

L. Jarass | G. M. Obermair

Welchen **Netzumbau** erfordert die **Energiewende?**



mit **Netzentwicklungsplan 2012**



MV-Verlag, Münster, 2012
280 S., 21 €
ISBN 978-3-86991-641-5

Welchen Netzbau erfordert die Energiewende?

unter Berücksichtigung des Netzentwicklungsplans 2012

Energiewende – eine Einführung.....	15
Teil I : Änderung der Stromversorgung durch die Energiewende	21
1 Struktur und Entwicklung der Stromversorgung.....	22
2 Erneuerbare Energieträger: räumliche und zeitliche Verteilung des Angebots	42
Teil II : Grundlagen des Netzbbaus	58
3 Zuverlässige Stromversorgung bei hohen Anteilen stark fluktuierender erneuerbarer Erzeugung.....	59
4 Repowering bestehender Leitungen	95
5 Leitungsneubau durch Erdkabel statt Freileitung	117
Teil III : Optimierung des Netzbbaus	138
6 Netzbau: nicht zu viel und nicht zu wenig.....	140
7 Maßnahmen zur Optimierung des Netzbbaus.....	163
Teil IV : Realisierung des Netzbbaus.....	196
8 Maßnahmen zur Erhöhung der Akzeptanz des Netzbbaus.....	197
9 Überschätzung des Übertragungsbedarfs führt zu falschen gesetzlichen Vorgaben	218
10 Netzentwicklungsplan 2012.....	237

Energiewende – eine Einführung

Energie und Zivilisation

Für das Entstehen von 'Zivilisation', d.h. von zeitlich ziemlich stabilen Großgesellschaften, war in den Jahrtausenden seit der Bronzezeit neben der Sicherstellung der benötigten Nahrung eine wesentliche Voraussetzung das Vorhandensein und der Einsatz der verschiedensten Arten 'wirkender Kraft'; diese wurden erst vor etwa 150 Jahren von den Physikern als ineinander umwandelbare Formen ein und derselben Naturmacht erkannt und seitdem mit dem Kunstwort Energie (von griechisch ergon = Werk, Tat) bezeichnet.

Die Quellen dieser Energie waren bis zum 18. Jahrhundert überall die in der Natur ständig vorhandenen: Zuerst die Sonneneinstrahlung und damit Holz, Holzkohle und Nahrung für Zug- und Reittiere, dann aber auch Wasser- und Windkraft, auch für die Fortbewegung von Schiffen. Das genügte schlecht und recht für eine Weltbevölkerung von einigen Hundert Millionen Menschen, von denen viele in den sonnen- und wachstumsbegünstigten Regionen in tropischen und subtropischen Ländern lebten.

Erst mit der Entdeckung und Erschließung der fossilen Energieschätze, die durch das Leben auf unserem Planeten in Jahrtausenden angesammelt und unterirdisch gespeichert wurde, schien seit etwa 1800 ein neues und besseres Leben für alle Menschen möglich zu werden, auch in den gemäßigten und kälteren Zonen: Vor gut 200 Jahren kam die Kohle, vor 100 Jahren das Erdöl und schließlich das Erdgas. Die Vorräte schienen – auch dank neuer Funde – fast unerschöpflich. Was war ein bisschen Luftverschmutzung schon im Vergleich zu der vorherigen Armut, Kälte und Dunkelheit. Schließlich, und das ist erst 50 Jahre her, wurde der Himmel auch über der Ruhr wieder ziemlich blau, so wie Willy Brandt es gefordert hatte, denn den Rauch konnte man schließlich abfiltern und damit sogar die Schwefeloxide größtenteils einfangen, die das Waldsterben verursacht haben.

Aber: Die Vorräte an fossilen Energien waren eben doch endlich und die Vorboten ihrer Verknappung werden seit einigen Jahrzehnten sichtbar: Die Preise steigen unaufhaltsam, und Kriege um Ressourcen nehmen zu. Vor allem aber ist, allen Beschwichtigungsversuchen zum Trotz, der ungebremsste Verbrauch fossiler Brennstoffe die wesentliche Ursache für einen weltweiten Anstieg der mittleren Temperaturen, und hat ausgelöst, was mit dem Wort 'Klimawandel' eher beschönigend bezeichnet wird.

Energiewende: Abkehr von nicht erneuerbaren Energieträgern

Schon 2001 schlug Lord Browne, der damalige Chef des Konzerns vor, die Bedeutung des weltbekannten Kurznamen BP von „*British Petroleum*“ zu „*Beyond Petroleum*“ zu ändern [BP 2012]. Damit hat er in zwei Wörtern eines der vordringlichsten Ziele benannt, das von der Weltwirtschaft bis zur Mitte dieses Jahrhunderts erreicht werden sollte: eine drastische Verringerung des Einsatzes fossiler Energieträger und der damit verbundenen Emission des Treibhausgases Kohlendioxid.

Es geht um drei miteinander eng verbundene Ziele:

- Verringerung des menschengemachten Klimawandels als Folge der Immission von CO₂ und anderer Treibhausgase;
- Verringerung der politischen Abhängigkeit von unberechenbaren Regimen und politisch instabilen Regionen, in denen ein Großteil der Öl- und Gasvorkommen liegen;
- Verringerung der Auswirkungen eines weiteren drastischen Preisanstiegs bei Erdöl und Erdgas (vgl. das spätere Kap. 1.3), der nicht nur aufgrund kurzfristiger Spekulationen, sondern auch aufgrund einer echten Verknappung von günstig gewinnbaren Ressourcen zu erwarten ist.

Massiver Anstieg der CO₂-Konzentration

Das unvermeidliche Ergebnis der Verbrennung von fossilen Energieträgern ist Kohlendioxid (CO₂), das wirksamste der so genannten Treibhausgase. Dieses Kohlendioxid lässt in der Erdatmosphäre zwar das sichtbare Licht bis zur Erdoberfläche durch, aber die Rückstrahlung, die von der erwärmten Oberfläche im infraroten Spektralbereich emittierte Wärmestrahlung, wird vom Kohlendioxid teilweise absorbiert; je höher dessen Konzentration ist, desto stärker ist die bewirkte zusätzliche Erwärmung der Erdatmosphäre.

Die Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre war – nach Messungen und Rekonstruktion mit allen verfügbaren Methoden – in den letzten Tausend Jahren mit geringen Schwankungen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts konstant bei etwa 0,028%, um dann in den letzten 150 Jahren immer steiler, bis heute um fast ein Drittel auf nun 0,038% anzusteigen [Rahmstorf/Schellnhuber 2006, Abb. 2.2]. Mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Jahrzehnten steigt seit etwa 1900 die – über etliche Jahre gemittelte – Temperatur in allen Regionen der Erde ebenso beschleunigt an, mit allen in den Medien hinreichend deutlich vorgeführten Folgeerscheinungen des Klimawandels.

Die wissenschaftlichen und politischen Anstrengungen der letzten Jahrzehnte haben schließlich zur Festlegung völkerrechtlich verbindlicher international abgestimmter Klimaschutzziele geführt: Rio-Konferenz 1992 und Kyoto-Protokoll 1997, das 2005 in Kraft trat. Bis Anfang Dezember 2011 haben 193 Staaten sowie die Europäische Uni-

on das Kyoto-Protokoll ratifiziert. Wichtige Verbraucherländer, wie die USA, sind dieser Konvention allerdings bisher nicht beigetreten.

Das von der UNO und den weltweiten wissenschaftlichen Dachorganisationen gestützte, von den Mitgliedsregierungen getragene 'Intergovernmental Panel on Climate Change' hat diese Ziele seither präzisiert [IPCC 2012]: Um die Erwärmung des Erdklimas auf die möglicherweise gerade noch tolerierbare Temperaturzunahme von global 2°C zu beschränken, müssten bis 2050 die weltweiten Kohlendioxidemissionen gegenüber dem Wert von 1990 halbiert werden. Es bedarf demnach enormer politischer, wissenschaftlich-technischer und wirtschaftlicher Anstrengungen, um die erforderlichen Maßnahmen zu entwickeln und umzusetzen [Rahmstorf/Schellnhuber 2006; SRU 2011].

Verringerung der Abhängigkeit und Erpressbarkeit Europas erforderlich

Konkretes Anschauungsmaterial für die Abhängigkeit und Erpressbarkeit Europas wie Deutschlands liefern die letzten Jahre:

- Das terroristische Drohpotenzial steigt zunehmend, insbesondere im gesamten Nahen Osten. Hier geht es nicht mehr um die Frage der Höhe von Energie- und Rohstoffpreisen, sondern um politisch-ideologische Machtansprüche, u.a. im Zusammenhang mit der ungelösten Palästinafrage: „*Wie hoch muss der Ölpreis steigen, bis die Existenz Israels zur Disposition steht?*“ [Broder 2006, S. 67].
- Die militärischen Einsätze vieler westlicher Staaten im Irak und in Afghanistan belegen nicht nur die Bedeutung des Nahen und Mittleren Ostens für die Energieversorgung der westlichen Industriestaaten, sondern auch das gewandelte Verständnis von militärischen Auslandseinsätzen: Es geht nicht um konkrete Bedrohungen der Souveränität einzelner Staaten, sondern um den Erhalt und die Erweiterung strategischer Einflussphären, insbesondere im Energiebereich.
- Die Bombardierung oder Sprengung von Ölquellen zeigen ebenso wie die Versuche, bombenfähiges Spaltmaterial zu erlangen, dass die wirtschaftliche und soziale Entwicklung nicht nur der Länder des Nahen Ostens, sondern auch der westlichen Welt zunehmend gefährdet wird.
- Die Unterbrechung der russischen Gaslieferungen nach Westen im Winter 2006/2007 zeigt, dass auch Konflikte zwischen Russland und seinen Nachbarn unmittelbare und sehr empfindliche Auswirkungen auf ganz Europa haben können.

Da nicht absehbar ist, wie diese bedrohlichen, politisch ausgelösten Verknappungen beendet werden können, bleibt nur die Schlussfolgerung, die Energie- und Rohstoffabhängigkeiten von diesen Ländern zu verringern. Dies wird unterstrichen durch die starke Vermutung, dass die konventionelle Ölförderung ihren Höhepunkt dauerhaft überschritten habe, und Alternativen mit enormen Umweltrisiken verbunden sind, etwa das umstrittene 'fracking', das Herauspressen von Rohöl durch Hochdruckeinpressen von mit vielen giftigen Chemikalien versetztem Wasser in Ölschieferschichten, die in großer Tiefe unter Grundwasservorkommen gelegen sind.

Nukleare Optionen

Eine vermehrte Substitution fossiler durch nukleare Energie ist untrennbar mit friedensbedrohenden militärischem Einsatz verbunden – siehe Iran und Nordkorea; aber auch jedes andere Land, das sich der permanenten Inspektion der Internationalen Atomenergie Organisation (IAEA) nicht unterwirft, kann – wie das Hungerland Nordkorea – einen zivilen Kernreaktor so betreiben, dass sich der Bombenrohstoff Plutonium erbrüten und mit Standardmethoden der chemischen Industrie extrahieren lässt – woher haben denn z.B. Indien und Pakistan ihre nuklearen Sprengkörper? Überdies ist bekanntlich auch nach 50 Jahren weltweiter intensiver Bemühung eine akzeptable Endlagerung der viele Jahrtausende weiter wirkenden radioaktiven Überbleibsel nicht entwickelt worden. Allein Deutschland hat gut zehntausend Tonnen abgebrannte Brennelemente zu ´entsorgen`, und Hunderttausende von Tonnen schwach und mittelstark strahlende Stoffe dazu.

Es gibt schließlich erhebliche Zweifel, ob ein vermehrter Einsatz von Kernenergie bei der anstehenden Umwandlung des Energiesystems in Richtung Dezentralisierung, Sparsamkeit und Effizienz sinnvoll und hilfreich wäre. In Deutschland soll dementsprechend das letzte Kernkraftwerk 2022 außer Betrieb gehen.

Der Ausbau von Kohlekraftwerken, wie er derzeit in Deutschland stattfindet, sollte aus Klimaschutzgründen beendet werden. Zwar ist die CO₂-Rückhaltung und Einlagerung in tiefe Schichten wohl grundsätzlich möglich, aber technisch unerprobt. Außerdem bestehen in der Bevölkerung, aber auch bei Fachleuten und politischen Entscheidungsträgern erhebliche Bedenken, ob der Einschluss dauerhaft ist, insbesondere aber auch ob Menschen und Tiere durch plötzlich wieder an die Oberfläche austretendes hochkonzentriertes CO₂ gefährdet werden könnten.

Bleibt schließlich noch die Kernfusion, die seit Milliarden von Jahren den Sternen, auch unserer Sonne, durch die Verschmelzung von Wasserstoff-Atomkernen zu Heliumkernen die Energie liefert. Nach fünf Jahrzehnten intensiver – und äußerst kostenintensiver – Forschung mit dem Ziel, Fusion nicht nur in der Wasserstoffbombe zu verwirklichen, sondern zivile Kraftwerke damit zu betreiben, konzentriert sich nun die Hoffnung auf das in Südfrankreich vorangetriebenen Projekt ITER. Die derzeit geschätzten Gesamtkosten betragen rund 20 Mrd. US\$, die zu 45% von der EU (in 2012/2013 rund 1,3 Mrd. € [Kernfusionsreaktor 2011]) und zu je 9,1% von China, Indien, Japan, Russland, Südkorea und den USA getragen werden. Frühestens 2026, und damit 20 Jahre nach Baubeginn, sollen die ersten Versuchsläufe beginnen, bei denen mehr Energie erzeugt werden könnte als zu ihrer Durchführung benötigt wird. Sollte dies wirklich gelingen, woran es gut begründete wissenschaftliche Zweifel gibt, so würden wohl weitere Jahrzehnte vergehen, bevor grundlegende, auch noch weitgehend offene Probleme gelöst sind, sodass dann ein kommerzieller Dauerbetrieb ermöglicht werden könnte. Für die Lösung der Energieprobleme der nächsten 30 Jahre ist das in jedem Fall zu spät.

Ziele und Maßnahmen zur Lösung des Energie- und Klimaproblems

In den letzten Jahrzehnten hat sich langsam und mühsam gegen mächtige Interessen die Einsicht in wachsenden Kreisen der Bevölkerung und vieler maßgeblicher Politiker durchgesetzt, dass die Abhängigkeit von den fossilen Energieträgern wie Kohle, Erdöl und Erdgas so schnell wie möglich verringert, längerfristig auf ein aus technischen Gründen sinnvolles Minimum reduziert werden muss.

Was unser Handeln beschränkt sind letztlich zwei unumstößliche Naturgesetze, nämlich der Erste und der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, die durch keine noch so entwickelte Technik außer Kraft gesetzt werden können:

- Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik, der Energiesatz, besagt, dass die Gesamtmenge der Energie bei allen Umwandlungen exakt konstant bleibt.
- Der Zweite Hauptsatz der Thermodynamik, ist der Satz von der Zunahme der Entropie; er besagt – sehr vereinfacht dargestellt –, dass bei jeder Umwandlung ein Teil der eingesetzten Energie als 'Abwärme', d.h. als eine weniger wertvolle (oder gar die Umwelt schädigende) Energieform anfällt oder besser 'abfällt'.

Bei Wirtschaftswachstum steigt die Wertschöpfung, also die Gesamtmenge an produzierten Gütern und Dienstleistungen. Zusätzliche Energieschöpfung aber widerspricht dem Ersten Hauptsatz der Thermodynamik und ist damit nicht möglich. Nachhaltige Energiewirtschaft heißt also:

- der Natur auf Dauer nicht mehr Energie zu entnehmen als sie wieder nachliefern kann und
- die entnommene Energie mit dem größtmöglichen Wirkungsgrad in Nutzenergie umzusetzen, damit möglichst wenig 'Abfallenergie' anfällt.

Die **Energiewende** ist also nichts anderes als die überfällige Bemühung, die naturgesetzlichen Beschränkungen in der Energiewirtschaft wieder zu beachten.

Die Überzeugungsarbeit von Wissenschaftlern, die den bereits erfahrbaren Klimawandel als überwiegend von Menschen verursachte Bedrohung der Lebensbedingungen aller Lebewesen, auch des Menschen, verdeutlichen konnten, haben schließlich in vielen Ländern auch politische Mehrheiten, wenngleich noch knapp, für den erforderlichen Wandel geschaffen. Dazu haben auch angewandte Forschung und die Initiative innovativer Unternehmer bei der Nutzung erneuerbarer Energien erheblich beigetragen.

Die Staats- und Regierungschefs der EU einigten sich verpflichtend darauf, bis 2020 den Ausstoß der klimaschädlichen Treibhausgase in der Europäischen Union im Vergleich zu 1990 um mindestens 20% zu verringern, und sogar um 30%, falls sich die anderen Industrieländer zu vergleichbaren Reduzierungen verpflichten [EU 2009]. Der Anteil von Energie aus Sonne, Wasser, Wind und Biomasse am gesamten Primärenergieeinsatz soll bis 2020 auf mindestens 20% erhöht werden. Zumindest Europa

und insbesondere Deutschland wird dann die Selbstverpflichtung zum Klimaschutz aus dem Kyoto-Protokoll einhalten können.

Wie sind die Aussichten, die Energie- und Klimaziele zu erreichen?

Führende Forschungsinstitute sind übereinstimmend zum Ergebnis gekommen, dass eine weltweit koordinierte Anstrengung von Staaten und Städten, Wirtschaftsunternehmen aller Art und einer organisierten Öffentlichkeit den doppelten Umschwung – Verbesserung der Energieeffizienz plus erneuerbare Energien – bewältigen kann. Die Kosten dieser dritten industriellen Revolution können, gemessen am Weltsozialprodukt, im 1%-Bereich liegen. Den umfangreichsten und viel beachteten Beleg dafür lieferte im Oktober 2006 im Auftrag der britischen Regierung der frühere Vizepräsident der Weltbank, Sir Nicholas Stern [Stern 2006a; Stern 2006b]. Dem Ausbau der Windenergie kommt dabei zumindest für die Stromerzeugung in vielen Ländern, etwa den Nordseeanliegerstaaten, eine wesentliche Rolle zu.

Der deutsche Sachverständigenrat für Umweltfragen hat 2011 eine umfassende Untersuchung mit konkreten Lösungsmöglichkeiten vorgelegt [SRU 2011]: Zur Lösung werden neben Verbesserungen der Effizienz der Energienutzung erneuerbare Energien, nicht zuletzt die Windenergie, eine wichtige Rolle spielen. Das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz, das – trotz einiger wohl erforderlicher Korrekturen, wie einer massiven Verringerung der Einspeisevergütung für Photovoltaikanlagen mit ihrer sehr geringen Energierendite – weltweit als vorbildlich gilt, ist ein wichtiger Eckpfeiler des Ausbaus erneuerbarer Energien.

Die von allen Parteien beschlossene und im letzten Jahrzehnt schon ein erhebliches Stück vorangetriebene Energiewende kann nur Schritt für Schritt zusammen mit einem Umbau von Stromerzeugung und Stromnetz durchgeführt werden:

- Abschaltung der Kernkraftwerke,
- Ausbau der erneuerbaren Energien,
- Auslaufen des Einsatzes großer Kohlekraftwerke,
- Entwicklung und Bau von Energiespeichern aller Art,
- Indienststellung von kleineren, rasch regelbaren Ausgleichs- und Reservekraftwerken, die mit Erdgas und wachsend mit Biogas betrieben werden.

Das neue Stromversorgungssystem braucht zumindest teilweise eine andere Netzstruktur, weil z.B. Offshore-Anlandepunkte mit hoher Einspeisung mit den Zentren der Stromnachfrage verbunden werden müssen oder dezentrale Einspeiser wie Photovoltaik an das Mittelspannungsnetz oder Onshore-Windenergie an das Höchstspannungsnetz angebunden werden müssen. Zudem wird von der EU gefordert, zukünftig sehr viel mehr Stromimport und Stromexport zu ermöglichen, wobei zu fragen ist, ob die einzelwirtschaftlichen und sozialen Kosten des dafür erforderlichen zusätzlichen Netzausbaus den inländischen Stromkunden zumutbar sind.