

Zukünftige Strom- und Wärmeversorgung in Haushalten und Gewerbe

Future Supply of Electric and Thermal Energy for Domestic and Commercial Customers

Zukünftige Strom- und Wärmeversorgung in Haushalten und Gewerbe, Thomas Dederichs, Thomas Smolka (beide RWTH Aachen), Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat, Magnus Pielke (beide TU Braunschweig), Aachen/Braunschweig, Deutschland, dederichs@ifht.rwth-aachen.de

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Abhandlung soll ein Überblick der Trends integrierter Strom- und Wärmeversorgung gegeben werden. Im Anschluss sollen methodische Unterschiede der ökologischen Bewertung von Energieversorgungsszenarien diskutiert werden. Dies führt zu einer erweiterten Betrachtung der Ergebnisse der Studie „Dezentrale Energieversorgung 2020“ der Energietechnischen Gesellschaft im VDE.

Abstract

This paper addresses the future trends of integrated electric and thermal energy supply. Following this the methodical differences of the ecological assessment of energy supply scenarios is discussed, leading to a closer examination of results from a study concerning distributed power and heat supply undertaken by the Power Engineering Society of VDE.

1 Einleitung

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts befindet sich die elektrische und thermische Energiebereitstellung im Umbruch. Bestimmten in den vergangenen Jahrzehnten im Wesentlichen finanzielle und technische Überlegungen die Wahl der Erzeugungsart, so spielen inzwischen ökologische Erwägungen eine mindestens gleichbedeutende Rolle. Dies wurde möglich durch einen breiten gesellschaftlichen Konsens, der vom Wunsch nachhaltiger Energieversorgung getragen wird. Dieser führte zunächst in den 1980er Jahren zu einer Neubewertung der mit der Kernenergie verbundenen Risiken und in den sich anschließenden Jahrzehnten zur Förderung solcher Techniken, die einen möglichst effizienten Energieeinsatz garantieren. Hierbei wird insbesondere der Kraft-Wärme-Kopplung ein enormes Potential zugesprochen, zu dessen Hebung sich die Bundesregierung verpflichtet sieht [1].

2 Trends

Die Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Deutschland ist geprägt durch die Entwicklung des Verhaltens der jeweiligen Verbraucher in den Sektoren Privathaushalte, Gewerbe, Handel und Dienstleistung (GHD) sowie Industrie. Zur zukünftigen Entwicklung des Endenergieverbrauchs in Deutschland gibt es eine Vielzahl von Studien. Eine der umfassendsten stellt der vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie in Auftrag gegebene Energiereport IV „Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030“ [2] dar. Demnach sinkt der Endenergieverbrauch bis 2030 um ca. 10% bezogen auf 2002, hauptsächlich aufgrund eines Rückgangs des Gesamtwärmebedarfs bestehend aus Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebedarf.

mebedarfs bestehend aus Raumwärme-, Warmwasser- und Prozesswärmebedarf.

In den einzelnen Sektoren ist die Zusammensetzung des Wärmebedarfs bzw. sind die Anteile der Wärmeanwendungen am Gesamtwärmebedarf deutlich unterschiedlich, wie in Bild 1 dargestellt.

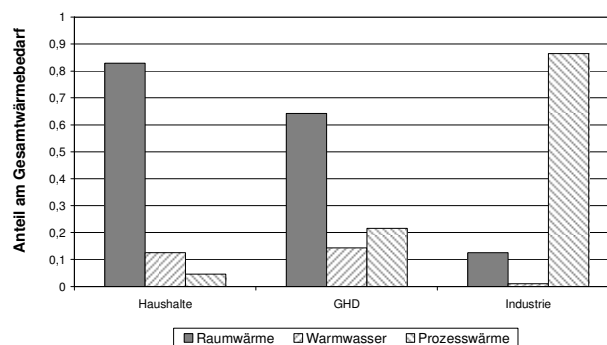


Bild 1 Wärmebedarf nach Sektoren

Wesentlichen Einfluss auf das zukünftige Potential bzw. den möglichen Anteil dezentraler Energiewandlungsanlagen an der Energieversorgung hat die Entwicklung des Endenergieverbrauches an Strom und Wärme.

Während im Bereich der Privathaushalte und im GHD-Sektor der Raumwärmebedarf mit knapp 83% bzw. 65% des Gesamtwärmebedarfs im Jahr 2004 überwiegt, ist im Industriesektor die Prozesswärme mit einem Anteil von rund 87% dominierend. Die hohen Anteile des Raumwärmebedarfs am Gesamtwärmebedarf in den Verbraucher-

gruppen GHD und Privathaushalte weisen diesen als sinnvollen Ansatzpunkt für Einsparungen aus.

Im Folgenden wird der elektrische und thermische Energiebedarf in Verteilungsnetzen für die Verbrauchergruppen Privathaushalte und GHD betrachtet. Auf eine Betrachtung des Sektors Industrie wird aufgrund der im Rahmen der Arbeit nicht ermittelbaren individuellen Einzelanforderungen des Strom- und Wärmebedarfs der Industrieunternehmen verzichtet.

Der Wärmebedarf von Gebäuden setzt sich aus der Summe der Endenergieaufwendungen für die Versorgung des betrachteten Gebäudes mit Raumwärme und Warmwasser zusammen. Mit der Einführung von Energiespar- und Wärmeschutzverordnungen konnte der Raumwärmebedarf in den letzten Jahren stetig gesenkt werden. Vor allem durch den Einsatz von Niedrigenergie- und Passivhäusern in zukünftigen Neubaugebieten soll auch in Zukunft eine Fortsetzung dieses Trends realisiert werden.

Nachfolgende sektorspezifische Entwicklungen kennzeichnen dabei die prognostizierten Trends für das Jahr 2030 gemäß [2]:

- Der Gesamtwärmebedarf im Bereich privater Haushalte reduziert sich deutlich um ca. 18% auf 573 TWh in 2030 bezogen auf 2000, bedingt durch eine erhöhte Sanierungseffizienz und Sanierungshäufigkeit des Gebäudebestandes und Neubauten auf Basis aktueller Wärmeschutz- bzw. Energieeinsparungsverordnungen (EnEV) mit reduziertem Heizwärmebedarf und konstant bleibendem Warmwasserbedarf.

- Im GHD Sektor ist infolge einer Heizwärmereduzierung im Gebäudebereich eine Reduktion des sektoralen Gesamtwärmebedarfs um 30% in 2030 gegenüber 2000 zu erwarten. Ermöglicht wird dies durch deutlich kürzere Renovierungszyklen als im privaten Sektor, was zu einer deutlicheren Absenkung des Heizwärmebedarfs führt.

3 Methodik

Offensichtlich werden die sich abzeichnenden Veränderungen im Bedarf zu einem gravierenden Wandel der optimalen Strom- und Wärmeversorgung führen. Im Folgenden soll daher zunächst die Vorgehensweise bei der ökologischen Bewertung von Versorgungsstrukturen erläutert werden und anschließend die Herangehensweise mit einer vergleichbaren Studie gegenübergestellt werden.

3.1 Energieversorgungsmodell

Der Fokus des Modells liegt ausgehend von den Forschungsschwerpunkten der beteiligten Institute im Bereich der Verteilungsnetze. Aus diesem Grunde findet beispielsweise eine intensive Beschäftigung mit den Entwicklungen im Bereich der zentralen Großkraftwerke nicht statt; vielmehr wird eine Bandbreite möglicher Strommixe antizipiert. Die dafür notwendigen Änderungen

in der Erzeugungs- und Netzstruktur werden an anderer Stelle im Detail analysiert [3]. Ebenso werden Änderungen im Verbraucherverhalten auf der Niederspannungsebene nur dann berücksichtigt, wenn sie Einfluß auf den Energiebedarf haben, da belastbare Abschätzungen des privaten Verbrauchs an einem Versorgungsknoten hinreichend genau mittels heutiger Werte und allgemeiner Trends prognostiziert werden können.

Das grundsätzliche Schema des Modells zur Abbildung der thermischen und elektrischen Energieversorgung findet sich in Bild 2.

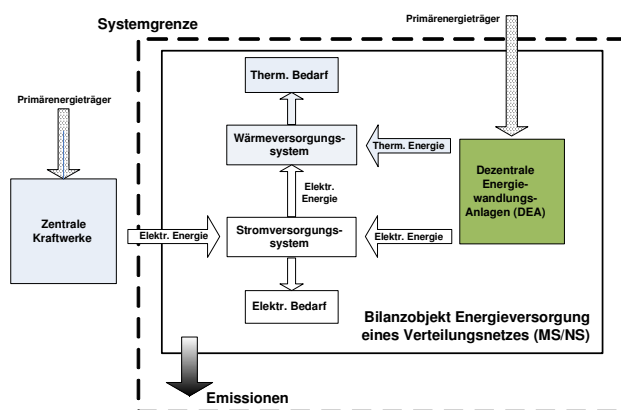


Bild 2 Darstellung des entwickelten Versorgungsmodells

Untersuchungsgegenstand der durchgeführten Arbeiten ist die Versorgung der Kunden eines Verteilungsnetzes mit elektrischer und thermischer Energie, wobei ein Schwerpunkt auf der Ermittlung der mit dieser Versorgung verbundenen Emissionen liegt. Die abstrakte Abgrenzung dieser Kunden gegen die Umwelt wird im Weiteren als Bilanzraum bezeichnet.

Es soll zu jedem Zeitpunkt uneingeschränkt sowohl die Möglichkeit eines Strombezugs als auch einer Stromrückspeisung in das übergelagerte Verbundnetz sichergestellt sein. Ein Bezug von Wärme aus Quellen außerhalb des Bilanzraums findet nicht statt, so dass der Bedarf an thermischer Energie vollständig von Erzeugern innerhalb des Bilanzraums gedeckt werden muss. Die aus einem Energiebezug entstehenden Emissionen werden stets den Verbrauchern angelastet, die den Bezug verursacht haben. Dies gilt sowohl für Energiewandlungen innerhalb des Bilanzraums als auch außerhalb. Insbesondere folgt daraus, dass elektrische Energie, die den Bilanzraum verlässt, die durch sie verursachten Emissionen beibehält (siehe Bild 3). Diese Stromerzeugung für Verbraucher außerhalb des Bilanzraums führt also weder zu einer Belastung der Verbraucher des Bilanzraums noch zu einer Entlastung mittels Gutschriftenrechnung. Die im Verteilsystem verlorene Abwärme führt ebenso wie nicht benötigte Überproduktionen zu einer Aufteilung der Emissionen auf die verbleibende Nutzwärme, erhöht also die spezifischen Emissionen. Bei der Implementierung von dezentralen Energiewandlungsanlagen wird von einer ausschließlich technisch begründeten Durchdringungsgrenze

ausgegangen. Weder monetäre Aspekte noch mögliche Vorbehalte der Bevölkerung finden hierbei eine Beachtung. Da Vorarbeiten [4] den geringen Einfluss von Herstellung und Einrichtung dezentraler Energiewandlungsanlagen auf deren Ökobilanz aufgezeigt haben, werden vorrangig die unmittelbar mit der Energiewandlung verbundenen Emissionen berücksichtigt. Ziel der Untersuchung ist die Bestimmung einer aus ökologischer Sicht optimalen Energieversorgungsstrategie für das Jahr 2020 und darüber hinaus. Hierzu wird das Energieversorgungsmodell genutzt, in dem anhand realer oder synthetischer Verteilungsnetze mögliche Emissionsbelastungen ermittelt werden können.

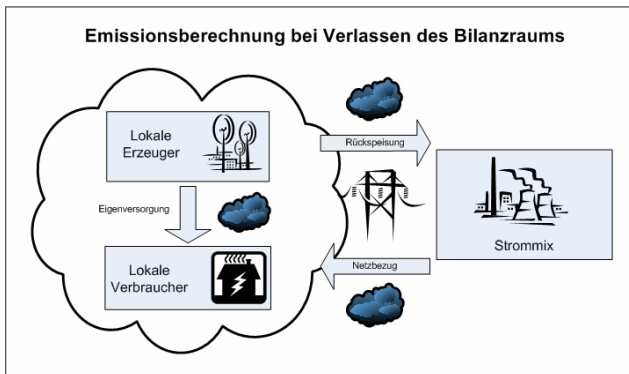


Bild 3 Schematische Darstellung der Emissionszuweisung im Falle elektrischer Energie

3.2 Allokation

Ein häufig anzutreffendes Problem im Zusammenhang mit Ökobilanzen besteht in der Zuordnung von Emissionen, die durch die Produktion von verschiedenen Gütern in einem Produktionsprozess anfallen. Im Fall von dezentraler Energiewandlung handelt es sich dabei im Wesentlichen um die im Kraft-Wärme-Koppelprozess simultan bereitgestellte elektrische und thermische Energie.

Eine Möglichkeit ist, die eindeutig zuweisbaren Anlagenteile der Wärme oder dem Strom zu verrechnen und Bewertungsfaktoren für gemeinsame Bezüge zu definieren (Allokation).

Im Fall der Kraft-Wärme-Kopplung ist beispielsweise eine Aufteilung der Emissionen nach Energiegehalt, Exergiegehalt, Preis oder schlicht durch Präferieren eines der Produkte möglich. Unter Exergie wird dabei das Potential einer Energieform zur Verrichtung von Arbeit verstanden.

Um ein Höchstmaß an Flexibilität zu erreichen und ferner den Einfluss des Allokationsverfahrens auf die Ergebnisse untersuchen zu können, wurde im Rahmen des entwickelten Modells ein Parameter namens Allokationsfaktor eingeführt. Dieser Allokationsfaktor bestimmt sich aus der Wertigkeit einer elektrischen und einer thermischen Energieeinheit und ist wie folgt definiert:

$$AF = \frac{\text{Wertigkeit } (W_{el})}{\text{Wertigkeit } (W_{el}) + \text{Wertigkeit } (W_{th})}$$

Wie leicht ersichtlich ist, begrenzen die Allokationsverfahren Wärme mit einem AF von 0 und Strom mit einem AF von 1 die Bandbreite des Parameters.

Die Anwendung des Allokationsverfahrens erweist sich als unverzichtbar im Falle einer verbraucherbasierten Emissionszuweisung, da ansonsten den Energieflüssen, welche den Bilanzraum verlassen, keine eindeutige Emissionsmenge zugewiesen werden kann. In der Praxis führt dies zum Einsatz von Gutschriftenverfahren, die jedoch wie im Folgenden aufgezeigt wird, zu paradoxen Ergebnissen führen können.

3.3 Ergebnisvergleich

Die Studie „Dezentrale Energieversorgung 2020“ der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (Verband der Elektrotechnik) [5], die im letzten Jahr erschien, widmete sich ebenfalls Fragestellungen im Bereich dezentraler Energieversorgung. Konkret wurden zwei vollsynthetische Netze auf einer Fläche von je 1 km² untersucht. Die innerstädtische Variante bietet dabei eine Nutzfläche von 1,28 km² auf bis zu 4 Stockwerken, eine vorstädtische Vergleichsvariante eine Nutzfläche von 0,32 km². Für beide Gebiete wird eine gleiche Verbraucherstruktur angegeben, überwiegend bestehend aus Privathaushalten sowie einem kleinen Anteil an Händlern und Gewerbe. Die Stromverbräuche liegen bei rund 48 GWh/a im innerstädtischen, respektive 12 GWh/a im vorstädtischen Gebiet; der Wärmeverbrauch beträgt 149 GWh/a, beziehungsweise 37 GWh/a. Beide Netzvarianten werden in jeweils vier Grundscenarien unterschiedlich mit Energie versorgt.

Im Referenzszenario wird auf einen Strombezug aus dem Hochspannungsnetz in Verbindung mit Erdgasthermen zur Wärmeerzeugung zurückgegriffen. Im wärmegeführten und im stromgeführten Szenario werden BHKWs eingesetzt, deren Fahrweise sich am vorherrschenden Wärme-, respektive Strombedarf orientieren. Blockheizkraftwerke werden im Fall einer Versorgung mit thermischer Energie mittels Nahwärmenetzen stets zu Anlagen mit 40% elektrischem und 50% thermischem Wirkungsgrad angenommen. Die Auslegung erfolgt in Form einer 30%igen thermischen Leistungsdeckung, was einer bereitgestellten Wärmemenge von rund 80% entspricht. Das Wärmepumpenszenario statet alternativ alle Haushalte mit Wärmepumpen aus, wobei der Strombedarf wieder vollständig aus dem deutschen Strommix geliefert wird. Alle Grundscenarien werden dabei je einmal mit dem gesamten heutigen Wärmebedarf (100%), drei Vierteln des Bedarfs (75%) und einem um die Hälfte reduzierten Bedarf (50%) berechnet.

Die Studie bietet die Möglichkeit, das Stoffstrommodell inklusive der Erweiterung um thermische Energieversorgung auf seine Einsatzfähigkeit hin zu überprüfen. Die nachfolgende Abbildung zeigt die Gegenüberstellung der in [5] angegebenen Ergebnisse der Treibhausgasemissionen mit den im Energieversorgungsmodell (EVM) ermittelten Werten.

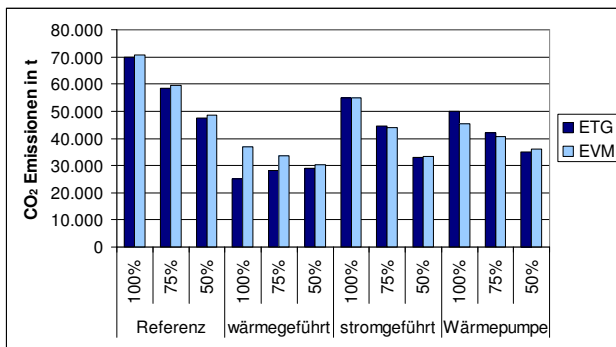


Bild 4 Vergleich der jährlichen Treibhausgasemissionen des innerstädtischen Versorgungsgebiets

Obwohl die grundsätzliche Vergleichbarkeit der Ergebnisse ins Auge fällt, sind die Abweichungen von besonderem Interesse. So zeigt sich im Bereich der Wärmepumpen ein unterschiedlich starker Rückgang der Emissionen aufgrund unterschiedlicher Annahmen die Leistungszahl betreffend. Gravierender jedoch sind die Unterschiede in den wärmegeführten BHKW Szenarien. Während die CO₂-Belastungen in diesen Szenarien im erstellten Modell erwartungsgemäß mit der Absenkung des Wärmebedarfs zurückgehen, zeigt das Modell der Energietechnischen Gesellschaft ein paradoxes Verhalten. Trotz Rückgang des Wärmeverbrauchs steigen die Emissionen an. Diese Auffälligkeit rührt von der Technik der Gutschriftenrechnung her. Typischerweise verursachen wärmegeführte Blockheizkraftwerke hohe Rückspeisungen, da die Stromproduktion den Strombedarf um den Faktor zwei bis drei übersteigt. Wird der rückgespeiste Strom beim Verlassen des Bilanzraums gegen einen externen Faktor gutgeschrieben (beispielsweise den deutschen Strommix), ergeben sich negative Rückwirkungen auf die Emissionsmenge, die den Verbrauchern innerhalb des Bilanzraums angelastet wird. Da der im BHKW erzeugte Strom mit geringeren Emissionen behaftet ist als der Bezug aus dem deutschen Hochspannungsnetz, ergeben sich umso höhere Einsparungen je mehr Rückspeisung erfolgt.

Prinzipiell lässt sich argumentieren, dass der in das Hochspannungsnetz rückgespeiste Strom tatsächlich hilft Emissionen einzusparen, da er scheinbar ökologisch schlechteren Strom verdrängt. Allerdings dürfen im Rahmen einer Emissionszuweisung an den Endverbraucher, wie sie in der Mehrzahl aller bekannten Studien und auch hier erfolgt, diese Einsparungen nicht dem Verbraucher im Bilanzraum zugewiesen werden, da sie bei Verbrauchern außerhalb der Systemgrenzen wirksam werden. Dies bedeutet, dass die elektrische Energie nur mit einem Faktor gutgeschrieben werden darf, der den bei der Energiewandlung anfallenden Emissionen entspricht.

Hier zeigt sich nun der entscheidende Vorteil des Allokationsverfahrens. Da in Blockheizkraftwerken den Koppelprodukten Strom und Wärme mittels Allokation eindeutige Emissionsmengen zugeordnet werden, fällt die Wahl des Gutschriftsfaktors bei Verlassen des Systems leicht: er entspricht den Allokationsemissionen. Ohne Allokation ist

hier stets die Wahl eines externen Gutschriftsfaktors vonnöten, der das Ergebnis, wie zuvor gezeigt, verfälschen kann.

4 Fazit und Ausblick

Beide Untersuchungen zeigen unabhängig die ökologischen Vorteile einer integrativen Strom- und Wärmebereitstellung. Insbesondere im Hinblick auf die öffentliche Diskussion der Ergebnisse sollten jedoch Paradoxien oder eine „wissenschaftliche Beliebigkeit“ verhindert werden. Die Methode der Emissionsallokation bietet im vorliegenden Fall die Möglichkeit einer stringenteren Darstellung der relevanten Ergebnisse.

Darüber hinaus sollte ferner festgehalten werden, dass ein massiver Einsatz von Wärmepumpen in Kombination mit Blockheizkraftwerken ökologisch sinnvoll sein kann. Dies resultiert aus der Tatsache, dass in Szenarien mit einer hohen Durchdringung von Kraft-Wärme-Kopplung auf fossiler Basis in den kalten Monaten eine hohe Rückspeisung elektrischer Energie auftritt. Da die Wärmepumpe mithilfe von elektrischer Energie thermische Energie erzeugt, liegt es nahe, die „zuviel“ erzeugte elektrische Energie vor Ort zu verwenden und diese den Wärmepumpen zukommen zu lassen. Hohe Rückspeisungen, die eventuell zu einer Überlastung der Stromnetze und auf jeden Fall zu höheren Übertragungsverlusten führen, könnten somit z.T. deutlich reduziert werden.

5 Literatur

- [1] Bericht zur Umsetzung der in der Kabinettsklausur am 23./24.08.2007 in Meseberg beschlossenen Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm, BMWi & BMU, Berlin, 2007
- [2] W. Schulz et al.; Die Entwicklung der Energiemärkte bis zum Jahr 2030, Energiewirtschaftliches Institut an der Universität zu Köln / prognos AG, Köln/Basel 2005.
- [3] H.-P. Beck (Hrsg.); Dezentrale Energiesysteme, Forschungsverbund Energie Niedersachsen, Goslar 2007
- [4] T. Smolka et al.; Einsatz dezentraler Stromerzeugungstechniken in elektrischen Verteilungsnetzen unter ökologischen Rahmenbedingungen, VDE Kongress 2004
- [5] W. Horenkamp et al.; Dezentrale Energieversorgung 2020 – Studie der ETG, 2007