



Die technische Entwicklung auf den Strom- und Gasmärkten

Eine Kurzanalyse der Rolle und Entwicklungsperspektiven neuer dezentraler Energietechnologien und der Wechselwirkungen zwischen technischem Fortschritt und den Akteursstrukturen in den Strom- und Gasmärkten

Kurzexpertise für die Monopolkommission

Wuppertal Institut für Klima Umwelt Energie

Dr.-Ing. Stephan Ramesohl
Dr. Kora Kristof
Dr.-Ing. Manfred Fishedick
Dipl.-Phys. Stefan Thomas
Dipl.-Ök. Wolfgang Irrek

unter Mitarbeit von
Dr. Claus Barthel
Prof. Dr. Peter Hennicke
Dipl.-Phys. Frank Merten
Tobias vor der Brüggen

Wuppertal, April 2002

1	KURZZUSAMMENFASSUNG	4
2	EINLEITUNG	8
3	DEZENTRALE ENERGIESYSTEME UND DEZENTRALE ENERGIETECHNOLOGIEN IM ÜBERBLICK	9
3.1	Begriffsbestimmung dezentrale Energiesysteme	9
3.2	Technologien für die dezentrale Energieversorgung	10
4	CHARAKTERISTIK UND FUNKTION AUSGEWÄHLTER NEUER DEZENTRALER ENERGIETECHNOLOGIEN IM ENERGIESYSTEM	13
4.1	Kurzbeschreibung der Technologien und des gegenwärtigen Entwicklungsstands	13
4.2	Schlussfolgerungen zum Stand der Technik bei ausgewählten Energietechnologien	18
4.3	Technische Voraussetzungen für die Einbindung dezentraler Energie- erzeugungsanlagen in das Energiesystem	19
5	ENTWICKLUNGSPERSPEKTIVEN UND –DETERMINANTEN NEUER DEZENTRALER ENERGIETECHNOLOGIEN	21
5.1	Entwicklungsaufgaben und Voraussetzungen für den technischen Fortschritt	21
5.2	Zwischenfazit zu den technologiespezifischen Entwicklungsbedingungen	27
6	LANGFRISTSZENARIEN ZUR ENTWICKLUNG DEZENTRALER ENERGIETECHNOLOGIEN IM ENERGIESYSTEM	28
6.1	Grundannahmen und Rahmenbedingungen	28
6.2	Szenariodefinition	29
6.3	Szenarioergebnisse	29
6.3.1	Regenerative Energien	29
6.3.2	Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung	31
6.4	Die künftige Bedeutung des Energieträgers Erdgas	32

7	WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN DER ENTWICKLUNG NEUER DEZENTRALER ENERGIETECHNOLOGIEN UND DEN AKTEUREN UND STRUKTUREN IN DEN STROM- UND GASMÄRKTEN	34
7.1	Ausbau dezentraler Energietechnologien als ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems	34
7.2	Strukturelle Auswirkungen der neuen dezentralen Energietechnologien auf die Strom- und Gasmärkte	36
7.3	Einfluss der Marktstrukturen auf die technische Entwicklung dezentraler Energietechnologien und Implikationen des Zusammenschlusses E.ON/Ruhrgas auf die Wettbewerbssituation	39
7.3.1	Auswirkung der Strukturen der Gasmärkte	39
7.3.2	Auswirkungen der Strukturen der Strommärkte	40
7.3.3	Anpassung der Netzstrukturen an eine steigende Zahl dezentraler Erzeugungsanlagen	41
7.3.4	Die Bedeutung differenzierter Akteursstrukturen für die technologische Vielfalt bei dezentralen Energietechnologien	41
8	SCHLUSSFOLGERUNGEN ZUR BEDEUTUNG DER FUSION E.ON / RUHRGAS FÜR DIE ENTWICKLUNG UND MARKTEINFÜHRUNG DEZENTRALER ENERGIETECHNOLOGIEN	43

1 Kurzzusammenfassung

Im Auftrag der Monopolkommission wurde vom Wuppertal Institut im Rahmen einer Kurzexpertise die Entwicklung dezentraler Energiesysteme auf den Strom- und Gasmärkten bis zum Jahr 2020 und die Wechselwirkungen zu den Marktstrukturen analysiert. Vor dem Hintergrund der beantragten Fusion von E.ON und Ruhrgas werden neue dezentrale Energietechnologien und ihre Einbindung in das Energiesystem beschrieben, deren Entwicklungsperspektiven dargestellt und die Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung neuer dezentraler Energietechnologien und den Akteurstrukturen in den Strom- und Gasmärkten aufgezeigt. Dezentrale Energiesysteme stehen in einem engen Bezug zu den lokalen bzw. regionalen Strukturen und werden maßgeblich durch nationale Rahmenbedingungen (z.B. zur Durchleitung) bestimmt. Eine Bewertung der Auswirkungen der Fusion von E.ON und Ruhrgas für die Entwicklung und Markteinführung dezentraler Energietechnologien muss somit vorrangig aus nationaler Perspektive erfolgen.

Die Technik und ihre Anwendungsbereiche

Die wichtigsten dezentralen Technologien und ihre Merkmale zeigt Tab. I. Zu dezentralen Energiesystemen für die Stromversorgung gehören neben den Erzeugungsanlagen auch die Netztechnik für Stromtransport/-verteilung und Stromnetzmanagement. Sie stellen die unverzichtbaren Voraussetzungen für die Netzanbindung und Systemintegration innovativer Erzeugungstechnologien dar und haben damit in technischer Sicht eine strategische Schlüsselfunktion für den Strukturwandel in der Energiewirtschaft.

Tab. I: Übersicht der Charakteristik ausgewählter dezentraler Energietechnologien

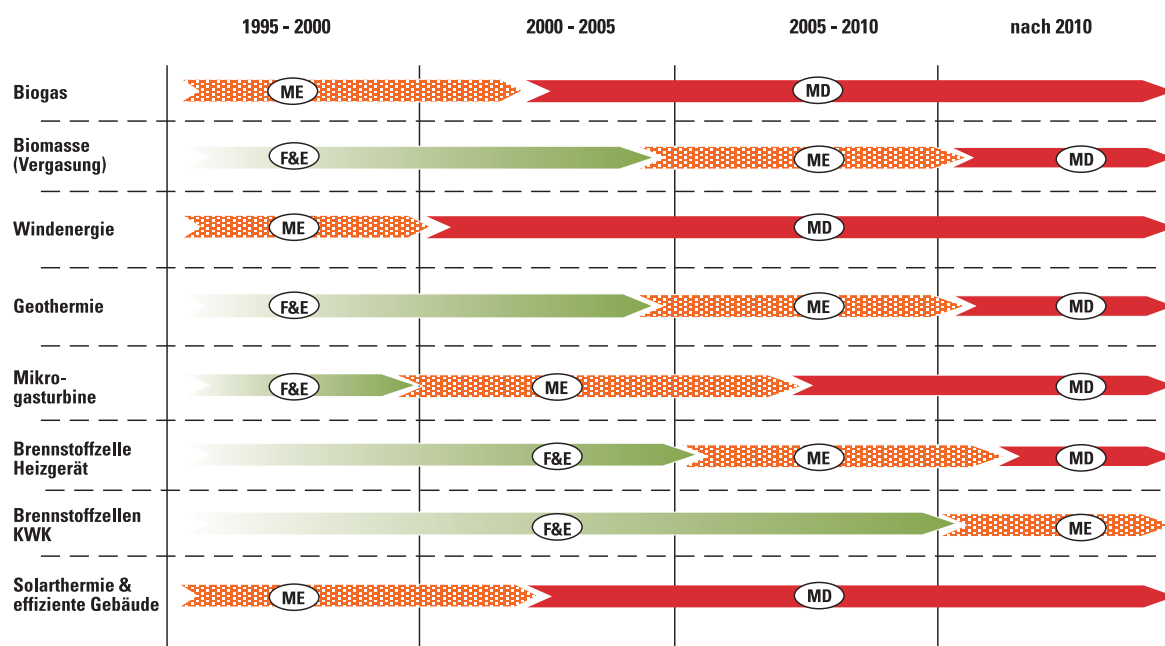
Technologie	Funktion im Stromsystem	Funktion im Wärme-/Kältesystem	sonstige Funktionen
Biomasse-KWK	Grund- / Mittellast Einbindung ins Mittel-/Hochspannungsnetz	alle Temperaturbereiche und Wärmenutzungen	Regel- und Ausgleichsoption (Speicherbarkeit) Multi – Fuel Fähigkeit
Geothermie (HDR)	Grund- / Mittellast Einbindung ins Mittel-/Hochspannungsnetz	Temperaturbereich NT<200°C	kurzzeitig auch Spitzenlast möglich, da schnell regelbar
Windenergie	Substitution vom Mittellaststrom Einbindung ins Mittelspannungsnetz	keine	strategischer Eckpfeiler für eine klimaverträgliche Energieversorgung
Solarthermie	keine	Temperaturbereich NT<200°C	
Mikrogasturbine	Mittel-/Spitzenlast Einbindung ins Niederspannungsnetz	Temperaturbereich MT 200-500°C	Objektversorgung Lastmanagement
Brennstoffzellen Hausenergieversorgung	Mittel-/Spitzenlast Einbindung ins Niederspannungsnetz	Temperaturbereich NT<200°C	Qualitätssicherung Regelfunktionen im dezentralen Verbund
stationäre Brennstoffzellen (Hochtemperatur)	Grund-/Mittellast Einbindung ins Nieder-/Mittelspannungsnetz	Temperaturbereich MT bis 500°C	Nutzung alternativer Brennstoffe Ggf. Ausgleich fluktuierender Erzeugung

NT: Niedertemperatur; MT: Mitteltemperatur; HT: Hochtemperatur

Die Marktentwicklungsperspektiven

Die für das Umweltbundesamt und die Bundestags-Enquete-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ erstellten neuesten Szenarien zeigen, dass selbst unter Status-Quo-Bedingungen der Anteil dezentraler Energietechnologien im Strommarkt von 1998 3 % auf 11,2 % im Jahr 2050 steigt. Eine an Nachhaltigkeitszielen orientierte Energiepolitik würde 2050 sogar zu einem dezentralen Stromanteil von 47,5 % führen. Im Wärmemarkt zeigt sich ein ähnliches Bild. Abb. I zeigt, wann die einzelnen dezentralen Technologien verstärkt in den Markt kommen.

Abb. I: Übersicht der Entwicklungsperspektiven ausgewählter dezentraler Energietechnologien



Wissenschaftszentrum
Nordrhein-Westfalen
Institut Arbeit
und Technik

Kulturwissenschaftliches
Institut
Wuppertal Institut für
Klima, Umwelt, Energie
GmbH

[Ramesohl 2002]

F&E: Forschungs- und Entwicklungsphase
ME: Markteinführungsphase
MD: Phase der Marktdurchdringung

Dezentrale Technologien als wesentlicher Pfeiler einer nachhaltigen Energiepolitik

Neben Energieeffizienzsteigerungen sind die verstärkte Nutzung regenerativer Energien sowie die Ausschöpfung der Potenziale der Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung die zentralen Pfeiler einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems. Dezentrale Technologien leisten einen wichtigen Beitrag zur Ausnutzung regionale Potenziale, da technische Lösungen an die spezifischen Bedingungen vor Ort angepasst sind. Zentrale und dezentrale Energieversorgung schließen sich dabei keinesfalls aus, sondern ergänzen sich.

Dezentrale Technologien und Marktmacht

Die Markt- und Akteursstrukturen der Strom- und Gasmärkte werden aus folgenden Gründen in den kommenden Jahren einen besonders wichtigen Einfluss auf die technische Entwicklung dezentraler Energietechnologien haben:

- Dezentrale Energietechnologien bieten wegen des geringen Investitionsbedarfs (kleine und mittlere Anlagengrößen) und kürzerer Kapitalbindungen Chancen für neue Akteure im Energiemarkt, in die Stromerzeugung einzusteigen bzw. ihre Rolle auszubauen.
- Die Fokussierung auf die Brennstoffzelle bei Vernachlässigung anderer Technologien durch die großen Verbundunternehmen unterstreicht zusätzlich die Rolle unabhängiger Akteure für die Sicherstellung einer technologischen Vielfalt. Die Handlungsfreiheit und Chancengleichheit ist eine wesentliche Voraussetzung für Innovationsdynamik.
- Durch die dezentrale KWK (z.B. Brennstoffzelle) wird die Bedeutung des Energieträgers Erdgas für die Stromerzeugung und die Bedeutung der Förder-, Speicher- und Transportunternehmen zunehmen. Der diskriminierungsfreie Zugang zu einer sicheren, zuverlässigen und wettbewerbsfähigen Gasversorgung ist deshalb eine Schlüsselvoraussetzung für Planung und Betrieb von dezentraler KWK-Anlagen auf Erdgasbasis.
- Der diskriminierungsfreie Zugang zum Stromnetz und zur Durchleitung ist eine elementare Voraussetzung für die Erzeugung und Vermarktung von dezentral erzeugtem Strom. Die Investitionsbereitschaft und das weitere Engagement der Akteure hängt deshalb in starkem Maße von verlässlichen und fairen Rahmenbedingungen für die Konditionen für Stromeinspeisevergütung, Reserve- und Zusatzstrombezug etc. ab.
- Eine rasche Durchsetzung des Gas- und Stromnetz Zugangs bzw. die unverzügliche Sanktionierung von Missbrauch ist besonders wichtig, da im Bereich neuer innovativer Technologien die Finanzdecke der Akteure aufgrund der aufwendigen F&E-Leistungen oft dünn ist.
- Die weitere Entwicklung und Förderung der dezentralen Energietechnologien erfordert neue zukunftsfähige Netzkonzepte. Es ist aber unklar, in welcher Form die anfallenden Kosten für Netzverstärkung, -ausbau und -entwicklung auf die Nutzer umgelegt werden. Die Sicherung der Funktionsfähigkeit der Infrastrukturleistung der Stromnetze stellt eine originäre Leistung der Netzbetreiber dar, deren Kosten diskriminierungsfrei von allen Kunden und Netznutzern getragen werden sollte. Auch hierfür sind entsprechende energiepolitische und rechtliche Rahmenbedingungen auf europäischer und nationaler Ebene zu schaffen.

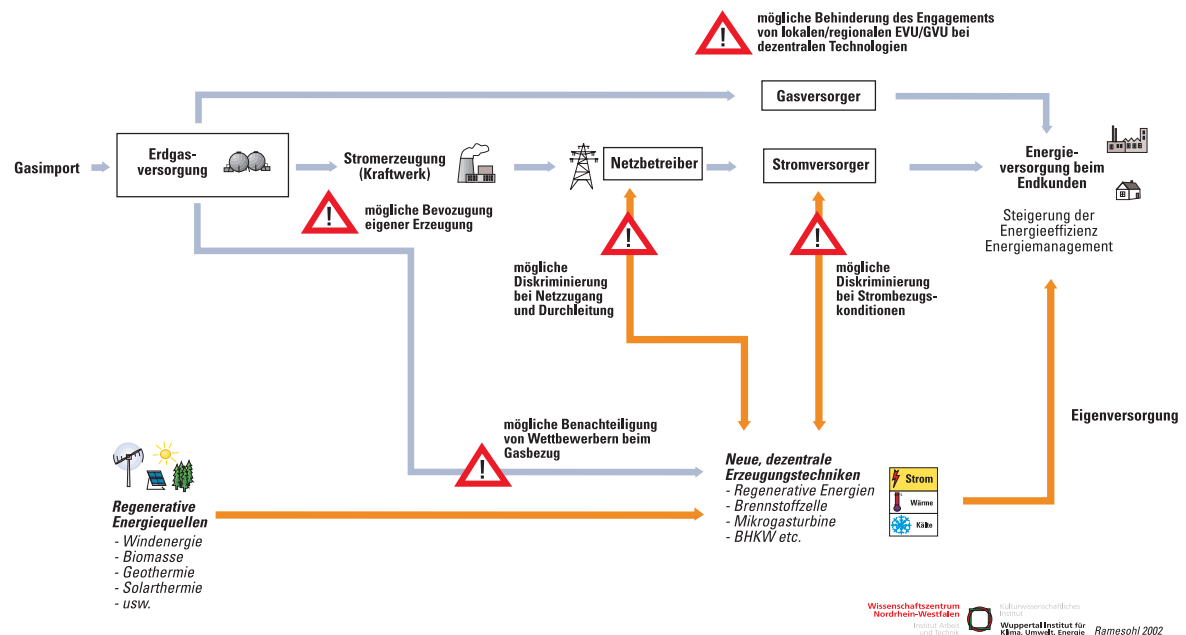
Der derzeitige energiewirtschaftliche Rahmen erzeugt wesentliche Probleme für die Einführung dezentraler Energietechniken.

Der geplante Zusammenschluss E.ON/Ruhrgas könnte diese Probleme verschärfen, da bei einem Akteur gebündelt werden:

- eine ausgeprägte Marktmacht im Gasbereich über alle Stufen vom Transport (incl. Einfluss auf Gasgewinnung) über die Verteilung, Speicherung und Handel/Belieferung bis hin zur Nutzung in Gaskraftwerken, darüber hinaus in der Gasanlagentechnik,
- eine starke Position als überregionales Stromerzeugungsunternehmen, Verbundnetzbetreiber und Stromlieferant sowie
- eine starke Präsenz durch zahlreiche Beteiligungen an kommunalen und regionalen Gas- und Stromnetzbetreibern und -lieferanten

In diesem Umfeld bieten sich v.a. auch durch die Verschränkung von Strom- und Gasmarkt - für E.ON/Ruhrgas einige wesentliche Handlungsoptionen zur Beeinflussung der Wettbewerbschancen dezentraler Technologien (Abb. II). Möglichkeiten sind die Behinderung der Konkurrenz durch ungünstige Bezugskonditionen bzw. die Bevorzugung eigener dezentraler und zentraler Kapazitäten sowohl auf der Gas- als auch auf der Stromseite.

Abb. II: Darstellung der kritischen Einflussgrößen und potenziellen Möglichkeiten zur Behinderung von dezentralen Technologien in den Strom- und Gasmärkten



Außerdem legt E.ON wie andere Energieunternehmen auch gegenwärtig einen Schwerpunkt ihrer technologischen Aktivitäten auf den Bereich der Brennstoffzelle. Andere Technologien wie z.B. Wind, Motor-BHKW, Mikrogasturbinen wurden weniger intensiv bearbeitet bzw. in der Vergangenheit tendenziell behindert. Über die weit verzweigten Beteiligungen an lokalen und regionalen Energieunternehmen könnte E.ON/Ruhrgas damit einen marktbehindernden Einfluss auf eine Akteursgruppe nehmen, die typischerweise in einer Vielzahl von innovativen, kleineren Technologien und lokalspezifischen Lösungen engagiert ist und somit zur technologischen Vielfalt beitragen könnte.

2 Einleitung

Diese Kurzexpertise analysiert im Auftrag der Monopolkommission die technische Entwicklung auf den Strom- und Gasmärkten. Die Untersuchung konzentriert sich auf den Bereich der dezentralen Energieerzeugungsanlagen und betrachtet in erster Linie den Zeitraum der nächsten Jahre bis zum Jahr 2020.

Es ist das Ziel der Studie,

- die neuen dezentralen Energietechnologien und ihre Einbindung in das Energiesystem vorzustellen und das technologiespezifische Substitutions- und Strukturwandel-potenzial in den Strom- und Gasmärkten zu analysieren,
- die Entwicklungsperspektiven und –determinanten neuer dezentraler Energietechnologien darzustellen und den möglichen zukünftigen Beitrag zur Energieversorgung abzuschätzen,
- die Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung neuer dezentraler Energietechnologien und den Akteuren und Strukturen in den Strom- und Gasmärkten zu diskutieren.

Aufgrund der kurzen Bearbeitungsfrist wurden vor allem geeignete Vorarbeiten ausgewertet und mit Blick auf die Fragestellung spezifisch aufbereitet. Insbesondere für die quantitative Abschätzung der künftigen Bedeutung der dezentralen Energieerzeugung wurde auf die aktuellen Langfristszenarien des Umweltbundesamts zurückgegriffen. Angesichts der begrenzten Mittel konnten im Rahmen der Untersuchung auch keine weitergehenden Primärerhebungen oder Einzelanalysen von individuellen Akteuren und Unternehmen durchgeführt werden.

Im Rahmen der Möglichkeiten konnte die Untersuchung somit lediglich einen ersten Überblick der entscheidenden Einflussgrößen, Randbedingungen und Wechselwirkungen sowie die fördernden und hemmenden Faktoren bei der Entwicklung und Markteinführung von dezentralen Energietechnologien geben.

Bei der Bearbeitung wurde zudem deutlich, dass umfangreicher Forschungsbedarf zu der (künftigen) Rolle der relevanten Akteursgruppen in den Strom- und Gasmärkten sowie der wechselseitigen Beziehungen (wie z.B. Kraftwerksbetreiber, Netzbetreiber, Gasversorger, Energiedienstleister, Handwerk usw.) besteht. Mit Blick auf die Komplexität des Themas und seiner energiepolitischen und wirtschaftlichen Bedeutung erscheint es deshalb aussichtsreich, weitergehende, interdisziplinäre Untersuchungen des Problemfeldes durchzuführen.

3 Dezentrale Energiesysteme und dezentrale Energietechnologien im Überblick

Für die Verwendung der Adjektive "zentral" bzw. "dezentral" gibt es in der elektrischen Versorgungswirtschaft (noch) keine eindeutigen Begriffsbestimmungen. Daher wird im folgenden zunächst das grundsätzliche Verständnis einer dezentralen Energieversorgung dargelegt, bevor im Anschluss neue dezentrale Energietechnologien beschrieben und ihre Rolle im Energiesystem diskutiert werden. Die Strukturen des Strommarktes dienen dabei als Bezugsrahmen, da hier der strukturelle Unterschied zwischen zentraler und dezentraler Erzeugung stärker ausgeprägt ist als im Gasmarkt.

3.1 Begriffsbestimmung dezentrale Energiesysteme

Die **öffentliche Stromversorgung** in Deutschland ist heute im wesentlichen zentral geprägt. Der überwiegende Teil der elektrischen Energie wird von leistungsstarken Kraftwerken (≥ 300 MW) direkt ins Hochspannungs- (HS) oder Höchstspannungsnetz (HöS) eingespeist und zu den Verbrauchsschwerpunkten übertragen. Von dort aus werden die verschiedenen Verbraucher in Abhängigkeit ihrer Lastgröße über die Hochspannungs-, Mittelspannungs- und Niederspannungsebene mit Elektrizität versorgt. Der Lastfluss findet hauptsächlich vertikal statt, d.h. es dominiert eine Richtung von den höchsten Spannungsebenen (Verbundnetz) mit relativ wenigen Großverbrauchern bis zu den Verzweigungen der niedrigsten Spannungsebene (Verteilungsnetz) mit relativ vielen Kleinverbrauchern. Über die HS- und HöS-Netzebenen steht der Großteil (ca. 80%) des elektrischen Energieangebots weiträumig, d.h. prinzipiell allen Verbrauchern in Deutschland zur Verfügung. Diese Bedeutung der HS- und HöS-Netzebenen wird als das entscheidende Merkmal für die zentrale Stromversorgung angesehen.

Demgegenüber zeichnet sich die **dezentral geprägte Stromversorgung** dadurch aus, dass ein signifikanter Anteil der Stromerzeugung in kleinen Leistungseinheiten erfolgt. Das Energieangebot der betreffenden Kraftwerke wird nicht mehr in die HS/HöS-Ebene eingespeist, sondern versorgt vorrangig nur noch die Verbraucher "vor Ort", da die Möglichkeiten zur Energieübertragung vor allem aus ökonomischen Gründen auf relativ kurze Entfernungen begrenzt sind. Die zahlreichen Verbraucher wie z.B. Haushalte oder kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die an die Niederspannungs- (NS) und Mittelspannungsnetze (MS) angeschlossen sind, werden somit in starkem Maße durch eine Vielzahl "kleiner" Kraftwerke in ihrer Nähe versorgt, den sog. dezentralen Energieerzeugungsanlagen (DEA). Dies sind neben den Anlagen der kommunalen und industriellen KWK (< 300 MW) eine Reihe von Technologien mit teilweise deutlich kleinerer Leistung. Hieraus resultieren sowohl eine andere Kraftwerksstruktur als auch andere Anforderungen an Netzbetrieb und -management, denn die Versorgung mit Elektrizität (Umwandlung, Transport und Nutzung) findet im wesentlichen nur über die beiden NS- und MS-Netzebenen statt. Zur Sicherstellung der Versorgung gibt es zusätzlich einen Anschluss an ein übergeordnetes HS- oder das HöS-Verbundnetz. Für den Lastfluss lässt sich bezogen auf

die Spannungsebenen keine ausgeprägte Richtung mehr angeben, sondern er findet multidirektional statt.

Die **Gasversorgung** in Deutschland wird bis auf wenige Ausnahmen im wesentlichen durch Erdgasimporte gedeckt. Im Unterschied zum Stromnetz ist das Gasnetz nicht so engmaschig ausgebaut und die Versorgung erfolgt hauptsächlich in eine Richtung zum Endverbraucher. Durch die zunehmende Rolle des Energieträgers Gas ist zu erwarten, dass die Netze entsprechend verdichtet und ggf. in ihren Kapazität angepasst werden. Mit Blick auf neue, dezentrale Strukturen werden in Zukunft alternative Brenngase wie z.B. Grubengas, Deponiegase, biogene Brenngase und sonstige Sondergase an Bedeutung gewinnen. Neben einer direkten Nutzung vor Ort ist es dabei zwar denkbar, dass in begrenztem Umfang z.B. dezentrale Biogasnetze zur Versorgung mehrerer Objekte entstehen bzw. alternative Gase in das Erdgasnetz eingespeist werden. Im Gegensatz zur Stromversorgung werden diese lokal begrenzten Entwicklungen jedoch geringere Bedeutung für die Gasinfrastrukturen haben, so dass die gegenwärtigen technischen Strukturen im wesentlichen erhalten bleiben. Eine Einspeisung von Wasserstoff in bestehende Gasnetze wird im Betrachtungszeitraum bis 2020 keine Rolle spielen, kann aber langfristig bis 2050 zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Zusammenfassend lässt sich somit vereinfacht sagen, dass sich das dezentrale System gegenüber zentralen Strukturen vor allem durch einen höheren Anteil an verbrauchernaher Stromerzeugung aus Kraftwerken aus dem unteren Leistungsbereich sowie einer stärkeren Bedeutung der Verteilungsnetze gegenüber den Transportnetzen auszeichnet. Alle Technologien, Infrastrukturen, Dienstleistungen etc., die für den Aufbau und Betrieb eines derartigen dezentralen Systems erforderlich sind, werden in diesem Sinne deshalb mit dem Zusatz "dezentral" bezeichnet (z.B. dezentrale Erzeugungsanlagen, dezentrales Stromnetz). Die Gasinfrastrukturen (Downstream) werden sich hingegen in ihren Grundzügen nicht wesentlich verändern.

An dieser Stelle muss deutlich herausgestellt werden, dass sich die zentrale und dezentrale Energieversorgung keinesfalls gegenseitig ausschließen, sondern gegenseitig ergänzen. Es wird sich in Zukunft immer wieder die Frage stellen, auf welche Weise die unterschiedlichen Konzepte und technologischen Optionen im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems am günstigsten miteinander kombiniert werden können.

3.2 Technologien für die dezentrale Energieversorgung

Neben der Steigerung der Energieeffizienz in allen Endverbrauchsbereichen sind die verstärkte Nutzung regenerativer Energien (REG) sowie die Ausschöpfung der Potenziale der Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung (KW(K)K) die zentralen Pfeiler einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems. Dezentrale Technologien können hierbei einen wichtigen Beitrag zur Ausnutzung lokaler und regionaler Potenziale leisten, indem technische Lösungen an die spezifischen Strukturen von Energieangebot und Energienachfrage vor Ort angepasst werden.

Im Rahmen der nationalen wie globalen Anforderungen an Klimaschutz, Risikovermeidung und Ressourcenschonung wird in den nächsten Jahren der gesellschaftliche Bedarf nach diesen Energietechniken zunehmen, was sich u.a. in energiepolitischen Vorgaben wie z.B. den Ausbauzielen der Bundesregierung und der Europäischen Union für REG und KWK niederschlägt.

Bei den **regenerativen Energiequellen (REG)** sind zur Wärmeversorgung von Gebäuden die Solarthermie, die oberflächennahe Geothermie sowie Biomasseheizungen von Interesse. Für die künftige Stromerzeugung gewinnen insbesondere die Nutzung der KWK-Potenziale auf Basis der Biomasse bzw. Tiefengeothermie (HotDryRock) sowie der weitere Ausbau der Windkraft an Bedeutung. Bei der Windkraft sind mit Blick auf dezentrale Energiesysteme hierbei vor allem die verbleibenden inländischen Standorte relevant, da große Off-Shore-Windkraftparks aufgrund ihrer Leistung auf der HS/HöS-Ebene angeschlossen und nicht zu den dezentralen Erzeugungseinheiten gezählt werden. Im Bereich der **effizienten Energieumwandlung durch Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung** sind neue Impulse neben der Mikrogasturbine vor allem durch den Einsatz stationärer Brennstoffzellen zu erwarten. Die wichtigsten technischen Optionen sind in der Tabelle 1 im Überblick zusammengestellt.

Die folgende kurze Beschreibung der Einzeltechniken beschränkt sich auf einige ausgewählte Technologien (in Tab. 1 fettgedruckt), die aufgrund ihres innovativen Charakters bzw. quantitativ bedeutsamen Beitrags im Betrachtungszeitraum von besonderer Bedeutung für die Entwicklung dezentraler Energiesysteme sind. Die folgende Analyse wird z.B. weder die Photovoltaik noch die Erschließung der verbleibenden Möglichkeiten zur Nutzung der (Klein-)Wasserkraft weiter betrachten, da ihr Beitrag in den kommenden Jahren bis 2020 trotz z.B. hoher Wachstumsraten bei der Photovoltaik vergleichsweise gering bleiben wird. Auch werden größere Anlagen im Bereich bis zu 300 MW_{el}, die als kommunale oder industrielle KWK-Anlagen und als dezentrale Erzeugungssysteme von großer Bedeutung für eine effiziente Energieumwandlung sind, nicht weiter berücksichtigt. Die hierfür relevanten Technologien (Industriegasturbinen, GuD-Technologie) sind verfügbar und ihr Einsatz wird maßgeblich von den energiewirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen bestimmt.

Es muss an dieser Stelle jedoch ausdrücklich betont werden, dass die hier vorgenommene Fokussierung durch die Zielsetzung und den Bearbeitungsrahmen dieser Expertise begrenzt wurde. Ungeachtet dessen gilt, dass eine breite technologische Vielfalt eine wichtige Voraussetzung für die Ausschöpfung der unzähligen Erzeugungspotenziale vor Ort als Grundlage einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems ist. Eine umfassende Abschätzung des künftigen Beitrags verschiedener zentraler und dezentraler Energietechnologien erfolgt im Rahmen der kurzen Szenarioanalyse in Kapitel 6.

Tab. 1: Übersicht der wichtigsten technischen Optionen für eine dezentrale Energieversorgung

	reine Stromversorgung	reine Wärmeversorgung	gekoppelte Versorgung mit Strom (Kraft), Wärme und Kälte (KWK)
konventionelle Energieträger <i>(vor allem Erdgas, Mineralöl bzw. Strom)</i>		konventionelle Wärmeerzeuger Gasabsorptionswärmepumpe Stromwärmepumpe Nah- und Fernwärmeversorgung	Motor-BHKW Klein-BHKW Stirlingmotor Mikrogasturbine Brennstoffzellenheizgerät Brennstoffzellen-BHKW
erneuerbare Energien	Windenergie Photovoltaik (Klein-) Wasserkraft	Biomasse (z.B. Pelletheizung) Solarthermie (vor allem in Verbindung mit hocheffizienten Gebäuden (z.B. Passivhäusern), saisonalen Speichern, Nahwärmenetzen etc.)	Biomasse KWK Biogas BHKW Geothermie (HotDryRock)

4 Charakteristik und Funktion ausgewählter neuer dezentraler Energietechnologien im Energiesystem

Die Beurteilung der künftigen Rolle von dezentralen Energietechnologien hängt u.a. von deren Erzeugungscharakteristik und Funktion im Energiesystem ab. Insbesondere für die Stromversorgung ist hierbei interessant, welcher Lastbereich (Grund-, Mittel-, Spitzenlast) durch die Erzeugung abgedeckt wird und auf welchen Spannungsebenen eingespeist wird. Für die Substitutionswirkung von KWK-Anlagen im Wärmesystem sind dazu die Temperaturniveaus der Abwärmenutzung relevant. Aus energiepolitischer Sicht sind dazu weitere Kriterien wie z.B. der Beitrag zur Versorgungssicherheit oder eine mögliche Brückenfunktion für den langfristigen Übergang in ein regeneratives Wasserstoffsystem interessant. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Merkmale der ausgewählten Technologien im Überblick zusammengefasst.

4.1 Kurzbeschreibung der Technologien und des gegenwärtigen Entwicklungsstands

Biomasse-KWK

Die Biomasse als speicherbarer erneuerbarer Energieträger gewinnt aufgrund der möglichen Ausgleichsfunktion bei steigenden Anteilen erneuerbarer, fluktuierender Energieträger im Stromsystem an Bedeutung. Die energetische Nutzung von Reststoffen der Landwirtschaft z.B. durch Kofermentation in Biogasanlagen ist ein Bereich mit hohen Wachstumsraten, der durch die Biomasseverordnung im Rahmen des EEG einen zusätzlichen Schub gewonnen hat. Als zweite Option bietet die Biomassevergasung die Möglichkeit der Effizienzsteigerung bei der Verstromung fester biogener Energieträger gegenüber der bisher üblichen Form des direkten Einsatzes in Dampfkraftwerken aufgrund der besseren KWK-Eignung durch geringere Einheitenleistung ($<5 \text{ MW}_{el}$) als bei Dampfkraftwerken (d.h. bessere Anpassung der Anlagen an verfügbare Wärmeabnehmer).

In Deutschland werden zur Zeit verschiedene Vergasungsverfahren entwickelt, wobei noch F&E-Bedarf im Bereich der Gasqualität (hinreichende Beseitigung von Teeren und Phenolen aus den Vergasungsprodukten für den Einsatz in BHKW) besteht. Weiterhin fehlen Langzeiterfahrungen im Betrieb, die in Verbindung mit hohen spezifischen Investitionskosten und der Konkurrenz durch ausgereifte konventionelle KWK-Verfahren den Markteintritt erschweren. Hinzu kommt, dass im Rahmen bestehender energiepolitischer Anreize (Erneuerbare Energien Gesetz, Biomasseverordnung) eine dynamische Entwicklung bei größeren konventionellen Biomassedampfkraftwerken (bis 20 MW_{el}) angestoßen wurde, was zur kurzfristigen Erschöpfung der günstigen Biomassepotenziale durch eine Technik mit vergleichsweise ungünstigen Wirkungsgraden führen könnte. Vor diesem Hintergrund ist jedoch eine Modifikation der Anforderungen des Erneuerbare Energien Gesetz im Jahr 2003 zu erwarten (z.B. Vorgabe eines Mindestnutzungsgrades).

Tab. 2: Übersicht der Charakteristik ausgewählter dezentraler Energietechnologien

Technologie	Funktion im Stromsystem	Funktion im Wärme/Kältesystem	sonstige Funktionen	Rolle für nachhaltiges Energiesystem
Biomasse-KWK	Grund- / Mittellast Einbindung ins Mittel-/ Hochspannungsnetz	alle Temperaturbereiche und Wärmenutzungen:	erneuerbare Energie- quelle mit Regel- und Ausgleichsoption (Speicherbarkeit) Multi – Fuel Fähigkeit	heimische klimaverträg- liche Energiequelle zur Strom und Wärme- versorgung Beitrag zur Versorgungs- sicherheit
Geothermie (HDR)	Grund- / Mittellast Einbindung ins Mittel-/ Hochspannungsnetz	Temperaturbereich NT<200°C: Raumwärme Warmwasser Dampf Heißluft Kälte	Element für Grund- und Mittellastbereich, kurzzeitig auch Spitzen- last möglich, da schnell regelbar	heimische klimaverträg- liche Energiequelle Beitrag zur Versorgungs- sicherheit
Windenergie	Vor allem Substitution vom Mittellaststrom Einbindung ins Mittel- spannungsnetz	keine		heimische klimaverträg- liche Energiequelle strategischer Eckpfeiler für eine klimaverträgliche Energieversorgung
Solarthermie	keine	Temperaturbereich NT<200°C: Raumwärme Warmwasser		heimische klimaverträg- liche Energiequelle Beitrag zur Versorgungs- sicherheit
Mikrogas- turbine	Mittel-/Spitzenlast Einbindung ins Nieder- spannungsnetz	Temperaturbereich MT 200-500°C: Raumwärme Warmwasser Dampf Heißluft Mit Absorptionskälte- maschinen auch Kälte und Tiefkälte	Objektversorgung Lastmanagement Qualitätssicherung Regelfunktionen im dezentralen Verbund Nutzung alternativer Brennstoffe	Gasgestützte Brücken- technologie zur Ausnutzung der KWKK- Potenziale Beitrag zur Versorgungs- sicherheit Übergang zur Nutzung regenerativer Brennstoffe Ggf. Ausgleich fluktuierender Erzeugung
Brennstoff- zellenheiz- gerät zur Hausenergie- versorgung	Mittel-/Spitzenlast Einbindung ins Nieder- spannungsnetz	Temperaturbereich NT<200°C Raumwärme Warmwasser		
größere stationäre Brennstoff- zellen	Grund-/Mittellast Einbindung ins Nieder- und Mittelspannungsnetz	Temperaturbereich MT bis 500°C: Raumwärme Warmwasser Dampf Heißluft Mit Absorptionskälte- maschinen auch Kälte und Tiefkälte		

NT: Niedertemperatur; MT: Mitteltemperatur; HT: Hochtemperatur

Geothermie

Die Hot-Dry-Rock-Technologie (HDR) nutzt die Wärmeenergie in tiefen Gesteinsschichten, indem durch ein System von Bohrungen Wasser zirkuliert und als aufgeheizter Wasserdampf in oberirdischen Anlagen für die Erzeugung von Strom und Wärme genutzt wird. Die geothermische Energie wird zu den regenerativen Energien gerechnet, weil sie unerschöpflich in menschlichen Zeiträumen ist. Als besonderer Vorteil kann die geothermische Stromerzeugung, anders als andere regenerative Energien, zur elektrischen Grundlastversorgung und evtl. auch zur Mittellastdeckung beitragen. In einem dezentralen Energiesystem könnte es daher einen Ausgleich zu den anderen fluktuierenden Quellen bilden. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, dass ein HDR-Kraftwerk vor allem dort wirtschaftlich sinnvoll zu betreiben ist, wo Wärmeabnahme erfolgt. Die Technik steht damit in Standortkonkurrenz zu Biomasse und konventioneller KWK.

Die Stromgestehungs- und Wärmepreise von HDR-Kraftwerken sind schon recht nahe an der Wirtschaftlichkeit. Erfahrungen gibt es allerdings erst aus Prototypanlagen mit etwas 5 MW_{el} Leistung. Bei erfolgreichem Up-Scaling auf zunächst 25 MW_{el} (in Vorbereitung) und 50 MW_{el} (geplant) und moderat steigenden Energiepreisen wäre ein HDR-Kraftwerk ohne Förderung wirtschaftlich. Mit einem aktuellen Forschungsprogramm aus dem Zukunftsinvestitions-Programm der Bundesregierung soll deshalb ein wesentlicher Beitrag zur Erreichung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen geleistet werden. F&E-Bedarf besteht vor allem bei der Errichtung und dem Betrieb leistungsfähiger untertägiger Wärmetauscher sowie bei den Werkstoffen zur besseren thermischen Anbindung bzw. Entkopplung des Wärmetauschers und der Sonden. Ein Grundproblem für die weitere Entwicklung sind die mit dem Up-scaling sprunghaft steigenden Investitionskosten für die anstehende Errichtung eines HDR-Demonstrationskraftwerks und die fehlende Absicherung des finanziellen Risikos von Fehlbohrungen.

Windenergie

Moderne, landaufgestellte Windenergieanlagen zur Stromerzeugung sind seit längerem ausgereifte Technik und im Markt etabliert. Dabei hat sich in den letzten Jahren die Größe der neu errichteten Anlagen kontinuierlich nach oben verschoben, von durchschnittlich 185 kW elektrischer Spitzenleistung in Deutschland im Jahr 1992 auf nahezu ein Megawatt im Jahr 2000. Stand der Technik sind mittlerweile Konverter größer 1,5 MW elektrischer Spitzenleistung und größere marktnahe Anlagen werden bereits als Demonstrationsanlagen (>2,5 MW) betrieben. Die Entwicklungsaktivitäten der Windenergiebranche zielen aufgrund des fortgeschrittenen und nahezu ausgereiften Standes der Technik vor allem darauf ab, die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu erhöhen und die Kosten pro erzeugtem Kilowatt zu reduzieren.

Aufgrund der dynamischen Entwicklung in den letzten Jahren hat die Erzeugung aus Windkraft mittlerweile einen signifikanten Anteil an der bundesdeutschen Stromerzeugung erreicht. Da die inländischen Potenziale mit Ausnahme Süddeutschlands in steigendem Maße ausgeschöpft sind, konzentrieren sich die Projekte verstärkt auf die Ertüchtigung

und Leistungssteigerung bei bestehenden Standorten. Vor dem Hintergrund des Wachstums sind mittlerweile erste Schwierigkeiten bei der Anbindung und Integration von weiteren Windparks in das existierende Stromnetz abzusehen, die entsprechende Maßnahmen zur Netzverstärkung und –anpassung durch die Netzbetreiber erfordern.

Mikrogasturbinen

Mikrogasturbinen (MGT) versprechen neue Möglichkeiten für KW(K)K im kleineren Leistungsbereich unter 500 kW und Temperaturen von 200-300°C. Neben Vorteilen bei Betrieb und Wartung sowie niedrigen Emissionen bieten die MGT Chancen als flexible Erzeugungstechnik in dezentralen Energiesystemen. Da die MGT am Anfang der Markteinführung steht, ist eine mögliche Kostendegression um den Faktor 2 durch hohe Stückzahlen noch nicht erreicht. Die weitere Technikentwicklung wird dabei wesentlich von den Anforderungen des größten Markts USA bestimmt, wo die MGT in der Regel nicht für KWK-Anwendungen, sondern zur reinen Stromerzeugung genutzt wird. Die MGT steht in doppelter technologischer Konkurrenz zu den gegenwärtig billigeren Motor-BHKW sowie zu den künftig verfügbaren stationären Brennstoffzellen. Es ist somit unsicher, ob die Technik sich im kritischen Zeitfenster durchsetzen kann und die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit erreicht. Ungeachtet dessen bestehen besondere Chancen in Nischenanwendungen wie der Nutzung alternativer Brennstoffe (z.B. biogene Gase) sowie in langfristiger Perspektive in der Kopplung mit Hochtemperaturbrennstoffzellen (z.B. als SOFC-Hybridkonzept) mit hohem elektrischen Wirkungsgrad.

Brennstoffzellen

Brennstoffzellen bieten die Chance, einerseits bislang ungenutzte Potenziale der Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung im kleinen Leistungsbereich zu erschließen (Hausenergieversorgung) und andererseits in größeren stationären KWK-Anwendungen hohe elektrische Wirkungsgrade zu erzielen (vor allem Hochtemperaturzellen in Kombination mit Gasturbinen). Der besondere technologische Vorteil der Brennstoffzellen liegt in potenziell hohen elektrischen Wirkungsgraden und guten Teillastfähigkeiten, was sie für eine flexible Stromerzeugung interessant macht. Hinzu kommen Vorteile beim Betrieb und Handling durch niedrige Schadstoff- und Schallemissionen. Sie können zudem eine wichtige Rolle als effiziente und flexible Brückentechnologie für den langfristigen Aufbau einer regenerativen Wasserstoffwirtschaft spielen.

- Im **Bereich der Hausenergieversorgung** werden intensive Entwicklungsanstrengungen bei verschiedenen großen Heizgeräteherstellern unternommen. Erste seriennahe Prototypen von Brennstoffzellenheizgeräten sind zur Zeit in der Praxiserprobung. Gegenwärtig werden umfangreiche Feldtests, meist in Kooperation mit Energielieferanten, vorbereitet.

Die Markteinführung der Technologie wird für die Zeit nach 2005 geplant, so dass mit einer signifikanten Marktdurchdringung erst nach 2010 gerechnet werden kann. Der kommerzielle Erfolg der Technologie wird wesentlich davon abhängen, inwieweit deutliche Kostensenkungen durch Lösung ausstehender F&E-Probleme bei Katalysatoren, Werkstoffen und der Brennstoffaufbereitung und durch den Aufbau einer

massenmarktsfähigen Produktionstechnik erreicht werden. Weiterhin bestehen noch vielfältige offene Fragen hinsichtlich der elektrotechnischen Integration von Brennstoffzellenheizgeräten in das Stromsystem. Offen ist weiterhin, welche konkreten Möglichkeiten bestehen, die technischen und ökonomischen Potenziale der Brennstoffzellenheizgeräte dadurch zu optimieren, dass eine Vielzahl von Anlagen informationstechnisch verbunden und im Rahmen einer übergeordneten Steuerung je nach Zustand des Gesamtsystems betrieben wird (das sogenannte "virtuelle Kraftwerk"). Dazu wird die Markteinführung von den existierenden strukturellen und rechtlichen Hemmnissen in der Wohnungswirtschaft sowie Qualifizierungsdefiziten bei Handwerkern, Planern etc. behindert, die in dieser Form auch für andere Techniken wie BHKW oder erneuerbare Energien gelten.

- Die Entwicklung von größeren **KWK-Anwendungen**, vor allem auf Basis der Hochtemperatur-Brennstoffzellen, ist im Vergleich zur kleineren Hausenergieversorgung weniger weit vorgeschritten. Hier bestehen noch umfangreiche F&E-Probleme bei Werkstoffen, Komponenten und Standfestigkeit. Entwicklungsbedarf besteht weiterhin zur Kostensenkung sowie bei der Anpassung der Technologie an die mögliche Nutzung alternativer Brennstoffe und Sondergase. Ein wichtiges Entwicklungsziel ist zudem die Steigerung des elektrischen Wirkungsgrad hin zu 70% durch die Kopplung mit Mikrogasturbinen. Das Technologiefeld ist durch eine sehr kleine Zahl international tätiger Technologieanbieter und vergleichsweise hohe F&E-Kosten durch teure Prototypen gekennzeichnet, was besondere Anforderungen an die Planung und Durchführung der anstehenden nächsten Entwicklungsschritte in Pilotprojekten stellt.

Solarthermie in Verbindung mit der integrierten Optimierung von Gebäuden

Die solare Wärmebereitstellung als nahe liegende Form der Nutzung der Solarstrahlung ist heute bereits technisch sehr weit fortgeschritten. Im wesentlichen kommen Kunststoffkollektoren (vor allem zur Direkterwärmung von Wasser für Schwimmbäder), Flachkollektoren (zur Erwärmung von Brauchwasser und Heizwasser auf 50 - 100 °C) und Vakuumröhrenkollektoren (zur Erwärmung auf über 100 °C) zum Einsatz. Die meisten dieser Anlagen sind als dezentrale Dachanlagen zur Brauchwassererwärmung ausgeführt.

Heutige (auch solar unterstützte) Heizungssysteme arbeiten in der Regel lediglich mit einem Tagesspeicher. Damit wird nur ein unzureichender Abgleich zwischen solarem Strahlungsangebot und Nachfrage erreicht. Insbesondere die verstärkte Einbeziehung der Solarthermie in die Raumwärmebereitstellung von Siedlungen erfordert daher neben der Errichtung größerer Anlagen auch die Bereitstellung saisonaler Speichersysteme sowie den Einsatz von Nahwärmenetzen.

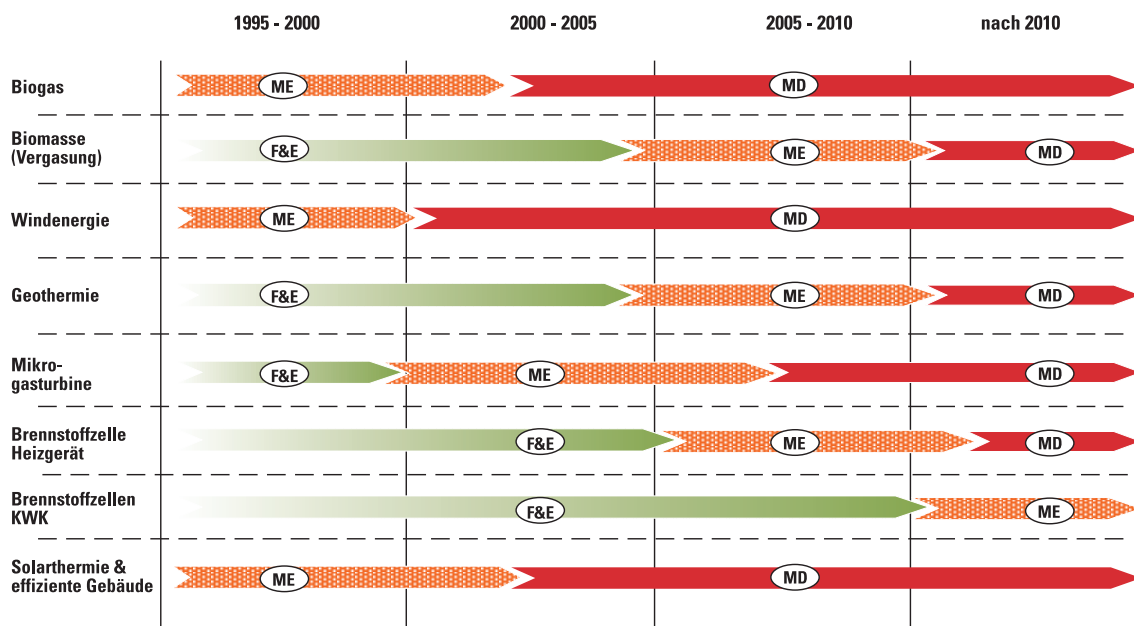
Wesentliche Entwicklungsmöglichkeiten ergeben sich somit in der ganzheitlichen Planung und Optimierung von Gebäuden bzw. von Gebäudeverbänden und der Solartechnik, z.B. durch die Integration von Kollektorsystemen in die Haustechnik und die Entwicklung standardisierter Komponenten. Dies betrifft insbesondere die Entwicklung und Verbreitung von Kollektorsystemen, die eine konventionelle Dachbedeckung (z.B. Dach-

ziegeln) ersetzen. Ebenso von Bedeutung ist die Bereitstellung standardisierter Baugruppen (inkl. vormontierter Pumpen und Regelsysteme, einfacher Anschluss an die konventionelle Heizungsanlage), die auch eine Selbstmontage zulassen. Notwendig ist zudem eine standardisierte Integration von Kollektoranlagen in (standardisierte) Niedrigenergie- oder Passivhausangebote. Entwicklungsbedarf besteht auch in der Kopplung solarthermischer Anlagen mit anderen Optionen der Nutzung erneuerbarer Energien (z. B. Heizungssysteme auf biogener Brennstoffbasis, Wärmepumpen) sowie die Öffnung solarthermischer Anlagen für neue Anwendungen aus dem Bereich der Kälteversorgung/Klimatisierung.

4.2 Schlussfolgerungen zum Stand der Technik bei ausgewählten Energietechnologien

Die neuen dezentralen Energietechnologien sind grundsätzlich verfügbar und haben ihre prinzipielle Praxistauglichkeit in marktnahen Prototypen oder Vorserienprodukten bewiesen. Während bei einigen Technologien noch intensive F&E Arbeiten zu leisten sind (z.B. Hochtemperaturbrennstoffzellen, Biomassevergasung, Geothermie) stehen andere Technologien vor der Markteinführung bzw. dem (internationalen) Marktdurchbruch (z.B. Windenergie, Solarthermie, Mikrogasturbine). Mit Blick auf den Betrachtungszeitraum bis 2020 kann deshalb damit gerechnet werden, dass eine Reihe von neuen Optionen auf dem Strom- und Gasmärkten verfügbar sein werden (Abb. 1), wenn die Entwicklungsanstrengungen in bisherigen Maße weitergeführt und die anstehenden Herausforderungen bei der Markteinführung durch gemeinsame Initiativen von Technologielieferanten, Energielieferanten, Anwendern und Betreibern etc. gelöst werden.

Abb. 1: Übersicht über den Stand der Technik bei ausgewählten dezentralen Energietechnologien



4.3 Technische Voraussetzungen für die Einbindung dezentraler Energieerzeugungsanlagen in das Energiesystem

Die technologischen Perspektiven und ökonomischen Vorteile von dezentralen Energietechnologien können grundsätzlich erst dann genutzt werden, wenn diese Anlagen auch in großer Zahl schrittweise in die bestehenden Infrastrukturen integriert und die besonderen Charakteristika durch eine übergeordnete Optimierung der dezentralen Energiesysteme voll ausgeschöpft werden. Insbesondere in Bezug auf die Stromversorgung ist es erforderlich:

- die elektrotechnischen Voraussetzungen für eine Einbindung zahlreicher dezentraler Energieerzeugungsanlagen in das Stromnetz zu schaffen und entsprechende Anpassungen bzw. Netzverstärkungen vor allem in den NS/MS-Ebenen vorzunehmen. Dies umfasst auch Aspekte der Versorgungssicherheit, Versorgungsqualität, Anlagensicherheit, Schutzkonzepte etc.
- geeignete IuK-Lösungen für die Steuerung und Kontrolle der Vielzahl von Anlagen zu entwickeln, damit die notwendigen Ausgleichs- und Regelfunktionen durch einen flexiblen, zentral koordinierten Einsatz der Anlagen erfüllt werden können,
- die technischen und konzeptionellen Voraussetzungen für dezentrale Energiemanagementsysteme bereitzustellen, die den kommerziellen Nutzen der Technologien für Anbieter und Nutzer z.B. mit Blick auf eine Bezugsoptimierung und die Teilnahme am Energiehandel erhöhen.

Zu dezentralen Energiesystemen für die Stromversorgung gehört deshalb neben den dezentralen Erzeugungsanlagen eine breite Palette sehr unterschiedlicher Technologien, die sich insgesamt den drei Anwendungsbereichen Stromtransport/-verteilung (Netztechnik), Stromnetzmanagement und Energienutzung zuordnen lassen (Tab. 3). Die technischen Merkmale dieser Technologien werden im folgenden nicht weiter beschrieben. Sie stellen jedoch die unverzichtbaren Voraussetzungen für die Netzanbindung und Systemintegration von innovativen Erzeugungstechnologien dar und haben damit in technischer Sicht eine strategische Schlüsselfunktion für den Strukturwandel in der Energiewirtschaft. Angesichts der dynamischen Entwicklung der Erzeugungstechnologien und deren Zuwachs an der Erzeugung entsteht hier dringender Forschungs- und Handlungsbedarf bei einzelnen Komponenten z.B. der Leistungselektronik und vor allem auch bei neuen Konzepten zum Stromnetzmanagement, der in erster Linie die Energielieferanten und Netzbetreiber betrifft. Auf die weit reichende Bedeutung der Netzintegration und die daraus resultierenden besonderen Einflussmöglichkeiten der Netzbetreiber auf den technologischen Fortschritt wird deshalb in Kapitel 7 wieder zurückgekommen.

Tab. 3: Wichtige Technologien für die dezentrale Stromversorgung nach Anwendungsbereichen

<p>Stromtransport und -verteilung (Netztechnik)</p>	<p>Kabel und Leiter supraleitende Technologien Hochspannungs- und Mittelspannungsgleichstromübertragung (HGÜ/MGÜ) Schalt- und Umspannstationen Halbleiterschalter/Leistungselektronik passive und aktive Netzconditionierer Netzanalysatoren sonstige 'Power-Quality' Techniken Schutztechnik Energiespeicher</p>
<p>Netzmanagement</p>	<p>Betriebssysteme und Software für Energie- und Netzmanagementsysteme angepasste/kostengünstige Kommunikations- bzw. Datenübertragungstechnik Kommunikationsprotokolle und Standards</p>
<p>Energienutzung</p>	<p>(interaktive) Zähler intelligente Gebäude- und Haustechnik unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)</p>

5 Entwicklungsperspektiven und –determinanten neuer dezentraler Energietechnologien

5.1 Entwicklungsaufgaben und Voraussetzungen für den technischen Fortschritt

Die kurze Darstellung einiger ausgewählter technologischer Optionen in Kapitel 4 hat gezeigt, dass eine Reihe neuer dezentraler Energietechnologien in den nächsten Jahren an der Schwelle zur Markteinführung bzw. Marktdurchdringung stehen (vgl. Abb. 1 in Kap. 4). Es sind jedoch in den meisten Fällen noch Entwicklungsanstrengungen zu unternehmen, um die Technologien bis zur kommerziellen Marktreife und Wettbewerbsfähigkeit zu entwickeln. Zur Beurteilung der Entwicklungsperspektiven der Technologien in den nächsten Jahren bis 2020 stellen sich hierbei folgende Fragen:

- Welche Fortschritte sind bei **Forschung und Entwicklung** (F&E) zur Lösung der wichtigsten Probleme erforderlich?
- Welche Maßnahmen und nächsten Schritte sind auf dem Weg zur Entwicklung einer **marktfähigen Technologie** zu leisten?
- Welche Aufgaben müssen für die **Integration der Technologie in das Energiesystem** gelöst werden?
- Welche energiepolitischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen erleichtern bzw. behindern eine **Markteinführung**?
- Welche Voraussetzungen erleichtern bzw. behindern eine erfolgreiche **Marktdurchdringung**?

Für die in Kapitel 4 diskutierten Optionen sind in Tabelle 4 die wesentlichen Entwicklungsaufgaben und Voraussetzungen für den technischen Fortschritt und die Markteinführung zusammengefasst.

Die wichtigsten Kernaussagen sind:

- Bei Technologien mit signifikantem **F&E-Bedarf** besteht insgesamt eine hohe Forschungsdynamik in Deutschland, aber auch im Ausland (z.B. US Department of Energy, Europäische Kommission), mit vielen beteiligten Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen. Bei gleich bleibenden energie- und forschungspolitischen Rahmenbedingungen kann auch für die nächsten Jahre von einer robusten Eigendynamik der F&E im Inland und Ausland ausgegangen werden, die von einer Vielzahl von Akteuren mit unterschiedlichsten Motiven getragen wird. Bei einigen Technologien bestehen zudem Synergien mit anderen Bereichen z.B. der Materialforschung (Membrane, hochtemperaturfeste Werkstoffe), der Automobilindustrie (mobile Brennstoffzelle) oder auch der Kopplung von Technologien (Brennstoffzellen/Mikrogasturbinen, Multi-Fuel-Brennstoffkonzepte) sowie in Verbindung mit Speichertechnologien (Strom, Wärme, Kälte).

- Bei der für die Technologieentwicklung wichtigen **Phase der Prototyp- bzw. Pilot-anlagenentwicklung** stellt sich die Herausforderung, technologische Erkenntnisse in marktfähige Produkte und Systemlösungen zu überführen. Dies erfordert neben den technischen Grundlagen auch die Entwicklung geeigneter Lösungen für Planung/Engineering, Netzintegration und Einbettung in Dienstleistungen. Diese Phase ist von entwicklungsstrategischer Bedeutung, da sie
 - erstens die Schnittstelle zwischen der technischen F&E und der Kommerzialisierung darstellt, an der Anforderungen, Probleme wie auch Lösungsvorschläge zwischen den Bereichen und Akteuren in beide Richtungen kommuniziert werden müssen, und
 - zweitens einen wichtigen Einfluss auf die konkrete Ausgestaltung und finale Konfiguration der Produkte hat. Dies hat entscheidenden Einfluss auf die Einsatzmöglichkeiten und kommerzielle Attraktivität der Technologie. Hier können (vorschnell) strategische Weichenstellungen getroffen werden, die sich u.U. im Laufe der Marktentwicklung als technologische Pfadabhängigkeit verstetigen und im ungünstigsten Fall zur mangelhaften Ausnutzung des Potenzials führen können. Die Herausforderung liegt deshalb darin, die vorhandenen Mittel auf vielversprechende Projekte zu konzentrieren ohne gleichzeitig die technologische Vielfalt übermäßig einzuschränken und möglicherweise überlegene Zukunftsoptionen zu eliminieren.

Vor diesem Hintergrund ist festzuhalten, dass sich eine Reihe von Technologien wie z.B. die Brennstoffzelle, Mikrogasturbine, Biomassevergasung oder die Geothermie kurz vor oder in dieser Phase befinden. Die teilweise sehr hohen Kosten für Pilotanlagen und den Koordinationsaufwand bei Pilot-/Demoprojekten reduziert die Zahl möglicher Akteure. In dieser Phase können Kapitalkraft, technologisches Know-How sowie tragfähige Beziehungen zu anderen relevanten Marktteilnehmern und Kooperationspartnern wichtige Wettbewerbsvorteile für entsprechend potente Akteure darstellen. Gleiches gilt für die Positionierung auf den entstehenden Exportmärkten in Europa und Übersee.

- Die elektrische **Netzanbindung und Systemintegration** sind strategische Schlüsselgrößen für die Nutzung von dezentralen Energietechnologien. Wie in Kapitel 4 angesprochen, können technische Restriktionen bestehender Netzstrukturen, fehlende oder nicht rechtzeitig verfügbare Lösungen sowie mangelnde Kooperation der Netzbetreiber zu einem Engpass führen, der den weiteren Ausbau dezentraler Energieerzeugung verhindert. Verglichen mit den Anstrengungen im Bereich der Erzeugungstechnik erhält dieser Problembereich bislang jedoch noch wenig politische Aufmerksamkeit und erst in den letzten Jahren intensivieren sich die Forschungsaktivitäten. Aufgrund der Konzentration der internationalen Technologieanbieter sowie der besonderen Rolle der Netzbetreiber wird die technische Entwicklung dabei durch einen relativ kleinen Kreis von Akteuren getragen.

- Die **Markteinführung der Technologien** wird allgemein von den **energiepolitischen Rahmenbedingungen beeinflusst**. Hierzu zählen die Anreizwirkung der gegebenen Regulierung, künftig zu erwartende Preissignale und die gezielte Förderung neuer Techniken durch Industrie und Politik. Bis die Stückzahlen einer Massenfertigung erreicht werden, sind Anlaufkosten bei der Markteinführung von innovativen Energietechniken unvermeidlich, wie im übrigen auch bei konventionellen Energietechniken. Auf den Energiemärkten dominiert derzeit jedoch ein kurzfristig ausgerichteter und durch Quersubventionen teilweise zusätzlich verzerrter Preiswettbewerb, der die langfristig ökonomisch wichtigen Aspekte der Technologieentwicklung und Ressourcenschonung vernachlässigt. Unter diesen Bedingungen reichen Marktmechanismen zur Förderung langfristiger Lösungen nicht aus, sondern müssen durch gezielte Maßnahmen der Technologieförderung und Stimulierung der Nachfrage ergänzt werden (z.B. durch Zuschussprogramme, Finanzierungshilfen, umlagefinanzierte Bonusregelungen, Öffentlichkeitsarbeit usw.). In Teilgebieten ist es weiterhin erforderlich, kontraproduktive gesetzliche Regulierungen und Hemmnisse abzubauen (z.B. in der Wohnungswirtschaft bei der eingeschränkten Umlagefähigkeit von Investitions- und energetischen Sanierungskosten im Mietrecht).
- Für die erfolgreiche **Marktdurchdringung** müssen nicht nur technologische sondern auch sozio-ökonomische Voraussetzungen geschaffen werden. Gerade die Einführung neuer Technologien erfordert entsprechende Vorbereitung der Zielgruppen und Multiplikatoren durch Informationsvermittlung, Bewusstseinsbildung und Qualifizierung. Die Akzeptanz der Technik hängt dabei von der Anpassung des Produkts an die Bedürfnisse der NutzerInnen ab. Dies ist insbesondere bei privaten Haushalten von Bedeutung, weshalb z.B. noch eine Reihe von offenen Fragen zur Einbettung von Brennstoffzellenheizgeräten in geeignete Dienstleistungspakete bestehen. Vergleichbar zur technischen Entwicklungen braucht die Analyse und Sicherstellung dieser sozio-ökonomischen Voraussetzung Zeit und muss deshalb rechtzeitig und langfristig angegangen werden.

Tab. 4: Voraussetzungen für technischen Fortschritt bei neuen dezentralen Energietechnologien

	Stand der Technik	Notwendige Fortschritte bei F&E	Entwicklung einer marktfähigen Technologie	Integration der Technologie ins Energiesystem	Energiepolitische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Markteinführung	Voraussetzung für erfolgreiche Marktdurchdringung
Mikrogasturbine	marktreif	<p>Verbesserung der Wirkungsgrade von Turbine und Rekuperator (Erhöhung Temperatur) durch neue Werkstoffe</p> <p>Kostensenkung bei dem elektronischen Getriebe</p> <p>Anpassung der Technologie für die Nutzung alternativer Brennstoffe</p>	<p>Anpassung von Technologie und Peripherie für Anschluss an Niederdruck-Hausnetz</p> <p>Entwicklung geeigneter Anlagen für die Kopplung mit Brennstoffzellen (SOFC-MGT Hybrid)</p>	<p>Entwicklung von ganzheitlichen Konzepten zur integrierten Optimierung der Objektversorgung</p> <p>Verstärkter Erschließung von Potenzialen zur Dampfversorgung in Gewerbe und Industrie</p> <p>Erschließung kleiner KWKK-Potenziale in Verbindung mit der Entwicklung geeigneter Absorptionskältemaschinen</p> <p>Entwicklung von Lösungen zur Integration ins Stromnetz (virtuelles Kraftwerk)</p>	Förderung durch KWK Gesetz	<p>Realisierung einer Kostendegression um Faktor 2 durch Ausweitung der Stückzahlen</p> <p>Demonstration attraktiver Lebenszykluskosten im Praxistest</p> <p>Kommunikation der spezifischen Vorteile bei Emissionen, Handling und Wartung</p>
Brennstoffzellen KWK	Prototyp	<p>Lösung von F&E-Problemen im Bereich Werkstoffe und Standfestigkeit</p> <p>Anpassung der Technologie für die Nutzung alternativer Brennstoffe</p>	<p>Entwicklung geeigneter Anlagen für die Kopplung mit Mikrogasturbinen (SOFC-MGT Hybrid)</p> <p>Realisierung geeigneter Pilotprojekte zur Deckung der Kosten für Prototypen</p> <p>Entwicklung marktfähiger Produktionstechnik</p>	Entwicklung von ganzheitlichen Konzepten zur integrierten Optimierung der Objektversorgung bzw. des Einsatzes als lokales Kraftwerk		

	Stand der Technik	Notwendige Fortschritte bei F&E	Entwicklung einer marktfähigen Technologie	Integration der Technologie ins Energiesystem	Energiepolitische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Markteinführung	Voraussetzung für erfolgreiche Marktdurchdringung
Brennstoffzellenheizgerät (EFH, MFH)	Demo-Anlage	Lösung ausstehender F&E-Probleme bei Werkstoffen, Gasversorgung, Katalysator Anpassung der Technologien an die Nutzung alternativer Brennstoffe Reduzierung der strategischen Abhängigkeit von US-amerikanischen Stackherstellern	Entwicklung einer massenmarktauglichen Produktionstechnik Erschließung Kostensenkungspotenziale durch Synergien mit mobilen und portablen Anwendungen	Entwicklung von Lösungen zur Integration ins Stromnetz (virtuelles Kraftwerk)	Überwindung der Anfangskosten durch Anreizprogramme Abbau bestehender Hemmnisse für KWK in der Wohnungswirtschaft (Eigentumsfragen, Mietrecht)	Erschließung eines ökologisch motivierten Einstiegsmarkts (Premiumsegment) Schaffung der sozio-ökonomischen Voraussetzungen für Nutzerakzeptanz Entwicklung marktfähiger Vertriebs- und Finanzierungsmodelle, Energiedienstleistungen Aufbau leistungsfähiger Strukturen im Handwerk Beseitigung vorhandener Know-How u. Qualifizierungslücken
Wind (on-shore)	marktreif	Steigerung der Leistungsfähigkeit und Lebensdauer der Anlagen		Verbesserung von Netzintegration/-betrieb durch zeitnahe Prognosemodelle bzgl. Ertrag Lösung noch offener Probleme bei der Netzanbindung und Integration Ertüchtigung und Leistungssteigerung von vorhandenen Standorten	Aufrechterhaltung der energiepolitischen Förderung Realisierung der ungenutzten Potenziale (vor allem Süddeutschland) im Konsens mit Natur- und Landschaftsschutz	Überwindung des Fachkräftemangels (Errichtung, Engineering) durch Qualifizierungs- und Ausbildungsmaßnahmen

	Stand der Technik	Notwendige Fortschritte bei F&E	Entwicklung einer marktfähigen Technologie	Integration der Technologie ins Energiesystem	Energiepolitische, rechtliche und wirtschaftliche Rahmenbedingungen der Markteinführung	Voraussetzung für erfolgreiche Marktdurchdringung
Biomasse- vergasung	Pilot- anlage	Lösung der F&E Probleme bei der Gasreinigung und Langzeitstabilität	Überwindung der Vielfalt an Konzepten und Konzentration der finanziellen Mittel Entwicklung von Lösungen für Multi Fuel Konzepte Sicherstellung des Betriebs ohne Beobachtung (BOB) zur Senkung der Personalkosten	Aufbau geeigneter regionaler Infrastrukturen für die Brennstofflogistik Entwicklung von ganzheitlichen Konzepten zur integrierten Optimierung des Einsatzes als lokales KWK-Kraftwerk	Anpassung der Lenkungswirkung des EEG zur Vermeidung der technologischen Dominanz konventioneller Dampfkraftwerke	Senkung der spezifischen Investitionskosten
Geothermie (HotDryRock)	F&E	Lösung der F&E-Probleme bei den Werkstoffen zur besseren thermischen Anbindung bzw. Entkopplung von Wärmetauscher und Sonden Entwicklung leistungsfähiger Prognosemodelle zur Vermeidung kostspieliger Fehlbohrungen	Up-Scaling von Forschungsergebnissen zum marktfähigen Prototyp Realisierung Demonstrationsprojekt mit dem Ziel der Standardisierung und Kostenreduktion Engagement eines leistungsfähigen Generalunternehmers zur Koordination kleiner Fachfirmen bei Demoanlage Erhaltung der in Deutschland noch vorhandenen Bohrtechnologie durch Bau von Demoanlagen	Entwicklung von ganzheitlichen Konzepten zur integrierten Optimierung des Einsatzes als lokales KWK-Kraftwerk	Absicherung des Bohrrisikos durch Bürgschaft	Erfassung der deutschen HDR-Potenziale in tiefeingeothermischer Potenzialstudie
hocheffiziente Gebäude (Solares Bauen)	marktreif	Lösung verbleibender F&E Probleme bei Komponenten, Wärmespeichern, saisonale Speicher, Nahwärmenetze usw.	Zusammenführung der verschiedenen Komponenten durch integrierte Planung	Planung und Realisierung von ganzheitlichen Konzepten zur integrierten Optimierung des Gebäudes bzw. der Siedlung	Förderprogramme für innovative Anwendungen und Konzepte besondere Förderung von innovativen Pilotprojekten im Rahmen "normalen" Wohnungsbaus Förderung der integralen Planung	Überwindung der Know-How Defizite bei allen Beteiligten Schaffung von Marktakzeptanz durch Kommunikation der spez. Vorteile (Wohnqualität, Innenraumklima usw.)

5.2 Zwischenfazit zu den technologiespezifischen Entwicklungsbedingungen

Die vorangegangenen Darstellungen machen deutlich, dass die grundsätzlichen technologischen Voraussetzungen der neuen dezentralen Energietechnologien gegeben und wesentliche Fortschritte durch die derzeit laufenden F&E Aktivitäten zu erwarten sind. Vor diesem Hintergrund bleibt jedoch für eine Reihe von Technologien noch offen,

- unter welchen Bedingungen und in welcher konkreten Ausprägung und Produktgestaltung sie in den Markt eingeführt werden,
- ob und in welcher Form sie sich im Markt behaupten können und
- inwieweit und wie schnell die vorhandenen ökologischen und ökonomischen Potenziale ausgeschöpft werden.

Die anstehende Phase der Markteinführung und Marktdurchdringung wird somit von strategischer Bedeutung sowohl für die Einzeltechnologien wie auch für die Entwicklung von dezentralen Energiesystemen insgesamt sein. Die Schlüsselfaktoren hierbei sind

- Art, Umfang und Intention des Engagements potenter Marktakteure in Pilot- und Demonstrationsprojekten,
- die künftigen Entwicklungen im Bereich der Netzanbindung und Systemintegration sowie
- die Ausgestaltung der energiepolitischen Rahmenbedingungen.

Ausgehend von dieser Einschätzung wird im nächsten Kapitel 6 auf der Basis aktueller Langfristszenarien die künftigen Entwicklung und quantitativen Bedeutung dezentraler Energietechnologien im Energiesystem abgeschätzt. Im darauf folgenden Kapitel 7 werden die schon angesprochenen Wechselwirkungen zwischen der technologischen Entwicklung und den Markt- und Akteursstrukturen weitergehend diskutiert.

6 Langfristszenarien zur Entwicklung dezentraler Energietechnologien im Energiesystem

In den aktuellen Arbeiten für das Umweltbundesamt sind die langfristigen Perspektiven des Energiesystems (Zeithorizont 2050) detailliert untersucht worden¹. Dabei wurden unterschiedliche Zukunftspfade unter voneinander abweichenden Prämissen betrachtet. Die Eckpunkte des hierdurch aufgespannten Zukunftsraums können durch die Szenarien „Status Quo“ und „Nachhaltigkeit“ beschrieben werden, die nachfolgend auch zur Abschätzung der künftigen Entwicklung und quantitativen Bedeutung dezentraler Energietechnologien im Energiesystem herangezogen werden sollen.

Die aufgezeigten Entwicklungen sind nicht nur als spezifisch deutsche Ergebnisse zu verstehen, sondern spiegeln sich gleichermaßen auch in den internationalen Nachhaltigkeitsszenarien wieder. Aktuelle Analysen von IIASA u.a. (die auf einer Untersuchung einer Vielzahl internationaler Szenarioarbeiten beruhen) zeigen, dass vor allem regenerative Technologien und dezentrale KWK-Anlagen unter Berücksichtigung der bestehenden Unsicherheiten robuste Entwicklungsperspektiven aufweisen.

6.1 Grundannahmen und Rahmenbedingungen

Beiden Szenarien liegen identische Vorgaben für die wesentlichen Rahmenbedingungen zugrunde. Die Bevölkerung geht von heute rund 82 Mio. auf 80,8 Mio. im Jahr 2020 (67,8 Mio. in 2050) zurück. Die durchschnittliche Haushaltsgröße sinkt im Zeitverlauf von 2,19 Personen/Haushalt heute auf rund 2,08 Personen/Haushalt im Jahr 2020. Mit 38,8 Mio. Haushalten wird in 2020 ein Maximum erreicht. Für die gesamtwirtschaftliche Entwicklung wird im Analyseraster der Bundestags Enquête-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung" von einem Anstieg des Bruttoinlandproduktes (BIP) von 3.784 Mrd. DM₉₈ in 1998 auf 5.636 Mrd. DM₉₈ im Jahr 2020 ausgegangen. Pro Kopf stellt sich hier im Jahr 2020 eine um rund ein Drittel höhere Produktivität ein als heute. Für die Energieträgerpreise wird von moderaten, zumeist linearen Anstiegen ausgegangen. Für Rohöl frei deutsche Grenze bedeutet dies für die nächsten beiden Dekaden beispielsweise reale Preiszuwächse um rund 2%/a. Der Rohölpreisentwicklung entsprechende lineare Anstiege sind auch für die Entwicklung der Erdgaspreise und der Steinkohleweltmarktpreise angenommen worden. Für den Erdgaspreis besteht traditionell eine Preiskopplung mit dem Rohöl auf den Märkten. Die im Vergleich zum Rohöl leicht höheren Zuwachsraten resultieren aus den langfristig erhöhten Aufwendungen für den Transport, die aufgrund des Anstiegs des aus Russland importierten Anteils des Erdgases im Verhältnis zu den inner-europäischen Lieferländern zu erwarten sind. Für Steinkohle werden hingegen nicht zuletzt wegen der hier deutlich größeren Reserven und der stärkeren Ausgewogenheit ihrer

¹ Die Ergebnisse sind in die mittlerweile vorliegende Studie des UBA „Nachhaltige Entwicklung in Deutschland“ eingegangen.

regionalen Verteilung geringere Preiserhöhungen erwartet, wodurch sich insgesamt die Preisrelationen (vor allem für die stationäre Stromerzeugung) zu Gunsten der Steinkohle verschieben.

6.2 Szenariodefinition

Vor diesem Hintergrund geht das **Status Quo-Szenario** von einer Business-as-Usual Entwicklung aus. Es werden nur solche Maßnahmen zugrunde gelegt, deren Umsetzung heute bereits absehbar bzw. beschlossen ist. In diesem Sinne werden zwar entsprechende Annahmen bezüglich der Weiterentwicklung bestehender Instrumente (z.B. Energieeinsparverordnung) gemacht, spezifische Zielvorgaben (z.B. Erreichen bestimmter Klimaschutzziele) bestehen für diesen Entwicklungspfad aber nicht. Im Gegensatz dazu wird im **Nachhaltigkeitsszenario** ein Zukunftspfad beschrieben, der die maßgeblichen Ziele einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems erfüllt. Dies gilt insbesondere für die Verminderung der Treibhausgasemissionen (Minderung der CO₂-Emissionen um 80 % bis 2050 gegenüber 1990 und als Zwischenschritt um 45 % bis zum Jahr 2020) als Leitindikator. Diese Minderungsziele werden auch in den Nachhaltigkeitsszenarien der Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ zugrunde gelegt und vom IPCC für die Gruppe der Industrieländer als notwendig angesehen, um den globalen Klimaschutzproblemen effektiv begegnen zu können. Aber auch anderweitige Nachhaltigkeitsziele (z. B. Risikominimierung, soziale Kriterien) werden hier soweit möglich beachtet.

6.3 Szenarioergebnisse

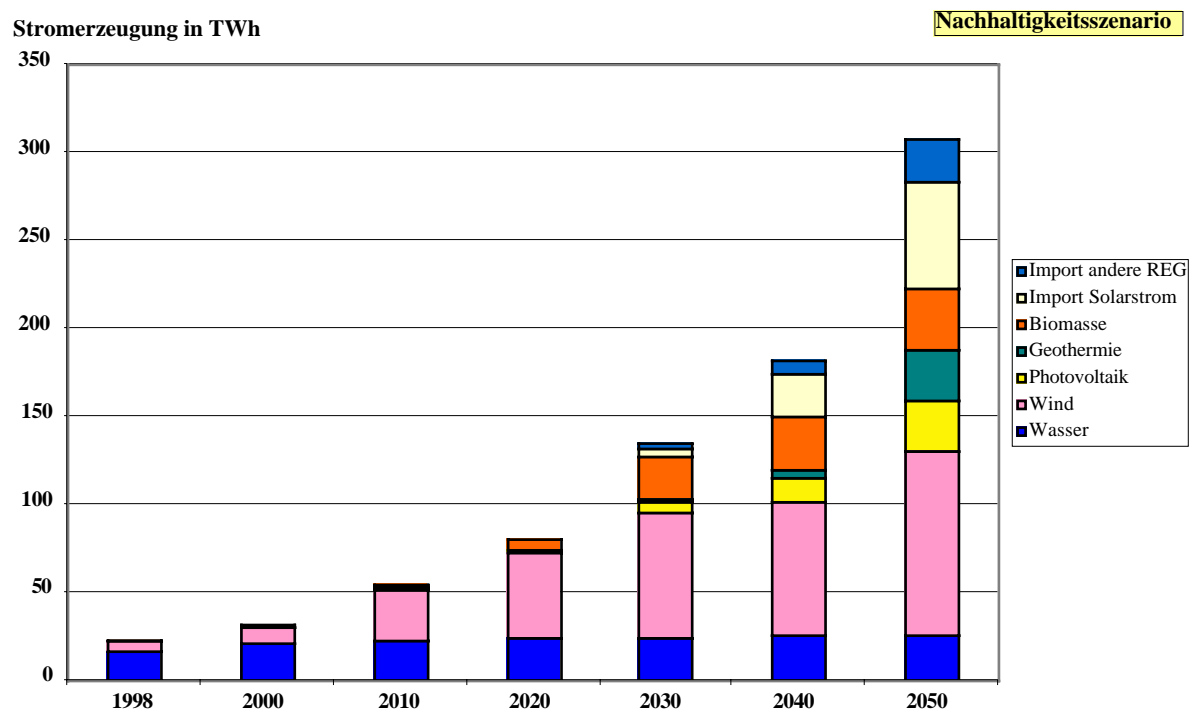
In Bezug auf die dezentralen Energietechnologien ergeben sich insbesondere für die regenerative Stromerzeugung und die Strom- und Wärmebereitstellung in KWK-Anlagen (motorische Anlagen und Brennstoffzellen) interessante Perspektiven.

6.3.1 Regenerative Energien

Im Nachhaltigkeitsszenario steigt der **Beitrag der regenerativen Quellen an der Stromerzeugung** von heute 31,4 TWh (Stand Ende 2000) über 80,2 TWh im Jahr 2020 auf über 300 TWh im Jahr 2050 an (vgl. Abbildung 2). Der Anteil dieser Technologien an der gesamten Nettostromerzeugung erhöht sich bei einer zeitgleichen erfolgreichen Umsetzung von Stromeinsparmaßnahmen von heute rund 6,5 % über 17,7 % (11,4 %) im Jahr 2020 (2010) auf letztlich 65 % im Jahr 2050. Maßgebliche Zuwächse werden in den ersten beiden Dekaden vor allem von der Windenergie und der Biomasse, danach aber auch von der geothermischen und photovoltaischen Stromerzeugung realisiert. Als zusätzliche Komponente erfolgt vor allem nach 2030 ein Import von REG-Strom aus dem Ausland (Offshore Windenergie aus den Nordseeländern, Wasserkraft aus Skandinavien, Solarstrom aus Südeuropa bzw. dem Magreb), der im Jahr 2050 ein knappes Fünftel des regenerativen Stromangebotes in Deutschland abdeckt. Während vor allem im Bereich der

Windenergie über das Erneuerbare Energien Gesetz eine dynamische Entwicklung bereits eingesetzt hat, müssen für die anderen Technologien die nächsten beiden Dekaden als entscheidende Vorlaufzeiten zum Marktaufbau genutzt werden, um die insgesamt engagierten Vorgaben zu erreichen.

Abb. 2: Entwicklung der REG-Stromerzeugung im Nachhaltigkeitsszenario



Insgesamt erfordert die skizzierte Entwicklung ein gegenüber Status Quo Bedingungen deutlich forciertes Engagement. Unter Trendbedingungen nimmt der Anteil der REG-Stromerzeugung zwar auch zu (auf 52 TWh im Jahr 2020, davon fast 47 % allein die Windenergie), erreicht aber nicht die für den selbstständigen Aufbau der Märkte und die hiermit verbundene Ausschöpfung der technischen Entwicklungsmöglichkeiten und Kostendegressionspotenziale erforderlichen Umfang.

Auch bezüglich der **Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energie** ergeben sich ähnliche Tendenzen. Unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten nimmt zunächst die dezentrale Objektversorgung mit biogenen Energieträgern und solarthermischen Kollektorsystemen zu, während vor allem nach 2020 die solare und geothermische Nahwärmebereitstellung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Im Jahr 2020 (2050) liegt der Beitrag der regenerativen Energien zur Wärmebereitstellung bei rund 135 TWh (350 TWh) im Vergleich zu heute knapp 30 TWh. Bezogen auf den gesamten Wärmebedarf entspricht dies einem Deckungsbeitrag, der von heute unter 2 % über 11,6 % in 2020 auf letztlich 42,1 % im Jahr 2050 ansteigt, wodurch insbesondere die konventionellen Endenergieträger im Wärmemarkt Mineralöl und Erdgas verdrängt werden.

6.3.2 Dezentrale Kraft-Wärme-Kopplung

Auch im Bereich der dezentralen KWK (motorische Verbrennungsanlagen und Brennstoffzellen) wird unter Status Quo-Bedingungen ein Zuwachs erwartet, der insgesamt aber unter den aus heutiger Sicht gegebenen Möglichkeiten liegt. Bedingt durch die z.B. durch das KWK-Gesetz gegebenen positiven Rahmenbedingungen wird vor allem der Bereich der Anlagen unterhalb von 2 MW_{el} an Bedeutung gewinnen. Hier wird unter Trendbedingungen ein Zuwachs von 3,8 TWh (Stand 1998) auf rund 9 TWh im Jahr 2020 erwartet. In vergleichbare Größenordnungen stößt im Status Quo Szenario auch die Objektversorgung durch Brennstoffzellen innerhalb der nächsten beiden Dekaden vor.

Für die Einhaltung der Nachhaltigkeitsziele ist allerdings ein deutlich höherer Beitrag der dezentralen KWK notwendig. Im Nachhaltigkeitsszenario ist deshalb angenommen worden, dass sich infolge einer breiteren energiepolitischen Unterstützung die Anwendungsmöglichkeiten für die dezentrale KWK zur Nahwärmeversorgung auf der Basis kleiner Verbrennungsmotoren verbessern. Mit 16 TWh im Jahr 2020 wird ein fast doppelt so hohes Ausbauniveau erreicht wie unter Status Quo Bedingungen. Auch bei der Objektversorgung sind im Nachhaltigkeitsszenario andere Maßstäbe zu setzen. Aufgrund der gerade erst angelaufenen Test- und Erprobungsphase der ersten marktgängigen Haussysteme (Feldtest werden derzeit mit 50 bzw. 200 Anlagen der Firma Vaillant beispielsweise von RWE Energie AG und E.ON durchgeführt), werden erste energiewirtschaftlich nennenswerte Zubauraten allerdings erst ab dem Jahr 2010 unterstellt. Ausgehend von den Ende diesen Jahrzehnts erreichten Absatzmengen von rund 100 MW/a wird dann für die Folgedekade aber von einer breiten Marktoffensive der Brennstoffzellen in der Hausenergieversorgung ausgegangen. Mit Stückzahlen von 100.000 bis 150.000 pro Jahr wird bezogen auf den gesamten Heizungsmarkt² im Jahr 2020 ein hoher Marktanteil erreicht. Die hieraus resultierenden Zuwachsraten liegen zu diesem Zeitpunkt bei rund 500 MW.

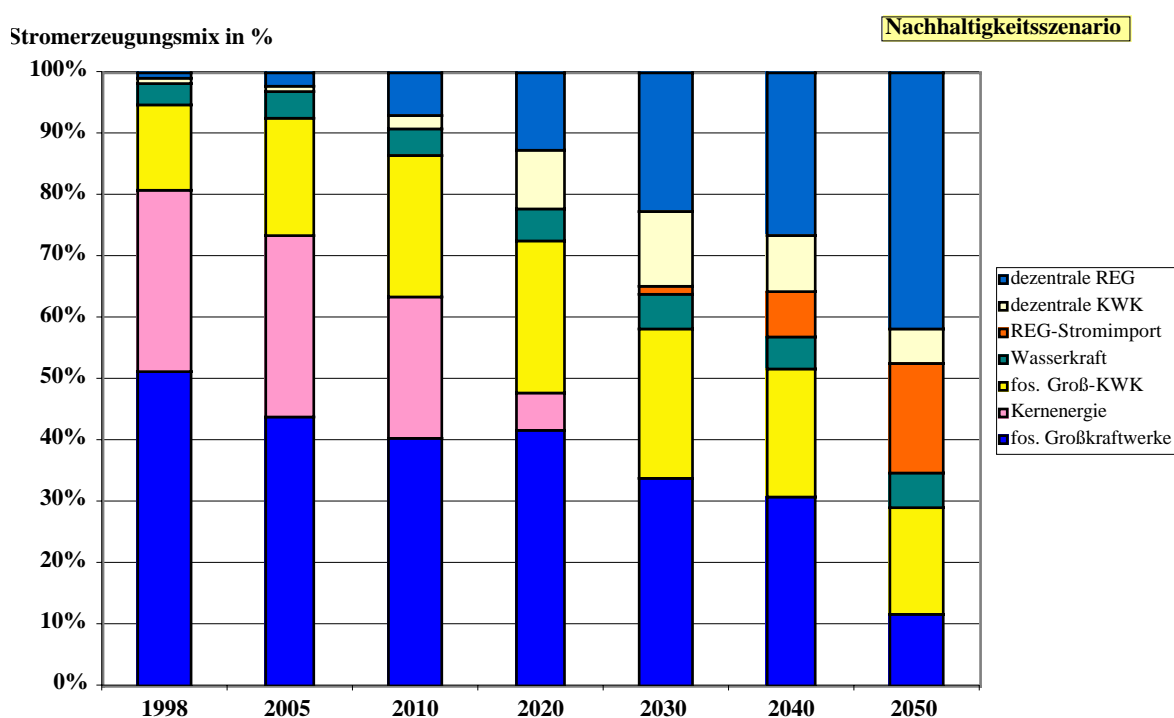
Der im Nachhaltigkeitsszenario unterstellte stark verbesserte Wärmeschutz schränkt den Ausbau der dezentralen KWK und der Objektversorgung durch Brennstoffzellen nach 2020, vor allem aber nach 2030 zunehmend ein. Eine vergleichbare Wirkung zeigt sich durch den im gleichen Zeitraum starken Zuwachs bei der Nahwärmeversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien. Mit 18,5 TWh (dezentrale KWK) bzw. 35,6 TWh (Brennstoffzellen-Objektversorgung) wird das maximale Ausbauniveau im Jahr 2030 erreicht. Zusammengenommen entspricht dies einer Stromerzeugung von rund 54 TWh bzw. 12 % der gesamten Nettostromerzeugung des Jahres.

Aus den für das Umweltbundesamt durchgeführten Arbeiten und parallelen Untersuchungen für die Enquête-Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“ lässt sich

² Im Jahr 2000 sind insgesamt rund 510.000 gasbefeuerte Geräte umgesetzt worden, davon etwa 145.000 im Neubaubereich und 175.000 als Ersatzanlagen, die übrigen 190.000 Einheiten betreffen den Bereich Modernisierung, zusätzlich wurden rund 190.000 ölbefeuerte Anlagen angesetzt.

ableiten, dass die vorgenannten Ergebnisse für den Ausbau der dezentralen Stromerzeugung in KWK-Anlagen und regenerativen Energien unter den heute zugrundezulegenden energiepolitischen Rahmenbedingungen (Ausstieg aus der Kernenergie, fehlende Grundlagen für eine großtechnisch relevante CO₂-Entsorgung) als hinreichend robust bezeichnet werden können. Sie behalten z. B. auch dann ihre grundsätzliche Gültigkeit, wenn von geringeren Minderungszielen ausgegangen wird (z. B. dann, wenn größere Anteile der heimischen Minderungsziele über flexible Klimaschutzmechanismen³ erfüllt werden). Abbildung 3 stellt vor diesem Hintergrund die zeitliche Entwicklung der Stromerzeugungsanteile für das hier betrachtete Nachhaltigkeitszenario in der Übersicht dar.

Abb. 3: Entwicklung der Stromerzeugungsanteile im Zeitverlauf im Nachhaltigkeitszenario



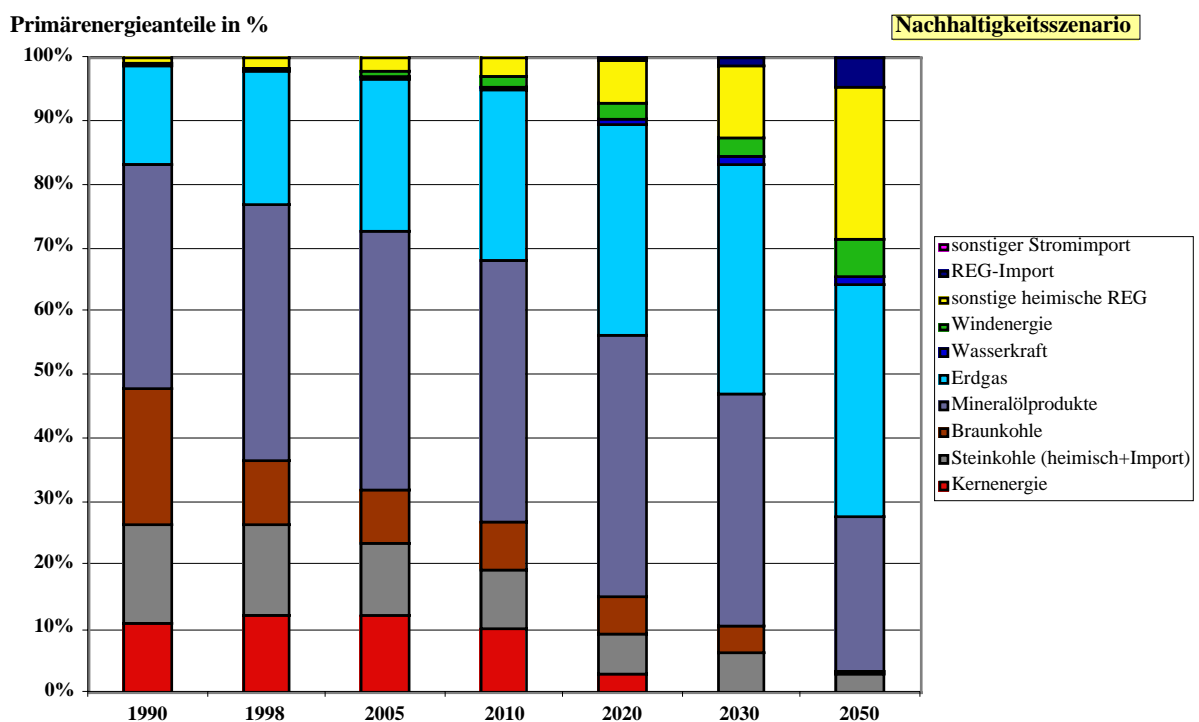
6.4 Die künftige Bedeutung des Energieträgers Erdgas

Für den Energieträger Erdgas führen die vorgenannten Entwicklungen zu einer im Zeitverlauf zunehmenden Bedeutung (Abb. 4). Dies gilt bereits für das Status Quo-Szenario, aufgrund der im Verhältnis zu den anderen fossilen Energieträgern vergleichsweise geringen Kohlenstoffintensität aber insbesondere für das Nachhaltigkeitszenario. Der

³ Unter Bezugnahme auf das Kyoto Protokoll gehören hierzu: Emissions Trading, Joint Implementation, Clean Development Mechanism

Anteil an der Primärenergieversorgung nimmt vor diesem Hintergrund von 21,2 % im Jahr 1998 über 33,1 % im Jahr 2020 auf 36,3 % im Jahr 2050 zu. In absoluten Größen gerechnet steigt der Erdgasabsatz allerdings bis zum Jahr 2030 nur noch geringfügig an und ist im Zeitverlauf danach sogar stark rückläufig. Das Nachhaltigkeitszenario zeichnet sich dementsprechend dadurch aus, dass die auf die massiven Einsparerfolge zurückzuführenden Absatzrückgänge für das Erdgas in den traditionellen Einsatzbereichen (Wärmebereitstellung) durch den Einstieg in andere Bereiche (vor allem KWK in zentralen und dezentralen Anlagen) kompensiert werden können.

Abb. 4: Entwicklung der Deckungsanteile an der Primärenergieversorgung im Zeitverlauf im Nachhaltigkeitszenario



7 Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung neuer dezentraler Energietechnologien und den Akteuren und Strukturen in den Strom- und Gasmärkten

7.1 Ausbau dezentraler Energietechnologien als ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems

Die Szenariodiskussion in Kapitel 6 verdeutlicht die Rolle der dezentralen Energietechnologien für die möglichen Entwicklungspfade des Energiesystems. Ein forciertes, langfristiger Ausbau der regenerativen Energien sowie die umfassende Nutzung der KWK-Potenziale sind – neben breiten Energieeffizienzaktivitäten - wichtige Voraussetzungen, um den weitreichenden politischen Zielen einer klima- und ressourcenschonende, risikoarmen sowie wirtschafts- und sozialverträglichen Entwicklung der Energieversorgung gerecht zu werden.

Die betrachteten dezentralen Energietechnologien können aufgrund ihrer spezifischen Merkmale hierzu einen besonders wichtigen Beitrag leisten:

- Als effiziente bzw. auf erneuerbaren Ressourcen basierende Energietechniken tragen dezentrale Technologien zur Ressourcenschonung und zur Minderung der CO₂-Emissionen bei. Energieversorgungskonzepte, die auf die spezifischen Gegebenheiten vor Ort eingehen, erlauben es, die hierdurch bereitstehenden heimischen Potenziale möglichst weitgehend auszuschöpfen.
- Die Nutzung der heimischen Potenziale durch den Einsatz der dezentralen Energietechniken senkt die Abhängigkeit von importierten, fossilen Energieträgern, daher erhöht sich die Versorgungssicherheit.
- Die Kombination verschiedener Technologien mit unterschiedlichen Charakteristiken bietet außerdem Synergien für die Optimierung des Gesamtsystems, z.B. mit Blick auf unterschiedliche Erzeugungsprofile oder Verfügbarkeiten.
- Die Technologien sind in ihrer Herstellung, Anwendung und Entsorgung in der Regel risikoarm.
- Die Bedeutung dieser Technologien nimmt weltweit zu, wodurch sich wachsende Exportmöglichkeiten für die deutschen Hersteller von dezentralen Energietechnologien ergeben.

Aufgrund der Anpassungszeiträume und dem unvermeidlichen Zeitbedarf für die Entwicklung und Markteinführung neuer Technologien stehen diese innovativen Optionen allerdings nicht sofort zur Verfügung, sondern müssen kontinuierlich und systematisch aufgebaut werden. In den kommenden zwei Jahrzehnten werden hierfür die technologischen und ökonomischen Weichen gestellt. Besondere Gestaltungsspielräume ergeben sich dabei durch den **zwischen 2010 und 2020** verstärkt auftretenden **Ersatz- und Erneuerungsbedarf bei Kraftwerken und Stromnetzen** in Deutschland und Europa. In Verbindung mit dem zeitgleichen Ausstieg aus der Kernenergie lässt sich diese absehbare

Investitionsaufgabe nur dann im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung nutzen, wenn neben hocheffizienten konventionellen Kraftwerkstechnologien auch eine Vielfalt leistungsfähiger dezentraler Energietechnologien zur Verfügung stehen. Wenn die politischen Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsziele ernsthaft verfolgt werden, muss dieses Zeitfenster als Chance genutzt werden, da neue Großkraftwerksstrukturen aufgrund ihrer langen Lebensdauer die Handlungsmöglichkeiten wieder für längere Zeit einschränken würden.

Die anstehenden Erneuerungs- und Investitionszyklen bieten hierbei die besondere Chance, die Gesamtkosten des Systems durch eine ganzheitliche Optimierung unter Einbezug neuer Konzepte zu minimieren. Ein verstärkter Ausbau der dezentralen Energietechnologien muss dabei nicht zwingend mit zusätzlichen Kosten verbunden sein. Im Rahmen einer Systemoptimierung sind verschiedene statische und dynamische Kostendegressionseffekte zu beachten. Zum einen können statische Größeneffekte auftreten, d.h. Mengen- und Betriebsgrößeneffekte, die zu geringeren spezifischen Kosten je produzierter Anlage bzw. je kWh führen (Fixkostendegression, Economies of Scale), zum anderen dynamische Größeneffekte (z.B. Lerneffekte, Modularisierung, Standardisierung) und Kostenvorteile, die bei einer steigenden Technologievielfalt durch einen Verbundvorteil entstehen (Economies of Scope). Hinzu kommt die Möglichkeit, dass sich potenzielle Mehrkosten der dezentralen Anlagentechnik im Vergleich zu konventioneller Technik durch vermiedene Kosten in anderen Bereichen kompensieren lassen (z.B. bei den Übertragungsnetzen). Die Vermeidung negativer externer Effekte trägt zusätzlich zur volkswirtschaftlichen Vorteilhaftigkeit umweltschonender dezentraler Systeme bei.

Der schrittweise Aufbau von Kapazitäten und die kürzere Lebensdauer der dezentralen Energietechnologien bieten weiterhin die Möglichkeit, den Ausbau dezentraler Energietechnologien **flexibel, korrigierbar und relativ fehlerfreundlich an die tatsächliche Marktentwicklung anzupassen** und so **teure, langfristig gebundene Fehlinvestitionen** zu vermeiden.

Fazit

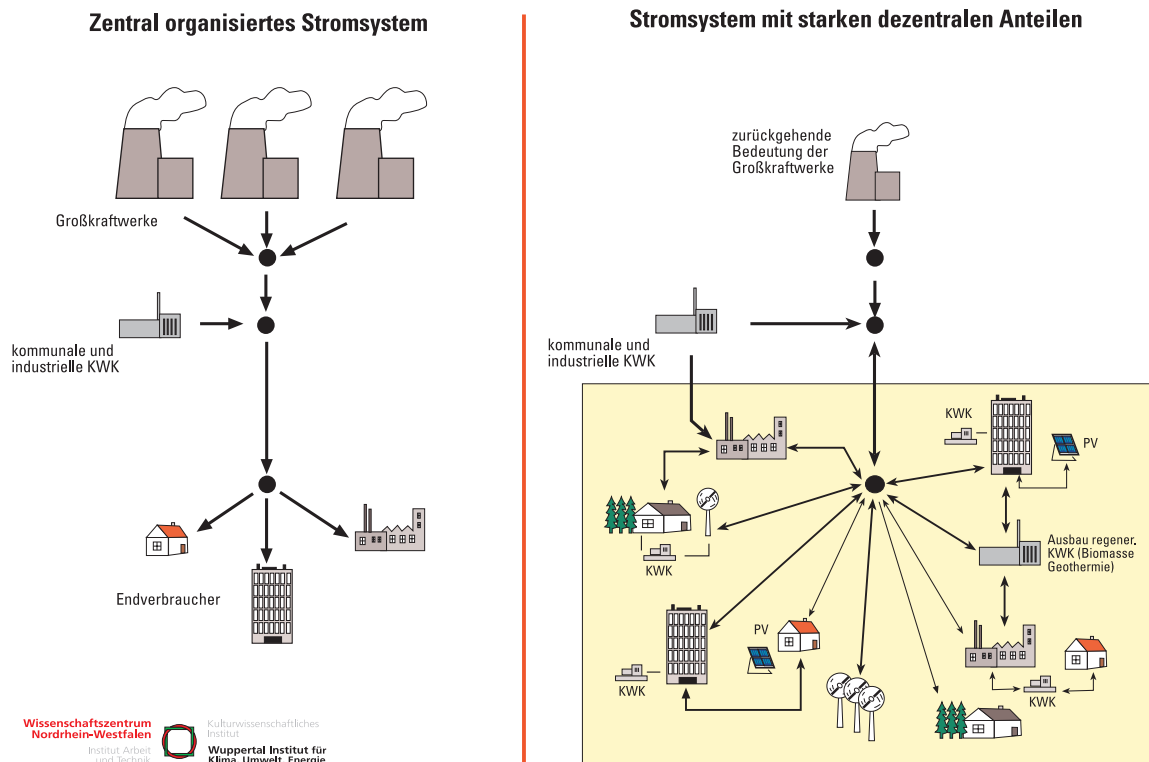
Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass die energiepolitische Vorgabe einer nachhaltigen Entwicklung des Energiesystems erfordert, die dezentralen Energietechnologien weiter zu entwickeln und auszubauen. Neue Handlungsnotwendigkeiten und Gestaltungsspielräume zeichnen sich zum einen im Rahmen der kommenden Erneuerung des Kraftwerksparks und der Netze ab, für den rechtzeitig einsatzfähige Optionen zur Verfügung gestellt werden müssen. Zum anderen erfordert die langfristige Annäherung des Energiesystems an zukunftsfähige Zielvorgaben eine frühzeitige Entwicklung neuer Technologien und Strukturen.

7.2 Strukturelle Auswirkungen der neuen dezentralen Energietechnologien auf die Strom- und Gasmärkte

In der Vergangenheit war der Anteil dezentraler Energietechnologien an der Energieversorgung vergleichsweise gering, so dass keine strukturellen Auswirkungen zu beobachten waren. Diese Situation hat sich in den letzten Jahren durch das Wachstum vor allem bei der Windkraft gewandelt, wo in regionalen Schwerpunkten (z.B. Küstennähe) die Auswirkungen z.B. auf den Netzbetrieb deutlich zu spüren sind.

Für die kommenden Jahre wird ein weiteres dynamisches Wachstum dieser Technologien angenommen wie es z.B. bei der Formulierung der energiepolitischen Ausbau- und Klimaschutzziele zugrunde gelegt wurde, technisch machbar ist und im Zuge der absehbaren Marktentwicklungen realistisch erscheint. Unter diesen Annahmen führt eine steigende Anzahl dezentraler Energieerzeugungsanlagen langfristig dazu, dass sich die Strukturen auf den Strom- und Gasmärkten deutlich verändern. Neben dem Großkraftwerksverbund werden auf lokaler und regionaler Ebene dezentrale Energiesysteme entstehen. Der Energie- und vor allem der Strombedarf der Verbraucher würde dann in weitaus stärkerem Maß als heute von kleineren Anlagen auf Basis regenerativer Energie oder Erdgas in größerer Nähe zur Erzeugung gedeckt werden. Abbildung 5 verdeutlicht die Unterschiede.

Abb. 5: Exemplarische Darstellung der unterschiedlichen Strukturen von zentralen und dezentralen Energiesystemen



Aus dieser Entwicklung lassen sich eine Reihe energiewirtschaftlich und energiepolitisch bedeutsamer Implikationen ableiten:

- Die dezentralen KWK-Techniken wie z.B. die Brennstoffzelle werden in der Regel mit Erdgas betrieben. Ein Ausbau dezentraler Technologien trägt somit in Verbindung mit dem allgemeinen Trend in Richtung Gaskraftwerke dazu bei, dass die **Bedeutung des nur begrenzt verfügbaren Energieträgers Erdgas für die Stromerzeugung zunehmen wird**. Im Trend ist nach Energieverbrauchsprognosen mit einer Steigerung des Anteils des Energieträgers Erdgas am Primärenergieverbrauch von 21% im Jahr 2000 auf knapp 27% bis beinahe 30% im Jahr 2020 zu rechnen. In einem stärker auf Energieeffizienz setzenden Nachhaltigkeitsszenario wird ebenfalls eine Steigerung des Gasbedarfs insgesamt erwartet, allerdings bei einem geringeren Zubau an größeren Gaskraftwerken im Vergleich zum Trend. Der diskriminierungsfreie Zugang zu einer sicheren, wettbewerbsfähigen und kostengünstigen Gasversorgung ist somit in der Übergangszeit zu einer nachhaltigen Energiewirtschaft eine Voraussetzung für die Chancengleichheit zwischen den unterschiedlichen Anlagenbetreibern.
- Mit der steigenden Abhängigkeit von dem Energieträger **Erdgas wächst die Bedeutung der Förder-, Speicher- und Transportunternehmen**, auch im Bereich der Flüssiggasversorgung, die in Zukunft bei deutlich steigenden Gaspreisen wirtschaftlich attraktiv werden kann.
- Der Ausbau der dezentralen Stromerzeugungskapazitäten stärkt die **Bedeutung der lokalen und regionalen Stromnetzbetreiber** gegenüber dem Übertragungsnetzbetreiber. Für die kommunalen und regionalen Energieunternehmen bieten sich neue Möglichkeiten der Zusammenarbeit mit den dezentralen Energieerzeugern bzw. den Eigenerzeugern vor Ort. Die Handlungsfreiheit und Möglichkeit der Stadtwerke und Regionalunternehmen zur integrierten Planung und ganzheitlichen Optimierung der Verteilnetze ist dabei eine Voraussetzung für die gemeinsame Ausnutzung der ökonomischen und ökologischen Potenziale. Allerdings besteht umgekehrt auch die Gefahr, dass die Dezentralisierung gerade durch das Verhalten der lokalen Energieversorger bzw. Netzbetreiber behindert wird. Die Gründe dafür können z.B. in einer anderen Situationsbeurteilung oder in unternehmerischen Abhängigkeiten liegen (s.u.).
- Angesichts der wachsenden Zahl von Einspeisepunkten und Interaktionen zwischen Erzeuger und Verbraucher **in einem dezentralen Energiesystem steigt die Komplexität des Stromnetzbetriebs**. Dies stellt neue Anforderungen an die Netzbetreiber. Hinzu kommt ein zunehmender Anteil der Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen wie z.B. die Windenergie und Photovoltaik, was die Systemcharakteristik verändert und die Anforderungen an die Aufrechterhaltung der Versorgungsqualität erhöht. Es ist abzusehen, dass die heutigen zentralen, deterministischen Steuerungsmechanismen diese neuen Aufgaben nicht leisten werden. Entsprechend der Erzeugung werden deshalb auch Regelaufgaben und Steuerungsfunktionen zunehmend auf den unteren Spannungsebenen angesiedelt

sein, die im Sinne eines dezentralen Energiemanagementsystems die lokale bzw. regionale Versorgung optimieren. Hier können sich neben entsprechendem Technologiebedarf auch Möglichkeiten für neue Geschäftsfelder und Dienstleistungen ergeben, indem z.B. durch die Bündelung von dezentralen Erzeugern und Nachfragern deren Bezug optimiert und auf den Energiemärkten Regelfunktionen angeboten werden.

- Regelbare dezentrale Energietechnologien wie z.B. Biomasse-BHKW oder Brennstoffzellen bieten die Möglichkeit, bei entsprechender Dimensionierung und Fahrweise nicht nur den Eigenbedarf des Objekts zu bedienen, sondern auch als Stromerzeuger im Netz zu agieren und z.B. wertvolle Spitzenlast anzubieten. Zusätzliche Möglichkeiten bieten sich, wenn derartige Anlagen z.B. vom Systemoperator extern angesteuert und in Verbindung mit anderen Anlagen zur Systemsteuerung herangezogene werden (sog. virtuelles Kraftwerk). Die **Einbindung der Energieerzeugungsanlagen in leistungsfähige IuK-Netze** ist dabei die Voraussetzung zur Realisierung und Optimierung dezentraler Versorgungsstrukturen. Die Steuerung vieler Anlagen induziert umfangreiche Datenmengen, die schnell, zuverlässig und kostengünstig übertragen und ausgewertet werden müssen. Wie schon in anderen Bereichen (Beschaffung, Energiehandel, Customer Relation Management etc.) werden deshalb in Zukunft moderne IT-Lösungen, z.B. auf Basis des Internets, eine zunehmend wichtigere Rolle in der Energiewirtschaft spielen und entsprechende Marktsegmente für technische Dienstleistungen eröffnen.
- Durch die Nähe von Erzeugung und Verbrauch eröffnen sich **neue Möglichkeiten zur Anpassung und ganzheitlichen Optimierung von Energieangebot und -nachfrage**. Verbrauchs- und Lastmanagement gewinnen zusammen mit den genannten Möglichkeiten der Steuerung der Erzeugung an ökonomischer Bedeutung in den Energiemärkten.
- Im **Wärmemarkt** zur Versorgung von Gebäuden zeichnen sich mittel- bis langfristig **zwei strukturelle Trends** ab:
 - Im Bereich der hocheffizienten Gebäude (z.B. Passivhaus) ist zu erwarten, dass der Restwärmebedarf durch erneuerbare Energien zur Wärmeversorgung wie z.B. Solarthermie in Verbindung mit Stromanwendungen (Wärmepumpe, Abwärmenutzung) gedeckt wird. Als Konsequenz führt dies zu einer Verdrängung fossiler Energieträger in diesem Segment, was z.B. die Wirtschaftlichkeit der Anbindung von Neubaugebieten an das Gasnetz in Frage stellt.
 - In größeren Objekten sowie in vielen Altbauten ergeben sich dagegen auch nach Berücksichtigung entsprechender Wärmedämmmaßnahmen noch ausreichende Wärmebedarfe, die nach Abbau der vorhandenen Hemmnisse auch durch kleine dezentrale KWK-Anlagen gedeckt werden könnten. In diesem Einsatzgebiet wird Erdgas als der dominierende Energieträger für Brennstoffzellen, Mikrogasturbinen, BHKW etc. aufgewertet.

- Die Einführung dezentraler Energietechnologien führt zu einer **Neudefinition der Rolle des Energiekunden** und seines **Verhältnisses zu Energielieferant und Netzbetreiber**. Die neu hinzugekommene Möglichkeit zur Eigenversorgung mit Strom und Wärme auch in den unteren Leistungsbereichen verändert die Position insbesondere der privaten Haushalte und der kleinen Gewerbekunden. Von einem passiven Energieverbraucher kann der Kunde zu einem aktiven Marktteilnehmer und Energieanbieter werden. Gerade im Segment der Privatkunden ist allerdings zu erwarten, dass diese Eigenständigkeit nur von begrenzten Zielgruppen aktiv wahrgenommen wird. Der Schlüssel zur breiten Markteinführung von innovativen Technologien wie der Brennstoffzelle wird deshalb in umfassenden Energiedienstleistungsangeboten gesehen, die im Sinne eines "Rundum-Sorglos"-Pakets dem Haushalt Nutzenergie bereitstellen. Endenergieanbieter, Energiedienstleister und andere Akteure wie z.B. das Handwerk werden eine wichtige Rolle bei der Erschließung des Marktes spielen. Die Erfolge der neuen Dienstleistungen werden wesentlich von der Art und Weise abhängen, wie kooperativ sich diese verschiedenen Akteure verhalten. Die vertragliche Ausgestaltung von derartigen Dienstleistungen bietet insbesondere Multi-Utility-Unternehmen neue Möglichkeiten für eine langfristige Kundenbindung und können dabei als Konsequenz die Flexibilität des Endkunden z.B. hinsichtlich eines Lieferantenwechsels einschränken.

7.3 Einfluss der Marktstrukturen auf die technische Entwicklung dezentraler Energietechnologien und Implikationen des Zusammenschlusses E.ON/Ruhrgas auf die Wettbewerbssituation

In Kapitel 4 wurde deutlich, dass in den betrachteten Technologiefeldern die technischen Voraussetzungen gegeben sind, um in den nächsten Jahren den Markteintritt bzw. die Marktdurchdringung zu vollziehen. Die Technologien befinden sich dabei größtenteils im vor-kommerziellen Stadium. Die wichtige Aufgabe der gegenwärtig dominierenden Pilot- und Demonstrationsphase ist es, die technologischen Prototypen als marktfähige Produkte zu optimieren. Diese Arbeiten können sinnvollerweise nur in Kooperation mit geeigneten Marktpartnern durchgeführt werden, um in Anschlussprojekten die Vermarktung voranzutreiben. Die **Markt- und Akteursstrukturen der Strom- und Gasmärkte** werden deshalb neben der technologiepolitischen Flankierung in den kommenden Jahren einen **besonders wichtigen Einfluss auf die technische Entwicklung bei den dezentralen Energietechnologien** haben.

7.3.1 Auswirkung der Strukturen der Gasmärkte

In der Vergangenheit bestand eine Trennung der Strom- und Gaswirtschaft, bei der die Stromwirtschaft (überwiegend zentral und ohne Wärmeauskopplung) Strom erzeugte und verteilte, während die Gaswirtschaft den Markt der reinen Heiz- und Prozesswärmeerzeugung bediente. Ausnahmen waren dabei schon immer die kommunale, horizontal

integrierte Energiewirtschaft mit einem hohen Anteil von KWK-Anlagen. Vor diesem Hintergrund bieten die dezentralen KWK-Technologien und der Wettbewerb auf dem Strommarkt der Gaswirtschaft die Chance, selbst in die Stromerzeugung einzusteigen oder unabhängige Erzeuger zu beliefern und so den Gasabsatz zu erhöhen. Diese Option ist von besonderem Interesse angesichts des tendenziell stagnierenden bzw. rückläufigen Gasabsatzes für die ungekoppelte Heiz- und Prozesswärmeerzeugung als Folge von langfristigen Bevölkerungsrückgang, Sättigungseffekten und gesteigerter Energieeffizienz.

Vor diesem Hintergrund ist der **diskriminierungsfreie Zugang** zu einer sicheren, zuverlässigen und wettbewerbsfähigen **Gasversorgung eine Schlüsselvoraussetzung für die Planung und den Betrieb von dezentralen KWK-Anlagen auf Erdgasbasis**. Unter den Monopolbedingungen der Gasmärkte mussten unabhängige KWK-Erzeuger in der Regel den gleichen Gaspreis zahlen wie ungekoppelte Wärmeerzeuger. Der Bedarf für KWK-Anlagen ist jedoch stärker grundlastorientiert, während die Heizwärme starke Winter Spitzen aufweist. Ein niedrigerer Preis für Gas zur KWK-Erzeugung – evtl. bis hin zu dem Kraftwerksgas ähnlichen Konditionen zzgl. Kosten der Verteilung – wäre daher gerechtfertigt. Die künftigen Bezugskonditionen für KWK-Betreiber hängen somit vom funktionierenden Wettbewerb ab. Vermieden werden muss hierbei insbesondere eine Missbrauchsmöglichkeit des Netzbetreibers und den mit ihm verbundenen Gasgroßhandels- oder –lieferunternehmen.

7.3.2 Auswirkungen der Strukturen der Strommärkte

Der **diskriminierungsfreie Zugang zum existierenden Stromnetz und zur Durchleitung** ist ebenfalls eine elementare Voraussetzung für die Erzeugung und Vermarktung von Strom aus dezentralen Energieerzeugungsanlagen. Für die KWK-Stromerzeugung sind dazu drei Marktgrößen von besonderer Bedeutung für einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb.

- die Vergütung für in das Netz eingespeisten (Überschuss-)Strom;
- der Preis der Reservestromversorgung für den Fall, dass die KWK-Anlage ausfällt;
- der Preis für Zusatzstrombezug von Eigenerzeugern, die einen Teil ihres Strombedarfs aus der eigenen KWK-Anlage decken und nur den Rest des Bedarfs (den „Zusatzstrom“) beziehen.

Auch hier hängt es von einem funktionierenden Wettbewerb, d.h. der Zahl und Finanzkraft möglicher Wettbewerber zum Netzbetreiber und Stromlieferanten ab, ob für alle drei Größen günstige Konditionen erzielt werden können. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Netzgebühren nach der Verbändevereinbarung VV-II immer noch stark von der Jahresbenutzungsstundenzahl abhängig sind. Diese Regelung benachteiligt gerade die Eigenerzeuger, da die Reststrommenge in der Regel eine niedrige Benutzungsstundenzahl und in der Folge hohe Netznutzungsgebühren aufweist.

Die Investitionsbereitschaft und das weitere Engagement der Akteure im Bereich dezentraler Energietechnologien hängt deshalb auch in den Strommärkten von verlässlichen und

fairen Rahmenbedingungen ab. Die Vergangenheit hat allerdings gezeigt, dass von zahlreichen Energieunternehmen eine **Monopolstellung beim Netzbetrieb** dafür genutzt wurde, um die Aktivitäten von **Wettbewerbern bzw. neuen Akteuren zu verhindern oder zu behindern**.

7.3.3 Anpassung der Netzstrukturen an eine steigende Zahl dezentraler Erzeugungsanlagen

Die weitere Entwicklung und Förderung der dezentralen Energietechnologien erfordert die technische Anpassung und entsprechende Transformation der bestehenden Stromnetze. Hierfür sind einerseits neue Technologien und Investitionen nötig, andererseits werden **neue Konzepte für den zukünftigen Netzbetrieb und –management** gebraucht. Neben der F&E von Einzeltechnologien sind hierbei insbesondere **umfangreiche praktische Feldtests** mit einer großen Zahl von dezentralen Energieerzeugungsanlagen notwendig, um die realen Interaktionen und Implikationen zu untersuchen. Das technologische Know-How und die finanziellen Möglichkeiten gerade der großen **Verbundunternehmen können einen wichtigen Beitrag** leisten, diese Zukunftsaufgabe anzugehen. Entsprechende Projekte sind bei verschiedenen Energieunternehmen (u.a. auch der E.ON) in Bearbeitung. Es lässt sich z.Zt. allerdings nicht absehen, inwieweit diese Aktivitäten ausreichen werden, die absehbaren technischen Restriktionen bei dem weiteren Ausbau der regenerativen Energien und der dezentralen KWK zu überwinden.

Es muss also sichergestellt werden, dass die Stromnetze rechtzeitig auf die langfristige Zunahme der Erzeugung aus dezentralen Energieerzeugungsanlagen vorbereitet und entsprechende Entwicklungsarbeiten und Investitionen eingeleitet werden. Als Beitrag zur **Sicherung der Funktionsfähigkeit der Infrastrukturleistung der Stromnetze** stellt dies eine originäre Leistung der Netzbetreiber dar, deren Kosten diskriminierungsfrei von allen Kunden und Netznutzern getragen werden sollte. Auch hierfür sind entsprechende energiepolitische und rechtliche Rahmenbedingungen auf europäischer und nationaler Ebene zu schaffen, wobei insbesondere die Rolle des Systemoperators besonders beachtet werden muss. Die Vergangenheit zeigt, dass auch hier die Monopolposition der Netzbetreiber das grundsätzliche Risiko birgt, neue Akteure bei der Erschließung von Windparks, neuen KWK-Anlagen usw. durch gezielte Zuordnung und Akkumulation von Kosten diskriminieren zu können.

7.3.4 Die Bedeutung differenzierter Akteursstrukturen für die technologische Vielfalt bei dezentralen Energietechnologien

Bei den **Brennstoffzellen** leistet z.B. das technologische Know-How und die finanziellen Möglichkeiten gerade der **großen Verbundunternehmen einen Beitrag zur Realisierung kostspieliger Pilotvorhaben**, z.B. durch die Finanzierung großer Stückzahlen bei Feldtests (z.B. Brennstoffzellenheizgerät) oder die Finanzierung teurer Pilotanlagen (z.B. bei Brennstoffzellen KWK auf SOFC-Basis). Der technische Fortschritt wird in dieser Hinsicht durch leistungsfähige Akteure gefördert.

Die Fokussierung auf die Brennstoffzelle unter **Vernachlässigung anderer Technologien durch die großen Verbundunternehmen unterstreicht allerdings gleichzeitig die Rolle unabhängiger Akteure** wie z.B. Anlagenhersteller, Projektentwickler, Ingenieurbüros usw. für die Sicherstellung einer technologischen Vielfalt. Sie arbeiten häufig in Kooperation mit (kleineren) Stadtwerken und Regionalversorgern an Lösungen im lokalen Kontext, was insbesondere bei der Biomasse oder innovativen Siedlungskonzepten zum Tragen kommt.

Dezentrale Energietechnologien bieten aufgrund des begrenzten Investitionsbedarfs als Folge kleiner und mittlerer Anlagengrößen und kürzeren Kapitalbindungen grundsätzlich gute Möglichkeiten für **neue Akteure im Energiemarkt**, in die Stromerzeugung einzusteigen bzw. ihre Rolle auszubauen und die entstehenden Vorteile an ihre Kunden weiterzugeben (wie z.B. Independent Power Producer IPP, industrielle Eigenversorgung, Energiedienstleister, Projektentwickler, Wohnungsbaugesellschaften etc.). Die Vielfalt unterschiedlichster Akteure und Konzepte trägt dabei einerseits zur Offenheit der Entwicklung bei, muss aber mittelfristig aus dem Stadium der „kleinen Bastler“ herauswachsen und zu professionellen Strukturen führen. Die Geschichte der regenerativen Energien und anderer Innovationsbereiche wie Biotechnologie, IT usw. zeigt, dass die **Handlungsfreiheit und die Chancengleichheit für eine Vielzahl von Akteuren eine wesentliche Voraussetzung für Innovationsdynamik** ist.

8 Schlussfolgerungen zur Bedeutung der Fusion E.ON / Ruhrgas für die Entwicklung und Markteinführung dezentraler Energietechnologien

Der geplante Zusammenschluss E.ON/Ruhrgas findet vor dem Hintergrund des derzeitigen energiewirtschaftlichen Rahmens statt, der zu einem wesentlichen Hindernis für die Einführung dezentraler Energietechniken werden kann, wie in den Kapiteln 7.3.1 bis 7.3.4 dargelegt wurde. Der geplante Zusammenschluss E.ON/Ruhrgas könnte diese Probleme aber verschärfen; er zeichnet sich nämlich aus durch

- eine ausgeprägte **Marktmacht im Gasbereich über alle Stufen** vom Transport (zuzüglich der Einflüsse auf die Gasgewinnung) über die Verteilung, Speicherung und Handel/Belieferung bis hin zur Nutzung in Gaskraftwerken, darüber hinaus in der Gasanlagentechnik,
- eine **starke Position als überregionales Stromerzeugungsunternehmen, Verbundnetzbetreiber und Stromlieferant** sowie
- eine **starke Präsenz** durch zahlreiche Beteiligungen an **kommunalen und regionalen Gas- und Stromnetzbetreibern und -lieferanten**

Die Marktmacht dieser drei Ebenen, die alle wesentlichen Bereiche des leitungsgebundenen Energiesystems übergreifen, würde nun bei einem Akteur in hohem Ausmaß gebündelt.

In diesem Umfeld bieten sich – vor allem auch durch die Verschränkung von Strom- und Gasmarkt - für E.ON/Ruhrgas einige wesentliche Handlungsoptionen zur Beeinflussung der Wettbewerbschancen dezentraler Technologien. Abb. 6 verdeutlicht, wo Probleme entstehen könnten:

- Die eigene Erzeugung (auch der verbundenen Unternehmen) könnte – sei sie zentral oder dezentral – durch den wettbewerbsverzerrenden Einfluss auf die Gas- als auch auf die Stromseite bevorzugt werden. Einflussgrößen sind günstige Konditionen sowohl auf der Gas- als auch auf der Stromseite für Gasbezug, Stromeinspeisevergütung, Reserve- und Zusatzstrombezug. Für E.ON böte sich damit neben der Behinderung dezentraler Erzeuger die Möglichkeit, selbst neue Gas-Kraftwerke aufgrund günstiger Gasbezugsmöglichkeiten günstiger zu betreiben als die (großen) Konkurrenten unter den Stromerzeugern.
- Durch die Gasbezugsbedingungen und über die Durchleitung im Gasnetz können Wettbewerber, die dezentrale gasgestützte Technologien einsetzen wollen, benachteiligt werden. Aufgrund der herausragenden Stellung der Ruhrgas könnte sich E.ON/Ruhrgas dabei aller Stufen der Gaswirtschaft bedienen.
- Als Netzbetreiber besteht auf allen Ebenen – z.T. auch über die umfangreichen Beteiligungen - die Möglichkeit der gezielten Behinderung von Netzzugang und Durchleitung (z.B. vertragliche und Kostenebene).

Die starke Position der E.ON als Stromnetzbetreiber bietet außerdem die Möglichkeit, durch eine unzureichende Weiterentwicklung der Netzstrukturen den Ausbau dezentraler Energietechnologien technisch zu behindern bzw. den Netzzugang für Wettbewerber durch die wettbewerbsverzerrende Zuordnung von Ausbaurkosten zu erschweren.

- Eigenerzeuger können über ungünstige Einspeisungs- und Strombezugskonditionen (z.B. Stromeinspeisevergütung, Reserve- und Zusatzstrombezug) in ihrer Wettbewerbsfähigkeit eingeschränkt werden.
- In diesem Zusammenhang ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass E.ON wie andere Energieunternehmen auch (z.B. RWE, EnBW, BEWAG, EWE) gegenwärtig einen Schwerpunkt ihrer technologischen Aktivitäten auf den Bereich der Brennstoffzelle legt und diesen fördert, während andere Technologien wie z.B. Wind, Motor-BHKW, Mikrogasturbinen weniger intensiv bearbeitet bzw. deren Ausbreitung in der Vergangenheit sogar tendenziell behindert wurden. Dagegen spielen regionale und lokale Energieunternehmen eine wichtige Rolle bei der technischen Entwicklung von dezentralen Energietechnologien, da sie in einer Vielzahl von Bereichen - gerade auch bei innovativen, kleineren Technologien und lokalspezifischen Lösungen - engagiert sind. Sie haben damit auch eine Schlüsselstellung bezüglich der technologischen Vielfalt.

Über die Vielzahl von Beteiligungen an lokalen und regionalen Energieunternehmen eröffnet sich für die E.ON/Ruhrigas grundsätzlich die Möglichkeit der Einflussnahme auf deren technologisches Engagement, was sich negativ auf Projekte und Technologien auswirken könnte, die nicht im strategischen Interesse von E.ON/Ruhrigas sind bzw. diesen zuwider laufen.

- Der Zusammenschluss von E.ON und Ruhrigas hat keinen unmittelbaren, zusätzlichen, positiven Einfluss auf die Forschung und Entwicklung dezentraler Energietechnologien. Beide Unternehmen bzw. verbundene Unternehmen sind für sich schon bei einigen Technologien engagiert, während andere Bereiche unberücksichtigt bleiben. Dieses Engagement hat insbesondere durch die Beteiligung an Pilot- und Demonstrationsprojekten einen fördernden Einfluss auf den technischen Fortschritt (z.B. bei Brennstoffzellenhauseräten), der jedoch auch in Zukunft durch die Einzelunternehmen geleistet werden könnte. Mögliche technologische Synergieeffekte können auch in den bestehenden Strukturen (z.B. in Form von Kooperationen etc.) erschlossen werden.

Betreiber von gasgestützten KWK-Anlagen könnten besonders stark unter Druck geraten, da sie sowohl beim Einkauf von Vorprodukten, d.h. dem Gasbezug, als auch beim Verkauf auf dem Strommarkt von den neuen Marktstrukturen betroffen wären. E.ON und Ruhrigas könnten im Verbund ihr Engagement im Bereich der dezentralen KWK-Erzeugung (z.B. bei Brennstoffzellen) selbst stark ausbauen und dabei mögliche Konkurrenten im Bereich der dezentralen KWK-Erzeugung behindern.

Einen beschleunigten Ausbau und einen Wettbewerb in der dezentralen KWK-Erzeugung in Deutschland wird es nur geben, wenn die nationalen Rahmenbedingungen eine Diskriminierung bei Gasbezug, Stromeinspeisevergütung, Reserve- und Zusatzstrombezug verhindern. Ein funktionierender, nichtdiskriminierender Netzzugang bei Gas und Strom auf den nationalen Märkten ist eine unverzichtbare Voraussetzung. Es kann sogar notwendig sein, die Netzgebühren zumindest an diesen vier Punkten im Voraus (ex-ante) zu regulieren. Hier besteht entsprechender Reformbedarf.

Grundsätzlich muss jedoch berücksichtigt werden, dass auch verbesserte Regulierungsbedingungen kein perfektes Wettbewerbsumfeld garantieren können. Die unvermeidlichen Gestaltungs- und Umsetzungsdefizite der Regulierungspraxis werden unweigerlich einzelne Aspekte der komplexen Materie nur unzureichend abbilden. Zudem bleibt aufgrund der unvermeidbaren Zeitverzögerungen im Vollzug für die verschiedenen Wettbewerber eine Planungs- und Investitionsunsicherheit bestehen. Ungeachtet der notwendigen Verbesserungen beim Netzzugang und Strom-/Gasmarktregulierung ist deshalb die Entstehung einer dominierenden Marktmacht in Deutschland somit den verbundenen Missbrauchsmöglichkeiten im Vorfeld zu verhindern bzw. bestehende Strukturen aufzulösen.

Im Bereich neuer innovativer Technologien ist hierbei besonders relevant, dass die Finanzdecke der Akteure aufgrund der aufwendigen F&E-Leistungen oft dünn ist. Probleme und Verzögerungen bei der Realisierung von Projekten bergen deshalb das Risiko einer Auszehrung bis hin zu Illiquidität. Vor diesem Hintergrund birgt die Fusion E.ON/Ruhrigas in Verbindung mit dem starken Engagement beider Unternehmen bei zahlreichen Stadtwerken und Regionalversorgern das Risiko, dass die für dezentrale Energietechnologien äußerst wichtige Möglichkeit des freien und chancengleichen Stromnetzzugangs aller Wettbewerber behindert werden kann. In diesem Zusammenhang ist es nicht nur erforderlich, entsprechende Zugangsberechtigungen zu schaffen, sondern gleichzeitig auch ihre rasche Durchsetzung bzw. die unverzügliche Sanktionierung von Missbrauch sicherzustellen und eine mögliche Verzögerungstaktik der Netzbetreiber grundsätzlich auszuschließen.

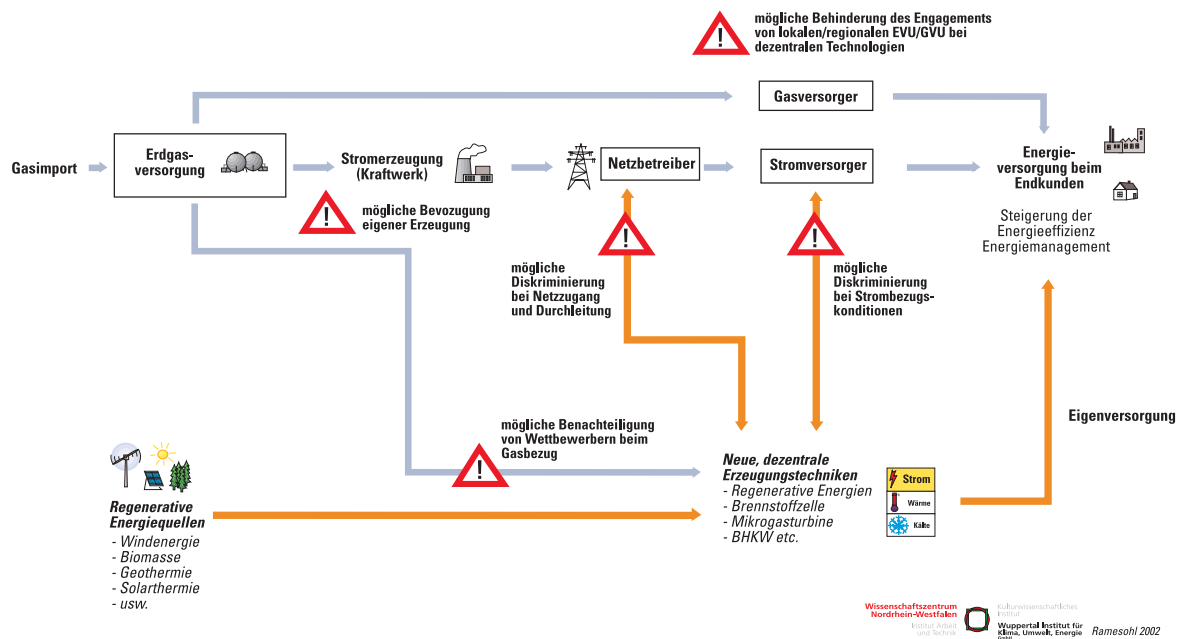
Fazit

Die vorliegende Kurzanalyse untersuchte die Bedeutung von dezentralen Energietechnologien für die künftige Entwicklung der Strom- und Gasmärkte. Auf der Grundlage der Analyse der Wechselwirkungen von Marktstrukturen und technischem Fortschritt können folgende Schlussfolgerungen zur Bedeutung der Fusion von E.ON und Ruhrigas für die Entwicklung und Markteinführung dezentraler Energietechnologien gezogen werden:

Eine **Bewertung der Auswirkungen der Fusion von E.ON und Ruhrigas** für die Entwicklung und Markteinführung dezentraler Energietechnologien muss **vorrangig aus nationaler Perspektive** erfolgen, da dezentrale Energietechnologien sich dadurch auszeichnen, dass sie durch angepasste Lösungen die weitreichende Ausschöpfung von Effizienz- und Emissionsminderungspotenzialen vor Ort ermöglichen. Diese Lösungen stehen im Kontext der lokalen bzw. regionalen Strukturen und werden deshalb maßgeblich durch nationale Rahmenbedingungen in Deutschland bestimmt.

E.ON hat alleine durch Größe, Marktmacht und vielfältige Beteiligungen eine starke Marktposition auf allen Ebenen des Stromsystems von der Erzeugung bis zur Teilhabe (bzw. Dominanz) an der Stromverteilung in weiten Teilen Deutschlands. Ein Zusammenschluss mit Ruhrgas führt zusätzlich zu einer dominanten Rolle in den Gasmärkten und eröffnet neue strategische Optionen bei der Nutzung gasgestützter zentraler und dezentraler Energietechniken. Stärker als zuvor bestehen Anreize, E.ON-eigene zentrale Großkraftwerke zu bevorzugen und den eigenen künftigen Engagements des Konzerns bei ausgewählten dezentralen Energietechnologien gegenüber anderen Betreibern von dezentralen Energieerzeugungsanlagen marktmachtbedingte Vorteile zu verschaffen. Die aus der **Fusion resultierende Bündelung der heute schon getrennt existierenden Einflussmöglichkeiten in den Strom- und Gasmärkten** bietet dabei in **mehrfacher Hinsicht Anreize und Möglichkeiten zum Missbrauch der Marktmacht** (vgl. Abb. 6).

Abb. 6: Darstellung der potenziellen Möglichkeiten zur Behinderung von dezentralen Technologien auf den verschiedenen Ebenen der Strom- und Gasmärkten



Es kann **unter gegebenen und derzeit absehbaren Regulierungsbedingungen** nicht ausgeschlossen werden, dass die weitreichenden **Einflussmöglichkeiten** auf die Handlungsfreiheit der Wettbewerber beim Gasbezug und/oder bei der Stromnetzanbindung dafür **missbraucht** werden, eigene, gasgestützte Aktivitäten zu bevorzugen und konkurrierende Anlagen bzw. Technologielinien zu diskriminieren. Ziel muss es deshalb sein, die Entstehung einer dominierenden Marktmacht in Deutschland mit den verbundenen Missbrauchsmöglichkeiten im Vorfeld zu verhindern bzw. bestehende Strukturen soweit möglich abzubauen. Dies sollte aber gleichzeitig auch ein Anreiz sein, die derzeitigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen vor dem Hintergrund ihrer wettbewerblichen Implikationen zu überdenken.