

Gesamtbilanz der Kraft-Wärme-Kopplung 2003 bis 2012

Tina Baten, Hans-Georg Buttermann und Thomas Nieder

Die Bundesregierung hat bereits im Integrierten Energie- und Klimaprogramm das Ziel gesetzt, den Anteil des KWK-Stroms an der gesamten Elektrizitätserzeugung bis 2020 auf 25 % zu verdoppeln. Zur Überprüfung der Zielfortschritte bzw. der Energie- und CO₂-Einsparungen, die beim Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung erreicht werden, sind belastbare statistische Daten erforderlich. Obwohl sich die empirischen Grundlagen mit Inkrafttreten des Energiestatistikgesetzes (EnStatG) seit 2003 spürbar verbessert haben, existieren bei kleinen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bis heute Datenlücken, die nur durch Schätzungen geschlossen werden können. Ein besonderes Problem beim Aufbau eines vollständigen Datengerüsts zur Kraft-Wärme-Kopplung ist die Beibehaltung der Konsistenz zu übergeordneten Statistiken wie z. B. der Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland. Diese Analyse hat das Ziel, eine vollständige, nach Energieträgern differenzierte Bilanz der Kraft-Wärme-Kopplung für die allgemeine Versorgung, die Industriekraftwerke sowie die kleine bzw. in der amtlichen Statistik nicht erfasste KWK (Mikro-KWK) vorzulegen, die sich widerspruchsfrei in die Energiebilanz Deutschland einfügen lässt.

Die gleichzeitige Erzeugung von Strom- und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung) mit Gesamtnutzungsgraden bis 85 % gilt als viel beschworene Strategie, um Primärenergie möglichst effizient zu nutzen bzw. einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele zu leisten. Zahlreiche Studien belegen, dass sich durch die Nutzung der Kraft-Wärme-Kopplung im Gegensatz zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme zwischen 10 und 20 % an Primärenergie einsparen lassen [1].

Hinzu kommt, dass der Kraft-Wärme-Kopplung hierzulande ein erhebliches Ausbaupotenzial bescheinigt wird [2]. Entsprechend hat sich die Bundesregierung bereits im Integrierten Energie- und Klimaprogramm das Ziel gesetzt, den Anteil des KWK-Stroms an der gesamten Elektrizitätserzeugung bis 2020 auf 25 % zu verdoppeln. Gegenwärtig liegt der Anteil bei etwa 18 %.

Bisher konnte die Kraft-Wärme-Kopplung die von ihr erwarteten positiven Effekte nur unter Rückgriff auf zusätzliche Maßnahmen, mit denen die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber alternativen Erzeugungssystemen gestärkt wurde, erbringen. Seit dem 1.4.2002 fördert der Gesetzgeber die Betreiber von KWK-Anlagen. Auf der Grundlage des Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetzes (KWK-Gesetz) werden Zuschläge zum üblicherweise anerkannten Strompreis gewährt. Um die gesteckten KWK-Ausbauziele zu erreichen, wurde die Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung im Rahmen von Gesetzes-Novellen mehrfach, zuletzt im Jahr 2012 (KWK-Gesetz 2012 vom 12.7.2012) ausgeweitet und optimiert.



Die verfügbare Datenlage der Kraft-Wärme-Kopplung weist insbesondere im Bereich der biogenen Energieträger erhebliche Lücken auf
Foto: WavebreakmediaMicro | Fotolia.com

Um die Erfolge und Misserfolge beim Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung objektiv überprüfen zu können, ist eine belastbare empirische Datenbasis erforderlich. Mit Blick auf eine vollständige statistische Erfassung ist die Datenlage im Bereich der KWK allerdings vergleichsweise schlecht. Insbesondere für kleine Blockheizkraftwerke (BHKW) sowie Mikro-KWK-Anlagen liegen nur verstreute, überwiegend nicht-amtliche Informationen vor, die zudem große Lücken aufweisen [3].

Ungeachtet der skizzierten Datenlücken bei der vollständigen Erfassung der KWK ist die Bundesrepublik Deutschland im Rahmen energiestatistischer Berichtspflichten gegenüber internationalen Institutionen (Eu-

rostat, International Energy Agency (IEA)) verpflichtet, tief disaggregierte Daten zum Brennstoffeinsatz bzw. zur Strom- und Wärmeerzeugung der Kraft-Wärme-Kopplung insgesamt zu melden. Es liegt auf der Hand, dass diese Meldungen mit den Angaben der Energiebilanz Deutschland kompatibel sein sollten. Die hier vorgestellte Gesamtbilanz der Kraft-Wärme-Kopplung 2003 bis 2012 erfüllt diese Vorgabe.

Empirische Grundlagen der Kraft-Wärme-Kopplung

Die amtliche Statistik stellt seit 2003 die wichtigste Datenquelle zur Erfassung der Kraft-Wärme-Kopplung dar. Insbesondere

publiziert das Statistische Bundesamt nach Energieträgern differenzierte Daten zur Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie zum Brennstoffeinsatz dieser Anlagen. Amtliche Informationen zur Kraft-Wärme-Kopplung finden sich in folgenden Statistiken:

- Monatsbericht über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen für die allgemeine Versorgung sowie
- Erhebung über Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden.

Die genannten Erhebungen erfassen im Allgemeinen Anlagen mit einer Engpassleistung der Stromerzeuger größer/gleich einem Megawatt. Zur Abbildung der gesamten Kraft-Wärme-Kopplung sind darüber hinaus Anlagen von Bedeutung, die außerhalb des Berichtskreises der amtlichen Statistik liegen.

Dazu gehören kleinere KWK-Anlagen und BHKW, die vor allem im Bereich der privaten Haushalte, zur Versorgung von Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser, Siedlungen) aber auch im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) etwa zur Versorgung von Krankenhäusern, Hotels, kommunalen oder öffentlichen Einrichtungen eingesetzt werden.

Eine belastbare und flächendeckende Datengrundlage zur Erfassung der Mikro-KWK (unter dem Begriff „Mikro-KWK“ werden in dieser Studie alle KWK-Anlagen subsumiert, die außerhalb des Erfassungsbereichs der amtlichen Erhebungen liegen) existiert in Deutschland bislang nicht. Es kann davon ausgegangen werden, dass in erster Linie Anlagen, die typischerweise mit biogenen Energieträgern wie Biogas, Holz oder Pflanzenöl betrieben werden, zur Mikro-KWK zu rechnen sind. Als fossiler Energieträger zum Betrieb von BHKW und Mikro-KWK-Anlagen spielt Erdgas eine zunehmende Rolle. Von untergeordneter Bedeutung sind dagegen Heizöl-BHKW. Hinweise zur Höhe der KWK-Stromerzeugung bieten u. a. folgende Informationsquellen:

- Erhebung über die Stromeinspeisung der Verteilnetzbetreiber durch das Statistische Bundesamt sowie die

- Jahresenderhebung der Stromeinspeisungen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) durch Verteilnetzbetreiber, Übertragungsnetzbetreiber und die Bundesnetzagentur.

Keine der genannten Quellen enthält allerdings komplette Datensätze über die Nettostrom- und Wärmeerzeugung sowie Brennstoffeinsätze der biogenen Mikro-KWK-Anlagen.

Insgesamt bietet die Erhebung über die Stromeinspeisung der Netzbetreiber des Statistischen Bundesamtes, die als Vollerhebung durchgeführt wird, die umfassendsten Informationen zur Stromeinspeisung erneuerbarer Energieträger sowie Abfällen und Grubengas. Hinzu kommt, dass diese Statistik die Stromeinspeisungen unabhängig davon erfasst, ob eine Anlage nach dem EEG vergütet wird oder nicht. Insofern beinhalten diese Daten zwar vollständig die im KWK-Betrieb eingespeisten Strommengen aus erneuerbaren Energien, allerdings bleibt die genaue Teilmenge unbekannt.

Im Gegensatz dazu finden sich zu den Einspeisungen kleiner Erdgas- und Heizöl-BHKW weder in der amtlichen Statistik noch in Verbandserhebungen belastbare Angaben. Um diese Lücke zu schließen, sind Arbeiten des Öko-Instituts von größerem Interesse, aus denen im Rahmen des KWK-Monitorings für die fossilen Stromeinspeiser seit einigen Jahren Daten generiert und Informationen zu KWK-Strom- und Wärmeerzeugung sowie zu den Brennstoffeinsätzen bereitgestellt werden [4].

Die mit Abstand detailliertesten Informationen zur KWK-Stromeinspeisung aus erneuerbaren biogenen Energieträgern stellt die Jahresenderhebung der Stromeinspeisungen nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz zur Verfügung. Grundsätzlich ist hier jede Stromerzeugungsanlage, deren Stromeinspeisung nach dem EEG vergütet wird, sowohl mit ihren Anlagenstammdaten als auch aktuellen Aktivitäts- bzw. Bewegungsdaten erfasst. Die verschiedenen EEG-Vergütungskategorien lassen auch Rückschlüsse auf die KWK-Stromeinspeisung zu.

Als vorläufiges Fazit bleibt festzuhalten, dass die verfügbare Datenlage der Kraft-

Wärme-Kopplung insbesondere im Bereich der biogenen Energieträger und hier schwerpunktmäßig außerhalb des EEG erhebliche Lücken aufweist. Zur Vervollständigung der amtlichen Erhebungen und der EEG-Daten müssen deshalb fallweise zusätzliche Quellen (z. B. wissenschaftliche Auswertungen und Befragungen) zu Rate gezogen werden.

Methode zur Schätzung fehlender KWK-Kennziffern

Um die skizzierten Lücken im Gesamtgerüst der Kraft-Wärme-Kopplung zu schließen, sind also insbesondere für die Stromeinspeisungen aus erneuerbaren Energien die fehlenden Angaben zur Strom- und Wärmeerzeugung in KWK sowie dem damit verbundenen Brennstoffeinsatz hinzuzuschätzen. In diesem Zusammenhang ist die energieträgerspezifische Abschätzung

- des KWK-Anteils,
- der Stromkennziffer und
- des Stromnutzungsgrades

von besonderer Bedeutung.

Vorausgesetzt, die Stromerzeugung in KWK ist bekannt (oder wird über den KWK-Anteil berechnet), lässt sich über die Stromkennziffer, die als Verhältnis von KWK-Nettostrom zu KWK-Nettowärmeerzeugung definiert ist, die Wärmeerzeugung berechnen. Mit Hilfe des Stromnutzungsgrades, dem Quotienten aus der Summe der erzeugten elektrischen Energie und dem Energieeinsatz, kann der gesamte Brennstoffeinsatz zur KWK-Nettostrom- und KWK-Nettowärmeerzeugung bestimmt werden (vgl. Abb.).

Für eine erste Abschätzung des KWK-Anteils bieten sich zunächst die amtliche Erhebung über die Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung der Stromerzeugungsanlagen der allgemeinen Versorgung sowie die Erhebung über die Stromerzeugungsanlagen der Betriebe des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden an. Aus beiden Erhebungen lassen sich grundsätzlich geeignete, empirisch gestützte Kennziffern berechnen, die Hinweise zur Höhe und Struktur der KWK-Stromerzeugung (netto) nach Energieträgern geben.

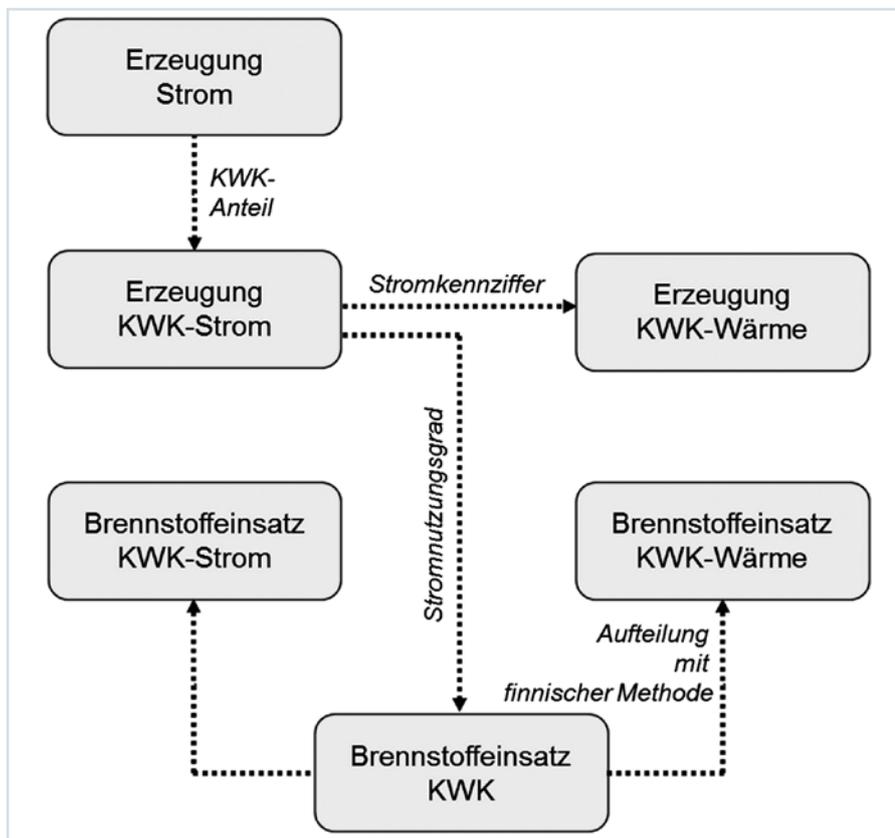


Abb. Bestimmung des Brennstoffeinsatzes von Mikro-KWK-Anlagen außerhalb des Erfassungsbereiches der amtlichen Statistik

Eine derartige Vorgehensweise ist aus zwei Gründen problematisch. Zunächst ist daran zu erinnern, dass in den amtlichen Statistiken ausschließlich Anlagen mit einer installierten elektrischen Nettoengpassleistung größer/gleich ein MW in den Erhebungskreis fallen. Speziell Blockheizkraftwerke zur Nutzung von Pflanzenöl, aber auch Biogasanlagen, sind typischerweise durch Leistungsbereiche zwischen 50 und 500 kW elektrisch charakterisiert. Daraus lässt sich die Schlussfolgerung ableiten, dass die Stromkennziffern und Nutzungsgrade, die sich für diese Energieträger aus amtlichen Daten berechnen lassen, aufgrund der Unterschiede in der Anlagenstruktur nicht repräsentativ sind. Erschwerend kommt hinzu, dass aufgrund der geringen Fallzahlen bei diesen Energieträgern in der amtlichen Statistik die Vergleichbarkeit der KWK-Kennziffern nicht uneingeschränkt gegeben ist.

Eine alternative Möglichkeit, den KWK-Anteil der BHKW, die nachhaltig erzeugtes Raps- oder Pflanzenöl sowie Biogas im KWK-

Betrieb verfeuern, abzuschätzen, bietet die EEG-Jahresendabrechnung. Mit Hilfe dieser Daten kann der Anteil der KWK-Stromerzeugung relativ genau bestimmt werden, da der überwiegende Teil der betrachteten Anlagen nach dem EEG vergütet wird.

Die übrigen beiden Kennziffern (Stromkennziffer und -nutzungsgrad) müssen aufgrund der bereits skizzierten Einschränkungen der amtlichen Statistik ebenfalls mit Hilfe der EEG-Jahresendabrechnung sowie weiterer wissenschaftlicher Auswertungen ermittelt werden. Eine wichtige ergänzende Datenbasis hierfür bietet die BHKW-Datenbank der Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V. (ASUE). Die BHKW-Datenbank erfasst Blockheizkraftwerke einschließlich Motortypen verschiedener Hersteller und klassifiziert sie anhand von Wirkungsgraden und Leistungsdaten [5]. Zusammen mit den Daten der EEG-Jahresendabrechnung wurden daraus für die vorliegende Analyse Stromkennziffern und Stromnutzungsgrade für gasbetriebene BHKW (Bio-, Klär-, und

Deponiegas) wie auch für Pflanzen-/Rapsöl-BHKW abgeleitet [6].

Die Kennziffern KWK-Anteil, Stromkennziffer und Stromnutzungsgrad ermöglichen es, den KWK-Prozess der sonstigen biogenen Einspeiser (Mikro-KWK) vollständig darzustellen und konsistent an den KWK-Prozess in der amtlichen Statistik anzufügen. Zusammen mit den Abschätzungen des Öko-Instituts [4] zur fossilen Mikro-KWK gelingt auf dieser Basis die Darstellung einer tief nach Energieträgern und Erzeugungsbereich disaggregierten Gesamtbilanz der Kraft-Wärme-Kopplung (Siehe Tab. 1).

Erfassung der Kraft-Wärme-Kopplung in der Energiebilanz

Grundsätzlich erfasst die Energiebilanz sowohl die Strom- und Wärmeerzeugung (Output) als auch den Brennstoffeinsatz (Input) der Kraft-Wärme-Kopplung. Allerdings ist die methodische Erfassung nicht einheitlich, so dass sich die Bilanzierung der Kraft-Wärme-Kopplung über verschiedene Bereiche und Sektoren verteilt.

Auf der Outputseite wird die gekoppelte Erzeugung von Strom und Wärme zum einen in der Umwandlungsbilanz als Umwandlungsausstoß gebucht. Die Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wird im Schema der Energiebilanz als Teil der gesamten Stromerzeugung der Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung und der Industriekraftwerke in den Energiebilanzzeilen 23 und 24 erfasst.

Ähnliches gilt für die Mikro-KWK-Anlagen, deren Stromerzeugung unter der gesamten Erzeugung aus Wasserkraft-, Windkraft-, Photovoltaik- und sonstigen Anlagen in der Energiebilanzzeile 26 subsumiert ist. Insofern ist die Stromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung vollständig in der Umwandlungsbilanz (als Umwandlungsausstoß von Strom) abgebildet.

Hingegen ist die KWK-Wärmeerzeugung auf der Outputseite unvollständig abgebildet. In der Umwandlungsbilanz wird die gekoppelte Wärmeerzeugung der Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung als Umwandlungsausstoß von Fernwärme in der Energiebilanzzeile 27 gebucht. Nach Anga-

Tab. 1: Strom- und Wärmeerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung, 2003 bis 2012 in TWh

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Bruttostromerzeugung insgesamt | 608,8 | 617,5 | 622,6 | 639,6 | 640,6 | 640,7 | 595,6 | 633,0 | 613,1 | 629,8 |
| darunter aus KWK (brutto) | 83,9 | 86,0 | 89,6 | 93,7 | 93,0 | 98,9 | 99,9 | 108,7 | 107,4 | 113,1 |
| <i>nachrichtlich: KWK-Anteil in %</i> | <i>13,8</i> | <i>13,9</i> | <i>14,4</i> | <i>14,6</i> | <i>14,5</i> | <i>15,4</i> | <i>16,8</i> | <i>17,2</i> | <i>17,5</i> | <i>18,0</i> |
| Nettostromerzeugung aus KWK | 78,3 | 80,4 | 81,5 | 87,7 | 87,9 | 93,1 | 94,3 | 102,5 | 101,4 | 106,5 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 50,3 | 52,3 | 52,3 | 54,0 | 51,9 | 53,8 | 50,5 | 53,4 | 51,1 | 51,1 |
| darunter Industrie | 23,5 | 22,9 | 23,3 | 25,7 | 26,1 | 25,7 | 27,0 | 29,8 | 28,4 | 28,3 |
| darunter Mikro-KWK | 4,6 | 5,1 | 5,9 | 7,9 | 9,9 | 13,6 | 16,9 | 19,3 | 21,8 | 27,1 |
| Nettowärmeerzeugung aus KWK | 181,3 | 185,6 | 188,2 | 191,6 | 189,2 | 195,2 | 197,5 | 212,9 | 204,5 | 214,0 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 94,0 | 100,2 | 101,4 | 102,9 | 96,7 | 98,7 | 95,4 | 100,9 | 93,1 | 96,6 |
| darunter Industrie | 81,7 | 78,1 | 78,4 | 78,3 | 80,2 | 79,5 | 81,3 | 86,9 | 84,4 | 84,1 |
| darunter Mikro-KWK | 5,7 | 7,3 | 8,4 | 10,5 | 12,2 | 17,0 | 20,9 | 25,2 | 27,0 | 33,3 |

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW nach Destatis, Öko-Institut

ben der AG-Energiebilanzen erzeugten die Heizkraftwerke im Jahr 2011 rund 348,6 TJ Wärme (brutto, entspricht ca. 96,8 TWh) durch Kraft-Wärme-Kopplung. In dieser KWK-Wärmeerzeugung nicht enthalten ist die industrielle Bereitstellung von Prozessdampf und Wärme (in KWK) zur Produktion von Waren und Gütern.

Die überwiegend für den Eigenverbrauch in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen erzeugte Prozesswärme der Industrie ist nach der Konvention der Energiebilanz Deutschland, bewertet mit ihrem Brennstoffeinsatz, im Endenergieverbrauch des jeweiligen Wirtschaftszweigs enthalten.

Ähnliches gilt für die Erfassung der Wärmemengen, die durch den Einsatz von Mikro-KWK (Nahwärmesysteme) etwa zur Beheizung von Wohnungen im Sektor Private Haushalte und zur Versorgung von Gebäuden und Gewerbebetrieben im Sektor Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) erzeugt werden. Sie sind ebenfalls nur indirekt, d. h. über den zu ihrer Produktion erforderlichen Brennstoffeinsatz im Endenergieverbrauch berücksichtigt.

Aus den bisher angesprochenen Zusammenhängen ergeben sich Implikationen für die Abbildung der Inputseite bzw. des Brennstoffeinsatzes zur Erzeugung von Strom und Wärme durch Kraft-Wärme-Kopplung. Der Energieeinsatz der Kraft-Wärme-Kopplung ist teilweise sowohl in der Umwandlungsbilanz (Umwandlungseinsatz) sowie im Endenergieverbrauch enthalten.

Wie bereits skizziert steckt der Einsatz von Brennstoffen zur Erzeugung industrieller Prozesswärme durch Kraft-Wärme-Kopplung sowie zur Bereitstellung von Wärme durch Mikro-KWK im Endenergieverbrauch. Hingegen ist der Brennstoffeinsatz zur KWK-Stromerzeugung in den Energiebilanzzeilen 11 („Wärmekraftwerke der allgemeinen Versorgung“) und 12 („Industriewärmekraftwerke“) zusammen mit dem Brennstoffverbrauch für die ungekoppelte Erzeugung verbucht.

Der Umwandlungseinsatz der Heizkraftwerke der allgemeinen Versorgung schließlich erfasst Brennstoffmengen, die der Erzeugung von Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung dienen (sofern die Wärme zur Nah- und Fernwärmeversorgung herangezogen wird).

All dies zeigt, dass die energiewirtschaftliche Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung im Schema der Energiebilanz kaum sichtbar wird. Während die gekoppelte und ungekoppelte Erzeugung von Strom jeweils zu einem Segment zusammengefasst wurde, ist die gesamte Wärmeerzeugung der Kraft-Wärme-Kopplung auf der Outputseite in der Energiebilanz nicht vollständig abgebildet.

Unabhängig von der Wahl der Buchungsmethode bleibt festzuhalten, dass der Einsatz fossiler und erneuerbarer Energieträger, die im Rahmen von Kraft-Wärme-Kopplungsprozessen in Strom und Wärme umgewandelt werden, vom Prinzip her in der Energiebilanz komplett erfasst sind.

Allein mit Hilfe der Energiebilanz, ohne zusätzliche statistische Informationen, sind im gegenwärtigen Erfassungskonzept weder Rückschlüsse auf die in Kraft-Wärme-Kopplung verbrauchten Brennstoffe, noch Analysen der damit verbundenen CO₂-Emissionen oder des Beitrags der KWK zur Deckung des Energieverbrauchs hierzulande möglich. Ebenso scheitert eine qualitative Bewertung, da sich weder Stromkennziffer noch der Gesamtnutzungsgrad der KWK-Prozesse aus den Daten der Energiebilanz heraus rechnen lassen.

Vor diesem Hintergrund fasst die vorliegende Arbeit aktuelle Daten zur Entwicklung Strom- und Wärmeerzeugung sowie zum Brennstoffeinsatz in Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen bis zum Jahr 2012 zusammen. Damit gelingt erstmals eine vollständige Darstellung der Gesamtbilanz der Kraft-Wärme-Kopplung (inkl. Mikro-KWK) die den Anspruch erhebt, sowohl mit den Angaben der Energiebilanz Deutschland kompatibel zu sein, als auch gleichzeitig den Anforderungen an die internationalen Berichtspflichten an die Europäische Kommission und die IEA gerecht zu werden.

Kraft-Wärme-Kopplung 2003 bis 2012

Die gesamte Strom- und Wärmeerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung setzt sich zusammen aus den Beiträgen der allgemeinen Versorgung, der industriellen KWK-Anlagen sowie den mit fossilen und erneuerbaren

Tab. 2: Brennstoffeinsätze zur Strom- und Wärmeerzeugung, Stromkennziffern und Gesamtnutzungsgrad der KWK, 2003 bis 2012

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Brennstoffeinsatz insgesamt (PJ) | 1 196,0 | 1 262,5 | 1 265,3 | 1 305,1 | 1 292,3 | 1 367,9 | 1 389,2 | 1 495,3 | 1 459,3 | 1 508,1 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 697,0 | 726,0 | 720,8 | 717,4 | 679,9 | 713,2 | 693,4 | 735,4 | 699,8 | 710,0 |
| darunter Industrie | 438,2 | 461,5 | 462,5 | 480,1 | 487,3 | 486,4 | 502,2 | 533,0 | 511,2 | 492,5 |
| darunter Mikro-KWK | 60,8 | 75,0 | 81,9 | 107,6 | 125,1 | 168,3 | 193,6 | 226,8 | 248,3 | 305,6 |
| Stromkennziffer | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| darunter Industrie | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| darunter Mikro-KWK | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| KWK-Gesamtnutzungsgrad (%) | 78,2 | 75,9 | 76,8 | 77,0 | 77,2 | 75,9 | 75,6 | 75,9 | 75,5 | 76,5 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 74,5 | 75,6 | 76,8 | 78,7 | 78,7 | 77,0 | 75,7 | 75,5 | 74,2 | 74,9 |
| darunter Industrie | 86,4 | 78,8 | 79,2 | 78,0 | 78,5 | 77,9 | 77,6 | 78,8 | 79,5 | 82,2 |
| darunter Mikro-KWK | 60,6 | 59,8 | 62,8 | 61,7 | 63,8 | 65,3 | 70,3 | 70,6 | 70,8 | 71,2 |

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW nach Destatis, Öko-Institut

Energieträgern befeuerten Mikro-KWK-Anlagen und Blockheizkraftwerken.

Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden i. d. R. wärmegeführt betrieben, d. h. die Anlage wird so ausgelegt bzw. geregelt, dass der Wärmebedarf eines Versorgungsgebietes oder -objektes möglichst weitgehend abgedeckt ist.

In der Zeit von 2003 bis 2012 ist die gekoppelte Erzeugung von Wärme um 18,0 % auf 214 TWh angestiegen (vgl. Tab. 2). Die KWK-Wärmeerzeugung unterliegt im Bereich der allgemeinen Versorgung sowie der Mikro-KWK witterungsbedingten und in der Industrie konjunkturbedingten Schwankungen der Nachfrage.

Die Nettostromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung ist eng mit der Wärmeerzeugung korreliert. Tab. 3 fasst die Entwicklung der Nettostromerzeugung durch Kraft-Wärme-Kopplung zusammen. In der Zeit zwischen 2003 und 2012 erhöhte sich die Stromerzeugung aller KWK-Anlagen um 28,2 TWh auf 106,5 TWh. Die Stromerzeugung ist insgesamt stärker angestiegen als die Wärmeerzeugung. Ursächlich dafür ist Entwicklung der Stromkennziffer. Die Stromkennziffer hat sich in der Vergangenheit kontinuierlich erhöht. Mehr als die Hälfte der durch Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellten Strommenge entstammt Kraftwerken der allgemeinen Versorgung.

Der Brennstoffeinsatz für den gesamten KWK-Prozess lag im Jahr 2012 bei etwa 1 508 PJ, im Jahr 2003 waren es noch 1 196 PJ gewesen. Ein Blick auf den Energiemix zeigt, dass Erdgas der mit Abstand bedeutendste Energieträger zur Erzeugung von Strom und Wärme in Kraft-Wärme-Kopplung darstellt. Im Jahr 2012 deckten KWK-Prozesse zusammengenommen fast 41 % ihres Brennstoffbedarfs mit Erdgas. Feste fossile Brennstoffe, wie z. B. Stein- oder Braunkohle verlieren im Zeitverlauf an Bedeutung. In der Zeit von 2003 bis 2012 verringerte sich der Anteil fester fossiler Brennstoffe am gesamten Energieeinsatz der KWK um 19,9 %-Punkte auf einen Marktanteil von 21,7 %. Erneuerbare Energiequellen gewinnen in der Kraft-Wärme-Kopplung kontinuierlich an Bedeutung. Im Jahr 2003 wurden 82,4 PJ an erneuerbaren Energieträgern eingesetzt; 2012 waren es bereits 396,5 PJ, dies entspricht einem Anteil von gut 26 % (vgl. Tab. 4).

Bewertungsprobleme

Das Energiebilanzkonzept sieht vor, Brennstoffe, die im KWK-Prozess zur Erzeugung von (Nah)Wärme für den Eigenverbrauch in Sektoren des Endverbrauchs dienen, direkt mit ihrem Brennstoffaufwand im Endenergieverbrauch auszuweisen. Betroffen von dieser Regelung ist in erster Linie die KWK-Wärmeerzeugung, die nicht über Fernwärmenetze an Endkunden geliefert wird.

Die Wärmeerzeugung der Mikro-KWK-Anlagen wird i. d. R. in Nahwärmesystemen zur Beheizung von Wohn- und Gewerberäumen eingesetzt und nicht an Dritte verkauft. Ähnliches gilt für die Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen der Industrie (z. B. Chemie- oder Papierindustrie u. a.), die in Abhängigkeit der Wärmenachfrage des jeweiligen Produktionsprozesses, hauptsächlich zur Eigenversorgung mit Wärme und Dampf, betrieben werden [7].

Um die Brennstoffmengen, die mit dem Betrieb von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen verbunden sind, einzelnen Bereichen in der Energiebilanz zuordnen zu können, ist eine Aufteilung des gesamten Brennstoffeinsatzes auf die Kuppelprodukte Strom und Wärme (Kälte wird in der Energiebilanz nicht gesondert erfasst) erforderlich. Dazu existieren zahlreiche Verfahren der Brennstoffaufteilung. Die Entscheidung für ein konkretes Verfahren führt im Rahmen der Energiebilanzierung zu unterschiedlichen Ergebnissen. Die AG-Energiebilanzen hat nach intensiver Abstimmung mit ihren Mitgliedern und betroffenen Verbänden der Energiewirtschaft beschlossen, ab dem Berichtsjahr 2003 die sog. „finnische“ Methode zu nutzen [8].

Die „finnische“ Methode zählt zur Gruppe der exergetischen Verfahren, d. h. der Brennstoffbedarf für die Kuppelprodukte Strom und Wärme wird kalorisch gewich-

Tab. 3: Bilanz der Kraftwärme-Kopplung insgesamt, 2003 bis 2012

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| KWK-Stromerzeugung (netto) in TWh | | | | | | | | | | |
| Steinkohle | 19,8 | 18,9 | 15,7 | 14,2 | 12,8 | 13,1 | 13,3 | 15,3 | 13,9 | 13,6 |
| Braunkohle | 4,8 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,1 | 5,3 | 5,4 | 5,4 | 5,7 |
| Mineralölprodukte | 4,3 | 3,9 | 3,9 | 3,7 | 3,7 | 3,1 | 2,8 | 2,6 | 2,2 | 2,6 |
| Gase | 42,5 | 44,6 | 47,3 | 52,5 | 51,9 | 54,3 | 51,6 | 55,0 | 53,6 | 52,9 |
| erneuerbare Energien | 4,3 | 5,4 | 6,8 | 9,2 | 11,3 | 14,8 | 18,5 | 21,0 | 23,2 | 28,4 |
| sonstige Energieträger | 2,6 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,1 | 2,7 | 2,7 | 3,1 | 3,0 | 3,2 |
| Summe | 78,3 | 80,4 | 81,5 | 87,7 | 87,9 | 93,1 | 94,3 | 102,5 | 101,4 | 106,5 |
| KWK-Wärmeerzeugung (netto) in TWh | | | | | | | | | | |
| Steinkohle | 44,7 | 43,3 | 40,3 | 38,2 | 35,0 | 36,1 | 34,4 | 37,4 | 33,5 | 33,1 |
| Braunkohle | 15,8 | 16,6 | 16,4 | 16,7 | 16,2 | 16,6 | 18,2 | 17,4 | 17,7 | 18,4 |
| Mineralölprodukte | 13,3 | 12,8 | 12,2 | 12,7 | 11,8 | 10,2 | 10,1 | 10,2 | 8,6 | 11,4 |
| Gase | 84,9 | 87,7 | 90,4 | 92,2 | 90,7 | 91,6 | 88,2 | 93,3 | 88,2 | 87,1 |
| erneuerbare Energien | 11,2 | 15,3 | 18,7 | 21,3 | 24,3 | 29,7 | 34,9 | 41,6 | 43,8 | 50,5 |
| sonstige Energieträger | 11,4 | 10,1 | 10,3 | 10,6 | 11,1 | 11,0 | 11,6 | 13,0 | 12,6 | 13,6 |
| Summe | 181,3 | 185,6 | 188,2 | 191,6 | 189,2 | 195,2 | 197,5 | 212,9 | 204,5 | 214,0 |
| Brennstoffeinsatz zur KWK-Strom- und Wärmeerzeugung in PJ | | | | | | | | | | |
| Steinkohle | 316,6 | 305,1 | 262,7 | 238,1 | 211,1 | 224,7 | 222,3 | 241,5 | 217,8 | 215,6 |
| Braunkohle | 92,0 | 98,9 | 101,2 | 98,5 | 97,1 | 100,3 | 107,7 | 105,9 | 106,7 | 111,7 |
| Mineralölprodukte | 74,6 | 76,0 | 74,6 | 75,2 | 69,3 | 66,1 | 64,5 | 62,8 | 56,5 | 63,2 |
| Gase | 564,7 | 612,4 | 620,0 | 655,2 | 641,4 | 659,0 | 641,0 | 674,5 | 652,5 | 628,8 |
| erneuerbare Energien | 82,4 | 113,4 | 140,1 | 174,2 | 199,1 | 244,0 | 273,6 | 318,9 | 339,6 | 396,5 |
| sonstige Energieträger | 65,7 | 56,8 | 66,7 | 63,9 | 74,2 | 73,7 | 80,1 | 91,6 | 86,2 | 92,4 |
| Summe | 1 196,0 | 1 262,5 | 1 265,3 | 1 305,1 | 1 292,3 | 1 367,9 | 1 389,2 | 1 495,3 | 1 459,3 | 1 508,1 |

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW nach Destatis, Öko-Institut

tet. Zur „finnischen“ Methode existieren innerhalb der Gruppe kalorischer Verfahren alternative Aufteilungsmethoden wie z. B. die Strom- oder Wärmerestwertmethode sowie die IEA-Methode. Ein Ansatz, der die thermodynamischen Verluste (Stromverlust) bei der gekoppelten Erzeugung von Strom und Wärme bei der Aufteilung der Brennstoffenergie zugrunde legt, ist

die sog. „Dresdner“-Methode. Je nach Fragestellung weist jedes Aufteilungsverfahren spezifische Vor- und Nachteile auf [8]. Hervorzuheben ist in diesem Kontext, dass weder der gesamte Brennstoffeinsatz noch der Gesamtnutzungsgrad des Kraft-Wärme-Kopplungsprozesses von der Wahl einer spezifischen Aufteilungsmethode tangiert werden.

Die Aufteilung der Brennstoffeinsätze auf die Strom- und Wärmeerzeugung in KWK-Anlagen nach der „finnischen“ Methode ist in Tab. 4 dargestellt. Somit wurden im Jahr 2012 725,5 PJ zur KWK-Stromerzeugung und 782,6 PJ zur Wärmeerzeugung eingesetzt, wobei sich die Brennstoffeinsätze zur Wärmeerzeugung in der Industrie sowie der Mikro-KWK komplett im Endenergie-

Tab. 4: Brennstoffeinsätze zur Strom- und Wärmeerzeugung in KWK, 2003 bis 2012, in PJ

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Brennstoffeinsatz zur Stromerzeugung | 557,1 | 573,0 | 571,2 | 604,5 | 603,1 | 644,7 | 655,4 | 707,4 | 701,0 | 725,5 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 356,4 | 366,8 | 358,7 | 360,1 | 344,6 | 363,0 | 348,1 | 369,2 | 357,5 | 357,2 |
| darunter Industrie | 168,8 | 168,7 | 171,3 | 187,6 | 189,9 | 188,2 | 196,4 | 211,6 | 201,4 | 192,3 |
| darunter Mikro-KWK | 31,9 | 37,6 | 41,3 | 56,9 | 68,6 | 93,5 | 110,9 | 126,6 | 142,0 | 176,0 |
| Brennstoffeinsatz zur Wärmeerzeugung | 638,9 | 689,5 | 694,1 | 700,5 | 689,2 | 723,2 | 733,8 | 787,8 | 758,3 | 782,6 |
| darunter Allgemeine Versorgung | 340,6 | 359,2 | 362,1 | 357,3 | 335,3 | 350,1 | 345,3 | 366,3 | 342,2 | 352,8 |
| darunter Industrie | 269,4 | 292,8 | 291,3 | 292,5 | 297,3 | 298,2 | 305,7 | 321,4 | 309,8 | 300,2 |
| darunter Mikro-KWK | 28,9 | 37,4 | 40,7 | 50,7 | 56,5 | 74,8 | 82,7 | 100,2 | 106,3 | 129,6 |

Quelle: Eigene Berechnungen EEFA und ZSW nach Destatis, Öko-Institut

verbrauch der Energiebilanz wiederfinden müssen.

Im Vergleich zur „finnischen“ Methode schlägt sich ein Übergang auf die Stromrestwertmethode in einer Erhöhung des Endenergieverbrauchs nieder, da der Vorteil der gekoppelten Erzeugung bei dieser Zu rechnungsvariante vollständig der gekoppelten Stromerzeugung zugeordnet wird. Umgekehrt wäre bei Anwendung der Wärmerestmethode eine Erhöhung des Brennstoffeinsatzes für die Erzeugung des KWK-Stroms, der in der Umwandlungsbilanz erfasst wird, die unausweichliche Folge, da die energetischen Vorteile des KWK-Prozesses der Wärme zugeschlagen werden.

KWK-Quote in Deutschland bei 18 %

Die Berechnungen lassen erkennen, dass die Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung – unter Einbeziehung von Klein- und Kleinstanlagen (BHKW und Mikro-KWK) bis zum Jahr 2012 auf 106,5 TWh (netto) angestiegen ist. Im Ergebnis steuerte die Stromerzeugung aus Kraft-Wärme-Kopplung mehr als 113 TWh (brutto) zur gesamten Bruttostromerzeugung in Höhe von 629,8 TWh bei. Damit entsprach der Anteil des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten elektrischen Stroms an der gesamten Stromerzeugung 18,0 % [10].

Gegenüber 2003 hat sich der KWK-Anteil an der Stromerzeugung (etwa 13,8 %) damit um reichlich vier Prozentpunkte erhöht. Ursächlich für diese Entwicklung waren einerseits der beschleunigte Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, andererseits technische sowie organisatorische Optimierungsmaßnahmen zur Erhöhung der Stromkennziffer. Während die Stromkennziffer in allen drei Segmenten der Kraft-Wärme-Kopplung geringfügig erhöht wurde, konzentrierte sich der Ausbau auf kleine Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die mit erneuerbaren Energien befeuert werden. Allein die Stromerzeugung (netto) kleiner und kleinster KWK-Anlagen erhöhte sich gegenüber 2003 um 22,6 TWh. Zum Vergleich: die KWK-Stromerzeugung der Industrie stieg im gleichen Zeitraum um 4,8 TWh, die der allgemeinen Versorgung um weniger als 1 TWh.

Literatur

- [1] Prognos AG: Zwischenprüfung zum Gesetz zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2011.
- [2] Siehe Ziesing, H.-J.: KWK-Potenziale in Deutschland und ihre Erschließung. In: „et“, 58. Jg. (2008), Heft 3, S. 50-59.
- [3] Bayer, W.: Kraft-Wärme-Kopplung 2003 bis 2008. In Wirtschaft und Statistik 5/2010, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2010.

[4] Oeko-Institut: Monitoring der Kraft-Wärme-Kopplungs-Vereinbarung vom 19.12.2003 für den Teilbereich Kraft-Wärme-Kopplung Berichtszeitraum 2010. Internet: <http://www.oeko.de/oekodoc/1695/2012-476-de.pdf> (Abrufdatum: 5.1.2014).

[5] Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e. V.: BHKW-Kenn daten 2011 – Module, Anbieter, Kosten. Internet: <http://asue.de/cms/upload/broschueren/2011/bhkw-kenn daten/asue-bhkw-kenn daten-0311.pdf> (Abrufdatum: 5.1.2014).

[6] Die skizzierte Verschneidung von EEG-Daten und ASUE-Kenn daten basiert auf Arbeiten des Zentrums für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) zusammen mit dem Umweltbundesamt und ist nicht Bestandteil dieser Arbeit.

[7] Als Voraussetzung zur Anwendung dieser Methode werden zunächst für zwei Referenzanlagen, die Strom und Wärme getrennt erzeugen, Annahmen über die Wirkungsgrade getroffen. Die AG-Energiebilanzen nutzt als Referenzwirkungsgrad für die ungekoppelte Erzeugung von Wärme einen Wert von 80 % und für Strom von 40 %. Die Aufteilung des Brennstoffs auf die Kuppelprodukte erfolgt in Anlehnung an die Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 11.2.2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG mit Hilfe der Primärenergieeinsparung (PEE).

[8] Formal stellt die Energiebilanz die KWK-(Nah)wärmeerzeugung mit dem Betrieb dezentraler Heizungsanlagen zur Raumwärmeerzeugung bei privaten Haushalten und GHD bzw. mit dem direkten Einsatz fossiler Energieträger in Prozessfeuerungen der Industrie gleich.

[9] Einzelheiten dazu vgl. Zscherning, J. u. Sander, T.: KWK-Strom – Was ist das? In: EuroHeat&Power, 36. Jg. (2007), Heft 6, S. 26-36 sowie IEA, Eurostat: Handbuch Energiestatistik. Paris 2006, S. 51-54.

[10] Einschließlich der KWK-Strom- und KWK-Wärmeerzeugung, die in Biogasanlagen zur Aufrechterhaltung des Anlagenbetriebes (z. B. Fermenterbeheizung) genutzt wird. Ohne diesen Energieeinsatz (Wärmeeinsatz im Fermenter und die damit verbundene Stromerzeugung) verringert sich der Anteil des in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten elektrischen Stroms an der gesamten Stromerzeugung auf 16,5 %.

*T. Baten, H.-G. Buttermann, EEFA GmbH & Co. KG Forschungsinstitut Münster; T. Nieder, Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW), Stuttgart
www.eefa.de, www.zsw-bw.de*