + Wärmenetz) sollte nicht mehr als $750 \text{ DM}/(\text{MWh} \cdot \text{a})$ betragen oder verallgemeinert maximal den 7,5fachen Wert des mittleren Wärmepreises, wenn die Bio-

masseanlage Jahresvolllaststunden um 3.000 h/a erreichen kann. Ist eine höhere Auslastung zu erwarten, können im Einzelfall auch höhere Investitionen noch akzeptabel sein, allerdings ist dann verstärkt auch auf die Brennstoffkosten zu achten.

- Die Biomasseanlage sollte bei „bivalenten“ Heizanlagen (Grundlast: Biomasse; Spitzenlast: Heizöl oder Erdgas) wenigstens 2.500 Jahresvolllaststunden erreichen können. Bei monovalenten Anlagen sollten wenigstens 2.000 Jahresvolllaststunden zu erzielen sein.

Ausnahmen hiervon sollten nur in begründeten Fällen angedacht werden, z.B. wenn ein außerordentlich hoher Wärmepreis vom Kunden akzeptiert oder eine besonders hohe Auslastung erreicht wird. Die wichtigsten Grunddaten der Wirtschaftlichkeitsberechnung, die in Anlehnung an VDI 2067 im Vorfeld der Realisierung des Heizwerks durchgeführt werden sollte, sind bereits in den ersten Planungsphasen abzusichern. Insbesondere sollten Biomasse- und Wärmelieferungs-(vor)verträge oder entsprechende Absichtserklärungen vorliegen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung ist regelmäßig - d.h. nicht nur während der Planung, sondern auch nach der Inbetriebnahme der Anlage - zu überprüfen und zu aktualisieren, womit ein ständiger Soll/Ist-Vergleich für die Planungsvorgaben möglich ist. Mehr noch als bisher muss bei zukünftigen Projekten auf die Einhaltung eines möglichst hohen Qualitätsstandes sowie auf die Einhaltung eines adäquaten Kostenrahmens geachtet werden.

Auch bei den vorhandenen Anlagen konnte ein nicht unerhebliches Optimierungspotenzial festgestellt werden. So lassen sich zahlreiche Optimierungsmaßnahmen bereits mit einem vergleichsweise geringem Aufwand durchführen. Grundsätzlich erscheint es sinnvoll, dass bei jedem Biomasseheizwerk eine systematische Qualitätskontrolle durchgeführt und nicht nur auf zufällig aufgetretene Störungen reagiert wird. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass vieles, was vor der Realisierung eines Biomasseheizwerks einmal versäumt worden ist, sich im Nachhinein kaum noch korrigieren lässt.

8 Literatur

- [1] Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme (AVBFernwärmeV); Stand: 1989
- [2] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Feuerungsanlagen für Biomasse - Tagungsband; München 1997
- [3] Bayerische Landesanstalt für Landtechnik (Hrsg.): Biogene Festbrennstoffe und deren Nutzung in Feuerungsanlagen bis 1 MW Nennleistung; München 1997
- [4] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): Untersuchung zur teilmechanisierten Waldhackschnitzelbereitstellung, -lagerung und -logistik; Freising 1999
- [5] Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.): Der Energieholzmarkt Bayern; Freising 2000
- [6] Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.): Verfahrensrelevante Untersuchungen zur Bereitstellung und Nutzung jährlich erneuerbarer Biomasse als Festbrennstoff unter besonderer Berücksichtigung thermischer, wirtschaftlicher und umweltbezogener Aspekte; München 1992
- [7] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.): Emissionsverhalten von Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe; München 1994
- [8] Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.): Verbrennungsversuche mit naturbelassenen biogenen Festbrennstoffen in einer Kleinfeuerungsanlage - Emissionen und Aschequalität; München 2000
- [9] Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (Hrsg.): Biomasse-Heizwerke. Gegenwärtiger Stand und Entwicklungstendenzen; München 1996
- [10] Bemann, U.; Kniehase, V. (Hrsg.): Contracting-Handbuch. Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, 1998
- [11] Beitz, W.; Küttner, K.-H. (Hrsg.): Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau; Berlin 1990
- [12] Biedermann, F.; Obernberger, I.: Einsatz von Pufferspeichern in Biomasseanlagen; Graz 1999

- [13] Bitz, Michael (Hrsg.): Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre, Band 1 bis 4; München 1998
- [14] Bormann, D; Johannsmann, S.: Technische Betriebswirtschaft; München 2000
- [15] Brandt, F.: Brennstoffe und Verbrennungsrechnung; Essen: Vulkan, 1981
- [16] Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG); Stand: 1997
- [17] Bundesverband der Energie-Abnehmer e.V. (Hrsg.): Fernwärme-Preisvergleich 1996; Hannover 1997
- [18] Bundesverband der Energie-Abnehmer e.V. (Hrsg.): Fernwärme-Preisvergleich 1997; Hannover 1998
- [19] Bundesverband der Energie-Abnehmer e.V. (Hrsg.): Fernwärme-Preisvergleich 1998; Hannover 1999
- [20] Burkhardt, W.; Kraus, R.: Projektierung von Warmwasserheizungen; München⁵: Oldenbourg 1999
- [21] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Anlagentechnik für Biomasse - Tagungsband; Rimpar 1995
- [22] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Betreiber-Fachgespräch Biomasse-Heizwerke - Tagungsband; Rimpar 1995
- [23] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Biomassenormierung und -logistik - Tagungsband; Rimpar 2000
- [24] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Siebtes Symposium „Im Kreislauf der Natur - Naturstoffe für die moderne Gesellschaft“ - Tagungsband; Rimpar 1999
- [25] C.A.R.M.E.N. e.V. (Hrsg.): Zweites Betreiber-Fachgespräch Biomasse-Heizwerke - Tagungsband; Rimpar 1997
- [26] Center für Biomasse-Technologie (Hrsg.): Stroh als Energieträger. Technik - Umwelt - Ökonomie; Kopenhagen 1992
- [27] Center für Biomasse-Technologie (Hrsg.): Holz als Energieträger. Technik, Umwelt und Ökonomie; Kopenhagen 1993
- [28] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Heiztechnik 4. Feuerungstechnik. Normen, Technische Regeln; Berlin; Köln: Beuth, 1986
- [29] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.): Heiztechnik 8. Fernwärme, Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung. Normen,

- Technische Regeln; Berlin; Wien; Zürich: Beuth, 1997
- [30] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.); Heiztechnik 9. Fernwärme; Anschluss- und Kundenanlagen, Wärmeverrechnung. Normen, Technische Regeln; Berlin; Wien; Zürich: Beuth, 1997
- [31] Energieverwertungsagentur (Hrsg.): Mikronetze. Gebäudeübergreifende Wärmeversorgung auf Biomasse-Basis - Tagungsband; Wien 1997
- [32] EWU Engineering (Hrsg.): Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft; Berlin 1999
- [33] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Gülzower Fachgespräche. Energetische Nutzung von Biomasse durch Kraft-Wärme-Kopplung; Gülzow 2000
- [34] Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (Hrsg.): Thermische Nutzung von Biomasse. Technik, Probleme und Lösungsansätze. Tagungsband; Stuttgart 1994
- [35] Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Blockheizkraftwerke. Ein Leitfaden für den Anwender; Köln: TÜV-Verlag, 1999
- [36] Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Solare Nahwärme. Ein Leitfaden für die Praxis; Köln: TÜV-Verlag, 1998
- [37] Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): Wärmespeicher; Köln³: TÜV, 1998
- [38] Flaig, H.; Mohr, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse - eine Chance für die Landwirtschaft; Berlin 1993
- [39] Flaig, Holger (Hrsg.): Biomasse - nachwachsende Energie; Renningen-Malmsheim 1998
- [40] Good, J.; Nussbaumer, Th.: Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen; Bern 1992
- [41] Hakansson, Knut: Handbuch der Fernwärmepaxis; Essen: Vulkan-Verlag, 1986

- [41] Hank, Klaus: Wissenschaftliche Konzeption und Durchführung der Evaluierung von Biomasseheizwerken; Freising-Weihenstephan (unveröffentlicht)
- [42] Hausladen, Gerhard: Handbuch der Schornsteintechnik. Feuerungsanlagen und Abgassysteme. Planung, Berechnung, Ausführung; München; Wien: Oldenbourg, 1988
- [43] Hering, Ekbert: Taschenbuch für Wirtschaftsingenieure; Leipzig 1999
- [44] Höppner, J.; Postenrieder, E.: Abgasanlagen für moderne Feuerstätten. Die wichtigsten Fragen und Antworten rund um den Schornstein; Stuttgart: Gentner, 1984
- [45] Humm, Othmar (Hrsg.): NiedrigEnergie- und PassivHäuser. Konzepte, Planung, Konstruktionen, Beispiele; Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 1998
- [46] Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart (Hrsg.): Biomasse als Festbrennstoff. Anforderungen - Einflussmöglichkeiten - Normung. Tagungsband; Münster 1996
- [47] Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft (Hrsg.): Planungsprogramm zur Nutzung von Biomasse für die Heizenergieversorgung von Gewächshäusern; Hannover 1998
- [48] Kapellmann, K.; Langen, W.: Einführung in die VOB/B. Basiswissen für die Praxis; Düsseldorf 1998
- [49] Kugler, Gernot (Bearb.): Betriebswirtschaftslehre der Unternehmung; Haan-Gruiten 1992
- [50] Ladener, H.; Späte, F.: Solaranlagen. Handbuch der thermischen Solarenergienutzung; Staufen bei Freiburg⁶, 1999
- [51] Landesenergieverein (Hrsg.): Handbuch Fernwärme - Nahwärme aus Biomasse. Ausgabe Steiermark 1992; Graz 1992
- [52] Marutzky, R.; Seeger, K.: Energie aus Holz und anderer Biomasse; Leinfelden-Echterdingen 1999
- [53] Marutzky, Rainer (Hrsg.): Moderne Feuerungstechnik zur energetischen Verwertung von Holz und Holzabfällen. Emissionsminderung, Konzepte und ausgeführte Anlagen; Düsseldorf 1997
- [54] Münster, Thomas: Die optimale Rechtsform für Selbständige,

- Unternehmer und Existenzgründer; Landsberg am Lech 1996
- [55] Munser, Herbert: Fernwärmeversorgung; Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1980
- [56] Netz, Heinrich: Handbuch Wärme; München 1991
- [57] Nussbaumer, Thomas (Hrsg.): Neue Erkenntnisse zur thermischen Nutzung von Holz; Bern 1994
- [58] Obernberger, Ingwald: Nutzung fester Biomasse in Verbrennungsanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Verhaltens aschebildender Elemente; Graz 1997
- [59] Öko-Institut e.V. (Hrsg.): Thermische Solaranlagen. Marktübersicht; Staufen bei Freiburg: Ökobuch, 1997
- [60] Ostbayerisches Technologie Transfer Institut e.V. (Hrsg.): Drittes Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Heizanlagen. Tagungsband; Regensburg 1994
- [61] Queitsch, Peter: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz; Köln 1997
- [62] Rudolph, R.; Grüning, F.; Purper, G.: Fernwärme. Technik und Wirtschaftlichkeit. Angebot und Nachfrage bis 1990. Energieeinsparung und Ökologie; Köln: Verlag TÜV Rheinland, 1982
- [63] Schmitz, K.; Koch, G.: Kraft-Wärme-Kopplung. Anlagenauswahl, Dimensionierung, Wirtschaftlichkeit, Emissionsbilanz; Düsseldorf: VDI-Verlag, 1994
- [64] Schramek, E.-R. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik; München 1999
- [65] Seeger, Klaus: Energietechnik in der Holzverarbeitung; Leinfelden-Echterdingen 1989
- [66] Stohler, F.; Stadelmann, M.: Umweltschonend heizen mit Gas; Aarau: AT, 1986
- [67] Stumpf, H.; Windorfer, E.: Fernwärme in der Bundesrepublik Deutschland. Hindernisse für ihre Entwicklung, Ansatzpunkte für ihre öffentliche Förderung; Karlsruhe: Müller, 1985
- [68] Suttor, W. (Hrsg.): Praxis der Kraft-Wärme-Kopplung; Karlsruhe 1999
- [69] Techem AG (Hrsg.): Energiekennzahlen. Hilfen für den Wohnungswirt; Frankfurt 2000

- [70] Tiator, Ingolf: Die neue Meisterprüfung Heizungsanlagen; Würzburg: Vogel, 1998
- [71] Umweltbundesamt (Hrsg.): Feinstaub - Die Situation in Deutschland nach der EU-Tochterrichtlinie. Bericht über ein Symposium am 26. und 27. Juni 2000
- [72] VDI 2067; Ausgabe 1992
- [73] Verband für Wärmelieferung (Hrsg.): Betriebswirtschaftliche Grundlagen der Wärmelieferung; Gernsheim 1996
- [74] Verband für Wärmelieferung (Hrsg.): Technische Konzepte zur Wärmelieferung; Gernsheim 1995
- [75] Verband für Wärmelieferung (Hrsg.): Rechtliche Grundlagen der Wärmelieferung; Gernsheim 1996
- [76] Verband für Wärmelieferung (Hrsg.): Rechtsdatensammlung; Gernsheim 1999
- [77] Verbraucherzentrale Niedersachsen e.V. (Hrsg.): Heizung. Planen, Berechnen, Modernisieren; Hannover⁵ 1999
- [78] Westerhoff, Ralph: Geschäftsgründung. Gewerbe, Niederlassung, Gesellschaft; München 1997
- [79] Wöhe, Günter: Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre; München 1993
- [80] www.pecu.de
- [81] www.strom.de

Der Autor möchte sich bei allen Wärmekunden dafür entschuldigen, dass er sie als „Abnehmer“ bezeichnet.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Gilbert Krapf

C.A.R.M.E.N.e.V.

Schulgasse 18

D-94315 Straubing

Telefon: 0 94 21/9 60-3 31

Telefax: 0 94 21/9 60-3 33

e-mail: gk@carmen-ev.de

url: <http://www.carmen-ev.de>

Oktober 2000



C.A.R.M.E.N., das Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk ist eine Einrichtung, die es sich zur Aufgabe gemacht hat, die Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen im technischen und energetischen Bereich zu forcieren. Im Vordergrund steht die Markterschließung von neuen Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen. Um eine möglichst enge Anbindung der Wirtschaft zu erreichen, wurde als Unternehmensform der eingetragene Verein gewählt, in dem Wirtschaftsunternehmen und Staat in gleichem Maß Mitspracherecht besitzen.

C.A.R.M.E.N. nimmt *im Wesentlichen drei Funktionen* wahr:

- C.A.R.M.E.N. ist Projektträger im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Landwirtschaft und Forsten: ca. 20 Mio DM stehen als Zuschuss für Projekte zur Markteinführung von Nachwachsenden Rohstoffen zur Verfügung.
- C.A.R.M.E.N. steht in engem Kontakt mit zahlreichen Firmen und Institutionen, die sich mit Forschung und Entwicklung, Produktion, Marketing oder Vertrieb von Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen beschäftigen. C.A.R.M.E.N. berät Unternehmen, staatliche Institutionen und Privatleute über Einsatzmöglichkeiten von nachwachsenden Rohstoffen in den unterschiedlichsten Anwendungen:
 - Biomasseheiz(kraft)werke
 - Biogene Treibstoffe
 - Pflanzenöl-Schmierstoffe
 - Farben, Lacke
 - Faser-Verbundwerkstoffe
 - Bau- und Dämmstoffe
 - Geotextilien
 - Biopolymere
 - Verpackungsformteile
 - Kompostierung
- C.A.R.M.E.N. betreibt aktiv Öffentlichkeitsarbeit. Wir publizieren Pressemeldungen für Tages- und Fachpresse, erstellen Sonderpublikationen wie Tagungsbände, Herstellerverzeichnisse oder Kataloge, organisieren Presse- und Expertengespräche wie auch das jährlich stattfindende Symposium "Im Kreislauf der Natur" mit mehr als 300 Teilnehmern. Die größte europäische Wanderausstellung mit mehr als 600 Anwendungen aus nachwachsenden Rohstoffen wird von C.A.R.M.E.N. betreut und bundesweit präsentiert.

Wir freuen uns über Ihr Interesse an unserer Arbeit. Wenn Sie Unterlagen zur Prüfung einer Mitgliedschaft im C.A.R.M.E.N. e.V. oder vertiefende Informationen wünschen, genügt ein kurzer Anruf. Wir stehen Ihnen gerne für weitere Fragen zur Verfügung.