

AGFW-Studie „Pluralistische Wärmeversorgung“

Ausgehend von den bestehenden Verpflichtungen Deutschlands zur Reduktion klimaschädigender Gase, setzt sich das Vorhaben das Ziel, Strategien und Technologien darzustellen, die unter liberalisierten Marktbedingungen zur vorgegebenen Minderung beitragen.

Es werden zwei Zeithorizonte unterschieden: 2005 und 2020. Die in den Jahren 1999 und 2002 durchgeführte Vorstudie zeigt kurzfristige Maßnahmen für den Zeithorizont 2005 auf. Die in drei Bearbeitungsabschnitten konzipierte Hauptstudie untersucht mittelfristige Maßnahmen und ist auf den Zeithorizont 2020 ausgelegt.

Zur Zeit ist der zweite Abschnitt der Hauptstudie in Arbeit, dessen Schwerpunkte der zukünftige Wärmemarkt und die Entwicklung und Bewertung der KWK-Techniken ist.

Folgende Aufgaben standen 2001 im Mittelpunkt:

Technisch-wissenschaftlicher Nachweis der Effizienz von Fördermaßnahmen der KWK als CO₂-Einspartechnik

Ausgehend von der Zielsetzung der Bundesregierung, die CO₂-Emissionen bis 2005 um 25 % zu senken, hatte die AGFW-Vorstudie „Pluralistische Wärmeversorgung“ die zentrale Frage beantwortet, welchen Beitrag die KWK zum Erreichen dieses Ziels leisten kann.

Im **ersten Bearbeitungsabschnitt** der folgenden Hauptstudie „Pluralistische Wärmeversorgung“ vom 01.09.2000 bis 31.03.2001 ging es darum, das Vorhaben des Gesetzgebers im Hinblick auf ein neues KWK-Gesetz durch Arbeiten zu Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, zu den Zertifizierungsverfahren und zu den Fördermodellen wissenschaftlich zu analysieren, offene Punkte aufzuzeigen und Lösungsvorschläge zu unterbreiten .

Die Analyse der möglichen Förderinstrumente (Steuer, Beihilfe, Einspeisevergütung, Quotenmodell) hat ergeben, daß sich aus allen Bausteinen von Förderinstrumenten ein sinnvolles Instrumentenmix konstruieren läßt. Ein wesentliches Merkmal für die Umsetzung ist die einfache und transparente Abwicklung. Diese ist bei Steuer, Beihilfe und Preisregulierung größer als beim Quotenmodell.

Unabhängig vom Förderverfahren, ist als Voraussetzung für jegliche zielorientierte, transparente und allgemein akzeptierte Förderung der KWK eine Grundlage für die Zertifizierung des erwünschten Produktes zu schaffen. Die Analyse der Vielzahl vorgeschlagener Zertifizierungskriterien hat ergeben, daß definierter KWK-Strom gemäß FW 308 eine geeignete Meßgröße darstellt. Dabei handelt es sich ausschließlich um den Strom, der physikalisch begründet als Co-Produkt von für Nutzenwendungen bereitgestellter Wärme erzeugt wird. Jeder so erzeugte Strom leistet unabhängig vom Umwandlungsverfahren einen ähnlich hohen Beitrag zur Primärenergieeinsparung und sollte gleichermaßen gefördert werden.

Technologischer Vergleich von Maßnahmen zur Energieeinsparung im Gebäudebestand

Die Vorstudie "Pluralistische Wärmeversorgung" war zu dem Ergebnis gekommen, daß die Kraft-Wärme-Kopplung mit einem unteren Grenzwert von $-230 \text{ DM}/(\text{t CO}_2)$ und einem oberen Grenzwert von $250 \text{ DM}/(\text{t CO}_2)$ sowie die Wärmedämmung mit einem unteren Grenzwert von $-130 \text{ DM}/(\text{t CO}_2)$ und einem oberen Grenzwert von $790 \text{ DM}/(\text{t CO}_2)$ die günstigsten Verfahren zur Minderung der CO_2 -Emissionen darstellen.

Der generelle Vergleich der Vorstudie war nicht darauf angelegt, die Frage zu beantworten, in welchem konkreten Anwendungsgebiet die genannten Techniken am günstigsten einzusetzen wären. Daraus war auch nicht zu ersehen, ob die beiden kostengünstigen CO_2 -Minderungstechniken konkurrierend auf das gleiche Anwendungsgebiet abzielen, sich in unterschiedlichen Anwendungsgebieten ergänzen oder ob eine kombinierte Anwendung beider Techniken sinnvoll und zielführend ist.

Um die Rangfolge der unterschiedlichen Techniken und ihre Einsparpotentiale näher zu analysieren, ist es erforderlich, die Nah- und Fernwärmeversorgung detaillierter abzubilden. Dazu ist es notwendig, die Datenbasis der Modelle zu verbessern. Arbeiten hierzu wurden in 2001 in Gang gesetzt, und zwar mit der Modellierung repräsentativer Wärmeversorgungsaufgaben auf der Basis realer Siedlungsstrukturen.

Entwicklung des Wärmemarktes und dessen zukünftige technische, wirtschaftliche und ökologische Randbedingungen

Die Verdoppelung des KWK-Stromanteils bis 2010 ist nicht zwingend an einen linearen, konstanten, jährlichen Zubau über den gesamten Zeitraum gebunden, sondern kann mit Rücksicht auf notwendige Ersatzinvestitionen mit nichtlinearer Zuwachsfunktion ebenso erreicht werden. Hierdurch werden erhebliche Freiräume für das unternehmerische Handeln in der Energiewirtschaft erhalten bzw. erschlossen.

Um die wirtschaftlichen und ökologisch vorteilhaften Ausbaupotentiale der KWK und der Nah-/Fernwärme auszuweisen, wurde ein neues Verfahren zur Bestimmung der Ausbaupotentiale konzipiert. Es sieht vor, unter Verwendung neuer Daten aus Geoinformationssystemen und weiterer Unterlagen eine digitale Wärmebedarfskarte aufzubauen. Damit sollen dann unter Verwendung neuer Daten zur KWK-Anlagentechnik, technisch-wirtschaftlicher Zielvorgaben und der Belange des Klimaschutzes Ausbauvarianten der KWK und der Nah-/Fernwärme untersucht werden.

Stand und weitere Entwicklung der Erzeugungstechniken für Strom und Wärme und deren Bewertung

Bei der Bewertung der Technologien der Energieversorgung wurde eine Effizienzkennzahl verwendet, die den exergetischen Wirkungsgrad, die Kosten der Wärme- und Stromerzeugung sowie brennstoffspezifische CO_2 -Emissionen berücksichtigt.

Nach der durchgeführten Untersuchung gehören Heizkessel und Heizwerke aufgrund der schlechten Ausnutzung des Brennstoffpotentials trotz hoher Gesamtnutzungsgrade zu den ineffizientesten Technologien. Die Möglichkeit zur Verbesserung durch Weiterentwicklung der Heizkessel/Heizwerke ist kaum gegeben, da sie in Form der Brennwerttechnik an ihrer physikalischen Grenze angelangt sind. Sowohl die KWK-Anlagen als auch die reinen Stromerzeuger sind im wesentlichen überdurchschnittlich effiziente Technologien. Dabei gilt es jedoch zu berücksichtigen, daß auch die effizientesten Technologien der ungekoppelten Stromerzeugung immer die Kombination mit den ineffizienten Heizkesseln/Heizwerken erforderlich machen.

Sinnvoll erscheint es daher, in erster Linie Heizkessel/-Heizwerke durch moderne KWK-Technologien zu ersetzen, die alternativ zur Wärmeversorgung zur Verfügung stehen. Ein vergleichsweise geringer Effekt ist dann zu erwarten, wenn bereits effizient arbeitende Technologien durch noch effizientere ersetzt werden.

Der **zweite Bearbeitungsabschnitt** ist in zwei Arbeitslinien unterteilt, die man mit Wärmemarkt und Technikentwicklung und –bewertung überschreiben kann.

Zur Arbeitslinie „Wärmemarkt“ gehören die Arbeitspakete

- Datenaufbereitung für eine digitale Wärmekarte,
- Transformationsmechanismen zwischen Wärmekarte und Energiesystemmodell,
- lokale Modelle der Energieversorgung/Stadtmodell,
- erste Hochrechnung zur Darstellung der Potentiale für Kraft-Wärme-Kopplung und Nah-Fernwärme,
- Anforderungen an die zukünftige Infrastruktur.

Zur Arbeitslinie „Technikentwicklung und –bewertung“ gehören die Arbeitspakete

- Analyse und Beschreibung der Techniklinien bis 2020.
- Mehrdimensionale/Multikriterielle Technikbewertung.

Im folgenden werden die Schwerpunkte der in 2002 begonnenen Arbeiten näher beschrieben.

Räumlich verteilter Wärmebedarf – Digitale Wärmekarte

Mit einem neuen Verfahren soll eine erhebliche Verbesserung der Abbildung des örtlich verteilten Wärmebedarfs gelingen. Außerdem soll eine bessere Hochrechnung des örtlich verteilten Wärmebedarfs unter Verwendung von Energiesystemmodellen möglich sein, um die Potentiale für KWK, Nah- und Fernwärme besser abschätzen zu können.

Dazu soll einerseits ein Verfahren mit Laserscannern zur Erfassung der Gebäude in einer Stadt eingesetzt und die dabei gewonnenen Daten beispielhaft zur Weiterverrechnung in einem Energiesystemmodell für ganz Deutschland bereit gestellt werden.

Das auf Laserscannerdaten beruhende Verfahren wird anhand von Stadtgebieten entwickelt, für die es bereits eine gute Beschreibung der Wärmebedarfsverteilung gibt. Hierfür sind vier Stuttgarter Stadtviertel ausgewählt worden. Die Detaillierung des Verfahrens ist

derzeit in der Prüfung. Da die bereits vorhandene Versorgung die Ausbaupotentiale erheblich beeinflusst, wird weiterhin geprüft, in welcher Weise sich Leitungs-GIS-Informationen direkt mit dem so gewonnenen Wärmebedarfsmodell verknüpfen lassen.

Parallel hierzu werden Vorbereitungen getroffen, um zu einer vorläufigen Wärmekarte für die Bundesrepublik zu kommen.

Hierfür werden Verteilungsschlüssel für die Bebauungsstruktur und den Wärmebedarf anhand mehrerer Stadtbeispiele erarbeitet. Es ist beabsichtigt, auf diese Art anhand einer kleinen Anzahl von Beispielen, Standardtypen erarbeiten zu können, die auf einen möglichst großen Bereich der Bundesrepublik übertragen werden können.

Fragen der Entwicklung eines stabilen Verfahrens mittels Laserscanning haben in dieser Phase des Projektes eindeutig Vorrang vor Fragen der Anwendung auf einen möglichst großen Bereich der Bundesrepublik.

Technikentwicklung

Kurz zusammengefaßt kann der Stand der Bearbeitung wie folgt wiedergegeben werden.

Alle Technologien thermischer Kraftanlagen sind grundsätzlich zur Kraft-Wärme-Kopplung geeignet. Der brennstoffsparende Effekt der KWK gegenüber der ungekoppelten Erzeugung hängt jedoch ab vom Technologieniveau bzw. der thermodynamischen Güte im Heizkraftwerk und im Kraftwerk. Diese Güte läßt sich mit dem elektrischen Wirkungsgrad oder der Stromkennzahl einfach beschreiben.

Die Großkraftwerkstechnik wird zum allergrößten Teil aus kohlegefeuerten Dampfkraftwerken großer Eigenleistung um etwa 1 GW bestehen, deren Wirkungsgrade gegen 50 % streben. Aus diesen Großkraftwerken kann in der Regel nur ein bescheidener Anteil der Abwärme genutzt werden, der wiederum über große Entfernungen in Wärmebedarfsgebiete zu transportieren ist.

Neu ist die Entwicklung auch sehr kleiner Einheiten auf der Basis von Brennstoffzellen. Es ist davon auszugehen, daß das Hauptentwicklungsziel kleiner Brennstoffzellen der Preis und die Verfügbarkeit sein werden und nicht die Steigerung der Wirkungsgrade. Dieses Ziel wird insbesondere durch vereinfachte Reformierungsprozesse angestrebt, im Fall der SOFC die Vermeidung der an sich vorteilhaften Dampfreformierung und die Anwendung der partiellen Oxidation mit weitaus geringerer Wasserstoffausbeute.

Es bleibt abzuwarten, ob dieses Konzept in Konkurrenz zur bewährten Nah- und Fernwärmeversorgung aus BHKW und größeren HKW treten kann. Aus heutiger Sicht ist dies eher zu bezweifeln. Eine echte Qualitätssteigerung könnten eher die Brennstoffzellen-BHKW erreichen, die im Leistungsspektrum 10 bis 1000 kW entwickelt werden und die traditionellen Kolbenmotoren (Gasmotoren, Gasdieselmotoren) an thermodynamischer Effizienz mit elektrischen Wirkungsgraden von 50 bis 70 % erheblich übertreffen können. Fraglich ist allerdings, ob dieser Vorteil mit einem monetären Vorteil verbunden werden kann, auch hier ist nur vorsichtiger Optimismus für die nächsten 10 bis 20 Jahre angebracht. Die motorischen BHKW mit Einheitsleistungen von mehreren MW liegen mit über

40 % elektrischen Wirkungsgrades sicher noch viele Jahre im wirtschaftlichen Vergleich vorn.

Der Bereich von 10 bis zu einigen 100 MW wird von Gasturbinen beherrscht. Einfache offene GT-Heizkraftwerke erreichen Wirkungsgrade zwischen 20 und 40 %. In Kombination mit Dampfkraftprozessen sind Steigerungen von 20 % auf 30 % und von 40 % auf nahezu 60 % möglich, die allerdings in HKW wegen der Wärmeauskopplung um 5 bis 10 % geringer ausfallen. Eine interessante Zwischenstellung nehmen die sog. „wet-cycles“ ein (darunter versteht man umgangssprachlich alle „feuchten“ Turbinenprozesse), die bei relativ geringem Anlagenaufwand – weil eine separate Dampfturbine nicht erforderlich ist – deutlich gegenüber einfachen Gasturbinen verbessert sind. Hier ist noch einiger Entwicklungsaufwand zu betreiben, in einem Gebiet, das für die Heizkraftwirtschaft interessant erscheint.

Technologierangfolge und Technikbewertung

Die unterschiedlichen Techniklinien sollen nach technischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien bewertet werden. In der technologischen Bewertung wird die Umwandlungskette untersucht und beurteilt. Die ökologische Bewertung soll nicht – wie vielfach praktiziert – auf die CO₂-Emission beschränkt werden, sondern weitere umweltrelevante Faktoren umfassen. In der ökonomischen Betrachtung sind die Investitions-, Brennstoff- und Betriebskosten die grundlegenden Größen. Weiterhin spielen in der Bewertung die Akzeptanz, die Flexibilität und die Anpassung neben anderen Größen eine Rolle. Insgesamt handelt es sich also um die Suche nach einem optimalen Technikeinsatz für unterschiedliche Versorgungsfälle unter Einbeziehung mehrerer Kriterien, die mathematisch unter Verwendung multiattributiver Entscheidungsmodelle zu lösen sind.

Bei der Bildung der Rangfolge von Techniksystemen zur Erzeugung von Strom und Wärme unter Wertung nach energetischen, ökonomischen und ökologischen Kriterien sollen KWK-Techniken wie auch die getrennte Erzeugung von Strom und Wärme berücksichtigt werden.

Gängige Technikvergleiche, insbesondere Vergleiche von gekoppelter mit ungekoppelter Erzeugung, gehen in der Regel von einer definierten Versorgungsaufgabe, d. h. von einer eventuell auch zeitlich aufgelösten Vorgabe des Strom- und Wärmebedarfs, aus. Die Abhängigkeit von diesen Vorgaben führt dann zu einer Einschränkung der Betrachtung. Die in der AGFW-Studie gewählte Vorgehensweise ermöglicht es, demgegenüber unterschiedliche Versorgungsfälle einzubeziehen.

Die derzeit diskutierten Kriterien bei der Aufstellung einer Technikrangfolge sind

- energetische: Brennstoffverbrauch, energetischer und exergetischer Nutzungsgrad,
- technisch: Verfügbarkeit der Energieträger, Netzanbindung, Störanfälligkeit, Teillastverhalten, flexible Fahrweise, Installationsaufwand, Temperaturniveau der Wärme,
- ökonomisch: Investitionskosten, Brennstoffkosten, Betriebskosten, Erlöse,
- ökologisch: CO₂-, NO_x-, SO_x- und andere Emissionen, Immissionen, Lärm, Flächenverbrauch.