

Kraft-Wärme-Kopplung auch mit Erneuerbaren Energien

H. Kabisch, Berlin

Vor dem Hintergrund einer klimabewahrenden Energieversorgung, des sparsamen Umgangs mit fossilen Energieträgern und der optimalen Nutzung Erneuerbarer Energien (EE) war und ist die KWK eine Summe innovativer Umwandlungstechnologien. Eine neue Studie stellt dazu fest: KWK, EE und moderne Kohlekraftwerke sind die wichtigsten Elemente der im Wandel begriffenen umweltfreundlichen Strom- und Wärmeversorgung.

1 Hohe Stromausbeute bringt wirtschaftlichen Betrieb

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bedeutet gemäß einer EU-Richtlinie „die gleichzeitige Erzeugung thermischer Energie und elektrischer und/oder mechanischer Energie in einem Prozess“. Um es einfacher auszudrücken: Das für den Elektrotechniker so interessante KWK-System liefert Strom und zeitgleich nutzbare Wärmeenergie. KWK ist, wie gezeigt wird, im Bereich der stationären Energieversorgung eine unverzichtbare Zukunftstechnologie, die verschiedenartige Energieträger umweltfreundlicher als reine Stromerzeuger in nutzbare Endenergie umwandelt – von Ausnahmen wie Wasserkraft abgesehen.

Wie im übrigen Europa beruht auch die deutsche Stromversorgung vor allem auf Wärmekraftwerken, in denen auf dem Umweg über die Erzeugung von Heißdampf Rotationsenergie entsteht, die Generatoren antreibt. Dazu gehören auch Kondensationskraftwerke, die nur Strom liefern und deren Abwärme am Ende des Kraftwerksprozesses nutzlos auf Kühltürmen verloren geht. Deshalb sind Forscher bemüht, die Effizienz des Energieumwandlungsprozesses durch schrittweise Erhöhung des elektrischen Wirkungsgrades zu erhöhen [1]. Wesentlich größere Einsparungen sind aber möglich, wenn der ganze Brennstoff (bis auf Reste von etwa 10 %) genutzt wird, indem Strom plus Wärme gemeinsam erzeugt werden. Dadurch kann je nach Aufbau des Kraftwerksprozesses 15 bis 30 % der zugeführten Energie eingespart werden. Sie kann dann entweder als Prozesswärme oder zur Gebäudeheizung und Warmwasseraufbereitung einen Versorgungsbeitrag leisten. Zur kostenverträglichen Realisierung bedarf es einer verbrauchernah installierten KWK-Anlage, deren Kunden mit einer hohen Anzahl jährlicher Betriebsstunden annähernd zeitgleich Strom und Wärme beziehen. Häufig wird auch ein Wärmespeicher installiert. Um die Wirtschaftlichkeit der Energieversorgung sicherzustellen, wird

eine hohe Stromausbeute angestrebt. Das bedeutet die Auswahl einer KWK-Technologie mit hoher Stromkennzahl, die sich aus dem Quotienten aus erzeugter elektrischer Energie und Wärme leicht ermitteln lässt. Inzwischen gibt es leistungsregelbare KWK-Technologien, deren elektrische bzw. thermische Leistung an den tatsächlichen Bedarf angepasst werden kann (vgl. ep 5/04, S. 366). Schließlich kann aber auch eine mit Wärmeenergie befeuerte Kältemaschine im Sommer Bedarfsanpassung und Wirtschaftlichkeit verbessern.

2 Zwei KWK-Technologien beherrschen den Markt

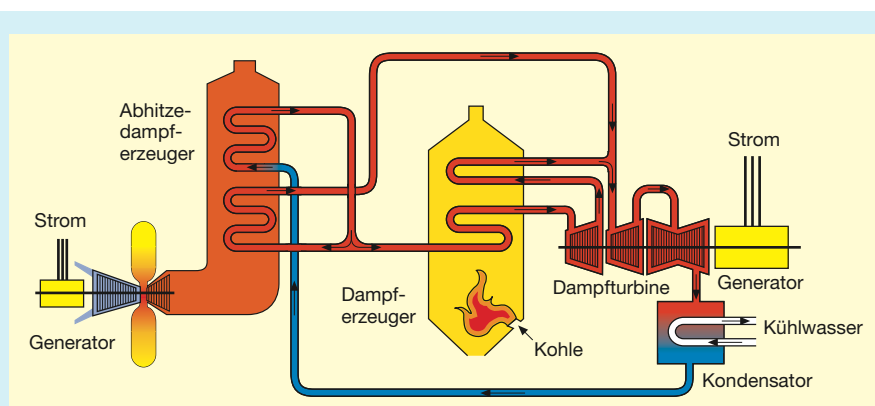
Wichtigstes Kennzeichen der KWK-Anlage ist ihre Technologie, die zurzeit erst für GuD-Kraftwerke und Blockheizkraftwerke (BHKW) bis zur vollen Marktreife ausgereizt wurde. Beide unterscheiden sich insbesondere im Leistungsbereich, im Aufbau, im Antrieb und vor allem durch die Wärmequelle. Während für BHKW die Abwärme des Systems ausreicht, wird im GuD-Kraftwerk Wärme aus dem Kraftwerksprozess ausgekoppelt und ggf. sogar noch durch eine erdgasversorgte Zusatzbefehrerung ergänzt [2, 3]. Der eigentliche Kraftwerksprozess beruht auf einer geschickten

Kombination von Gas- und Dampfturbinen (Bild 1). Das **GuD-Kraftwerk** bestreicht einen Leistungsbereich ab etwa 100 MW bis zu mehreren hundert MW. Mit einem elektrischen Wirkungsgrad von nahezu 60 % sind diese KWK-Kraftwerke gleichzeitig Spitzenreiter unter den stromerzeugenden Kraftwerken. Sie nutzen den Brennstoff zu etwa 90 % und können das Verhältnis zwischen Strom und Wärme dem Bedarf anpassen.

Typische Merkmale der **BHKW** sind der modulare Aufbau, der eine Parallelschaltung mehrerer baugleicher Geräte zwecks Leistungserhöhung, Verbesserung der Versorgungssicherheit und zur stufenweisen Anpassung an den jeweiligen Wärmebedarf erlaubt. Das Leistungsspektrum reicht nach ASUE-Katalog von 3 kW bis über 5 MW. Antriebselemente sind Gas-Otto-Motoren, ergänzt im oberen Leistungsbereich durch Gas-Diesel-Motoren. Sie setzen etwa 87 bis 93 % des Brennstoffes in Strom und Wärme um. Weniger befriedigen kann die Stromkennzahl, die zwar beim leistungsstärksten BHKW 0,93 erreicht. Diese Kennziffer sinkt aber beim 5,5 kW_{el} leistenden BHKW auf 0,44 und beim 3 kW-Typ auf nur noch 0,33 [2, 3].

3 Kleinst-KWK in den Startlöchern

Schließlich sei auf KWK-Technologien verwiesen, die mittelfristig die heute gebräuchlichen BHKW im unteren Leistungsbereich ergänzen und vermutlich sogar ersetzen. Die unter dem Begriff Micro Power (Mikro-KWK) vorgestellten Testgeräte sind vor allem für den gebäudeintegrierten Einsatz vorgesehen und dürften in weniger als einem Jahrzehnt die Marktreife erreichen. Es handelt sich dabei insbesondere um Brennstoffzellen (BZ), BHKW mit Heißmotorantrieb (Stirling), Dampfmotorsysteme und Mikroturbinen für einen Leistungsbereich von 1 bis 100 kW [2, 3, 4, 5].



1 GuD-Kraftwerke bauen auf das Zusammenwirken von Gas- und Dampfturbinen-antrieben auf und werden deshalb auch als Kombinationskraftwerke bezeichnet. Sie sind weit verbreitete Erzeuger von Strom und Wärmeenergie und nutzen ihren Brennstoff zu etwa 90 % aus.

Quelle: Siemens

Autor

Dipl.-Ing. Helmut Kabisch ist freier Fachjournalist, Berlin.

4 Fernwärmenetz für ausgedehnte Versorgungsgebiete

Abgesehen von vereinzelt Inselsystemen (z. B. in abgelegenen Gebieten) werden in Deutschland KWK-Anlagen netzgekoppelt betrieben, sodass der erzeugte Strom ohne wesentlichen Zusatzaufwand den Verbraucher erreicht. Auch die Nutzung der Wärme erfordert eine Verbindung zum Verbraucher. Ist die KWK-Anlage dezentral in einem Gebäude untergebracht, wird sie als Teil der Energieversorgung in die ohnehin vorhandene Energiezentrale integriert. Sind mehrere Gebäude zu versorgen, ist häufig ein einfach zu realisierendes, kostengünstiges Nahwärmesystem die beste Lösung (vgl. **ep** 2/04, S.91). Die größere Wärmeleistung eines ausgedehnten Versorgungsgebietes erfordert aber ausgedehnte Fernwärmenetze mit einer bedeutenden Anzahl von Übergabestationen (in Berlin beispielsweise mehr als 14 000) sowie vielfach auch mehreren Heizkraftwerken und BHKW-Anlagen als Wärmelieferanten. Sie sind meistens Eigentum des regionalen Versorgungsunternehmens, das seinen Heißwasser-Service bei Bedarf um zusätzliche Absorptionsanlagen, die Kälteenergie liefern, ergänzt. Zu diesen meist städtischen Versorgungsgebieten gehören beispielsweise Hamburg und Berlin, die über das zweitgrößte und größte Fernwärmenetz Westeuropas verfügen – so die Aussagen des dort aktiven Energiekonzerns Vattenfall Europe sowie der zugehörigen Versorger HEW und Bewag. Dabei zeigte sich, dass KWK keine Erfindung der Neuzeit ist und bereits ab 1894 in Hamburg der erste Fernwärmeabnehmer versorgt wurde. Inzwischen versorgen dort mehrere moderne KWK-Kraftwerke die Verbraucher über ein 600 km langes Fernwärmenetz.

Zusammen mit Berlin verfügt der Konzern an beiden Orten über ein mehr als 2000 km langes Fernwärmenetz, das u. a. auch mehr als 3 Mio. Haushalte mit Wärme versorgt. Beide Netze werden von einem „Erzeugungspark“ mit 22 Heizkraftwerken und Heizwerken gespeist. Die Gesamtleistung beträgt 7 000 MW thermisch und 3 000 MW elektrisch.

5 Kombikraftwerk hoher Flexibilität

Unmittelbar nach der Wiedervereinigung wurden in Berlin u. a. auch die bis dahin getrennten Fernwärmenetze vereint. Verbunden damit war die Verstärkung des Anteils an KWK-Anlagen, die vor allem im Ostteil fehlten. Letztes Ereignis war die 2003/2004 erfolgte Inbetriebnahme eines KWK-Kraftwerkes mit einer elektrischen Leistung von 20 kW, das selbst in einer Großstadt ohne Probleme mit Biomasse (Holz) befeuert werden kann (vgl. **ep** 2/04, S. 90). Bereits 1997 wurde in Berlin-Mitte ein neu errichtetes Kombikraftwerk

(GuD) mit einer elektrischen Leistung von 380 MW in Betrieb genommen. Hierbei werden – wie bereits erwähnt – Gasturbinen, Abhitzekessel und nachgeschaltete Dampfturbinen so geschickt miteinander kombiniert, dass das Kraftwerk optimal an den jeweiligen Strom- und Wärmebedarf angepasst werden kann. Das Zusammenwirken dieser Komponenten sichert, dass das Kraftwerk eine Heizleistung von 380 MW plus 240 MW Spitzenheizleistung aus erdgasbefeuerten Heißwassererzeugern liefert. Damit ist das GuD-Kraftwerk der größte und wichtigste Wärmelieferant für das Berliner Fernwärmesystem, der darüber hinaus durch geringste CO₂-Emissionen auffällt (Bild 2). Nicht anders als bei der Stromgewinnung wird nur die Wärme erzeugt, die vom Kunden abgenommen wird. Das Kombikraftwerk steht praktisch direkt bei seinen Fernwärmeabnehmern inmitten einer gewachsenen Struktur aus Wohn- und Gewerbebetrieben. Ein besonderer Versorgungsschwerpunkt sind aber der Potsdamer und der benachbarte Leipziger Platz, beide inzwischen weitgehend erschlossene Neubaugebiete mit hohen Anforderungen an eine qualifizierte Energieversorgung. Das erforderte eine Erweiterung des Wärmenetzes vom Kombikraft-

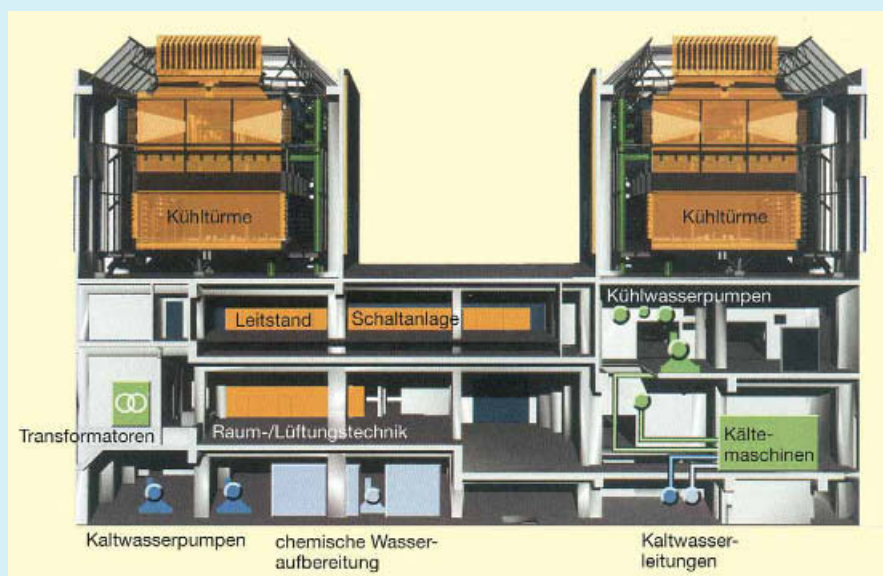
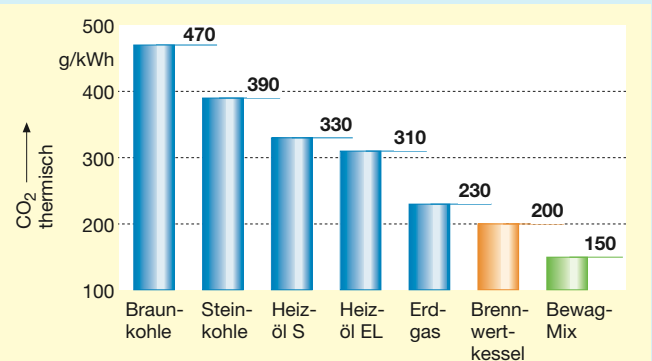
werk bis zu einer neuen Energiezentrale am Potsdamer Platz. Gleichzeitig wurde durch die Einbeziehung eines bereits vorhandenen Heizwerkes die Versorgungssicherheit erhöht. Diesem Ziel dient auch die ganzjährige Wärmelieferung durch das Kombikraftwerk [6].

6 Energiezentrale zur Strom- und Kälteversorgung

Für die wieder erstandenen Gebäude wurde am Potsdamer Platz eine wohl einmalige Energiezentrale geschaffen. Das betrifft weniger das den gebräuchlichen Standards entsprechende 110/10-kV-Umspannwerk, die 10-kV-Allgemeinstromversorgung und auch nicht die aus Sicherheitsgründen nach DIN VDE 0108 installierte Ersatzstromversorgung, die über ein gesondertes 110/10-kV-Umspannwerk gespeist und fast von allen Investoren genutzt wird. Ein Novum ist auch nicht die Verwendung der Fernwärme für Heizung und Warmwasseraufbereitung, sondern die großflächig genutzte Kältegewinnung (insbesondere für Klimaanlagen) mit Wärme bzw. Strom.

Als Transportmedium für die Kälteversorgung dient Kaltwasser mit einer Vorlauftemperatur

2 Spezifische CO₂-Emission verschiedener Brennstoffe und Arten der Wärmeerzeugung einschl. mit Erdgas befeuerten Brennwertkessel und dem GuD-Kraftwerk in Berlin-Mitte (Bewag-Mix)



3 Gebäudeschnitt der Energiezentrale

Quelle: Bewag

von ca. 6 °C. Das auf etwa 12 bis 14 °C erwärmte Wasser wird anschließend dem Kälteteil der Energiezentrale zur Abkühlung zugeführt (Bild 3). Dort wird in einer variablen Kombination aus Absorptions- und Kompressionsanlagen das Transportmedium rückgekühlt. Erstere benötigen zur Temperaturabsenkung Wärmeenergie. Hierfür wird vor allem in der Übergangs- und Sommerzeit die schwer nutzbare Kraftwerkswärme eingesetzt. Alternativ wird die Kompressionskälteanlage – die ähnlich wie Haushaltskühlschränke Strom zur Kältegewinnung verwendet – zugeschaltet. Ähnlich wie bei der Versorgung mit Strom und Wärme besitzt auch der Kältebereich des Potsdamer Platzes ein Verteilernetz mit ringförmiger Struktur. Ziel ist in allen Fällen die Erhöhung der Versorgungssicherheit.

Bereits 1997 standen erste Einrichtungen der Energiezentrale funktionsbereit zur Verfügung. Seitdem werden neue Kunden bedarfsorientiert und entsprechend dem Baufortschritt im Gebäudebereich schrittweise an Strom-, Wärme- und Kältenetze angeschlossen. Nach Realisierung der letzten Projekte, voraussichtlich im Jahre 2005, wird der Abschluss mit folgendem Energieabsatz erwartet: Strom 169 Mio. kWh/a, Wärme 135 Mio. kWh/a und

Kälte 36 Mio. kWh/a. Den maximalen gleichzeitigen Leistungsbedarf erwartet der Energiekonzern Vattenfall Europe/Bewag in der Stromversorgung mit 35 MW, für die Wärmeversorgung mit 71 MW und im Kältebereich bei 38 MW [7].

7 „Solare Energiewirtschaft“ plus KWK

KWK der beschriebenen Art sind nicht anders als BHKW und Heizkraftwerke ein wesentlicher Bestandteil der deutschen Stromversorgung. Ihre verbesserte Energieeffizienz wird schon längst als Beitrag zur Ressourcen-Schonung und Reduzierung der CO₂-Emissionen anerkannt. Diese Entwicklung wurde allerdings in den 90er Jahren durch die Stillsetzung mehrerer, meist älterer KWK-Anlagen gebremst. Ursache war die durch die Liberalisierung des Strommarktes reduzierte Wirtschaftlichkeit der häufig veralteten Anlagen. Erst in den Folgejahren wurde deutlich, dass ohne moderne KWK-Anlagen der Übergang auf die angestrebte umweltfreundliche Energieversorgung nicht möglich ist.

Dieser Standpunkt wird u. a. auch von Wissenschaftlern aus Instituten des „ForschungsVer-

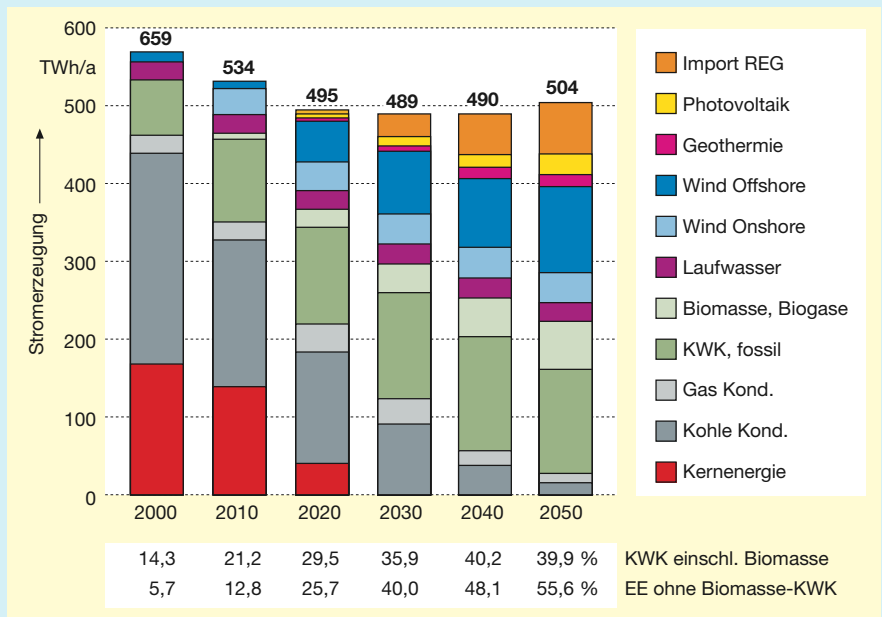
bundes Sonnenenergie“ vertreten, die bis heute den Wandel der Energieversorgung in Europa auf vielen Gebieten aktiv unterstützen. Bereits 1997 legten sie ein Langzeitszenario „Solare Energiewirtschaft“ vor, das einen Weg zu einer CO₂-armen Energieversorgung in Deutschland beschreibt. Kernelemente der vorgeschlagenen klimafreundlichen Stromversorgung sind EE und KWK. Das Szenario beschreibt Arbeitsschritte bis 2050, an deren Ende bei unverminderter Versorgungsqualität eine 80%ige Reduktion der gegenwärtigen CO₂-Emissionen steht. Dann decken KWK-Anlagen 25 % und EE 60 % des gesamten Energiebedarfs. 1987 waren KWK-Anlagen mit etwa 10 % an der Stromerzeugung beteiligt [8]. Die beabsichtigte Steigerung der KWK hat mehrere Gründe. So soll sie in der Gebäudetechnik Defizite in der Wärmeversorgung über zusätzliche Nah- und Fernwärmenetze abdecken und gleichzeitig Strom liefern. Sie teilt sich dabei die Stromversorgung u. a. mit Windkraft- und Photovoltaik-Anlagen, deren Energieangebot tageszeitlich und wetterbedingt allerdings fluktuiert (schwankt). Der Strom aus KWK kann aber bedarfsorientiert so gesteuert werden, dass auch in ferner Zukunft eine hohe Versorgungssicherheit gewährleistet wird. Gleiches gilt für EE, die

ihre Energie über eine KWK-Anlage aufbereiten. (Beispiele: Biomasse, Geothermie). Das erwähnte Szenario war eine der wesentlichen Grundlagen, auf denen sich in den vergangenen Jahren die deutsche Klimapolitik stützte. Dazu gehören nicht zuletzt die Abstimmungen mit der Energiewirtschaft. Dabei gelang erst nach längeren Verhandlungen ein Kompromiss und dieser nur unter Verzicht auf eine die Energiewirtschaft verpflichtende Quotenregelung zum Problem KWK-Anlagen. Demzufolge verpflichtete sich die deutsche Wirtschaft im Juni 2001 dazu, bis 2010 eine Emissionsreduktion von 45 Mio. t CO₂ zu realisieren – zur Hälfte aus KWK-Anlagen. Gleichzeitig gab es wenig erfolgreiche Bemühungen, die Installation von KWK-Anlagen wirtschaftlich zu fördern. Offensichtlich erlaubt den Betreibern erst die in diesem Jahr erfolgte Novellierung des Erneuerbare-Energie-Gesetzes (EEG) einen wirtschaftlich befriedigenden Betrieb.

8 Präzisierte Versorgungskonzepte mit KWK

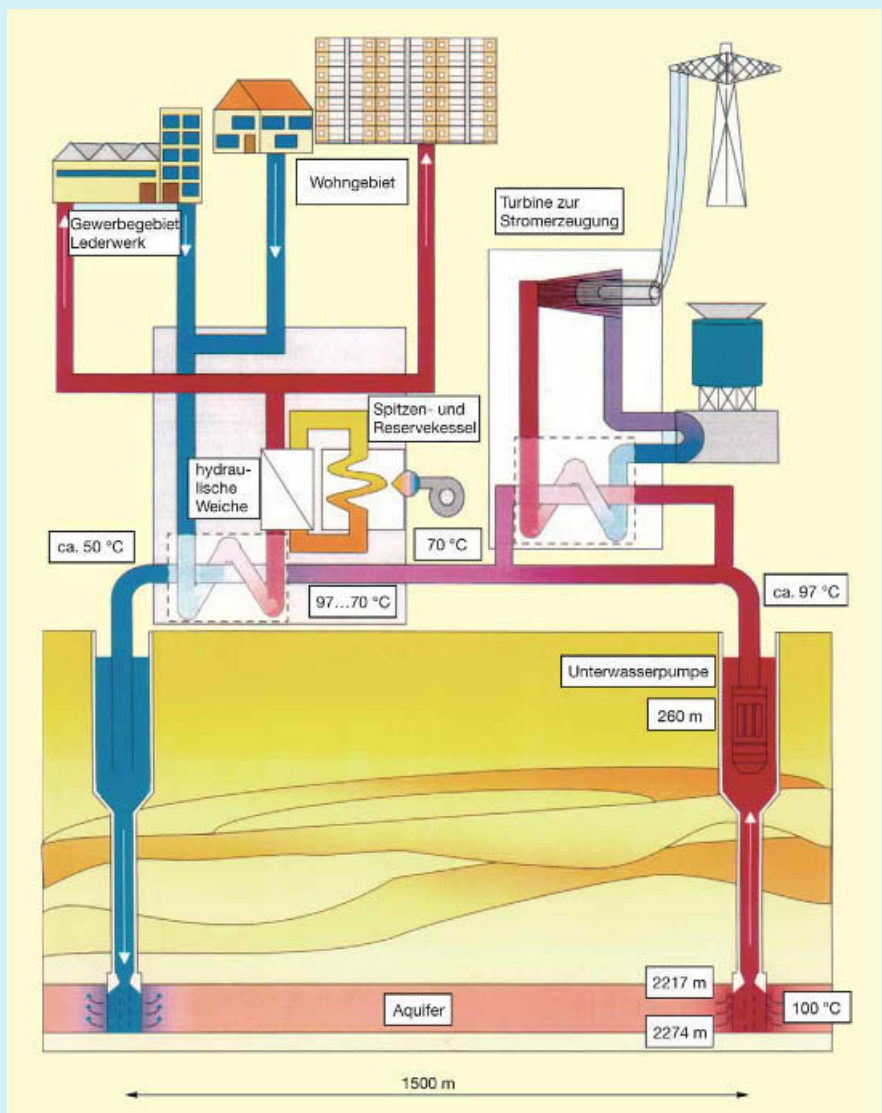
Aufbauend auf den bei der Umsetzung des 1997 geschaffenen Konzepts gesammelten Erfahrungen haben Wissenschaftler im März ein präzisiertes Szenario vorgelegt, das inzwischen beim Auftraggeber, dem Bundesministerium für Umwelt (BMU) in einer Kurzfassung kostenlos bezogen werden kann [9]. Sein Titel „Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung neuer EE in Deutschland“ lässt erkennen, dass weit mehr als die stationäre Stromversorgung behandelt wird (Bild 4). Zur Einordnung der KWK in die zukünftige Energieversorgung dürften aber vor allem die ausgewiesenen Fortschritte und die zwischenzeitlichen Ziele von Interesse sein.

Nach Überwindung der Anlaufphase konstatieren die Autoren den Übergang auf zielstrebigere Ausbaustrategien bei EE. Auslöser für die umweltfreundliche Stromerzeugung waren EU-Parlament und -Rat mit der Richtlinie 2001/77/EG, die seit Oktober für alle alten Mitgliedsländer verbindlich ist. Das für Deutschland festgelegte Ziel, bis 2010 den Stromanteil aus EE auf 12,5 % und die dabei gewonnene Primärenergie um 4,2 % zu steigern, deckt sich mit den nationalen Zielen. Auf dem Weg dorthin erreichte Deutschland Ende 2003 einen Prozentsatz von 7,9 für die Stromerzeugung und 1,4 für die Primärenergie. 1998 waren es 4,7 % für die Stromerzeugung. Bis 2020 soll der EE-Beitrag im Strombereich auf mindestens 20 % gesteigert werden. Auch diese Erhöhung ist ein nationales Ziel. Beide Werte sind verbindlich in der zweiten Novelle zum EEG verankert. Verbunden damit wurden die Förderquoten für den eingespeisten Strom reduziert (Windkraft) bzw. erhöht (Biomasse). Besondere Eigenschaften wie KWK-Betrieb oder Realisierung von Biogas mit Erdgasqualität werden zusätzlich belohnt.



4 Entwicklung der Stromerzeugung bis zum Jahr 2050. Teil des Szenarios zum ökologisch optimierten Ausbau der Nutzung EE in Deutschland.

Quelle: DLR, ifeu, Wi/BMU



5 Schema der Erdwärmenutzung in Neustadt-Glewe

Quelle: LanGeo/Bewag

Trendsetter des Übergangs auf eine CO₂-reduzierte Stromversorgung waren und sind Windenergie und Biomasse. Um die für 2010 vorgegebenen Ziele zu erreichen, ist aber vor allem ein deutliche Steigerung der KWK erforderlich. Fachleute halten zumindest eine Steigerung um 50 % gegenüber 2000 für erforderlich. Laut Szenario soll die Leistung der neu zu installierenden KWK-Anlagen von derzeit 14 % auf 30 % im Jahr 2020 wachsen. 10 Jahre später sollen Werte um 40 % erreicht werden. Mitte dieses Jahrhunderts erreicht dann der KWK-Park nach Plan die Leistung von 23 500 MW. Er ist Teil des deutschen Kraftwerksparks, der nach den gegenwärtigen Vorstellungen der Energiewirtschaft in den nächsten zwei Jahrzehnten zunächst nur etwa jedes dritte veraltete Kraftwerk durch einen mit fossilen Energieträgern befeuerten Neubau ersetzen will. Der im Rahmen des Szenarios vorgeschlagene Kraftwerkspark hat einschließlich der EE eine installierte Leistung von 144 000 MW und ist damit um 27 000 MW größer als der heutige. Der Zuwachs deckt u.a. den Strombedarf, der in einigen Jahrzehnten für die Herstellung von Wasserstoff benötigt wird. Insgesamt handelt es sich um ein anspruchsvolles und risikobehaftetes Konzept, das der Politik und der Energiewirtschaft viel Spielraum lässt. Das gilt auch für die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann. Die Studie verdeutlicht auch, dass CO₂-Minderungen ohne Steigerung der Energieeffizienz nicht zu haben sind [10].

9 Auch EE benötigt moderne KWK

Biomasse gehört zu den EE, die auf mehreren Wegen (Verbrennung, Vergasung, Verflüssigung) aufbereitet, Strom und Wärme über KWK liefert (vgl. **ep** 6/04, S. 493). Gleiches gilt für wiederverwertbaren Müll (Siedlungsabfall), Grubengas (alte und neue Kohlengruben) sowie Deponie- und Klärgas (aus Klärschlamm). Ende 2003 waren in

Deutschland etwa 80 Biomasse(heiz)kraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 400 MW, 1 700 Biogasanlagen mit 175 MW_{el} und weitere 130 BHKW, die mit flüssigen Bio-Energieträgern versorgt wurden und dabei etwa 11 MW_{el} leisten, in Betrieb. Damit deckt Biomasse bereits heute über die Hälfte der in Deutschland aus EE gewonnenen Endenergie (einschl. Bio-Kraftstoffe für den Verkehrsbereich) ab. Dennoch steht Biomasse erst am Anfang der Nutzung und verfügt auch unter Berücksichtigung strenger Naturschutzziele über ein ausreichendes Potential, um die Ziele des Szenarios nach Bild 4 zu erfüllen.

Die Wissenschaftler gehen davon aus, dass ab 2020/2030 auch die Geothermie kostengünstig nicht nur wie bisher Wärme, sondern auch Strom liefern kann. Deshalb wurde diese an der Erdoberfläche im Westenlichen nur durch eine KWK-Anlage erkennbare Technologie in das abgebildete Szenario aufgenommen. Da die Erdenergie beispielsweise jeweils 1000 oder mehr Jahre genutzt werden kann, gilt sie nach menschlichen Ermessen als eine EE, die allerdings in Deutschland zurzeit noch mit etwa 5000 m tiefen und entsprechend teuren Bohrungen erschlossen werden muss. Zurzeit werden im Auftrag des BMU als Teil umfassender Forschungsarbeiten an sieben unterschiedlichen Standorten Tiefbohrungen angebracht und das Wärmepotential getestet. Bis spätestens 2010 sollen Ergebnisse vorliegen, um endgültige Entscheidungen zu treffen. Ziel ist die Erschließung von EE, die bis 2025 fünf bis sechs Prozent des Brutto-Strombedarfs liefern.

Das bisher erste und immer noch einzige Strom liefernde geothermische Kraftwerk wurde im November 2003 in Neustadt-Glewe in Betrieb genommen (Bild 5). Das mit einer Organic-Rankine-Cycle-Turbine (ORC-Turbine) ausgerüstete Kraftwerk hat eine Leistung von 210 kW. Zur Stromerzeugung wird 97 °C warmes Thermalwasser aus einer Tiefe von 2200 Metern genutzt. Das seit

1995 erfolgreich laufende geothermische Heizwerk Neustadt-Glewe liefert jährlich rund 16 000 MWh Wärme. Da in den Sommermonaten kaum geheizt wird, blieb ein Großteil der gewonnenen Energie ungenutzt [10].

Literatur

- [1] Kabisch, H.: Neue Kohlekraftwerke werden klimafreundlicher. *Elektropraktiker* Berlin 58(2004)9, S. 682.
- [2] Kabisch, H.: KWK für jede Leistung. *Elektropraktiker* Berlin 58(2004)2, S. 90-91.
- [3] Sieberth, W.-D.: Trends in der Energietechnik. *Elektropraktiker* Berlin 58(2004)7, S. 532-534.
- [4] Kabisch, H.: Brennstoffzellen mittelfristig marktreif. *Elektropraktiker* Berlin 58(2004)5, S. 406-408.
- [5] Kabisch, H.: Kraft-Wärme-Kopplung in der Gebäudetechnik. *Elektropraktiker* Berlin 57(2003)11, S. 866-869.
- [6] Jeß, H.; Roser, G.: Kombiheiz-

kraftwerk Mitte – saubere Elektrizität und Fernwärme für Berlins Stadtzentrum. Sonderdruck in *ABB Technik* 1/95, Mannheim.

- [7] Böhm, A.; Noack, K.-H.: Fachreport Energiezentrale – Strom, Wärme und Kälte für den Potsdamer Platz. Sonderdruck Vattenfall/Bewag, August 2003.
- [8] Hertlein, H. P.; Tolsdorf, P. (Hrsg.): Strategien für eine nachhaltige Energieversorgung. Workshop des Forschungsverbundes Sonnenenergie am 12.12.1997.
- [9] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Ökologisch optimierter Ausbau der Nutzung EE in Deutschland. Kurzfassung, Köllen Druck, Stand 4/04. 1. Auflage (lieferbar durch BMU Referat Öffentlichkeitsarbeit, Dienstsitz Bonn).
- [10] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Erneuerbare Energien – Innovationen für die Zukunft. 5. Auflage, Stand Mai 2004.