1 Einleitung

Das heutige Energieversorgungssystem ist geprägt von einigen wenigen großen, zentralen Energieumwandlungsanlagen, die eine große Anzahl räumlich verteilter Verbraucher mit elektrischer Energie versorgen. Ausgelöst durch EU Richtlinien zur Deregulierung der Energiemärkte und anknüpfende nationale Gesetzgebungen wurden durch Aufhebung der Gebietsmonopole und die unternehmerische Trennung entsprechend der Versorgungsaufgaben erste Schritte zur Umstrukturierung unseres Energieversorgungssystems unternommen. Gestiegenes Umweltbewusstsein, der Ausstieg aus der Kernenergie, nationale und internationale Klimaschutzvereinbarungen und Nachhaltigkeitsaspekte sind weitere politisch bedingte Einflussfaktoren auf die Energiewirtschaft, die den Prozess der Umstrukturierung unterstützen (Bild 1.1).

Bild 1.1: Energieversorgung im Spannungsfeld der Energiepolitik

Dezentrale Energiesysteme halten mehr und mehr Einzug in die Energiewirtschaft. Damit hat ein struktureller Wandel in der Energieversorgung begonnen, dessen Ende noch nicht abzusehen ist. Viele Fragen bezüglich der technischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und die ökologischen Auswirkungen der dezentralen Energieversorgung bleiben zu diesem Zeitpunkt noch unbeantwortet. Dabei hängen der Erfolg und die Marktdurchdringung dezentraler Energiesysteme von dem Zusammenspiel vieler miteinander vernetzter Einflussgrößen ab. Dementsprechend ist die Energieversorgung als ein System bestehend aus technischen, ökologischen, ökonomischen, gesellschaftlichen und politischen Einflussfaktoren ganzheitlich zu verstehen. Dies ist wesentlich für das Verständnis der Dynamik und der zukünftigen Entwicklung dezentraler Energieversorgungsstrukturen.

Die Energiewende hin zu einem neuen Energiesystem ist in ihrer Größenordnung mit einer industriellen Revolution vergleichbar und wird für lange Zeit eine enorme technologische und gesellschaftliche Herausforderung bleiben. Sie kann nur dann gelingen, wenn erheblicher Forschungsaufwand betrieben wird, um den Übergang zu dezentralen Versorgungsstrukturen vorzubereiten und zu begleiten. Beim Übergang stellen sich ökonomische, politische, ökologische und gesellschaftliche Aufgaben, die durch geeignete Forschungsansätze vorbereitet und begleitet werden müssen. Zu diesen Aufgaben gehören u. a. die Markteinführung neuer Technologien, die vergleichende Analyse sozioökonomischer Instrumente, das Management eines Technologietransfers oder der Übergang zu nachhaltigen Lebensstilen [WBGU, 03].

1.1 Anforderungen an die Energieforschung

Energieforschung muss sich an gesellschaftlichen Leitbildern wie zum Beispiel die Nachhaltigkeit orientieren. Sie sollte stets das gesamte Energiesystem im Blick haben. Der Systemforschung kommt dabei besondere Bedeutung zu. Die Systemforschung definiert und bewertet Optionen der Energieversorgung nach technischen, wirtschaftlichen und / oder ökologischen Kriterien. Energieforschung muss sich ebenso der Analyse und Bewertung von Visionen zukünftiger Energieversorgung wie zum Beispiel „Dezentrale Energieversorgung", „Solare Vollversorgung" oder „Wasserstoffwirtschaft" stellen. Hieraus können Risiken und Chancen bezüglich eines Wechsels des Energiesystems erkannt werden [Hake, 05].

Auch der ehemalige Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft, Prof. Walter Kröll, sieht die Energieforschung interdisziplinär aufgestellt: „Denn Energieforschung muss nach unserer Überzeugung in einen Gesamtzusammenhang eingebettet sein, der die vielfältigen Implikationen berücksichtigt, die mit Energiegewinnung und -verbrauch verbunden sind" [Kröll, 05]. Zur Bewältigung der vielfältigen Aufgaben sind neben der Erforschung und Weiterentwicklung innovativer Energieumwandlungstechnologien, der Materialforschung und der Untersuchung der Integrationsfähigkeit neuer Energietechniken in das vorhandene Energiesystem auch neue Systemforschungsansätze erforderlich, wie sie zum Beispiel der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) in seinem Jahresgutachten 2003 formuliert hat: „Erheblicher Forschungsbedarf besteht in der methodischen Weiterentwicklung der bestehenden Modelle, wie zum Beispiel der Kopplung, Regionalisierung, Sektoralisierung und Integration von Klima-, Landnutzungs- und makroökonomischen Energiesystemmodellen (Integrated-Assessment-Modelle). Außerdem sollten neuartige Modellierungstechniken (qualitative, semiquantitative und Hybridmodelle) entwickelt werden, die den inhärenten Unsicherheiten besser Rechnung tragen können" [WBGU, 03].

In der Vergangenheit wurden oftmals Analysewerkzeuge eingesetzt, die diesen Anforderungen nicht gerecht werden. So gibt es eine Reihe von computergestützten Modellierungs- und Simulationswerkzeugen zur Durchführung von statischen oder dynamischen Simulationen, die eine Integration von Modellen anderer Wissenschaftsdisziplinen im Sinne einer interdisziplinären Betrachtungsweise nicht ermöglichen. Obwohl Tabellenkalkulationsprogramme für Systemanalysen nur in sehr begrenztem Umfang geeignet sind, erfreuen sie sich wegen ihrer weiten Verbreitung und einfacher Handhabung auch für Systemsimulationen einer immer größeren Beliebtheit. Oftmals wird bei der Modellbildung reduktionistisch vorgegangen, was allerdings einer ganzheitlichen Betrachtung des Untersuchungsproblems entgegensteht. Werkzeuge aus dem Bereich der Szenariotechnik lassen zwar eine qualitative und systemisch orientierte Bewertung von zukünftigen Energieversorgungsszenarien zu, sind für detaillierte Systemanalysen jedoch ungeeignet.

Bereits vorhandene Modelle sind vielfach für individuelle Untersuchungsziele entwickelt und auf spezielle Fragestellungen angepasst. Sie haben häufig einen sehr engen Blickwinkel, meist aus technischer oder ökonomischer Sicht mit geringer zeitlicher Auflösung. So gibt es eine Vielzahl von Modellen zur Untersuchung der ökonomischen Auswirkungen verschiedener Energieversorgungsszenarien, von denen an dieser Stelle beispielhaft drei genannt werden. Das WEsER-Modell bezieht sich auf die rein ökonomische Betrachtung von Windenergieausbauszenarien [Krämer, 03]. Green-X ist ein Simulationswerkzeug, welches sich primär der

ökonomischen und ökologischen Analyse des Ausbaus erneuerbarer Energien in Europa widmet [Faber, 05]. Invert ist ein Modellierungsrahmen, der dem Benutzer die Möglichkeit gibt, Förderstrategien für Energie auf der Erzeuger- und Verbraucherseite ökonomisch zu bewerten [Stadler, 05]. Bei diesen Modellierungsansätzen und Simulationswerkzeugen gibt es oftmals keine Schnittstellen zu anderen Softwaretools wie zum Beispiel SAP, die in Industrieunternehmen eingesetzt werden. Ferner gibt es zahlreiche Arbeiten, die sich mit speziellen Fragen der technischen Systemintegration von dezentralen Energieumwandlungstechnologien, des Energiemanagements oder der Kraftwerkseinsatzplanung unter technischen, ökonomischen oder ökologischen Gesichtspunkten beschäftigen, zum Beispiel [Kaltschmitt, 95], [Hübert, 95], [Fischedick, 95], [Navratil, 98], [Wiesner, 01], [Henle, 03].

Alle oben genannten Modelle und Arbeiten können nicht flexibel und individuell auf Fragestellungen des dezentralen Energieversorgungskonzepts adaptiert bzw. übertragen werden. Das liegt an den unterschiedlichen Zielen der Arbeiten und an der oftmals speziell für den Untersuchungszweck entwickelten Simulationssoftware. Viele benutzte Modellierungskonzepte sind rein für den analytischen Modellierungsansatz ausgelegt und bieten keinerlei Möglichkeit der Erweiterung oder Kombination mit anderen Modellen oder Schnittstellen zu praxisüblichen Informations- und Softwareplattformen. Dabei spielen die praxisrelevanten Möglichkeiten der Anbindung und Integration der Werkzeuge in vorhandene Unternehmensprozesse eine immer größere Rolle. Insbesondere kommt die konzeptuelle Betrachtung der dezentralen Energieversorgung als ein neues Energiesystem - vergleichbar mit dem „Blick von oben“ - bislang zu kurz. Doch gerade dies ist im Bereich der konzeptionellen Systemforschung wichtig und für Unternehmen in der Energiebranche für ihre langfristige strategische Planung interessant.

1.2 Ziel dieser Arbeit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein geeignetes und praxisorientiertes Analysewerkzeug für die konzeptionelle Systemforschung im Energiebereich zu beschreiben und auf die dezentrale Energieversorgung zur Untersuchung des technischen und ökologischen Potenzials anzuwenden. Dabei wird die dezentrale Energieversorgung als ein Energiesystem verstanden, das das heutige Energieversorgungssystem zumindest ergänzen kann. Folgende zentrale Fragestellungen dienen in dieser Arbeit als Leitfaden:

- Kann und darf die Energieversorgung als ein rein technisches System bei der Lösung zukünftiger Energieversorgungsprobleme verstanden werden?
- Was sind dezentrale Energieversorgungsstrukturen und welchen Beitrag können sie zur Lösung zukünftiger Energieversorgungsaufgaben leisten?
- Wie können Untersuchungsaufgaben im Bereich der konzeptionellen Systemforschung für den Energiebereich methodisch sinnvoll bearbeitet werden?
- Welche Parameter und Wechselwirkungen sind für eine technische und ökologische Potenzialabschätzung von dezentralen Energieversorgungsstrukturen wichtig?
- Welches technische und ökologische Potenzial bietet die dezentrale Energieversorgung?

1.3 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Das nachfolgende Kapitel dient der Vorstellung der heutigen Situation der Energieversorgung. Problemfelder werden aufgezeigt, die die Beschäftigung mit dieser Thematik rechtfertigen. Gleichzeitig wird in diesem Kapitel der Grundstein für die nachfolgenden Betrachtungen der dezentralen Energieversorgung gelegt. Die Einteilung in die vier Umfelder Ökologie, Politik, Ökonomie und Gesellschaft dient der Darstellung der Komplexität des Themas und zur Verdeutlichung, dass die Energietechnik nicht allein als eine technische Disziplin verstanden werden kann. Es wird gezeigt, dass eine Energiewende mittel- bis langfristig unumgänglich ist.

In Kapitel 3 wird die dezentrale Energieversorgung als ein möglicher Lösungsansatz vorgestellt. Dafür wird die dezentrale Energieversorgung definiert, der Aufbau und wichtige technische Aspekte werden ausführlich beschrieben. Hierbei orientieren sich die Ausführungen bereits an den Erfordernissen für den Modellbildungsprozess. Zur Vervollständigung und Systemabgrenzung wird auch der Begriff des „verteilten Kraftwerks“ näher erläutert und Aspekte der Versorgungsqualität und Systemsicherheit betrachtet. Die Herausforderungen für Unternehmen im Geschäftsfeld der dezentralen Energieversorgung und daraus abgeleitete Notwendigkeiten der Systemanalyse werden dargestellt.

Das Kapitel 4 dient der Herleitung und Beschreibung der möglichen Analysemethoden. Es werden verschiedene Analysewerkzeuge vorgestellt und vor dem Hintergrund des Anwendungsbereichs der konzeptionellen Systemforschung bewertet. System Dynamics wird als ein geeignetes computergestütztes Modellierungskonzept eingeführt.

Das darauf folgende Kapitel beschäftigt sich mit der konkreten Anwendung von System Dynamics im Kontext der dezentralen Energieversorgung zur Untersuchung des technischen und ökologischen Potenzials. Hierzu werden die Entwicklung und der Aufbau des Modells DEV beschrieben. Modellierungsziel, Rahmenbedingungen und Voraussetzungen werden erläutert, die Systemelemente und -parameter werden definiert und dargestellt. Betrachtungen zu Modellvalidierung und -verifikation und den Anwendungsmöglichkeiten runden das Kapitel ab.

In Kapitel 6 werden die Einschränkungen und Grenzen des Modells diskutiert. Kapitel 7 beschäftigt sich mit der Erklärung und Auswertung von Simulationsergebnissen, die auf Basis von zuvor definierten Versorgungsszenarien berechnet werden. Dies dient der Darstellung der Leistungsfähigkeit des Modells und der Diskussion technischer und ökologischer Potenziale des Konzepts der dezentralen Energieversorgung.

In der Zusammenfassung werden die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse resümiert. Dabei wird auf die zentralen Fragestellungen aus Kapitel 1.2 Bezug genommen. Der Ausblick vermittelt einen Eindruck über mögliche weiterführende Arbeiten und Forschungsansätze.

2 Aspekte zentraler Energieversorgung

Das bisherige Energieversorgungssystem wurde für die Aufgabe entwickelt, mit wenigen großen, zentral orientierten Energieumwandlungsanlagen (EUA) eine große Zahl von räumlich verteilten Verbrauchern zuverlässig und kostengünstig mit Energie zu versorgen. Dieses zentrale Energieversorgungssystem ist historisch gewachsen und hat in den zurückliegenden Jahrzehnten seine Zuverlässigkeit unter Beweis gestellt. Bis vor einigen Jahren noch wurde dieses System von Energieversorgungsunternehmen (EVU) betrieben und unterhalten, die in geschützten, monopolistischen Märkten für die gesamte Versorgungskette zuständig waren, von der Erzeugung und Übertragung bis hin zur Verteilung an den Endkunden. Für den Transport der Energieträger wurden entsprechende Infrastrukturen aufgebaut, zum Beispiel das elektrische Übertragungs- und Verteilungsnetz für den Transport elektrischer Energie, oder die Beförderungstechnologien für Kohle, Gas und Kraftstoffe. Die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Energieversorgung wurde durch technische Vorkehrungen und konstruktive Maßnahmen garantiert.

Nachfolgend wird die zentrale Energieversorgung näher vorgestellt. Ausgewählte Problemfelder dieses Energiesystems werden beschrieben.

2.1 Aufbau zentraler Energieversorgung

Das zentrale Energieversorgungssystem ist durch Großkraftwerke gekennzeichnet, die eine Vielzahl räumlich verteilter Verbraucher mit elektrischer und bei vorhandenem Wärmenetz auch mit thermischer Energie versorgen. Dabei kommen fossil befeuerte Dampfkraftwerke wie zum Beispiel Kohlekraftwerke und Kernkraftwerke, Gasturbinenkraftwerke, GuD-Kraftwerke (Kombination von Gas- und Dampfkraftwerk) sowie Wasserkraftwerke zum Einsatz. Die Wärme kann über eventuell vorhandene Fern- und Nahwärmenetze übertragen werden. Der Strom wird mittels elektrischer Übertragungs- und Verteilnetze über viele Kilometer zu den Endkunden transportiert (Bild 2.1).

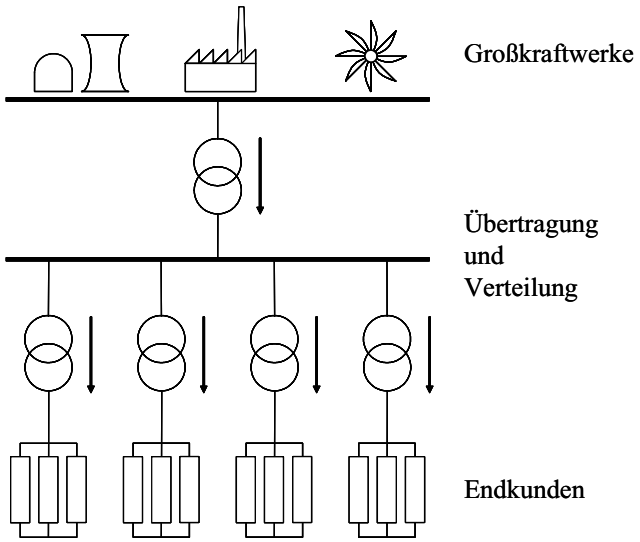

Bild 2.1: Struktur zentral geführter elektrischer Energieversorgung

Das elektrische Übertragungs- und Verteilnetz besteht dabei aus dem Höchst- (220 und 380 kV), Hoch- (60 bis 110 kV), Mittel- (6 bis 60 kV) und Niederspannungsnetz (0,4 kV) mit einer Gesamtlänge von über 1,6 Mio. km bezogen auf Deutschland [VDN, 05a]. Es herrscht eine klar definierte Energieflussrichtung (Einbahnstraßenprinzip), von den Kraftwerken zum Endkunden. Die zentrale Energieversorgung ist gekennzeichnet durch eine vertikale Netznutzung.

Der Inlandsverbrauch an elektrischer Energie über alle Verbrauchergruppen in Deutschland liegt bezogen auf das Jahr 2004 bei 527,7 TWh. Berücksichtigt man die Verluste, Eigenverbrauch der Kraftwerke und Pumpstromverbrauch in Höhe von 74,4 TWh, die Ausfuhr elektrischer Energie (51,5 TWh), sowie den Import elektrischer Energie (44,2 TWh), so lässt sich eine Inlandserzeugung von 609,4 TWh errechnen [BMWI, 06]. Da eine großtechnische Speicherung elektrischer Energie in diesen Größenordnungen aus ökonomischen und technischen Gründen nicht möglich ist, wird das elektrische Energieversorgungssystem unter der Randbedingung eines ständigen Gleichgewichts zwischen eingespeister und entnommener Energie betrieben (Bild 2.2). Das bedeutet, dass zu jedem Zeitpunkt nur soviel elektrische Leistung in das Netz eingespeist werden darf, wie einschließlich der Verluste umgesetzt wird. Um dieses zu gewährleisten werden die Arbeitspunkte der Kraftwerke unter Berücksichtigung der Stabilität des Gesamtsystems ständig dem aktuellen Leistungsbedarf angepasst, einzelne Kraftwerke fahren im Teillastbetrieb oder werden ganz abgeschaltet.

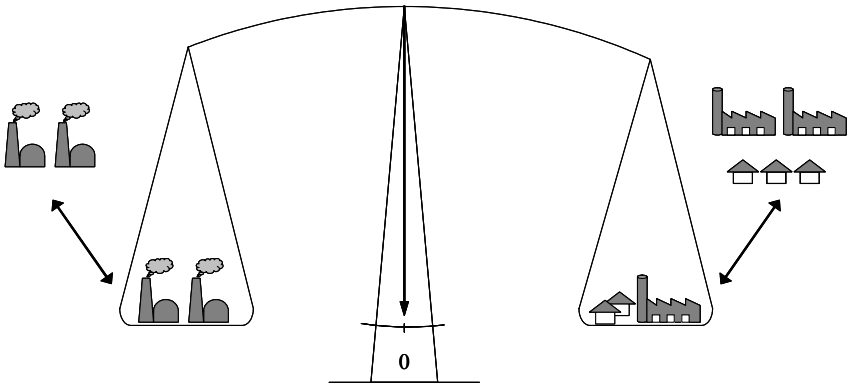

Bild 2.2: Gleichgewicht zwischen eingespeister und umgesetzter Energie, nach [Röthig, 97]

Weitere Merkmale der zentralen elektrischen Energieversorgung sind:

- optimale Auslastung der Netze
- hohe Produktqualität (das Produkt ist hierbei die elektrische Leistung bzw. die elektrische Energie)
- Schutztechnik mit hohem Sicherheitsanspruch existent
- ausreichend Redundanz bei vertretbarem Aufwand vorhanden
- entspricht weitgehend allen heutigen Anforderungen
- geringe Transportverluste (die elektrischen Netzverluste lagen im Jahr 2003 in Deutschland bei durchschnittlich 3,7 % über alle Netzebenen [Schröppel, 05])

2.2 Begriffe der Versorgungssicherheit

Obschon es in den letzten Jahren vermehrt Versorgungsunterbrechungen gegeben hat, gilt die zentral geführte Energieversorgung nach wie vor als ein System mit sehr hoher Versorgungssicherheit und Produktqualität. Weil eine Umstrukturierung des Energiesystems nicht einhergehen darf mit einem Verlust der Versorgungssicherheit, werden in diesem Abschnitt kurz Begriffe aus dem Bereich der Versorgungssicherheit näher erläutert (Bild 2.3).

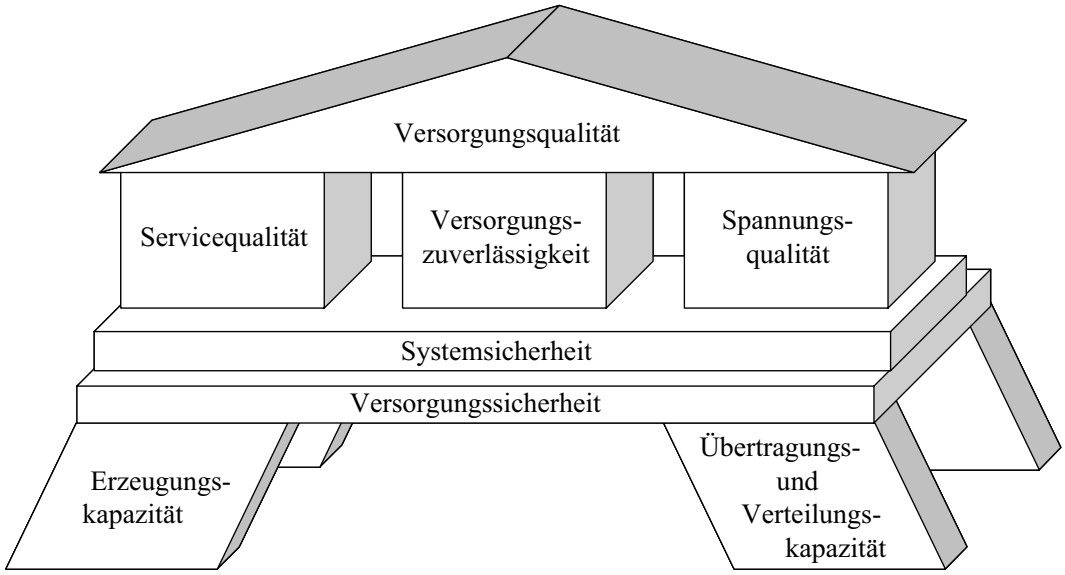

Bild 2.3: Begriffswelt der Versorgungssicherheit, nach [Schwan, 05]

Die Versorgungsqualität der Energieversorgung ist die Gesamtheit aller qualitätsbestimmenden Faktoren aus Kundensicht. Sie wird definiert über drei Komponenten [VDE, 06]:

- Versorgungszuverlässigkeit
- Spannungsqualität
- Servicequalität

Eine einheitliche Definition der Versorgungszuverlässigkeit existiert bisher nicht. An dieser Stelle wird die Beschreibung aus [VDE, 06] herangezogen: Versorgungszuverlässigkeit ist die Fähigkeit eines Versorgungssystems, unter Einhaltung bestimmter Qualitätsparameter Energie an den Endkunden zu liefern. Die Versorgungszuverlässigkeit wird überwiegend über die Unterbrechungshäufigkeit (Einheit: 1/Jahr), die Unterbrechungsdauer (Einheit: Minuten) und die Nichtverfügbarkeit von elektrischer Energie (Einheit: Minuten/Jahr) auf Grund von Betriebsstörungen charakterisiert. Diese Werte werden üblicherweise als Jahresmittelwerte angegeben. Die Störungs- und Verfügbarkeitsstatistik des Verbands der Netzbetreiber e. V. beim VDEW (VDN) zeigt, dass im Jahr 2004 in Deutschland die durchschnittliche Ausfallzeit wegen stochastischer Versorgungsunterbrechungen für einen Niederspannungskunden von zuvor rund 15 Minuten auf 22,9 Minuten pro Jahr und pro Kunde angestiegen ist. Störungen in Mittelspannungsnetzen führten zu Nichtverfügbarkeiten von 18,2 Minuten pro Kunde im Jahr 2004 [VDN, 05b]. Für das Jahr 2005 ist ein weiterer Anstieg zu erwarten. Damit liegt Deutschland im internationalen Vergleich auf Platz 1. Die Spannungsqualität wird durch die Einhaltung der Spannung in normbestimmten Bändern bei der Spannungshöhe und den

zeitlichen Verlauf der Spannung in einem festgelegten Muster gemäß DIN EN 50160 [DIN, 00] gekennzeichnet. Versorgungszuverlässigkeit und Spannungsqualität bestimmen die so genannte Produktqualität. Neben der Produktqualität ist die Servicequalität entscheidend für die umfassende Befriedigung der Kundenbedürfnisse. Die Servicequalität umfasst alle Phasen des Kundenkontaktes. Die Definition von Servicequalität ist somit abhängig von den individuellen Kundenbedürfnissen und von den Geschäftsprozessen des zuständigen Energieversorgers.

Grundlage für eine qualitativ hochwertige Versorgung ist der sichere Betrieb des gesamten Energieversorgungssystems. Dies wird gewöhnlich als Systemsicherheit bezeichnet. Danach sind jegliche Störeinflüsse auf das Gesamtsystem der Energieversorgung in jedem Last- und Erzeugungszustand sicher zu beherrschen, um signifikante Großstörungen zu vermeiden [Mittendorf, 05].

Im Hinblick auf die Bereitstellung elektrischer Energie müssen die Kraftwerke in der Lage sein, den Bedarf an elektrischer Energie zu decken. Demgemäß bilden ausreichende Erzeugungskapazitäten sowie die Übertragungs- und Verteilungskapazitäten das Fundament der Versorgungssicherheit.

2.3 Ökologie

2.3.1 Emissionen und Klimawandel

91 % der Stromerzeugung in Deutschland basierte im Jahr 2004 auf fossilen Energieträgern. Dazu gehören im Wesentlichen Kernenergie (Uran), Stein- und Braunkohle sowie Erdgas (siehe Bild 2.4). Die Nutzung von Wasser- und Windenergie als wichtigste erneuerbare Energien lag bei 8,6 %. Der Anteil der fossilen Energieträger an der Wärmebereitstellung lag über 95,9 % [BMWI, 06]. Hauptursache für den bisher geringen Anteil erneuerbarer Energien an der Energiebereitstellung sind die geringe Energiedichte und die eingeschränkte zeitliche Verfügbarkeit. Dem stehen Vorteile wie eine nach menschlichem Ermessen unbegrenzte mengenmäßige Verfügbarkeit, geringe Umweltbelastung, dezentrale Nutzbarkeit vor Ort und geringere Brennstoffkosten gegenüber.

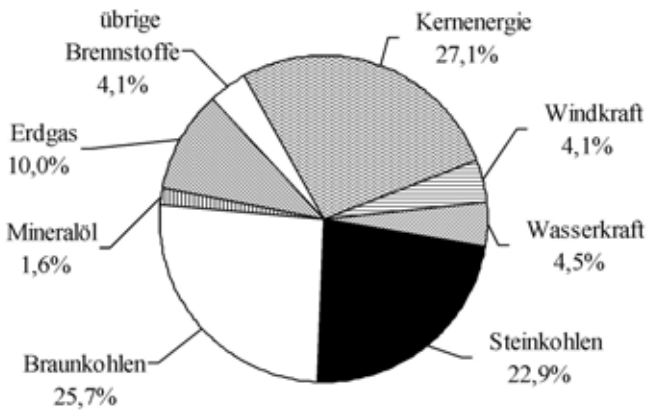

Bild 2.4: Bruttostromerzeugung nach Energieträgern 2004, Datenquelle: [BMWI, 06]

Die Nutzung dieses auf fossilen Energieträgern aufgebauten Energieversorgungssystems führte zusammen mit dem gestiegenen Energieverbrauch und anspruchsvollen Endnutzerverhalten in den letzten Jahrzehnten nachweislich zu einem dramatischen Anstieg der Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre. Beispielhaft sei an dieser Stelle das Kohlendioxid (CO_2) genannt. Aufgrund der starken Korrelation zwischen CO_2-Konzentration und Temperatur gilt unter Klimaforschern der globale Temperaturanstieg als Folge der CO_2-Anreicherung (Bild 2.5). Prognosen sagen einen weiteren eklatanten Anstieg der CO_2-Konzentration voraus. Heutige Maßnahmen zur CO_2-Reduzierung können bestenfalls eine Stagnation der CO_2-Konzentration bewirken [Watson, 01].

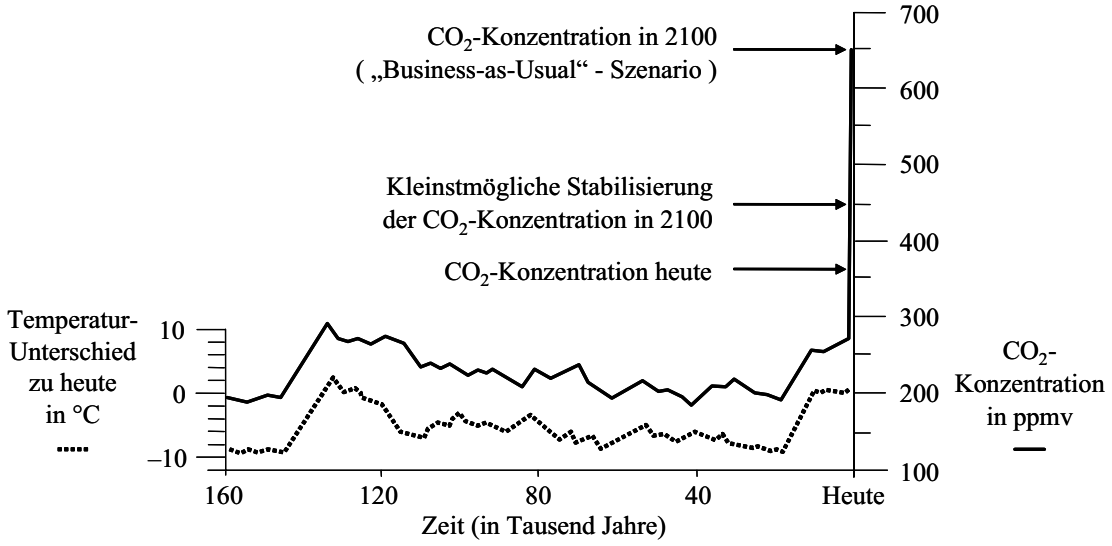

Bild 2.5: Korrelation zwischen CO_2-Konzentration und Temperaturunterschied, nach [Watson, 01]

Der Temperaturanstieg der Atmosphäre hat enorme Konsequenzen für das Klima. So nahmen die Wetterextreme und Naturkatastrophen in den letzten Jahrzehnten drastisch zu. Mittlerweile konnten Wissenschaftler vom britischen Hadley Centre for Climate Prediction and Research nachweisen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der CO_2-Konzentration der Luft und einem Anstieg der Meeresspiegel in der Pflanzenwelt begründet liegt [Haas, 06]. In CO_2-reicher Luft sinkt die Verdunstungsrate der Pflanzen. Es bleibt mehr Wasser im Boden zurück und fließt in der Folge über die Flüsse ins Meer. Ebenso nehmen Gletscherschwund [VDI, 06] und Sommerstürme stetig zu, der Prozess der Desertifikation in Afrika scheint unaufhaltsam [GTZ, 03]. Der Klimawandel schreitet schneller voran, als viele Meteorologen vorausberechnet haben. Katastrophen wie das Elbhochwasser im August 2003 oder im April 2006 und weitere Wetterextreme sind auch in Deutschland keine Seltenheit mehr. Die Münchner Rückversicherungsgesellschaft verzeichnet aufgrund von Naturkatastrophen für das Jahr 2005 einen volkswirtschaftlichen Schaden in Höhe von 212 Mrd. US-Dollar, Tendenz steigend. Während der letzten 10 Jahre sind bei 57 registrierten Ereignissen Gesamtschäden in Höhe von 575,2 Mrd. US-Dollar entstanden. Im Vergleich dazu liegen diese Werte für die Jahre 1950 bis 1959 bei 21 Ereignisse und 48,1 Mrd. US-Dollar [Münchener, 06]. Alle Regionen der Erde werden mit massiven Auswirkungen auf ihre Wirtschafts- und Ökosysteme konfrontiert sein.