

DIETER LENZKES

Energiewende

Hintergründe, Notwendigkeit und Umsetzungsmöglichkeiten



Bürger-für-Bürger
Energie e.G.

regenerativ · dezentral · selbstbestimmt

Impressum

Herausgeber: Bürger-für-Bürger-Energie eG <http://www.bfb-energie.de/>

Autor: Dieter Lenzkes

Foto des Titelblatts: Goliath_Poldermolen (CC BY-SA 3.0 nl) (Autor: Uberpruster)

Erste überarbeitete Zusammenfassung der Artikelserie im Schwabachbogen, dem Neuen Wiesentboten und dem Wochenblatt 2018.

© Dieter Lenzkes, Neunkirchen a.Br., 2018. Diese Datei kann frei heruntergeladen werden, darf jedoch nicht für kommerzielle Zwecke weiterverwendet werden

Vorwort

Das vorliegende Buch versucht, alle Fragen umfassend zu behandeln, die mit der Energiewende zusammenhängen. Warum? Strom kommt doch aus der Steckdose, weiß doch jedes Kind. Aber wie kommt er dort hinein? Und was soll sich da ändern? Oder muss sich gar ändern?

Warum überhaupt „Energiewende“?

Ein Blick in die Medien gibt eine simple Antwort: Unser bisheriges Energiesystem erzeugt viel zu viel CO₂, dessen unmittelbare Folge ist der „menschgemachte“ Klimawandel. Wenn wir unser Überleben sichern wollen, müssen wir unser Energiesystem von Grund auf erneuern und umbauen. Dabei ist „Energiewende“ nicht – wie oft verstanden – auf den Stromsektor und die Erzeugung elektrischer Energie begrenzt. Aber geht es nur darum? Oder auch um Energietransport und Energieanwendung, also um das System als Ganzes? Und geht es nur um elektrische Energie oder auch um andere Energieformen, z.B. für Transport und Verkehr?

Das System der elektrischen Energie, so wie wir es heute kennen, hat seine Entwicklung vor über 100 Jahren begonnen. Auch damals fand eine Energiewende statt. Wenn wir einmal ca. 150 Jahre und weiter zurückgehen, dann waren die hauptsächlich genutzten Energiequellen:

Wind – z.B. für Getreidemühlen und als Wasserpumpen, um Land zu bewässern oder trocken zu legen und für die Landwirtschaft nutzbar zu machen. Letzteres überwiegend in den Küstenregionen von Norddeutschland und den Niederlanden.

Wasser – z.B. für Getreidemühlen, Wasserpumpen für die Bewässerung in der Landwirtschaft und kleine Hammerwerke in noch handwerklich organisierten Schmiedewerkstätten, als in diesen bereits die Mechanisierung Einzug hielt.

Holz – zum Heizen und Kochen und, in Form von Holzkohle, überall dort, wo für Prozesswärme hohe Temperaturen gebraucht wurden, z.B. bei der Metallgewinnung, beim Schmieden und, speziell im Bayrischen Wald, bei der Glasherstellung,

Im Gegensatz zu der sehr umweltverträglichen Wasser- und Windenergie war die Holzwirtschaft bereits ausgesprochen umweltschädlich. Es wurden riesige Waldflächen gerodet. Man erkannte zwar die Notwendigkeit wieder aufzuforsten, aber nicht aus ökologischen, sondern aus wirtschaftlichen Gründen. Dies geschah mit schnellwachsenden minderwertigeren Bäumen. So verschwanden um Nürnberg herum die ökologisch wertvollen Mischwälder und wurden durch die „Steckerleswälder“ ersetzt. Im mittelalterlichen Nürnberg war das Know-how für die Samengewinnung zur Aufforstung solcher Wälder sogar ein Exportschlager. Nach heutigem Verständnis für Ökologie eine Umweltsünde, die bis heute nachwirkt.

Die letzte Energiewende begann vor etwa 120/130 Jahren. Eine neu entdeckte Energieform war der Auslöser: Die elektrische Energie. Sie machte die damalige Industrialisierung überhaupt erst auf breiter Basis möglich. Und die Industrialisierung mit ihren technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten und Anforderungen wiederum war es, die unsere Energiewirtschaft geprägt hat und bis heute prägt. Sie war ein großer Fortschritt und aus damaliger

Sicht optimal. Heute aber haben wir ganz andere technische Möglichkeiten und ein anderes ökologisches Bewusstsein. Wir kennen durch Erfahrung auch die negativen Begleiterscheinungen dieser Entwicklung. Es wird Zeit, aus unseren Erfahrungen zu lernen und unser Energiesystem als Ganzes mit den heutigen Möglichkeiten neu zu gestalten.

Jeder ist für die Energiewende. So wird es jedenfalls zu Beginn von Diskussionsbeiträgen in den Medien, in Foren, in der Politik und in Diskussionsrunden immer wieder beteuert. Diskutiert werden dann aber immer nur einzelne Begleiterscheinungen von einzelnen Komponenten, die jemand als besonders negativ empfindet und nicht haben will. Die Diskussionen beißen sich dann häufig nur an diesem einen Punkt fest, der dann völlig aus seinem Gesamtzusammenhang herausgerissen ist. Zum Schluss überwiegt der Eindruck, die gesamte Energiewende sei schlecht.

Zugegeben, die Energiewende ist ein schwieriges und komplexes Thema und besteht aus vielen Komponenten. Jede technische Änderung bringt auch eine Veränderung unserer Lebensumwelt mit sich. Die meisten dieser Veränderungen sind gewollt, weil sie eine Verbesserung für uns bedeuten. Andere Veränderungen sind nicht gewollt, sind aber Begleiterscheinungen, die zu akzeptieren sind, wie die Nebenwirkungen eines Medikamentes. Letztlich geht es bei der Energiewende darum, das Gesamtsystem so aufzubauen und zu optimieren, dass sich die positiven Eigenschaften der einzelnen Komponenten, d.h. die gewollten Veränderungen, möglichst summieren, und die nicht gewollten Begleiterscheinungen minimieren.

Die Bewertung dieser gewollten und nicht gewollten Veränderungen ist sicher sehr individuell. Wichtig ist nur, alle Veränderungen im Zusammenhang zu sehen und die Zusammenhänge auch zu kennen und zu verstehen. In diesem Sinne umfassend zu informieren ist das Ziel dieses Buchs:

Welche Form hat unser jetziges Energiesystem? Welche Begleiterscheinungen resultieren daraus? Was muss und was kann verbessert werden? Wie könnte eine andere Struktur aussehen und was bringt sie? Welche Bausteine stehen für ein neues System zur Verfügung? Wie sind diese optimal zu kombinieren? Wie können wir uns in diesen Prozess einbringen? Wie sicher sind technische Einrichtungen? Was bedeutet überhaupt „Sicherheit“? Dies alles wird in diesem Buch besprochen.

Dieses Buch fasst die Artikel zusammen, die in den Zeitschriften „Schwabachbogen“ sowie „Wochenblatt online“ und „Der Neue Wiesentbote“ als Serie erschienen sind. Alle Artikel sind überarbeitet, z.T. durch Bilder ergänzt. Alle Hinweise auf weiterführende Informationen im Internet wurden aktualisiert und mittels Hyperlinks in die Texte eingebaut. Die ursprünglich fortlaufende Nummerierung wurde durch eine Nummerierung nach Themengruppen ersetzt.

Mit der „Bürger-für-Bürger-Energie e.G.“ gibt es in Neunkirchen a. Br. und im Landkreis Forchheim viele Mitstreiterinnen und Mitstreiter mit dem gemeinsamen Ziel:

Wir wollen aktiv zur Energiewende in unserer Region beitragen. Hierfür haben wir uns zur Genossenschaft „Bürger-für-Bürger-Energie“ zusammengeschlossen. Ein Partner für diese Energiewende im Landkreis, aber auch für den Klima- und Ressourcenschutz ganz allgemein, ist die Energie- und Klima-Allianz Forchheim e.V. Wir arbeiten außerdem eng mit dem Verein „Energiewende ER(H)langen“ und der Genossenschaft „EWERG“ zusammen. Jeder, der mit uns sympathisiert und uns unterstützen will, kann bei uns Mitglied werden. Viele von uns sind auch noch in anderen Organisationen ehrenamtlich engagiert, so z.B. beim Bund Naturschutz in Bayern. Wir sind es also gewohnt ganzheitlich zu denken.

Warum eine Genossenschaft?

Das Prinzip einer Genossenschaft hat sich seit über 100 Jahren bewährt, speziell im ländlichen Raum. Nur eine regional begrenzte Organisation kennt die Probleme dieser Region und kann angepasste Lösungen erarbeiten. Eine Genossenschaft kann einerseits die Kräfte ihrer Mitglieder bündeln, um etwas zu schaffen, das die Möglichkeiten eines Einzelnen übersteigen würde. Und sie kann andererseits dafür sorgen, dass der Nutzen auch wieder der Region zugutekommt. Alle notwendigen Arbeiten werden von uns ehrenamtlich durchgeführt. Im Vordergrund steht die Nutzenoptimierung für die regionale Gemeinschaft, nicht eine Gewinnmaximierung für einen imaginären Investor oder eine Aktiengesellschaft. Und in einer sich immer weiter globalisierenden Welt, die jede Menge neue Probleme mit sich bringt, in einer Zeit extremer Ressourcenübernutzung, der Gefährdung unserer Lebensgrundlagen erfolgt vielerorts wieder die Rückbesinnung auf die großen Vorteile der Kleinteiligkeit, der Regionalität. Es entstehen überall sogenannte Pioniere des Wandels, Neuerprobungen einer zukunftsfähigen Lebensweise. Zu diesen gehören Genossenschaften aller Art.

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinen Mitstreitern bedanken, insbesondere bei Bernhard Birnfeld von der BfB-Energie und Hannes Allabauer von der „Energiewende ER(H)langen“, die mich immer mit sachlichen Ergänzungen und neuen Ideen versorgt haben. Ein besonderer Dank gilt auch meinen beiden „Testleserinnen“, meiner Frau Gisela, und Barbara Cunningham von der BfB-Energie. Beide bewirkten im Hintergrund, dass auch die Reste meines Fach-Chinesisch durch Texte ersetzt wurden, die auch für elektrotechnische Laien verständlich sind.

Neunkirchen a. Br., November 2018

Dieter Lenzkes
Bürger-für-Bürger-Energie
www.bfb-energie.de

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Teil I Energiewende – muss das sein?

1	Die Energiewende im 19./20. Jahrhundert	1
1.1	Die Ausgangssituation für die Energiewende im 19./20. Jahrhundert	1
1.2	Die Energiewende zur elektrischen Energie im 19./20. Jahrhundert	2
2	Wie der Strom in die Steckdose kommt	3
3	Stromnetze	6
3.1	Basis für eine sichere Versorgung mit elektrischer Energie	6
3.2	Sichere Versorgung auch bei vielen Störungsfällen	7
3.3	Die Achillesferse unserer Infrastruktur	8
4	Kraftwerke	9
4.1	Kraftwerkstypen – Entwicklung und typische Eigenschaften	9
4.2	Kraftwerke – Dampfkraftwerke	11
4.3	Dampfkraftwerke – der Dampfkreislauf	12
4.4	Betriebseigenschaften im Störfall	13
5	Fossile Energieträger	15
5.1	Allgemeines, externe Kosten, Jahrhundertschäden	15
5.2	Erdöl, Erdgas	16
5.3	Steinkohle	17
5.4	Braunkohle	18
6	Klima	20
6.1	Ein wenig Wärmephysik	20
6.2	Klima – die Bedeutung der Zeitkonstanten	21
6.3	Energiehaushalt der Erde	22
6.4	Einfluss der Klimagase	25
6.5	Was führt zu Klimaveränderungen	28
6.6	Ist die Klimaerwärmung menschengemacht?	30
7	Sicherheit und Risiko technischer Einrichtungen	31
7.1	Atomkraftwerke	31
7.2	Atomkraftwerk, Bewertung der technischen Sicherheit	32
7.3	Atomkraftwerke, Bewertung des Risikos	33
7.4	Das Restrisiko der Atomkraftwerke	35
7.5	Stromnetze – Ausfallsicherheit der Stromnetze	36
7.6	Stromnetze, Risiko und mögliche Risikominderung	38
8	Was bedeutet eigentlich Energiewende?	39
8.1	Ursachen der ungebremsten Energieverschwendung	39
8.2	Ziel der Energiewende – sorgsamer Umgang mit Energie	41
8.3	Energiewende – Anforderungen an die gesamte Energiewirtschaft	42

Teil II Energiewende ja – aber wie?

9	Welche Struktur soll die neue elektrische Energieversorgung haben?	45
9.1	Gedankenmodell zentrale Stromerzeugung	45
9.2	Gedankenmodell dezentrale Stromerzeugung	46
10	Die Entwicklung der Energiewende in Deutschland	47
10.1	Gesetze zur Energiewende und die Auswirkungen auf den Markt	47
10.2	Die Änderungen des EEG ab 2014 und ihre Auswirkungen	49
11	Aktueller Stand und Planung der Energiewende	51
11.1	Grundbegriffe	51
11.2	Die Energiewende in der Bundesrepublik Deutschland	53
11.3	Die Energiewende im Bundesland Bayern	55
11.4	Die Energiewende im Landkreis Forchheim	59
12	Nachtrag – Bayerisches Energieprogramm 2015	61
13	Die UN-Klimakonferenz in Paris 2015	65
14	Energiewende von unten – allgemeine Betrachtung	69
14.1	Maßnahmen und Komponenten, Übersicht	70
14.2	Energieeffizienz, Energiesparen	71
14.3	Energieeffizienz elektrischer Geräte	72
14.4	Energiesparen beim Betrieb elektrischer Geräte	75
14.5	Energieeffizienz Kühl- und Gefriergeräte – Nachtrag	76
15	Sorgsamer Umgang mit Energie allgemein	78
16	Energiewende von oben durch Druck von unten	79
16.1	Allgemeines	79
16.2	Der König Kunde	80
16.3	Der bayerische König Kunde	81
17	Energiewende durch Druck von unten	83
17.1	Dezentralisierung durch Eigenversorgung	83
17.2	Anlagenkonzepte	84
17.3	Solarstromspeicher	85
17.4	Komplettsysteme – Energiemanagement	87
17.5	Notbetrieb bei Netzausfall	89
17.6	Verbesserung der Autarkie	91
18	Zentrale oder dezentrale Stromversorgung	93
19	Sonne und Wind	94
20	Energiespeicher	96
21	Regelenergie – Regelleistung	99
21.1	Was ist Regelenergie	99
21.2	Regelenergie und Energiewende	101
22	Nachtrag aus Sicht des Jahres 2018 und Ausblick	103

1 Die Energiewende im 19./20. Jahrhundert

1.1 Die Ausgangssituation für die Energiewende im 19./20. Jahrhundert

Wenn man verstehen will, warum eine Energiewende nötig ist und was damit alles verbessert werden kann, muss man wissen, wie unser heutiges System entstanden ist. Denn es wurde nicht systematisch geplant, sondern ist entlang neuer Entdeckungen und technischer Entwicklungen entstanden. Wenn sich jetzt die Notwendigkeit herausstellt, das Energieversorgungssystem neu zu ordnen, dann ist dies eine gute Gelegenheit zu hinterfragen, inwieweit die alten Randbedingungen noch gültig sind, was man evtl. besser machen kann.

Machen wir eine Zeitreise zurück in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Die Industrialisierung hat voll eingesetzt. Hierzu braucht man viel Stahl und Eisen. Auf der Weltausstellung in Paris wurde mit dem Bau des Eiffelturms gezeigt, was man mit Stahl alles machen kann. Die Eisenbahn begeistert die Menschen und soll ausgebaut werden. Für Lokomotiven, Schienen und viele neue Brücken benötigt man Stahl. Große Fabrikhallen werden gebaut. Und nicht zuletzt floriert die Rüstungsindustrie. Eine moderne Artillerie und vor allem die Kriegsschiffe erhöhen die Nachfrage an Stahl.

Wie macht man Eisen und Stahl? Aus Eisenerz und Feuer, also Kohle. Und von beidem braucht man riesige Mengen. Was liegt näher, als die Produktionsstätten, die Hochöfen, dort aufzubauen, wo wenigstens eines von beiden vorhanden ist, um Transportkosten zu sparen. Da Deutschland nicht so reichliche hochwertige Eisenerzvorkommen hat, muss dieses importiert werden. Hochwertige Steinkohle ist aber in der Region zwischen Duisburg und Dortmund reichlich vorhanden. Also ein idealer Standort für die Stahl erzeugende Industrie. Für den Transport des Erzes bietet sich der Rhein an. Wasserstraßen sind speziell für Massenguttransporte ideal. So wird das im Ausland, z.B. Norwegen, gekaufte Erz über den Seehafen Rotterdam herbei geschafft. Dies sind die Gründe, warum sich in dem kleinen Ort Duisburg, an der Mündung des Flüsschens Ruhr in den Rhein, der größte Binnenhafen Europas entwickeln wird.

Aber nicht nur die Stahl erzeugende Industrie siedelt sich hier an, auch die Stahl verarbeitende Industrie nutzt die Vorteile kurzer Transportwege für ihren Rohstoff Eisen. Und auch alle anderen, die „nur“ irgendwelche kleinen oder großen Maschinen antreiben müssen, kommen hierher, denn hier sind sie an der Energiequelle Kohle. So entwickelt sich das „Ruhrgebiet“, dem das Flüsschen, welches durch dieses Gebiet fließt, den Namen gegeben hat.

Die Energiequelle Kohle, heute sagen wir Primärenergie, ist gespeicherte Sonnenenergie aus Millionen von Jahren. Diese Sonnenenergie wird durch Verbrennung wieder in Wärmeenergie zurückverwandelt. Hiermit wurden Dampfkessel geheizt, Dampfmaschinen angetrieben, die dann die Wärmeenergie in mechanische Energie umwandelten, um damit Maschinen anzutreiben. Das war damals – ganz grob – der energetische Prozess. Damit verstehen wir auch, dass wir Energie weder „machen“ noch „verbrauchen“ können. Wir können Energie, die in irgendeiner Form vorhanden ist, lediglich so in andere Energieformen umwandeln, dass wir das Ergebnis für unsere Zwecke nutzen können. An diesem naturgegebenen Prozess kann auch eine Energiewende nichts ändern.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Im Ruhrgebiet hatte sich also eine „energieintensive Industrie“ etabliert. Das war die Basis, auf der alle weiteren technischen Entwicklungen aufbauten, auch die Wende zur elektrischen Energie. Hiermit beschäftigen wir uns im nächsten Kapitel.

1.2 Die Energiewende zur elektrischen Energie im 19./20. Jahrhundert

Wir sind immer noch in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die Elektrizität kannte man zu dieser Zeit schon lange, aber nur mit kleinen Spannungen und Leistungen aus chemischen Batterien. Mitte des 19. Jahrhunderts begannen Physiker die Wechselwirkungen zwischen einem elektrischen Strom und einem Magnetfeld zu untersuchen. Sie entdeckten, dass auf einen elektrischen Leiter, der sich in einem Magnetfeld befindet, eine unbekannte Kraft wirkt, wenn ein elektrischer Strom hindurchfließt. Sie entdeckten auch, dass dieser Vorgang umkehrbar ist. Wenn der Leiter in einem Magnetfeld bewegt wird, entsteht in ihm eine elektrische Spannung, die einen Strom durch einen geschlossenen „Stromkreis“ treiben kann. Und sie fanden die Gesetzmäßigkeiten, wie diese drei Phänomene Magnetfeld, elektrischer Strom und mechanische Kraftwirkung zusammenhängen.

Viele Forscher untersuchten, wie man diese physikalischen Phänomene technisch nutzen konnte, unter anderen auch ein gewisser Herr Siemens. Dieser entdeckte dabei das sog. [dynamoelektrische Prinzip](#), mit dessen Anwendung eine elektrische Maschine sich das erforderliche Magnetfeld selbst erzeugen kann. Diese technischen Entwicklungen waren der Durchbruch zu einer Energiewende, die bis heute unser Leben bestimmt. Man konnte eine elektrische Maschine bauen, die, mit einer mechanischen Kraft angetrieben, z.B. einer Dampfmaschine, einen elektrischen Strom abgab, also mechanische Energie in elektrische Energie umwandelte. Diese nannte man „[elektrischer Generator](#)“. Exakt dieselbe Maschine lieferte eine mechanische Kraft, wenn man ihr einen elektrischen Strom zuführte. Sie kehrte also den Vorgang im Generator um, sie wandelte elektrische Energie in mechanische Energie um. Deshalb nannte man diese Maschine „[elektrischer Motor](#)“. Ein weiterer großer Vorteil ergab sich durch diese „elektrische Energietechnik“: Man konnte diese neue Energieform sehr einfach mit metallischen Drähten über große Strecken an jeden beliebigen Ort transportieren und dort nutzbar machen.

Damit war die Energiewende geboren. Es gab nun alles für einen völlig neuen energetischen Prozess:

1. Den Dampfkessel, der die gespeicherte Sonnenenergie der Kohle durch Verbrennen in Wärmeenergie umsetzte und diese in Wasserdampf speicherte.
2. Die Dampfmaschine, die diese, im Wasserdampf gespeicherte Energie, in mechanische Energie umwandelte. Sie wurde später durch die heute noch gebräuchliche Dampfturbine abgelöst.
3. Den neuen elektrischen Generator, der daraus elektrische Energie machte.
4. Die Leitungen, um die elektrische Energie dorthin zu transportieren, wo bisher viele kleine Dampfkessel und Dampfmaschinen betrieben wurden, um Maschinen anzutreiben.

Teil I Energiewende – muss das sein?

5. Die neuen elektrischen Motoren, um diese Dampfkessel und Dampfmaschinen zu ersetzen. Damit entfielen auch das Heizen der Dampfkessel und der aufwändige Kohletransport. Die Bedienung der Maschinen wurde einfacher.

Darüber hinaus waren diese Motoren wesentlich einfacher in ihrer Konstruktion und deshalb weniger stör anfällig. Der Siegeszug dieser Technik in der Industrie war vorprogrammiert.

Diese vielen Energie-Umsetzungen geschahen zwar mit einem miserablen Wirkungsgrad unter hohen Verlusten. Das interessierte aber damals noch niemanden. Man hatte ja genug – Kohle, im doppelten Sinne des Wortes. Einfluss auf das Klima? War damals auch noch nicht bekannt.

Wie sich die Nutzung der neuen Energieform weiter entwickelte und dann der Strom in die Steckdose kam, damit beschäftigen wir uns im nächsten Kapitel.

2 Wie der Strom in die Steckdose kommt

Die Nutzung der neuen elektrischen Energieform breitet sich aus, nicht nur in der Industrie. Überall wird experimentiert, was mit dieser neuen Technik möglich ist. So werden immer neue Einsatzbereiche erschlossen. Im Fokus steht schon bald die Verkehrstechnik. 1879 stellt Siemens einen elektrisch angetriebenen Zug vor. 1880 wird der erste elektrische Aufzug präsentiert. 1881 nimmt die erste elektrische Straßenbahn in Berlin ihren Probetrieb auf und löste Zug um Zug die Pferdebahnen und die mit Dampf betriebenen Straßenbahnen ab. In den 1920er Jahren umfasst das Berliner Straßennetz schon über 600 km. Die Zeit von 1896 bis 1912 gilt als die erste große Zeit der Elektroautos, sowohl mit Batterie betrieben als auch mit Oberleitung, ähnlich den heutigen O-Bussen. Aber auch im privaten Bereich erkennt man schnell die Annehmlichkeiten dieser neuen Energieform: für Beleuchtung, zum Heizen und Kochen, etwas später auch für Haushaltsgeräte wie Staubsauger, Waschmaschinen, Kühlschränke, sowie für Kommunikation und Unterhaltung, Telefon und Radio..

Der Bedarf für eine flächendeckende Versorgung mit elektrischer Energie nimmt stetig zu, insbesondere in den größeren Städten. Neue Kraftwerke werden vor allem dort gebaut, wo sich Zentren eines hohen Energiebedarfs befinden, also in Industriegebieten und großen Städten. Von diesen Kraftwerken aus soll die Umgebung über lange Stromleitungen mit Energie versorgt werden. Auf diese Weise wären einzelne „Strominseln“ entstanden, mit der Option, irgendwann auch mal zusammen zu wachsen. So sollte der Strom auch in jede beliebige Steckdose irgendwo in der hintersten Ecke Deutschlands kommen.

Schnell werden aber die Grenzen dieses Konzept erkennbar. Das Problem des Kohletransports würde sich verschärfen. Kraftwerke, die nicht an der Kohlequelle sitzen, müssten je nach Größe mit großen Mengen Kohle beliefert werden. Deshalb werden solche Kraftwerke überwiegend an schiffbaren Wasserstraßen errichtet. Der Schifftransport ist für Massengüter optimal. Daher fällt auch der intensive Ausbau von Kanälen, die Querverbindungen zwischen den großen deutschen Flüssen schaffen, in diese Zeit. Als das Schienennetz weiter ausgebaut wird, bietet sich auch die Eisenbahn als Transportmittel an. Vor allem für die Kraftwerke, die nicht an einer Wasserstraße liegen. Aber Transport auf der Schiene ist kostenintensiver als auf dem Wasserweg.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Eine zweite Grenze wird erkennbar: Die Leitungen, die von einem Kraftwerk aus die umliegende Region mit Strom versorgen, dürfen nicht beliebig lang werden. Auch gute elektrische Leitungen haben einen Wirkungsgrad, d.h. Verluste. Wie kann das sein, denn Energie kann ja nicht verloren gehen? Jeder Strom, der durch eine Leitung fließt, erwärmt diese etwas. Diese Wärmeenergie wird an die Umgebung abgegeben. Die Energie, die am Ende der Leitung noch für unsere Nutzung zur Verfügung steht, ist um diesen Betrag geringer. Eine mögliche Lösung dieses Problems: noch mehr kleine Kraftwerke bauen, um einen entsprechend kleineren Umkreis mit Strom zu versorgen. Heute würden wir so etwas eine „dezentrale Energieversorgung“ nennen. Das würde aber das Kohletransportproblem weiter verschärfen. Außerdem wären viele kleine Kraftwerke noch wesentlich unwirtschaftlicher als wenige große Kraftwerke. Im Grunde war dieses Problem eine Frage nach der günstigsten Art, Energie zu transportieren. Entweder als Kohle, fossil gespeicherte Energie, zu den dezentral angeordneten Kraftwerken, oder von zentral angeordneten Kraftwerken in den Kohlegebieten als elektrische Energie zu den weit entfernten Nutzern, mit den entsprechenden Leitungsverlusten. Dies ist z.B. eine der in Kapitel 1 erwähnten geänderten Randbedingungen: Wir haben heute die technischen Möglichkeiten dezentral vorhandene Energie – Sonnenenergie, Windenergie, Biomasse – zu nutzen, ohne aufwändig die Energie in Form von Kohle oder über lange und leistungsfähige Leitungen transportieren zu müssen. Diese Möglichkeit gab es aber damals noch nicht.

Um den Strom trotzdem in jede Steckdose zu bringen, mussten diese Probleme mit den damaligen technischen Möglichkeiten gelöst und optimiert werden.

Das erste Konzept für eine flächendeckende Stromversorgung stieß schnell an technische und wirtschaftliche Grenzen.

Der schlechte Wirkungsgrad der Kraftwerke, d.h. die geringe Ausbeute an elektrischer Energie bezogen auf den Energieinhalt der verbrannten Kohle, kann durch Vergrößerung der Kraftwerkeinheiten geringfügig verbessert werden. Diese Problematik werden wir später noch näher durchleuchten (Kapitel 4.1 bis 4.3). Die flächendeckende Stromversorgung geht also nur von wenigen Großkraftwerken aus, die entweder an der Quelle der Kohle oder an hierfür günstigen Transportwegen liegen. Dies nennt man „zentrale Energieversorgung“, im Gegensatz zu der bereits erwähnten „dezentralen Energieversorgung“. Hiermit wollte man im Wesentlichen die wirtschaftlichen Probleme in den Griff bekommen.

Das technische Problem des Energieverlustes auf langen Leitungen ist schwieriger zu lösen. Den Anwender der Energie am Ende einer langen Leitung stört es kaum, dass bei ihm weniger herauskommt. Das könnte man kompensieren, indem vorne mehr eingespeist wird. Für den Anwender ist eher störend, dass sich die Qualität der elektrischen Energie, gekennzeichnet durch Strom und Spannung, ändert. Hierbei ist für die Anwendung die Spannung die entscheidende Größe.

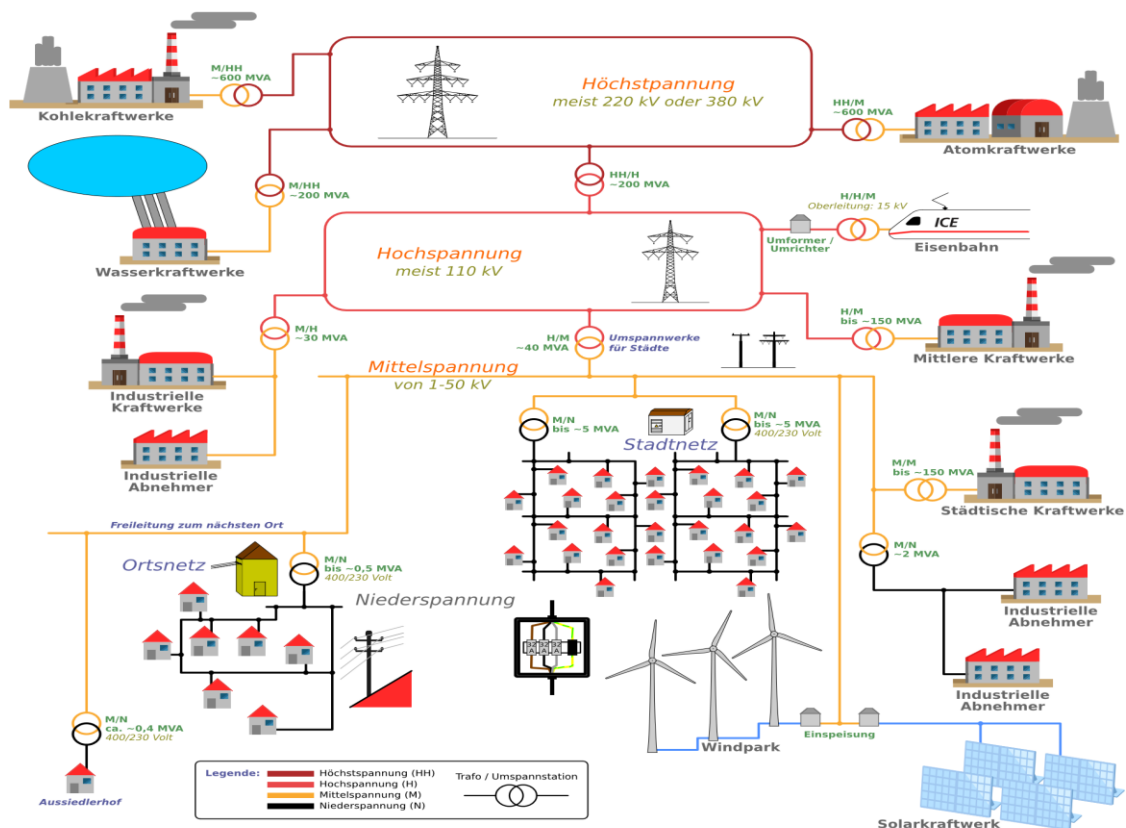
Die Hersteller von elektrischen Geräten und die Produzenten der elektrischen Energie einigten sich recht schnell, welche Spannung an den Steckdosen zur Verfügung stehen muss (ursprünglich 220 Volt, jetzt 230 Volt) sowie auf den zulässigen Toleranzbereich. Unterschreitet die Spannung die Toleranz, funktionieren die Geräte nicht mehr ordnungsgemäß. Überschreitet die Spannung die Toleranz, können die Geräte zerstört werden.

Andererseits sind die Energieverluste auf der Leitung von deren Länge und der Höhe der übertragenen Ströme abhängig. Dies macht sich in einer verminderten Spannung am Ende

Teil I Energiewende – muss das sein?

der Leitung bemerkbar. Die Folge ist: sind viele Geräte angeschlossen, wird die Spannung am Ende niedriger. Ist nur ein kleines Gerät angeschlossen, wird die Spannung höher. In beiden Fällen muss sie aber innerhalb der zulässigen Toleranz bleiben. Diese etwas komplexen Zusammenhänge begrenzen letztlich die Länge der Leitungen vom Kraftwerk bis zur Steckdose. Die Konsequenz hieraus: Die unterste Ebene, die Stromversorgung für die Hausanschlüsse, verlangt eine dezentral organisierte Einspeisung.

Eine zentrale Energieversorgung muss also in eine flächendeckende dezentrale Struktur umgesetzt werden. Die Lösung: Die Ausgangsenergie der Kraftwerke wird auf ein wesentlich höheres Spannungsniveau hoch transformiert. Anfangs waren es vielleicht 1.000 bis 10.000 Volt, heute sind es einige 100.000 Volt. Mit dieser Spannung werden über das ganze Land verteilte sog. Umspannstationen eingespeist. In diesen wird die Spannung wieder auf die „Steckdosenspannung“ 230 Volt herunter transformiert und über das sog. „Niederspannungsnetz“ verteilt. Positiver Nebeneffekt: Durch die Fernübertragung mit hoher Spannung werden, bei gleicher übertragener Leistung, die Ströme kleiner. Dadurch verbessert sich auch der Wirkungsgrad der Leitungen, d.h., die Energieverluste auf dem Weg zum Verbraucher werden kleiner. Mittlerweile gibt es für unterschiedliche Versorgungsaufgaben im Fern- oder mittleren Bereich Netze auf unterschiedlichem Spannungsniveau. Das Bild zeigt die prinzipielle Struktur der heutigen Netze mit allen z.Z. aktiven Stromerzeugern, von den Höchstspannungsnetzen für die Fernübertragung großer Energiemengen bis zu den Verteilernetzen auf der Niederspannungsebene.



Quelle: [Wikipedia](https://de.wikipedia.org/wiki/Stromnetz)

Von den Umspannstationen zu den Stromverbrauchern (Verteilernetz) werden die Stromleitungen entweder strahlenförmig oder ringförmig aufgebaut. Die einzelnen Umspannstationen

werden auch auf der Hochspannungsseite untereinander verbunden, mit der Folge, dass unsere Landschaft von vielen Hochspannungsleitungen durchzogen wird. Dies ist der Preis für ein insgesamt leistungsfähiges Versorgungsnetz, das auch in vielen Störungsfällen noch eine weitgehende Versorgung sicherstellen kann.

Die nächsten Kapitel behandeln die typischen Eigenschaften solcher Netzstrukturen.

3 Stromnetze

3.1 Basis für eine sichere Versorgung mit elektrischer Energie

Das letzte Kapitel zeigte die prinzipielle Struktur unseres derzeitigen Stromnetzes. Wir kennen die sog. „Umspannstationen“, als Koppelglied zwischen den Fernübertragungsnetzen und den einzelnen Verbrauchern. Diese werden mit elektrischer Energie mit einer sog. Mittelspannung (über 1.000 Volt) eingespeist, transformieren diese Spannung auf unsere „Steckdosenspannungen“ (240/400 Volt) herunter, um sie dann an die Verbraucher zu verteilen.

Welche Vorteile haben aber diese Stromnetze für Verbraucher? Schauen wir uns hierzu ein einfaches Beispiel an. Wir haben eine Umspannstation, manchmal auch „Einspeisepunkt“ genannt, von wo aus Stromleitungen strahlenförmig, manchmal auch „sternförmig“ oder „Stichleitungen“ genannt, in die Umgebung verlegt werden. Von diesen Stichleitungen zweigen dann viele Leitungen zu den einzelnen Verbrauchern ab. Dies ist die einfachste Methode der Energieverteilung. Tritt in einer dieser Stichleitungen ein Fehler auf, z.B. ein Kurzschluss, muss diese Stichleitung für die anschließende Reparatur abgeschaltet werden. Dann sind alle Verbraucher an dieser Stichleitung ohne Strom.

Eine andere Methode ist die Verlegung einer „Ringleitung“. Dabei werden im Prinzip zwei Stichleitungen an ihrem Ende wieder miteinander verbunden. Dieser geschlossene Ring wird vom Einspeisepunkt aus in beiden Richtungen eingespeist. Jeder Verbraucher, der an diesen Ring angeschlossen ist, kann seine Energie also über zwei verschiedene Wege beziehen. Tritt ein Fehler auf, kann die Fehlerstelle mittels Schalter vom Ring abgetrennt werden. D.h., der Ring ist geöffnet und nur die Fehlerstelle selbst sowie die Verbraucher im Abzweig der Fehlerstelle sind abgeschaltet. Alle anderen können weiter mit Strom versorgt werden.

Eine solche Ringstruktur ist praktisch der Kern eines Netzes. Je mehr solcher Ringe miteinander verknüpft werden, ähnlich einem Spinnennetz, umso mehr Wege führen auch von den Einspeisepunkten zum einzelnen Verbraucher. Werden solche Netze von mehreren Einspeisepunkten mit Energie versorgt, dann kann bei einem Fehler in einem Einspeisepunkt dieser vom Netz genommen (freigeschaltet) werden und trotzdem das gesamte Netz weiter mit Strom versorgt werden.

Ähnliche Netzstrukturen gibt es auch für die Übertragung der Energie von den Kraftwerken zu den Einspeisepunkten. Je nachdem, wie weit welche Energiemengen von den Kraftwerken zu den einzelnen Umspannstationen geleitet werden müssen, geschieht dies mit unterschiedlichen Netzstrukturen auf unterschiedlichen Spannungsebenen. Detailinformationen hierüber siehe: [Stromnetz](#), [Europäisches Verbundsystem](#). Dort ist eine, auch für technische Laien, gut verständliche Übersicht.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Im normalen Betriebsfall sucht sich der Strom selbst den günstigsten Weg vom Kraftwerk zum Verbraucher. Im Störfall sind gezielte Schaltmaßnahmen notwendig, um den Energiefluss um die Störungsstelle herum zu leiten und die Energieversorgung wieder für alle sicherzustellen. Ziel dieser Steuerung ist es, bei einem Stromausfall mindestens das sog. „[N-1-Kriterium](#)“ zu erfüllen. Dies bedeutet, das Netz muss so gesteuert werden, dass, unabhängig von der momentanen Auslastung, bei einem beliebigen Fehler im Netz noch überall die volle Versorgungssicherheit gewährleistet ist. Bei einem Zusammentreffen mehrerer Fehler ist dies nicht mehr der Fall.

Struktur und Größe dieses Netzes einerseits, sowie diese übergeordnete Steuerung des Netzes andererseits, sind der Garant für eine sichere Stromversorgung. Welche Aufgaben im Detail diese übergeordnete Steuerung hat und welche Strategien ihr dafür zur Verfügung stehen behandelt das nächste Kapitel.

3.2 Sichere Versorgung auch bei vielen Störfällen

Wir haben schon festgestellt, dass im Störfall gezielte Schaltmaßnahmen innerhalb des Netzes nötig sind, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Dies gilt sogar auch für den Normalbetrieb. Um das zu verstehen, müssen wir 3 wichtige Bedingungen berücksichtigen:

1. In jeder Sekunde muss genau die Menge an elektrischer Energie erzeugt werden, die angefordert wird. Jedes Mal, wenn ein Gerät ein- oder ausgeschaltet wird, muss ein Generator seine Stromproduktion anpassen. Bei kleinen und kurzfristigen Änderungen geschieht dies im Generator über die Steuerung der Magnetfelder automatisch. Dann wird ein „innerer Energiespeicher“ angezapft. Jeder Maschinensatz enthält mechanische Energie in Form von Bewegungsenergie in seinen rotierenden Teilen. Die Folge ist, dass die Drehzahl etwas fällt. Dadurch ändert sich die „Stromqualität“. Spannung und Frequenz werden kleiner. Dies ist in Grenzen und kurzzeitig zulässig. Spätestens aber dann, wenn dieses Limit unterschritten wird, muss die Energiezufuhr zum Generator erhöht werden – also mehr Dampf bei den nächsten Dampfkraftwerken, mehr Kraftstoff bei den nächsten Motor-getriebenen Kraftwerken.
2. In das Netz wird die Energie von vielen, wirtschaftlich eigenständigen Stromlieferanten eingespeist. Wer wann wie viel Energie liefern darf, wird jeden Tag an der Strombörse ausgehandelt. Die Energieflüsse im Netz müssen entsprechend diesen Vorgaben und der sich laufend ändernden Energieanforderung gesteuert werden. Und das möglichst auch in einfachen Störfällen ([N-1-Kriterium](#)).
3. Jedes Element im Netz – Leitungen, Schalter, Einspeisepunkte, Transformatoren und auch die Generatoren – sind für eine bestimmte maximale Durchgangsleistung dimensioniert. Diese wird laufend überwacht. Bei Überlast schaltet sich das jeweilige Gerät selbst ab, um Zerstörung und Folgeschäden vorzubeugen.

Durch eine übergeordnete Steuerung, z.T. automatisiert und mit selbsttätigen Regelungen unterstützt, wird sichergestellt, dass jeder Stromlieferant seinen ihm zustehenden Anteil bekommt und dass kein Element des Netzes überlastet wird. Dabei hat diese Steuerung keinen Einfluss auf die Energieanforderung. Sie reagiert nur unmittelbar auf Änderungen. Durch die vielen Nutzer, also laufende Be- und Entlastungen des Netzes, egalisiert sich dieser Ener-

Teil I Energiewende – muss das sein?

giebedarf. Außerdem hat man statistische Erfahrungswerte, wie sich der Energiebedarf im Tages-, Wochen- und Jahreszeitenverlauf ändert, so dass man sich grob darauf vorbereiten kann. Im Grundsatz muss aber auf jede Änderung sofort reagiert werden. Hierfür müssen u.U. Energieströme umgeleitet werden, um lokale Überlastungen zu vermeiden. Die Stromproduktion einzelner Kraftwerke ist nach oben oder unten zu korrigieren, oder ganze Kraftwerke sind zu- oder abzuschalten. Hiermit ist die sog. „Regelleistung“ gemeint, ein Begriff der in Diskussionen auftaucht, bei denen es um die „Stabilität des Netzes“ geht. Auch Begriffe wie „Blindleistungsgenerator“ oder „Phasenschieber“ gehören in diese Kategorie. Diese komplexe Anpassung der Stromerzeugung an den jeweiligen Bedarf, auch wenn mal ein ganzes Kraftwerk ausfällt, kann nur funktionieren, wenn immer auch ausreichende Reservekapazitäten zur Verfügung stehen. Im Grunde bedeutet dies, dass sowohl die Kraftwerkskapazitäten als auch bestimmte Teile des Netzes überdimensioniert sein müssen.

Schaltmaßnahmen, die im Sinne dieser übergeordneten Steuerung notwendig sind, werden letztlich von Menschen entschieden. Diese werden durch entsprechende Computersysteme unterstützt: einmal, um die notwendigen Messdaten aus dem gesamten Netz zu liefern, als Basis für die Entscheidungen, aber auch um die notwendigen Schaltmaßnahmen ordnungsgemäß durchzuführen, die in einer bestimmten Reihenfolge irgendwo im Netz erfolgen müssen. Dies gilt vor allem auch in Störungsfällen, bei denen ggf. sehr schnell reagiert werden muss. Doch hierüber mehr im nächsten Kapitel.

3.3 Die Achillesferse unserer Infrastruktur

Wir haben gesehen, das Netz ist das Bindeglied zwischen den Kraftwerken (den Energielieferanten) und den angeschlossenen Nutzern. Letztere sind unzählig viele und jeder bestimmt für sich selbst, wann er wie viel Strom dem Netz entnimmt. Die Kraftwerke müssen sekundengenau exakt diesen Strom erzeugen. Dieser sucht sich selbst den günstigsten Weg zum Verbraucher. Die übergeordnete Steuerung muss mit einer zweckmäßigen Netzkonfiguration sicherstellen, dass nirgendwo im Netz eine Überlastung auftritt.

Kommt es nun an irgendeiner Stelle im Netz zu einer Abschaltung, z.B. durch einen technischen Defekt, Beschädigung eines Kabels oder dergleichen, so ändert sich unmittelbar der Energiefluss im Netz. Dies kann Überlastungen und Abschaltungen in benachbarten Netzteilen zur Folge haben. Im ungünstigsten Fall kommt es zu kaskadenartigen Abschaltungen (Dominoeffekt, Lawineneffekt) mit einem „[Blackout](#)“ des ganzen Netzes, wenn nicht schnell genug eingegriffen und mit gezielten Schaltmaßnahmen die Fehlerstelle isoliert wird.

Welche Strategien stehen der übergeordnete Steuerung für solche Störungsfälle zur Verfügung?

1. Isolierung des gestörten Netzabschnittes und Umleitung der Energieströme. Dies beinhaltet evtl. auch eine andere Verteilung der Energieströme auf verschiedene Kraftwerke bzw. Zu- oder Abschaltung benachbarter Kraftwerke.
2. Falls dies nicht ausreicht, um das Netz wieder zu stabilisieren, werden gezielt einzelne Verbraucher abgeschaltet.
3. Wenn auch das nicht ausreicht, und bevor solche Lawineneffekte sich im ganzen Netz ausbreiten, wird das Netz in einzelne Teilnetze aufgetrennt, da die Stabilisierung eines

Teil I Energiewende – muss das sein?

kleineren Netzes wesentlich einfacher ist. Die Netzstruktur wird temporär von einem zentralen Netz in mehrere dezentrale Netze geändert. Diese können dann getrennt wieder hochgefahren, stabilisiert und anschließend wieder zusammen geschaltet (synchronisiert) werden.

Die Wahrscheinlichkeit für einen Blackout des ganzen Netzes ist relativ gering. Ein großflächiger kompletter Stromausfall ist jedoch eine Katastrophe, die gesamte Infrastruktur der betroffenen Region bricht zusammen. Das Wiederauffahren der einzelnen Kraftwerke, deren Synchronisierung und die Wiederherstellung des Netzes kann, je nach Art der Störungsursache, viele Stunden bis Tage dauern – je größer das Netz umso komplizierter.

Dazu hat der Ausschuss für Technikfolgenabschätzung im Auftrag des Bundestages eine [Studie](#) angefertigt. Die ersten 15 Seiten geben schon einen sehr guten Überblick über die Folgen. Sie nennt neben den üblichen Ursachen – technisches und menschliches Versagen – auch extreme Naturereignisse und Terrorismus, vor allem Hackerattacken. Bei diesen beiden geht man in Zukunft von einer Zunahme aus; extreme Naturereignisse durch den Klimawandel, Hackerattacken, nicht nur von Terroristen, sondern auch von Geheimdiensten, wie die letzten Ereignisse, z.B. das Eindringen in das Intranet des Bundestages und der Regierung, vermuten lassen. Ein weiteres Ergebnis dieser Studie ist, dass dezentral organisierte Energieversorgungssysteme diese Situationen wesentlich entschärfen könnten. Mit wenigen großen Kraftwerken ist die Wahrscheinlichkeit von großflächigen Ausfällen deutlich höher als mit mehreren kleinen – dies findet bisher weder in der Öffentlichkeit noch bei den staatlichen Planungen der Energiewende ausreichend Beachtung.

Es gab in den letzten Jahren im europäischen Netz einige Fälle von Netzausfall aus sehr unterschiedlichen Ursachen, die erst in der letzten Stufe vor einem totalen Blackout abgefangen werden konnten. Beispiele zu den Ursachen und dem Verlauf siehe: [Stromausfall in Europa im November 2006](#), sowie [Europäisches Verbundsystem](#) Abschnitt Störungen.

Die nächsten Kapitel behandeln die klassischen Kraftwerke, wie die in fossilen Energieträgern gespeicherte Energie zu elektrischer Energie umgeformt wird und dann der Strom in die Netze kommt.

4 Kraftwerke

4.1 Kraftwerkstypen – Entwicklung und typische Eigenschaften

Wir wollen uns jetzt die klassischen Erzeuger für die elektrische Energie, die unterschiedlichen Kraftwerkstypen, ihre Entwicklung und ihre typischen Eigenschaften näher ansehen.

Am Anfang standen der Dampfkessel und die Dampfmaschine, um mechanische Energie zu gewinnen. Hiermit begann das Industriezeitalter. Die Dampfmaschine wurde mit einem elektrischen Generator gekuppelt, um die vielseitig verwendbare elektrische Energie zu gewinnen. Dampfkessel und Generator sind geblieben. Die Dampfmaschine wurde im Laufe der Entwicklung gegen die Dampfturbine wegen ihrer besseren Energieausnutzung ausgetauscht. Hinzu kam noch die Nutzung der Wasserkraft. Dafür hatte man schon jahrhundertalte Erfahrungen, wie die mechanische Energie des fließenden Wassers genutzt werden kann. Für alle technischen Möglichkeiten elektrische Energie zu erzeugen bürgerte sich letztlich der Sammelbegriff „Kraftwerk“ ein.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Das Prinzip Dampfkessel – Dampfturbine – Generator ist nun schon seit über 100 Jahren beibehalten worden. Man nennt sie „Wärme- und Dampfkraftwerke“, oder etwas präziser „Dampfkraftwerke“. Dieses Prinzip blieb unverändert, allerdings mit vielen Detailverbesserungen, um die Energieausnutzung und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen. Geändert hat sich jedoch die Energiequelle, der Brennstoff für den Heizkessel zur Dampferzeugung: anfangs Steinkohle, dann Braunkohle, Öl und Erdgas, später Uran in den Atomkraftwerken. Erdgas und Öl, bzw. Benzin und Diesel, ermöglichten noch zwei weitere Varianten: die Gasturbine sowie den Verbrennungsmotor, sog. „Verbrennungskraftmaschinen“, zum Antrieb des Generators. Diese haben spezielle Eigenschaften, die sie für spezielle Anwendungen prädestinieren; die Gasturbine z.B. für Regelkraftwerke, den Motor-getriebenen Generator für Notstromaggregate. Eine gute Übersicht aller bisher realisierten Möglichkeiten der Stromerzeugung in Kraftwerken sowie ihrer spezifischen Eigenschaften und Wirkungsgrade findet man [hier](#).

Im Grunde ist die ganze Energiewirtschaft eine ständige Umwandlung der verschiedenen Energieformen, die uns die Natur (z.B. als Wasserkraft) oder die Erde als „Bodenschätze“ (z.B. als fossile Energie) zur Verfügung stellt. So wird fossile Energie in thermische Energie umgewandelt, diese in mechanische Energie und weiter in elektrische Energie, die leichter zu transportieren und vielseitiger zu nutzen ist. Auf der Nutzerseite wird elektrische Energie wieder u.a. in mechanische Energie zum Antrieb von Maschinen, oder in thermische Energie zum Heizen, Kochen, oder in Prozesswärme umgewandelt.

Alle Energieformen lassen sich auch speichern: mechanische Energie z.B. in Schwungrädern oder in Stauseen (Pumpspeicher-Kraftwerke); thermische und elektrische Energie entweder direkt für kurzzeitige Speicherung oder nach Umwandlung in chemische Energie für Langzeitspeicherung. Alle diese Vorgänge haben aber mehr oder weniger Verluste. Jedoch, wir erinnern uns: „Verluste“ heißt in diesem Zusammenhang nicht, dass Energie verloren geht. Verluste heißt, dass bei diesen Prozessen ein Teil der Energie in eine Form umgewandelt wird, die wir nicht nutzen können, also nur für unsere Nutzung verloren ist.

Dies gilt insbesondere für die Wärmeenergie. Entsteht im Zuge dieser Umwandlungsprozesse irgendwo Wärmeenergie, die wir nicht unmittelbar nutzen können, dann entweicht sie in unsere Umwelt. Am Standort von Großkraftwerken sind das Energiemengen, die nicht mehr vernachlässigbar sind, wie wir später noch sehen werden.

Wärmeenergie ist eine sehr flüchtige Energieform, besonders bei hohen Temperaturen. Das beste Beispiel hierfür ist unser Auto. Von der chemischen Energie im Tank kann ein Ottomotor (Benziner) bestenfalls 38 %, ein Dieselmotor 45 % in mechanische Energie umsetzen, bei optimalen Bedingungen im Dauer-Vollastbetrieb. Unter realen Bedingungen mit viel Teillastbetrieb erreicht ein Ottomotor etwa 25 % und der Dieselmotor 30 %. Das Meiste pusten sie als Wärmeenergie über den Auspuff und den Kühler in die Umwelt. Aber auch die mechanische Energie, die während der Fahrt ins Auto gesteckt wird, landet als Wärme in der Umwelt – auf dem Umweg über Reibungswärme (Reifen, Bremsen, Luftwiderstand). Jede Energieform wandelt sich letztlich in Wärme um und entweicht in unsere Umwelt – verloren für unsere weitere Nutzung. Das ist ein physikalisches Naturgesetz – Überlisten unmöglich.

Diese „Verluste“, die bei den Prozessen in den Kraftwerken entstehen sind, das Thema der nächsten Kapitel. Wir betrachten die daraus abgeleiteten Wirkungsgrade und welche Folgerungen sich hieraus ergeben.

4.2 Kraftwerke – Dampfkraftwerke

Bei den Kraftwerken unterscheiden wir zwischen „Wärme­kraftwerken“ und sonstigen Kraftwerken, z.B. Wasserkraftwerke. Bei der Mehrzahl der [Wärme­kraftwerke](#) wird durch die Verbrennung, meist von Kohle oder Öl, Dampf erzeugt, mit dem eine Dampfturbine betrieben wird. Diese Kraftwerke werden deshalb auch „Dampfkraftwerke“ genannt. Alle Kernkraftwerke sind ebenfalls Dampfkraftwerke. Dampfkraftwerke erzeugen bei uns 61 % der gesamten elektrischen Energie (Stand 2013). Um die Effizienz unserer Energiewirtschaft zu beurteilen, schauen wir uns die typischen Eigenschaften von Dampfkraftwerken an: den Wirkungsgrad als Maß, wie effektiv die Energie des Brennstoffs ausgenutzt wird, den CO₂-Ausstoß pro kWh wegen der Klimabeeinflussung sowie den [Eigenbedarf](#) der Kraftwerke.

Primärenergie	Wirkungsgrad	CO ₂ in g pro kWh	Eigenbedarf
Steinkohle	max. 46 %	790-1080	4-10 %
Braunkohle	max. 44 %	980-1230	4-10 %
Öl	max. 45 %	890	4-10 %
Kernkraft	max. 35 %	66	5-16 %

Die Unterschiede liegen nur im Brennstoff (Primärenergie). Die Wirkungsgrade ermitteln sich nur aus der im Brennstoff gespeicherten Energie, umgewandelt in Wärmeenergie und übertragen auf den Dampfkreislauf, und in der Dampfturbine umgewandelt in mechanische Energie. Sie sind Werte, die nur unter optimalen Bedingungen bei Voll­lastbetrieb erreicht werden. Im Teillastbetrieb sind sie geringer. Hinzu kommt noch der Wirkungsgrad des Generators. Dieser ist bei allen gleich und besser als 95 %. Dampfkraftwerke haben einen erheblichen Eigenbedarf. Das ist elektrische Energie, um den eigenen Betrieb zu realisieren, z.B. für Kesselspeisepumpen, Förderbänder zur Kohlebeschickung, Aschetransport, Filteranlagen usw. Im Normalbetrieb erzeugt ein Kraftwerk die hierfür notwendige Energie selbst, außer beim Anfahren des Kraftwerkes. Dann muss dieser Eigenbedarf als Fremdenergie zur Verfügung stehen. Dieser Anteil, ca. 5-10 %, mindert den Nutzen für den Kunden und ist somit wie ein Verlust in der Energiebilanz zu berücksichtigen. Als letztes kommen noch die Leitungsverluste durch den Stromtransport vom Kraftwerk zum Anwender hinzu. Sie betragen etwa 5-10 %. Je länger der Weg zum Verbraucher, umso größer diese Verluste.

Braunkohlekraftwerke werden im direkten Verbund mit der Braunkohleförderung betrieben. Die Energie zum Betreiben der Braunkohlenbagger und Förderbänder benötigt zusätzlich etwa 5 % der Kraftwerksleistung. Vergleichszahlen für Steinkohle, Öl und Gas liegen nicht vor, da diese überwiegend Importgüter sind.

Die Zahlen des Statistischen Bundesamtes für 2013, speziell für Dampfkraftwerke, ergeben folgenden, volkswirtschaftlich interessanteren, Systemwirkungsgrad:

Verbrannte fossile Energieträger	741 TWh
Erzeugte elektrische Energie für den allgemeinen Nutzer	257 TWh
Energiebilanz / System-Wirkungsgrad	34,7 %

Das sind gigantische Zahlen, die unsere tägliche Lebenserfahrung übersteigen. Zum besseren Verständnis: 1 TWh (Terawattstunde) in kWh ist eine 1 mit 12 Nullen. Der durchschnittliche Jahresverbrauch einer Familie von 3000 kWh sind 0,000003 TWh.

Natürlich würde sich der Wirkungsgrad noch weiter verbessern lassen, wenn die Verlustwärme, die ja mehr ist als die erzeugte elektrische Energie, zusätzlich genutzt würde, also die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK). Aber dafür müssten entsprechende Abnehmer in der Nähe des Kraftwerkes sein (Nahwärme). Wärmeenergie lässt sich nicht wie Strom über große Entfernungen übertragen. Derzeit liegt die wirtschaftliche Grenze bei etwa 20 km (Fernwärme). Mit dem Heizen von ein paar Wohnungen ist es bei diesen Energiemengen nicht getan. Berechnet man den Systemwirkungsgrad unter Einschluss der von den großen Dampfkraftwerken an Verbraucher abgegebenen und tatsächlich genutzten Wärmemengen, kommt man auf einen Systemwirkungsgrad von 40,8 %, also nur ca. 6 % besser. Das Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung ist besser für kleinere Einheiten geeignet, also für dezentral organisierte Strukturen für die Energieversorgung, mit einer Strom- und Wärmeerzeugung in der Nähe der Nutzer, so dass keine großen Entfernungen zu überbrücken sind.

Die Technik der Dampfkraftwerke stößt mittlerweile an ihre physikalischen Grenzen und kann kaum noch weiter verbessert werden. Details hierzu im nächsten Kapitel.

4.3 Dampfkraftwerke – der Dampfkreislauf

Dampfkraftwerke können die thermische Energie der Brennstoffe nur sehr verlustreich in mechanische Energie zum Antrieb der Generatoren umsetzen. Abgesehen von den Wärmeverlusten, die bereits über die heißen Abgase durch den Schornstein entweichen, liegt das Problem im sog. Dampfkreislauf. Dieser beinhaltet die Verdampfung von Wasser im Dampfkessel, die Speicherung von Energie im sog. Heißdampf, die Umsetzung dieser Energie in mechanische Energie in der Turbine und danach die Rückkühlung. Der Dampf muss wieder zu flüssigem Wasser abgekühlt werden, denn nur das ist zum Rückpumpen in den Dampfkessel geeignet. Diesen Kreisprozess wollen wir uns mit einem kleinen Zahlenbeispiel verdeutlichen. Die Speicherung von Energie im Heißdampf läuft prinzipiell in 3 Phasen ab;

1. Erwärmung des Wassers auf Siedetemperatur 100°C (bei normalem Luftdruck); bei einer Ausgangstemperatur von 20°C benötigt man für 1 kg (1 Liter) Wasser die Energie von 0,102 kWh.
2. Die komplette Verdampfung dieser Wassermenge benötigt 0,627 kWh. Die Temperatur bleibt bei diesem Vorgang konstant 100°C, jedoch steigt der Druck im Dampfkessel (Nassdampfphase).
3. Das weitere Aufheizen des Dampfes auf die Eintritts-Betriebstemperatur für die Turbine. Benötigte Energie für eine Heißdampf Temperatur: von 350°C > 0,139 kWh; von 600°C > 0,278 kWh. Je höher die Temperatur, umso höher auch der Druck.

Dieser Heißdampf strömt durch die Turbine. Dabei laufen die 3 Phasen rückwärts ab. Der Dampf gibt seine Energie an die Turbine ab, diese gewinnt an mechanischer Energie, der Dampf verliert an Druck und Temperatur. Es darf aber nicht soweit kommen, dass der Dampf bereits in der Turbine zu Wassertropfen kondensiert, also Phase 2. Im Niederdruckteil der Turbine erreichen die Turbinenschaufeln an der Spitze Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 500 m/s, das ist 1,5-fache Schallgeschwindigkeit. Der Zusammenprall mit kleinsten Wassertropfen würde zur Erosion und Zerstörung der Turbine führen. Im Prinzip kann also nur die Energie der Phase 3 genutzt werden. Das sind bei 350°C ca. 18 %, bei 600°C ca. 31 % der gesamten aufgewendeten Energie.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Die Temperaturen im Beispiel sind nicht willkürlich gewählt. 350°C ist die maximale Dampftemperatur für Kernkraftwerke aus materialtechnischen Gründen. Ca. 600°C ist die beherrschbare Grenztemperatur bei fossil beheizten Kraftwerken. Hieraus erklärt sich der Unterschied in den Wirkungsgraden der Tabelle des vorigen Kapitels 4.2. Die oben geschilderten 3 Phasen sind druckabhängig. Dies gibt technisch die Möglichkeit, durch Steuerung der Drücke – hoher Druck beim Turbineneintritt, Unterdruck beim Turbinenausritt – auch noch einen Teil der Energie der Phase 2 zu nutzen. Damit werden dann die Wirkungsgrade der Tabelle in Kapitel 4.2 erreicht, aber auch die physikalisch möglichen Grenzwerte.

Doch wohin mit dem Rest der Energie? Dies sind immer noch knapp 60 % der Heizenergie. Die Absatzmöglichkeiten als Wärmeenergie zum Heizen oder als Prozesswärme sind nur eingeschränkt gegeben. Man kann sie nur in die Umwelt entlassen. Bei diesen Energiemengen gibt es technisch nur zwei praktikable Möglichkeiten: Ableitung in Flusswasser oder über die bekannten Kühltürme in die Atmosphäre. Das erste heizt den Fluss auf, mit der Folge, dass im Sommer schon mal die Leistung dieses Kraftwerkes drastisch reduziert werden muss, damit der Fluss nicht ökologisch umkippt. Im zweiten Fall wird das Kleinklima der näheren Umgebung beeinflusst.

Links zu Details und vertiefenden Literaturhinweisen zu den einzelnen Komponenten des Dampfkreislaufes:

[Clausius-Rankine-Kreisprozess](#)

[Carnot-Prozess](#)

[Wissenschaft-Technik-Ethik](#)

[Wärmekraftwerk,](#)

[Dampfturbine](#)

Die anderen Kraftwerke sowie Störfälle in dem Verbund Kraftwerke – Stromnetz behandelt das nächste Kapitel.

4.4 Betriebseigenschaften im Störfall

Neben den Dampfkraftwerken sind noch die Wasserkraftwerke, einschließlich der Pumpspeicher-Kraftwerke, und die Gaskraftwerke von Bedeutung. Diese erzeugen zusammen etwa 14 % des Stromes (Stand 2013).

Kraftwerk	Wirkungsgrad	CO ₂ in g pro kWh	Eigenbedarf
Wasserkraft	ca. 90 %	4-13	ca. 1 %
Gas	max. 40 %	610-630	ca. 1 %
GuD	max. 60 %	410-430	ca. 5 %

Das Gas-Kraftwerk hat in seiner ursprünglichen Form keinen Dampfkreislauf. Die heißen Verbrennungsgase treiben direkt eine Turbine an. Die Gase enthalten beim Austritt aus der Gasturbine noch sehr viel Wärmeenergie. Diese wird in einer verbesserten Form, dem Gas- und-Dampf-Kombi-Kraftwerk (GuD), genutzt. Mit den Abgasen wird dann noch ein Dampfkessel beheizt, der den Heißdampf für eine weitere Dampfturbine auf derselben Welle wie die Gasturbine liefert. Hiermit lässt sich der Wirkungsgrad deutlich verbessern, wie obige Tabelle zeigt.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Details zum Gas-Kraftwerk und einer verbesserten Form, dem Gas-und-Dampf-Kombi-Kraftwerk (GuD) [siehe hier](#).

Dampfturbinen für Kraftwerke sind die größten, die z.Z. gebaut werden. Bei den üblichen Nennleistungen von 1.000 MW bis 1.750 MW können die Rotoren dieser Turbinen 60 bis 70 m lang sein und mehrere 100 t wiegen. Einerseits müssen sie extrem präzise gebaut sein, um die Energie im Dampf möglichst effektiv umzusetzen. Andererseits müssen sie im Betrieb extreme Temperaturspannungen verkraften, zwischen der Dampfeintrittstemperatur von ca. 600°C und der Dampfaustrittstemperatur von deutlich unter 100°C. Dies macht sie sehr empfindlich bei Temperaturänderungen und hat Konsequenzen.

Das erstmalige Hochfahren einer Turbine aus dem kalten Zustand dauert bis zu einer Woche. Die Turbine muss behutsam auf ihre Betriebstemperaturen vorgewärmt und dabei ständig langsam gedreht werden. Erst dann kann sie vorsichtig belastet werden, wobei immer noch darauf geachtet werden muss, dass keine unzulässigen Wärmespannungen auftreten. Auch diese Phase dauert je nach Größe noch mehrere Stunden. Dieses Verhalten macht sie denkbar ungeeignet für schnelle Regelvorgänge. Andererseits muss aber die Stromproduktion sekundengenau an den Bedarf angepasst werden. Die Konsequenz: Die großen Dampfkraftwerke sind nur für eine sog. „Grundlast“ geeignet, die sich im Tagesverlauf nur wenig und auch nur relativ langsam ändert. Die Ausrichtung der Stromversorgung auf wenige Großkraftwerke bedingt deshalb ein großes, zentral gesteuertes Stromnetz, um die erforderlichen Grundlasten bereit zu stellen. Für die schnellen Änderungen der sog. „Spitzenlast“ müssen andere Kraftwerke bereit gestellt werden, die schneller geregelt bzw. zu- oder abgeschaltet werden können. Dies sind z.B. Gasturbinen, Wasserkraftwerke einschließlich Pumpspeicher-Kraftwerke, aber auch Windkraftwerke sind hierfür bestens geeignet.

Ein großes Dampfkraftwerk wird also am besten nach der Erstinbetriebnahme nicht wieder abgeschaltet. Störungsfälle im Netz oder im Kraftwerk selbst können aber zu Abschaltungen führen. Beim Wiederanfahren wird zwischen Heißstart (Leerlaufzeit kleiner 8 Stunden) bis Kaltstart (Leerlaufzeit größer 48 Stunden) unterschieden. Die Anfahrzeiten liegen dann zwischen 4 und 15 Stunden. Dies setzt allerdings voraus, dass die Turbine während der ganzen Leerlaufzeit mit einem Fremdantrieb gedreht und auf Temperatur gehalten wird. D.h. während der ganzen Zeit muss die Energie für den Eigenbedarf als Fremdenergie zur Verfügung stehen. Im Störfall ist dies aber u.U. nicht gewährleistet, zumal die Störungsursache womöglich umfangreiche Reparaturen erfordert. Es gibt nur wenige Kraftwerke, welche die sog. „Schwarzstartfähigkeit“ haben, d.h. ohne bzw. mit minimaler Fremdenergie (z.B. Starterbatterie) nach einem „Blackout“ hochgefahren werden können. Dies sind meist kleinere Gaskraftwerke und Wasserkraftwerke, einschließlich Pumpspeicher-Kraftwerke. Man bekommt eine Vorstellung davon, welche technischen und organisatorischen Probleme bei einem Netzzusammenbruch auftreten und warum die Wiederherstellung des Netzes lange dauern kann (siehe hierzu auch Kapitel 7.6).

Die nächsten Kapitel behandeln, wo denn das Heizmaterial für die Kraftwerke, die Primärenergie, herkommt.

5 Fossile Energieträger

5.1 Allgemeines, externe Kosten, Jahrhundertsschäden

Unter dem Begriff „Primärenergie“ werden alle Energieträger zusammengefasst, deren Energieinhalt in den Kraftwerken in elektrische Energie umgewandelt wird. [Fossile Energieträger](#) sind solche, die vor etwa 350 Millionen Jahren durch natürliche Prozesse entstanden sind und in der Erdkruste eingelagert wurden. Riesige Sumpfwälder filterten das in der Atmosphäre reichlich vorhandene CO₂ heraus, bauten mit Hilfe von Sonnenenergie und Photosynthese den Kohlenstoff in ihre Substanz ein und gaben den Sauerstoff in die Atmosphäre ab. Abgestorbene Pflanzenreste versanken in den Sümpfen, wurden vom Luftsauerstoff isoliert und konnten nicht verrotten. So bildeten sich Kohlenstoff-Konzentrate, zunächst Torf, dann, als dieser durch Umschichtungen in der Erdkruste unter höhere Drücke und Temperaturen geriet, Braunkohle und später Steinkohle. Vor etwa 65 Millionen Jahren entstanden unsere heutigen Braunkohlevorkommen. Ähnlich verliefen die Prozesse, aus denen Erdöl und Erdgas entstanden. Nur waren hierbei die Grundsubstanz tierische Meereslebewesen (Algen, Plankton und Mikroorganismen), die nach dem Absterben von Sedimentschichten zugedeckt und konserviert wurden. Aus diesen bildeten sich dann im Wesentlichen Kohlenwasserstoff-Verbindungen, die Hauptbestandteile von Erdöl und Erdgas.

Diese „Bodenschätze“ graben wir jetzt wieder aus und verbrennen sie. Durch den Verbrennungsvorgang wird die darin gespeicherte Sonnenenergie in Form von Wärme wieder frei und, unter entsprechenden Verlusten (s.a. Kapitel 4.2 und 4.3), in den Kraftwerken in elektrische Energie umgewandelt. Dabei verbindet sich der Kohlenstoff wieder mit dem Sauerstoff der Verbrennungsluft zu CO₂. Der durch erdgeschichtliche Vorgänge vor Millionen Jahren angehaltene CO₂-Kreislauf wird, mittels vom Menschen gesteuerter Prozesse, wieder fortgesetzt.

Immer wenn solche Bodenschätze ans Tageslicht geholt werden, werden auch andere Substanzen mit gefördert, die wir eigentlich nicht haben wollen. Sie können umweltschädlich oder giftig sein und werden allgemein als „Schadstoffe“ bezeichnet. Im Wesentlichen sind dies Schwefel, Quecksilber, Methan und radioaktive Stoffe. Die Frage ist, ob man sie überhaupt vollständig abtrennen und sachgerecht entsorgen kann, damit sie keinen Schaden anrichten.

Bei der Förderung der Bodenschätze gibt es zahlreiche Nebenwirkungen, z.B. Bergschäden, die noch lange nachwirken werden. Man nennt sie auch „Jahrhundertsschäden“, weil unsere Nachfolgenerationen noch ihre Probleme damit haben werden.

Die fossil betriebenen Kraftwerke, haben immer noch den Löwenanteil an der deutschen Stromerzeugung, etwa 57 % (Stand 2013). Der Rest entfällt auf Kernkraftwerke (ca. 15 %), erneuerbare Energien (ca. 24 %) und sonstige (ca. 4 %).

Bei der Stromerzeugung treten verschiedene sog. „externe Kosten“ auf. Diese externen Kosten sind per [Definition](#) – vereinfacht gesagt: „... Auswirkungen, für die niemand bezahlt oder einen Ausgleich erhält. Sie werden nicht in das Entscheidungskalkül des Verursachers einbezogen. Sie ... können staatliche Interventionen notwendig werden lassen“, also Steuergelder. Siehe hierzu auch: [Energielexikon – Externe Kosten](#)

Teil I Energiewende – muss das sein?

Die folgende Tabelle zeigt für jeden einzelnen fossilen Energieträger den Anteil des erzeugten Stromes in % der gesamten Stromproduktion und diese externen Kosten pro kWh, die alleine für Umweltschäden anfallen. Diese Werte wurden nach einer allgemein anerkannten Berechnungsmethode des Umweltbundesamtes ermittelt und auf das Kostenniveau von 2014 hochgerechnet. Siehe auch: [Was Strom wirklich kostet](#), Abschnitt: Gesamtgesellschaftliche Kosten der Stromerzeugung im Jahr 2014, Unterabschnitt c) Externe Kosten

	Steinkohle	Braunkohle	Erdölprodukte	Erdgas
Stromanteil	20 %	26 %	1 %	10 %
Externe Kosten	9,5 ct/kWh	11,5 ct/kWh	Keine Angabe	5,2 ct/kWh

Zur Erinnerung: Der Strompreis an der Strombörse beträgt ca. 5 bis 6 ct/kWh. Vergleichbare Werte für externe Kosten der regenerativen Stromerzeugung sind für Photovoltaik 1,3 ct/kWh, Wind 0,3 ct/kWh, Wasser 0,2 ct/kWh.

5.2 Erdöl, Erdgas

Die deutschen Vorkommen an Öl und Erdgas sind nur marginal und haben für unsere gesamte Energiewirtschaft praktisch keine Bedeutung. Sie werden fast ausschließlich in großen Mengen importiert. Somit ist Deutschland für lokale Folgeschäden durch die Förderung nicht verantwortlich. Wohl ist aber eine gewisse moralische Mitverantwortung aufgrund unseres hohen Verbrauchs gegeben, vor allem auch für Umweltschäden durch Unfälle beim Bohren und Transport, wie Lecks in Pipelines, Tankerunfälle.

Für die Stromerzeugung hat Öl nur eine untergeordnete Bedeutung. Der wesentliche Verwendungszweck für Erdöl ist die Produktion der Kraftstoffe für den Verkehr. Diese haben im Vergleich zu allen anderen fossilen Energieträgern die höchste Energiedichte (kWh/kg), weshalb sie sich besonders gut für alle mobilen Geräte eignen, die ihren Energievorrat gespeichert mit sich führen müssen.

Die Erdgas-betriebenen Kraftwerke haben, wegen ihrer guten Regelbarkeit, ihre besondere Bedeutung als Regelkraftwerke für die sich ständig ändernde Belastung des Netzes. Sie sind die notwendige Ergänzung zu den großen trägen Dampfkraftwerken (Kohle oder Uran), die für diese Aufgabe völlig ungeeignet sind (s.a. Kapitel 4.1-4.3). Da dieser Energieträger in gasförmiger Form vorliegt, sind sehr große Volumina zu transportieren. Ein grober Vergleich zeigt das: Für den Energieinhalt von einem Liter Benzin oder Diesel benötigt man ca. 1m³ Erdgas.

Erdgas wird fast ausschließlich über einige mehrere Tausend km lange Gasleitungen importiert. Hauptlieferant ist Russland mit ca. 38 % der von Deutschland benötigten Erdgasmenge. Damit entsteht eine gewisse Abhängigkeit von der „politischen Wetterlage“. Deutschland verfügt zwar über große Gasspeicher, die einen mehrmonatigen Lieferengpass überbrücken könnten, aber eine „second source“ für diese Mengen gibt es praktisch nicht. Es gibt Überlegungen, Erdgas in verflüssigter Form ähnlich wie Rohöl mit speziellen Tankschiffen zu transportieren. Hierfür muss das Gas auf -160°C herunter gekühlt werden. Es sind also spezielle Schiffe sowie Be- und Entladeeinrichtungen notwendig, die es in dem Umfang noch nicht gibt. Eine solche globale Infrastruktur aufzubauen würde mehrere Jahre dauern. Außerdem ist das Risikopotential deutlich höher als beim Erdöltransport.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Alle Detailinformationen zu Erdgas siehe [hier](#).

In der ZDF-Sendereihe „Lesch's Kosmos“ ist der Beitrag „[Machtfaktor Gas](#)“ eine gute und leicht verständliche Übersicht der gesamten Gaswirtschaft.

Bei der Erdölförderung treten häufig Gasgemische mit aus, die nicht weiter nutzbar sind. Bestandteile sind Kohlenwasserstoffe und Methan. Entweder werden sie abgefackelt und bilden wieder CO₂, welches in die Atmosphäre gelangt oder, im ungünstigsten Fall, gelangt das Methan – ein extrem klimawirksames Gas – direkt in die Atmosphäre.

Erdgasvorkommen sind häufig mit Quecksilber belastet, ein giftig wirkendes Schwermetall. Es ist zunächst wegen der hohen Drücke und Temperaturen auch gasförmig im Erdgas enthalten. Bei der Förderung kondensiert es dann in den Rohrleitungen in seine flüssige Form und sammelt sich in den Armaturen. Die sachgerechte Entsorgung ist bei diesen Mengen nicht einfach. Z.B. wurde auf einer Erdgasförderstelle in Altmark (ehemalige DDR) bei einer Jahresproduktion von 10 Mrd. m³ Erdgas 16 t Quecksilber gewonnen und industriell weiter genutzt. Wieviel darüber hinaus in die Umwelt gelangte, ist unbekannt. Es kam dort jedoch zu erheblichen Umwelt- und Gesundheitsschäden.

5.3 Steinkohle

Steinkohle war in Deutschland in ausreichenden Mengen vorhanden. Während in den 50er und 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts Kohleflöze in etwa 400 m bis 600 m Tiefe abgebaut wurden, ist man heute bei etwa 1500 m bis 1600 m angelangt. D.h., die Förderkosten sind extrem angestiegen. Schon in der 2. Hälfte der 60er Jahre wurde importierte Steinkohle billiger als unsere eigene, zumal in einigen Regionen der Erde Steinkohle im Tagebau gefördert werden kann. Heute stehen ca. 24 Millionen Tonnen Eigenförderung mit abnehmender Tendenz ca. 45 Millionen Tonnen Import-Steinkohle gegenüber. Wichtigster Lieferant mit ca. 10 Millionen Tonnen ist Russland.

Beim Steinkohleabbau wird ebenfalls häufig Methan freigesetzt. Für Bergleute eine Horrorvorstellung, denn Methan bildet in einem bestimmten Mischungsverhältnis mit Luft eine hoch explosive Mixtur, die sog. „schlagenden Wetter“. Deren Druckwelle und Flammenfront löst dann häufig noch eine Kohlenstaubexplosion aus, die noch verheerendere Wirkungen hat. Viele schwere Bergbauunfälle mit unzähligen Toten und Verletzten sind so passiert. Um das zu verhindern wird versucht, durch entsprechende Belüftungsmaßnahmen das Mischungsverhältnis immer unter dem kritischen Wert zu halten. Das bedeutet aber nichts anderes, als dass das Methan abgesaugt und in die freie Atmosphäre entlassen wird. Wir erinnern uns: Methan ist extrem klimawirksam.

In Deutschland wird [Steinkohlenbergbau](#) im Tiefbau und üblicherweise im sog. Streb-[Bruchbau](#) abgebaut. D.h., die Hohlräume, die durch den Abbau der großflächigen Kohleflöze entstehen, die eine Mächtigkeit von wenigen cm bis über 2m haben können, werden im Bereich der Abbaustrecke durch Pfeiler abgestützt. Ist der Abbau weiter fortgeschritten, werden diese Pfeiler abgebaut, um sie weiter vorne wieder zu verwenden. Das Gebirge über den Kohleflözen ist meist nicht stabil und bricht langsam ein. Diese Brüche setzen sich im Laufe der Jahre nach oben fort und führen dann an der Erdoberfläche zu sog. Bergschäden.

Teil I Energiewende – muss das sein?

[Bergschäden](#) sind zunächst „nur“ Erdbodenabsenkungen. Bis zu 15m wurden im Ruhrgebiet schon gemessen. Im unbebauten Gelände führt das zu Änderungen der Grundwasserströme. Landwirtschaftlich genutzte Flächen versumpfen, weil das Grundwasser aus diesen Absenkungen nicht mehr abfließt. Fließgewässer können ihren Lauf verändern, müssen umgeleitet oder eingedeicht werden. Der so zivilisierte Rhein liegt streckenweise heute schon 5m über der angrenzenden Erdoberfläche. Ein Dambruch würde große Flächen in eine Seenlandschaft verwandeln. Straßen und Eisenbahnlinien können schwer beschädigt werden. Sie müssen kostenaufwändig saniert oder verlegt werden. In bebauten Gebieten, und das gesamte Ruhrgebiet ist praktisch vom Bergbau unterminiert, kommt es zu Gebäudeschäden, die teilweise nicht reparabel sind. Es hat schon [trichterförmige Einbrüche](#) gegeben, in denen ein ganzes Einfamilienhaus verschwunden ist. Mit solchen Bergschäden werden sich noch unsere Nachfolgenerationen befassen müssen (s.a. „externe Kosten“ Kapitel 5.1).

In der Mediathek des WDR gibt es ein Video mit dem Wissenschaftsjournalisten Ranga Yogeschwar „[Schicht im Schacht](#)“. Dieser Film ist eine Kulturgeschichte des deutschen Steinkohlebergbaus. Er beschreibt die Anfänge bis zur heutigen Situation, in der immer mehr Förderschächte stillgelegt werden müssen, bis zu den zukünftig notwendigen Folgeaktivitäten und Kosten nach der kompletten Beendigung des Steinkohlebergbaus in Deutschland, um die weiteren Folgeschäden (Jahrhundertschäden) wenigstens einigermaßen in den Griff zu bekommen.

Weitere Informationen über die Konventionellen Energieträger findet man beim:

[Bundesministerium für Wirtschaft und Energie](#)

[Dem statistischen Bundesamt](#) (aktualisiert für das Jahr 2017)

Im nächsten Kapitel wenden wir uns dem Braunkohlebergbau zu.

5.4 Braunkohle

Braunkohle ist jünger als Steinkohle, „nur“ etwa 65 Millionen Jahre alt. Der Kohlenstoff ist nicht so hoch komprimiert und enthält viel Wasser. Der Brennwert beträgt deshalb nur etwa 72 % des Brennwertes der Steinkohle. Deutschland hat erhebliche Vorkommen von Braunkohle. Man findet sie in höheren Schichten, so dass sie im Tagebau abgebaut werden kann. Dies sind Gründe, warum sich nach Kriegsende der Wiederaufbau unserer Stromversorgung auf diesen fossilen Energieträger konzentrierte, trotz seiner vielfältigen Nachteile.

Tagebau, das hört sich so einfach an, aber die Auswirkungen sind gravierend. Die großflächigen Braunkohlenflöze liegen in mehreren Schichten übereinander. Sie sind in Deutschland zwar näher an der Erdoberfläche als Steinkohle, aber stellenweise müssen auch hier erst mal 100 m Deckschicht abgebaggert werden, bis man das oberste Kohlenflöz erreicht. Um an die Kohle zu kommen, muss insgesamt etwa die 3- bis 5-fache Menge sog. „Abraum“ abgebaggert und irgendwo gelagert werden. Hierfür werden ebenfalls erhebliche Flächen verbraucht. Dies findet nicht in einer menschenleeren Wüste statt, sondern mitten in Deutschland, auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, mit einer über Jahrhunderte entstandenen dörflichen Besiedelung. Es gibt, neben mehreren kleineren, drei große [Abbaugebiete in Deutschland](#): das [rheinische Braunkohlenrevier](#) zwischen Köln und Aachen, das mitteldeutsche Braunkohlenrevier zwischen Halle – Leipzig – Quedlinburg und das Lausitzer

Teil I Energiewende – muss das sein?

Braunkohlenrevier. Diese Landschaften werden nachhaltig zerstört. Der Flächenverbrauch aller deutschen Braunkohle-Tagebaue beträgt bisher ca. 2400 km². Das ist die 4-fache Fläche des Bodensees, bzw. nahezu die Fläche des Saarlandes (2570 km²). Die Zahl der auf diesen Flächen [abgebaggerten Dörfer](#) und der mit dem Abraum zugeschütteten geht in die Hunderte. Die dort lebende Bevölkerung wurde „umgesiedelt“. Allein für das rheinische Braunkohlenrevier rechnet man, dass davon insgesamt 45.000 Menschen betroffen sind. „Umsiedeln“, das hört sich für Außenstehende harmlos an und wird auch sicher „sozialverträglich“ abgewickelt, aber für die betroffenen Familien, die vielleicht schon seit Generationen dort einen Bauernhof bewirtschaftet haben, ist es schlicht eine „Enteignung“.

Nicht nur Menschen werden enteignet, allen dortigen Pflanzen und Tieren wird der Lebensraum genommen. Weder Jahrhunderte alte Wälder, Biotope, seltene Pflanzen und Tiere, noch der Denkmalschutz sind eine Diskussion wert. Das Bergrecht hat die höhere Wertigkeit gegenüber Natur- und Tierschutz oder Denkmalschutz. Eine Maßnahme, die in der Wiederaufbauphase nach dem Krieg verständlich war, der aber heute ganz andere Möglichkeiten gegenüberstehen. Nur hat sich hieraus ein so bedeutender Markt für unsere Wirtschaft entwickelt, der auch nicht so einfach „sozialverträglich“ abgewickelt werden kann.

Damit die Braunkohle in diesen Gruben abgebaut werden kann, darf kein Wasser in sie hineinfließen. Dazu müssen zunächst alle oberirdischen Wasserläufe großräumig umgeleitet werden. Weiterhin muss das Grundwasser deutlich unter die tiefste Sohle abgesenkt werden. Im rheinischen Braunkohlenrevier ist die Grube Hambach bereits bei 470 m Tiefe angelangt. Eine solch extreme Grundwasserabsenkung setzt sich außerhalb der eigentlichen Grube trichterförmig fort. Die Auswirkungen sind in Entfernungen von bis zu 15 bis 20 km zur Grube feststellbar, mit entsprechenden Schäden in der Landwirtschaft und den verbliebenen Wäldern. Das sind einige 100 km², die zusätzlich zu der direkten Landschaftszerstörung betroffen sind. In diesem Bereich führt die Grundwasserabsenkung zudem zu Bodensenkungen, die Bergschäden verursachen, ähnlich wie in den Steinkohlerevieren.

Als mitgeförderte Schadstoffe sind primär Schwefel, Quecksilber und auch einige radioaktive Substanzen zu nennen. Nach der Verbrennung findet man diese Stoffe in der Asche und, trotz aufwendiger Rauchgas-Filteranlagen, als Feinstaub in den Abgasen. In den Rauchgasen sind neben CO₂ noch Schwefeldioxid, Stickstoffoxide sowie gasförmiges Quecksilber enthalten. Im Feinstaub findet man die krebserregenden Schwermetalle Blei, Cadmium und Nickel. Nach einer Untersuchung des [Umweltbundesamtes](#) werden von der Industrie pro Jahr ca. 8 bis 10 Tonnen Quecksilber in die Umwelt freigesetzt, überwiegend in die Luft. Davon stammen 65 % aus dem Energiesektor, d.h. aus den Kohlekraftwerken (s.a. [Kohlekraftwerke im Fokus der Quecksilberstrategie](#), Tabelle 3 Seite 5).

Die Schadstoffemissionen aller großen europäischen Kohlekraftwerke sind im Europäischen Schadstoffemissionsregister veröffentlicht. Eine Auswertung der EU-Kommission ergab, dass unter den zehn klima-, umwelt- und gesundheitsschädlichsten Anlagen in Europa fünf deutsche Braunkohlekraftwerke sind.

Die Bergbaugesellschaften sind gesetzlich, verpflichtet ihre Tagebaue nach der Auskohlung, die sog. Restlöcher, wieder zu „rekultivieren“. Wie wird das in der Praxis sein? Für ein Wiederherstellen der alten Landschaft hat man nicht genug Material, um diese Restlöcher wieder aufzufüllen. Etwa 20 % bis 30 % des ausgebaggerten Materials wurde ja verbrannt. Man kann die Löcher nur mit Wasser füllen und mit dem Aushub die Uferzonen etwas kultivieren. Geplant ist eine Seenlandschaft. Jedes Restloch ein See. Zwei Beispiele: Der „Restsee“ al-

lein des Tagebaus Inden, ein relativ kleiner Tagebau im rheinischen Braunkohlerevier, wird die Größe des Tegernsees haben. Der Restsee des Tagebaus Hambach wird der tiefste deutsche Binnensee (470 m), mit fast der gleichen Wassermenge wie der Bodensee. Das Ganze soll ein Naherholungsgebiet werden. Wie sich diese Wassermassen auf das Kleinklima auswirken, welche Folgewirkungen für das Grundwasser zu erwarten sind und was evtl. an Schadstoffen aus den Tiefenbereichen in die Seen und ins Grundwasser hinein gespült wird, ist völlig ungewiss.

Fazit: Der fossile Energieträger mit dem schlechtesten Brennwert, von dem wir deshalb am meisten brauchen, mit der höchsten direkten Umweltbelastung und Landschaftszerstörung, mit den gravierendsten Klima-, Umwelt- und gesundheitsschädlichen Auswirkungen, produziert im deutschen Energiemix den meisten Strom.

Nachdem schon häufig die Klimabeeinflussung angesprochen wurde, wird in den nächsten Kapiteln dieses Thema genauer behandelt.

6. Klima

6.1 Ein wenig Wärmephysik

Wir wollen uns jetzt mit dem Klima und Klimaveränderungen befassen. Um diese Vorgänge aber richtig zu verstehen, ist ein kleiner Abstecher in die Wärmelehre der Physik notwendig. Keine Angst vor Physik. Es ist etwas, das täglich in der Küche praktiziert wird. Wir beginnen mit einem kleinen Experiment. Dieses kann man als Gedankenexperiment nachvollziehen, aber auch in der Küche praktisch ausprobieren.

Wir füllen einen Topf halbvoll mit Wasser, stellen ihn auf den Herd und schalten den Herd auf die kleinste Stufe. Der Wassertopf wird sich langsam erwärmen und man wird feststellen, dass nach einer gewissen Zeit die Temperatur nicht mehr steigt, sondern konstant bleibt. Warum? Im Kapitel 4.1 – Kraftwerkstypen hatten wir schon gesehen, dass Wärme eine sehr flüchtige Energieform ist, die das Bestreben hat, in ihre kältere Umgebung abzufließen. Genau das passiert hier, wenn der Topf sich außen erwärmt. Je höher die Temperatur wird, umso mehr Energie fließt ab. Irgendwann fließt genauso viel Energie ab, wie durch die Heizfläche zugeführt wird. Es herrscht ein Gleichgewichtszustand und die Temperatur bleibt konstant. Man nennt diese auch „Beharrungstemperatur“.

Wir stellen den Herd eine Stufe höher. Jetzt steigt die Temperatur wieder und bleibt auf einem höheren Wert konstant. Auf keinen Fall darf das Wasser bei unserem Experiment anfangen zu kochen. Dann kämen andere physikalische Vorgänge mit ins Spiel, wie in Kapitel 4.3 für den Dampfkreislauf beschrieben.

Wenn wir die Energiezufuhr wieder stufenweise zurückschalten, stellen wir fest, dass sich nach einer Zeit wieder dieselben Temperaturen einstellen wie beim ersten Erwärmen. Und die Zeitdauer, nach der sich jeweils dieselbe Beharrungstemperatur einstellt, ist in etwa genauso lang wie bei der Erwärmung.

Wir wiederholen die Versuchsreihe, jetzt aber mit vollem Wassertopf. Wir werden feststellen, die Beharrungstemperaturen, die sich einstellen, sind dieselben. Allerdings sind die Zeiten, bis sie sich einstellen, etwa doppelt so lang.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Sie sagen das sind doch Banalitäten. Richtig! Es sind Banalitäten, weil sie unserer täglichen Lebenserfahrung entsprechen. Diese Banalitäten folgen aber grundlegenden, unveränderlichen Naturgesetzen, die sich auf viele andere Vorgänge übertragen lassen, bis hin zu Klimaveränderungen. Wir halten folgende Erkenntnisse fest:

1. Wird einem Medium (Festkörper, Flüssigkeit oder Gas) Energie zugeführt, so erhöht sich dessen Temperatur. Die zugeführte Energie wurde „absorbiert“, in Wärmeenergie umgewandelt und gespeichert. Je größer die Masse, umso mehr Energie kann gespeichert werden.
2. Eine Beharrungstemperatur stellt sich ein, wenn sich eine Balance zwischen zugeführter und abgeführter Energie eingestellt hat.
3. Dieser Vorgang benötigt Zeit. Der Techniker spricht von einer „Zeitkonstanten“. Hinter diesem Begriff verbirgt sich eine mathematische Funktion, mit der sich alle zeitabhängigen Vorgänge in Natur und Technik beschreiben lassen, die einem neuen Beharrungszustand/Gleichgewichtszustand zustreben. In unserem Fall wird dieser Begriff noch präzisiert als „thermische Zeitkonstante“.
4. Für Erwärmungs- und Abkühlungsvorgänge ist diese thermische Zeitkonstante annähernd gleich.
5. Die Größe dieser thermischen Zeitkonstanten ist abhängig von der Masse des betroffenen Mediums. Je größer die Masse, umso länger die Zeitkonstante.

Wie wir mit diesen „banalen“ Erkenntnissen auf Basis von Naturgesetzen unsere direkte Umwelt bis hin zum Wetter und Klima besser verstehen können, damit beschäftigen wir uns in den nächsten Kapiteln.

6.2 Die Bedeutung der Zeitkonstanten

Wie lassen sich die Erkenntnisse unseres kleinen Experimentes des letzten Kapitels auf unsere Umwelt anwenden?

Zur thermischen Zeitkonstante: Bei unserem Wassertopf (kleine Masse) hatten wir es mit Zeitkonstanten im Minutenbereich zu tun. Die Verdopplung der Wassermenge (Masse) verdoppelte auch die Zeitkonstante.

Bei einem Haus (größere Masse) haben wir Zeitkonstanten im Stundenbereich. Erkennbar daran, dass es einige Stunden dauert, bis nach Einschalten der Heizung die Zimmer warm werden, bzw. nach deren Abschalten es nicht sofort kalt wird.

Wird das Haus zusätzlich isoliert, d.h. die Energieabfuhr behindert, wird auch der Energieaufwand kleiner, um innen dieselbe Beharrungstemperatur zu erreichen und konstant zu halten bzw. bei gleichem Energieaufwand steigt die Innentemperatur in der gleichen Zeit auf eine höhere Temperatur.

Mit diesem Wissen wird auch verständlich, warum große Dampfkraftwerke, wie in Kapitel 4.2 und 4.3 beschrieben, so träge und für schnelle Regelvorgänge ungeeignet sind. Um den Heißdampf zu erzeugen, welcher die Energie der Primärenergie (Kohle, Uran) zur Dampfturbine transportiert, müssen erhebliche Wassermengen verkocht und weiter aufgeheizt werden. Hier ergeben sich thermische Zeitkonstanten im Stundenbereich. Solche Vorgänge können nicht schneller geregelt werden als es die thermische Zeitkonstante zulässt.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Diese Zusammenhänge gelten auch für den ganzen Erdball, allerdings etwas komplexer. Die Erde ist kein homogenes Gebilde wie ein Wassertopf. Sie besteht aus riesigen Wasserflächen, die sich thermisch anders verhalten als Landflächen. Diese sind thermisch auch nicht homogen. Felsengebirge, Wüstensand, tropische Regenwälder, Schnee- und Eisflächen – alle haben ein unterschiedliches thermisches Verhalten. Hinzu kommt, dass es zu erheblichen lokalen Unterschieden und zeitlichen Veränderungen kommt, obwohl die Energieeinstrahlung der Sonne annähernd konstant ist

Wir haben einen extremen Tag-Nacht-Rhythmus, zwischen maximaler Energieeinstrahlung um die Mittagszeit und null Einstrahlung in der Nacht. Hier ergeben sich Zeitkonstanten im Stundenbereich. Erkennbar daran, dass die höchsten Tagestemperaturen erst gegen 15:00 Uhr auftreten und, nach Sonnenuntergang, noch stundenlang angenehme Temperaturen herrschen.

Wir haben einen ausgeprägten Jahreszeiten-Rhythmus. Hier ergeben sich Zeitkonstanten im Wochen bis Monatsbereich. Erkennbar daran, dass die höchsten Sommertemperaturen nicht zum Zeitpunkt der höchsten Einstrahlung, der Sommersonnwende, auftreten, sondern 1 bis 2 Monate später. Genauso sind die kältesten Wintertemperaturen nicht bei der Wintersonnwende, sondern meist erst im Januar/Februar.

Diese Vorgänge sind ineinander geschachtelt, beeinflussen sich gegenseitig und sind sehr stark von lokalen Einflüssen geprägt, z.B. Küstennähe oder Hochgebirge. Will man wissen, wie sich bestimmte Veränderungen auf den gesamten Erdball auswirken, müssen diese lokalen und zeitlichen Einflüsse herausgefiltert werden. Dazu dient ein rechnerischer Temperaturwert, der einen Mittelwert über alle Regionen der Erde und über mehrere Jahre abbildet. Hier wirkt sich die ungeheuer große Masse der Erde aus. Es ergeben sich thermische Zeitkonstanten im Bereich mehrerer Jahrzehnte, vielleicht ein Jahrhundert. Deshalb wird uns eine Klimaveränderung nicht unmittelbar bewusst, weil sie in Zeiträumen abläuft, die größer sind als unsere persönliche Lebenserfahrung,

Jedoch die Tatsache, dass wir durch Messwerte über einen Zeitraum von etwa 150 Jahren eine kontinuierliche Klimaerwärmung feststellen können, lässt den Schluss zu, dass sich an der Energiebilanz der Erde etwas geändert hat. Hierzu mehr in den nächsten Kapiteln.

6.3 Energiehaushalt der Erde

Wir wollen uns die Energiebilanz der Erde genauer ansehen, um in weiteren Folgen abzuleiten, welche Änderungen eine globale Erwärmung verursachen können.

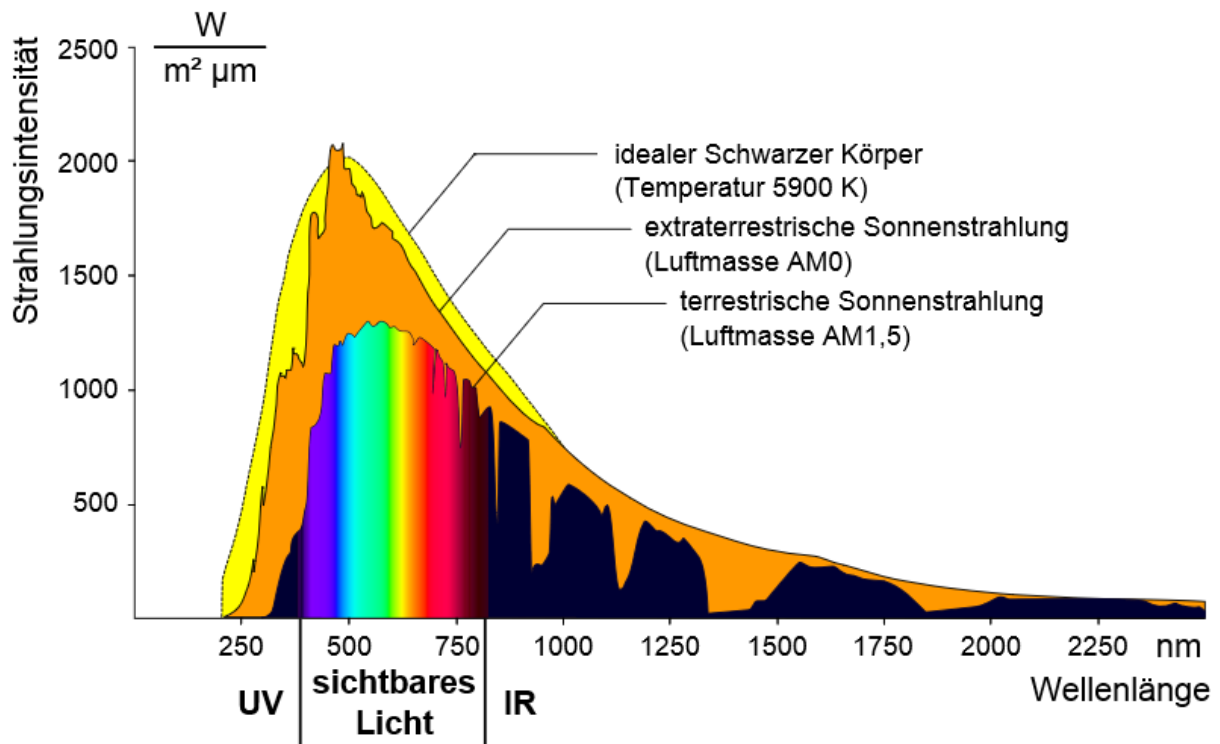
Unser Energielieferant, die Sonne, versorgt uns mit [Strahlungsenergie](#). Dies ist eine elektromagnetische Strahlung wie auch die Radiowellen. Ein Radiosender strahlt seine Energie nur auf einer spezifizierten Frequenz aus. Dagegen bietet uns die Sonne das gesamte elektromagnetische Spektrum an, von der kurzwelligen Röntgenstrahlung, über UV-Strahlung, sichtbarem Licht, der langwelligen Infrarotstrahlung bis hin zu Mikrowellen- und Radiostrahlung.

Das Maximum der Strahlungsstärke liegt bei dem kurzwelligen, sichtbaren Licht. Relativ gering ist der Anteil der langwelligen Infrarotstrahlung, häufig auch „Wärmestrahlung“ genannt. Was wir beim Sonnenbaden als „Wärmestrahlung“ empfinden, ist überwiegend kurzwellige

Teil I Energiewende – muss das sein?

(kalte) Strahlung, die von unserem Körper absorbiert und in Wärme umgewandelt wird, wie bei unserem Wassertopfexperiment.

Dieses Strahlungspaket der Sonne trifft auf die Lufthülle der Erde. Ein kleiner Teil dieser Strahlungsenergie im UV-Bereich wird bereits durch die Ozonschicht absorbiert. Das ist gut, denn zu viel UV-Strahlung ist für Organismen schädlich. Wie wir schon wissen: die früher in Kühlschränken und Spraydosen verwendeten Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) zerstörten die Ozonschicht, ein erster deutlich spürbarer schädlicher Einfluss des Menschen auf die Qualität und lebenserhaltenden Funktionen unserer Atmosphäre.



Quelle: Wikipedia. Intensität der Sonnenstrahlung bei [AM0](#) (erdnaher Weltraum) und [AM1,5](#) (etwa zum [Sonnenhöchststand](#) in Karlsruhe) im Vergleich zur Emission eines idealen Schwarzen Körpers bei einer Temperatur von 5900 K.

Ein weiterer Teil wird durch lokale Wolken zurück in den Weltraum reflektiert. Der größte Teil jedoch kann die Atmosphäre nahezu ungehindert durchdringen und erreicht die Erdoberfläche. Unsere [Atmosphäre](#) besteht im Wesentlichen aus Stickstoff und Sauerstoff. Geringfügig beigemischt sind noch Gase wie Wasserdampf, Kohlendioxyd (CO_2), Methan, Lachgas und Ozon. Diese bezeichnet man auch als „[Klimagase oder Treibhausgase](#)“. Sie sind für die Klimaverhältnisse von entscheidender Bedeutung, wie wir später noch sehen werden. Für das Strahlungsspektrum der Sonne ist dieses Gasgemisch durchlässig wie eine Glasscheibe für Licht.

Der Teil der Strahlungsenergie, der auf Vegetation trifft, treibt einen neuen Prozess an, die [Fotosynthese](#). Hierbei wird das CO_2 der Luft aufgespalten, der Kohlenstoff in die Pflanze eingebaut und der Sauerstoff in die Luft abgegeben. Wenn diese Pflanzen später absterben und verrotten, läuft dieser Prozess wieder umgekehrt ab. Der Kohlenstoff verbindet sich mit dem Luftsauerstoff zu CO_2 und die Energie wird in Form von Wärme frei. Jeder Hobbygärtner weiß, welche Temperaturen in einem Komposthaufen entstehen. Diese Vorgänge bilden einen Kreisprozess, der erhebliche Mengen Energie und CO_2 für gewisse Zeit speichert und

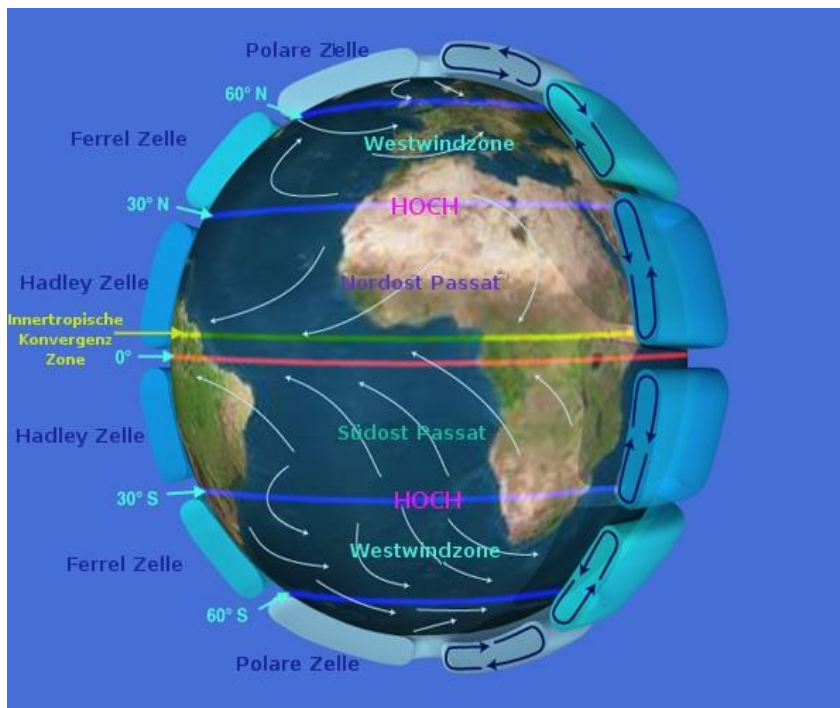
Teil I Energiewende – muss das sein?

damit aus dem Verkehr zieht. Die Speicherzeiten sind bei Jahrespflanzen 1 Jahr, können bei Urwäldern im Bereich einiger Jahrhunderte liegen, bei Mooren noch länger. Tatsächlich verkleinern sich aber die globalen Wälder und Moore ständig. D.h., die temporäre Speicherkapazität für CO₂ wird stetig kleiner und damit zusätzliches CO₂ freigesetzt, bzw. weniger CO₂ temporär gebunden.

Wir erinnern uns: Die Temperatur eines Körpers bleibt konstant, wenn seine Energiebilanz ausgeglichen ist. Was geschieht nun mit der eingestrahnten Sonnenenergie um dieses Naturgesetz zu erfüllen?

Wir haben gesehen: Ein kleiner Teil der Sonnenenergie wird in der Ozonschicht absorbiert. Ein weiterer Teil wird von Wolken wieder in den Weltraum reflektiert. Diese Teile sind also kaum klimawirksam. Die Energie, die für die Fotosynthese „verbraucht“ wird, ist längerfristig in der Wärmebilanz neutral, denn dieselbe Energie wird beim Verrotten wieder frei.

Der größte Teil der Strahlungsenergie trifft jedoch auf Materie (Land, Wasser oder auch Schnee an den Polen), wird von dieser absorbiert und in Wärme umgewandelt (s.a. Kapitel 6.1). Diese Wärme erwärmt zum Teil auch die darüber liegenden Luftschichten, jedoch global mit erheblichen Unterschieden. In Äquatornähe, wo die Sonnenstrahlen nahezu senkrecht auftreffen, ist die Energiedichte am höchsten und damit auch die Temperaturen. Zu den Polen hin, wo die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche nur noch tangential berühren, geht die Energiedichte gegen null, die Temperaturen dort sind schon aus diesem Grund sehr niedrig. Hinzu kommt an den Polen ein verstärkter „Albedo-Effekt“. Hierunter versteht man die Fähigkeit eines Untergrundes, eingestrahktes Licht/Energie (s.a. Kapitel 6.3) zu reflektieren. Dunkle Flächen reflektieren weniger, Wälder z.B. 5 % bis 20 %, helle oder weiße Flächen mehr, Schnee z.B. 80 % bis 90 %. Dementsprechend gering ist die Restenergie, die vom Untergrund direkt in Wärme umgesetzt werden kann.



Energieeinstrahlung in Wasser führt außer zu dessen Erwärmung auch zur Verdunstung von Wasser. Es entsteht gasförmiges Wasser bzw. Wasserdampf. Dieses warme Luft-Wasserdampf-Gemisch hat eine geringere Dichte als die trockene Luft der Umgebung und steigt deshalb nach oben. Dadurch entsteht in Äquatornähe ein bodennahes Tiefdruckgebiet (Wärmetief), welches durch entsprechende Winde von Norden und Süden mit

Quelle Wikipedia; Gemeinfrei,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4094151> Vereinfachtes Schema der globalen Windzirkulation in etwa während der Zeiten der [Tagundnachtgleiche](#)

Teil I Energiewende – muss das sein?

kälterer Luft aufgefüllt wird. In der Höhe strömen die aufgestiegenen Luftmassen in Richtung der Pole ab. Etwa an dem 30. bis 40. Breitengrad sinken sie wieder ab, womit sich der Kreis (Äquatoriale Zirkulation) schließt. Das Gegenteil passiert an den Polen. Hier sinken die kalten Luftmassen ab. Es entsteht ein Hochdruckgebiet (Kältehoch). In Bodennähe fließen diese Luftmassen in Richtung Äquator ab, steigen etwa im Bereich des 70. bis 60. Breitengrades wieder auf. Auch dieser Kreis (Polare Zirkulation) ist geschlossen. Die Lücke zwischen diesen beiden Zirkulationssystemen wird, angetrieben von diesen, durch einen dritten Kreis geschlossen, der im Wesentlichen unser Wetter bestimmt. Es sind auf jeder Halbkugel 3 globale Zirkulationssysteme entstanden. Diese werden durch Effekte aus der Erddrehung (sog. [Corioliskraft](#)) in Ost-West-Richtung verzerrt. So entsteht ein globales Windsystem. Am Boden nennen wir es Passatwind, seit Jahrhunderten von der Seefahrt genutzt. In der Höhe nennen wir es Jetstream, von der modernen Luftfahrt seit etwa 50 Jahren genutzt. In diese globalen Windsysteme sind Hoch- und Tiefdruckgebiete eingelagert, die auch wieder durch regionale Temperaturunterschiede entstehen. Ähnliche Vorgänge laufen auch im Wasser der Ozeane ab, z.B. der Golfstrom.

So wird durch Sonnenenergie, ein gewaltiger Temperatur-Verteilungsmechanismus in Gang gesetzt, den wir Wetter nennen, insbesondere das, was wir schlechtes Wetter nennen. Wie wir in Kapitel 4.3 gesehen haben, wird sehr viel Energie benötigt, um Wasser in den gasförmigen Zustand (Wasserdampf) zu überführen. Diese Energie wird als Kondensationsenergie wieder frei, wenn der (unsichtbare) Wasserdampf zu (sichtbaren) Wolken auskondensiert und diese ausregnen. Im Wetterbericht wird manchmal im Zusammenhang mit [Tiefdruckgebieten](#) von Warm- und Kaltfronten gesprochen. Dies ist Ausdruck des Temperatur-Verteilungsmechanismus. Bei der Warmfront kommt dann meist auch ein Landregen. In diesem Wassertransport über die Zirkulationssysteme, aus den Warmgebieten über Verdunstung – Wasserdampf – Kondensation – Regen in die Kaltgebiete, steckt der Löwenanteil des Energietransportes. Dieser globale Temperatúrausgleich ist dafür verantwortlich, dass wir großräumig Temperaturverhältnisse haben, die ein höheres organisches Leben ermöglichen. Zwar mit sehr unterschiedlichen Klimazonen, was aber auch die Vielfalt des Lebens begründet.

Zurück zur Energiebilanz: Die so erzeugte und verteilte Wärme wird als Wärmestrahlung in den Weltraum abgestrahlt, um die Energiebilanz auszugleichen. Nun kommen die Klimagase in der Atmosphäre ins Spiel, das Thema des nächsten Kapitels.

6.4 Einfluss der Klimagase

Fassen wir nochmal zusammen: Der größte Teil der Sonnenstrahlung liegt im, für uns sichtbaren, Bereich der kurzwelligen Strahlungsenergie. Diese kann nahezu ungehindert die Atmosphäre durchdringen und erreicht die Erdoberfläche. Diese kurzwellige Strahlungsenergie kann von der Erdoberfläche, Land und Wasser, absorbiert und in Wärme umgesetzt werden. Dabei entstehen, abhängig von der geographischen Lage und der Bodenbeschaffenheit, erhebliche Temperaturunterschiede. Diese treiben über Winde und Meeresströmungen einen „Energie-Verteilungsmechanismus“ an, der diese Unterschiede mildert. In der Atmosphäre ist das Haupt-Transportmedium für die Wärmeenergie der (unsichtbare) Wasserdampf. Der Wetterbericht spricht von der „relativen Feuchte“. Als Wolke sichtbar wird der Wasserdampf für uns erst, wenn er zu kleinen Wassertröpfchen kondensiert, die, wenn sie größer werden,

Teil I Energiewende – muss das sein?

als Regen herunterfallen. Auf diese Weise werden außer Energie auch große Wassermengen transportiert. Beide sind Grundlagen für die Existenz von Leben.

Etwa 30 % der eingestrahlten kurzwelligigen Energie wird von Wolken und der Erdoberfläche, vor allem Eis und Schnee, als Lichtenergie zurückgestrahlt. Der größte Teil (70 %) wird jedoch in Wärme umgewandelt. Jeder Körper, der wärmer als seine Umgebung ist, strahlt seine Energie als langwellige Wärmestrahlung ab. Je wärmer er wird, umso mehr Energie kann er abstrahlen. Er erreicht eine ausgeglichene Energiebilanz und seine Temperatur bleibt konstant (s.a. Kapitel 6.1, unser Wassertopfexperiment). Dies gilt auch für die Erde als Ganzes. Ihre Umgebung, der Weltraum, hat eine Temperatur nahe des absoluten Nullpunkts, bei ca. -273 °C . Damit wäre auch die Energiebilanz der Erde ausgeglichen, es könnte sich eine konstante Temperatur einstellen. Diese läge allerdings bei etwa -18 °C . Das erscheint uns sehr kalt. Jedoch gemessen an der Umgebungstemperatur der Erde von -273 °C , ist dies bereits eine beträchtliche Erwärmung von etwa 255 °C .

Tatsächlich ist aber die gemittelte Erdoberflächentemperatur etwa $+15\text{ °C}$. Die oben dargestellte Energiebilanz ist somit noch unvollständig, es fehlen noch 33 °C . Rückblick auf unser Wassertopfexperiment und seine Schlussfolgerungen: Eine ausgeglichene Energiebilanz bei höherer Temperatur erfordert entweder eine höhere Energiezufuhr oder eine Behinderung der Energieabfuhr.

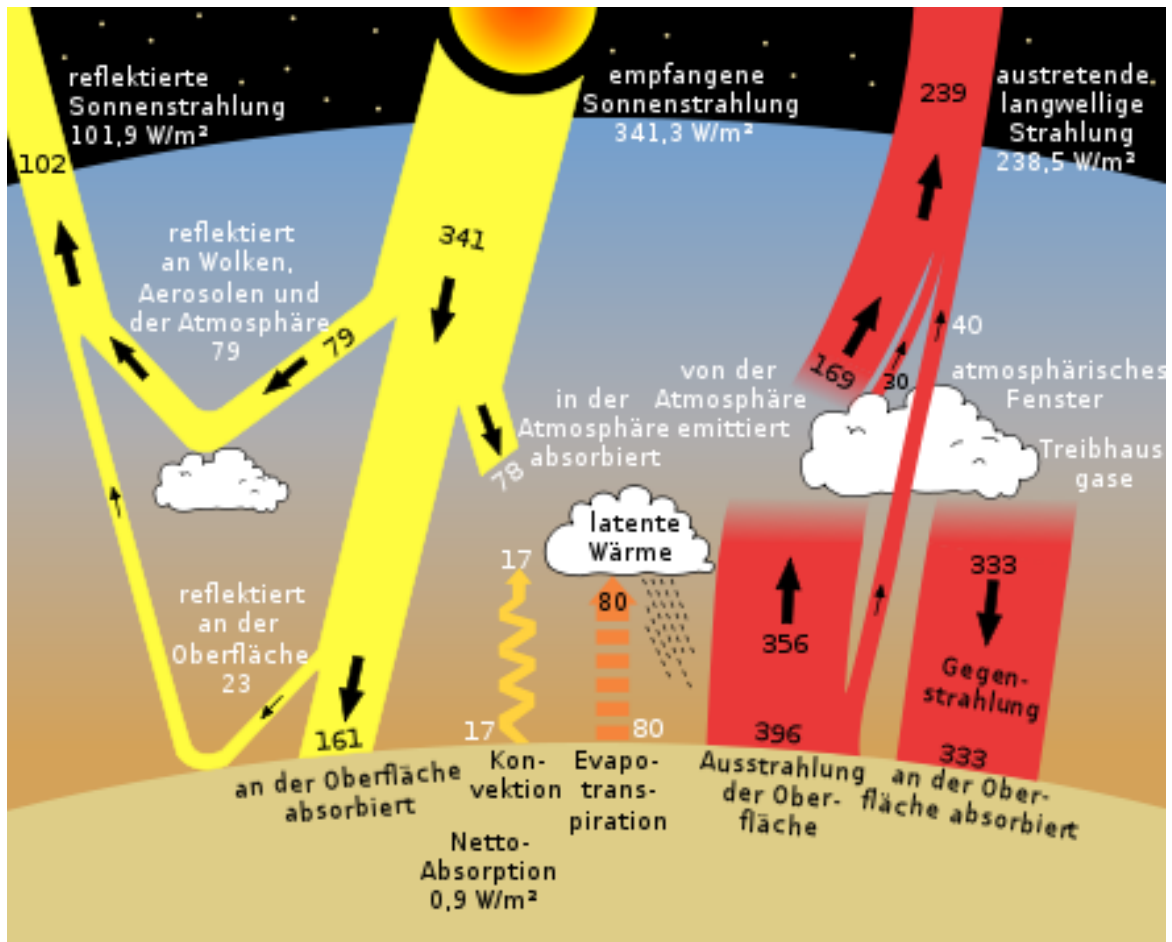
Hier kommen die Klimagase ins Spiel. Diese haben die Eigenschaft, dass sie eine kurzwellige Strahlung, also die Energieeinstrahlung der Sonne, nahezu ungehindert durchlassen. Sie können diese Wellenlänge nicht absorbieren. Langwellige Strahlung jedoch, also die Wärmearückstrahlung der Erde, können sie absorbieren, was wiederum eine Erhöhung ihrer Temperatur zur Folge hat. Man muss sich das etwa so vorstellen: In der Luftmasse, die durch Wärmeleitung und Durchmischung die Temperatur der Erdoberfläche annimmt, schweben weitere Gase, die andere energetische Eigenschaften haben und dadurch eine höhere Temperatur als ihre Umgebung annehmen. Diese Gase geben ebenfalls ihre absorbierte Energie in Form von Wärmestrahlung ab. Ihre Abstrahlung erfolgt nach allen Seiten, d.h., etwa zur Hälfte in den Weltraum und die andere Hälfte in Richtung Erdoberfläche, was dann hier zu einer zusätzlichen Erwärmung führt.

Die Wirkung ist ähnlich wie in einem Treibhaus, deshalb auch „[Treibhauseffekt](#)“ genannt. Die Energiebilanz ist erst bei einer höheren Temperatur – jetzt etwa $+15\text{ °C}$ ausgeglichen. Z.Z. ist die Erde allerdings nicht im thermischen Gleichgewicht, wie man oben im Bild erkennen kann. Es wird, bedingt durch die Klimagase, weniger Energie abgestrahlt als von der Sonne eingestrahlt wird. Mit der Folge, dass sich die Erde weiter aufheizt (s.a. unser Wassertopfexperiment Kapitel 6.1).

Die nennenswerten Klimagase sind Wasserdampf (H_2O), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas/Distickstoffmonoxid (N_2O) und Ozon (O_3).

Die Gesamtheit der Klimagase erzeugt eine zusätzliche Erwärmung von etwa 33 °C (siehe oben). Ohne diesen Effekt hätten wir ein Klima, in dem sich kein Leben in unserem Sinne entwickelt hätte. Der Anteil der einzelnen Gase an diesen 33 °C ist variabel. Eine Einflussgröße ist, wie effektiv das Gas die langwellige Strahlung absorbieren kann. Hier stehen Methan und Lachgas an der Spitze, gefolgt von Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf. Entscheidender ist aber, welche Mengen dieser Gase in der Luftmasse vorhanden sind. Hierbei kann es erhebliche regionale und zeitliche Unterschiede geben.

Teil I Energiewende – muss das sein?



Quelle Wikipedia. Kurzwellige Strahlung der Sonne trifft auf die Atmosphäre und Erdoberfläche. Langwellige Strahlung wird von der Erdoberfläche abgestrahlt und in der Atmosphäre fast vollständig absorbiert. Im thermischen Gleichgewicht wird die absorbierte Energie der Atmosphäre je zur Hälfte in Richtung Erde und Weltall abgestrahlt. Die Zahlen geben die Leistung der Strahlung in Watt/Quadratmeter für den Zeitraum 2000–2004 an. Die Erde befindet sich aktuell nicht im thermischen Gleichgewicht. Sie heizt sich auf durch die infolge menschlicher Aktivität erhöhte Konzentration von Treibhausgasen. **Der Einstrahlung in Höhe von 341,3 W/m² steht eine Abstrahlung von 340,4 W/m² gegenüber.**

Wasserdampf: Sein Anteil in der Luftmasse liegt zwischen 0 und 4 % Vol. Dies ist abhängig von der Lufttemperatur und ihrer Herkunft. Je wärmer die Luft umso mehr Wasserdampf kann sie aufnehmen. Eine Luftmasse, die sich über dem Atlantik erwärmt hat, konnte mehr Wasserdampf aufnehmen als eine, die sich, bei gleicher Temperatur, über der Sahara erwärmt hat. Der Wasserdampf ist im globalen Mittel für ca. 62 % des Treibhauseffektes (ca. 20,5°C) verantwortlich.

Kohlenstoffdioxid (CO₂): Auch hier gibt es regionale Unterschiede. Über Industriegebieten ist sein Anteil wesentlich höher als über Urwäldern, mit entsprechenden Rückwirkungen auf das regionale Klima. Sein Anteil an der Luftmasse beträgt z.Z. etwa 0,04 % Vol. Mit dieser kleinen Menge, nur ein Hundertstel der Wasserdampfmenge, ist er aber für ca. 22 % des Treibhauseffektes (ca. 7,5°C) verantwortlich. Damit wird deutlich, dass auch eine geringe Änderung der Menge bereits einen durchaus nennenswerten Einfluss auf die Temperatur hat. Für die viel diskutierte „akzeptable“ Klimaerwärmung von 2 bis 3°C würde eine Erhöhung des CO₂-Gehalts auf 0,05 % Vol. ausreichen.

Die restlichen 16 %, etwa 5°C, verantworten die 3 Klimagase Methan, Lachgas und Ozon.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Wir haben heute ein gutes Wissen über den Einfluss und die Wirksamkeit der [Klimagase](#). Wir wissen, dass wir ohne die Klimagase kein lebensfähiges Klima hätten. Nur mit dem Wasserdampf in der Luft, ohne die anderen Klimagase, hätten wir eine globale Durchschnittstemperatur um den Gefrierpunkt. Wenn die globale Durchschnittstemperatur bereits „nur“ unter +10°C absinkt, z.B. durch Fehlen von CO₂, lässt die nächste Eiszeit grüßen. Es ist also schlicht falsch, die Klimagase per se als „klimaschädlich“ oder gar als „Klimakiller“ zu bezeichnen. Ohne die Klimagase würden wir nicht existieren. Jedoch, für die Menschen wird eine Klimaveränderung schädlich, welche durch die Verschiebung der Mengenverhältnisse der Klimagase in der Atmosphäre entsteht. Verursacht durch den Menschen und unseren hohen Lebensstandard auf der Basis der Industrialisierung und Globalisierung.

Diese Prozesse laufen aber in der Atmosphäre nicht isoliert ab, sondern beeinflussen wieder andere Prozesse, die auf den auslösenden Prozess zurückwirken, sog. „Rückwirkungen“. Es gibt zwei unterschiedliche Rückwirkungen. Einmal solche, die dem auslösenden Prozess entgegenwirken, diesen also dämpfen. Man nennt dies auch „negative Rückwirkung“ oder „Gegenkopplung“. Solche wirken stabilisierend auf den Ursprungsprozess. Die andere Art der Rückwirkung, auch „positive Rückwirkung“ oder „Mitkopplung“ genannt, verstärken die Wirkung des Ursprungsprozesses. Solche Systeme werden instabil und geraten leicht außer Kontrolle.

Durch eine Klimaerwärmung, egal aus welchen Ursachen, werden eine Reihe dieser destabilisierenden positiven Rückwirkungen angestoßen.

Welche Rückwirkungen sind das und welche äußeren Einflüsse führen noch zu Klimaveränderungen? Diesen Fragen gehen wir im nächsten Kapitel nach.

6.5 Was führt zu Klimaveränderungen

Die beiden letzten Kapitel haben gezeigt, wie wichtig Klimagase für das Klima sind. Eine Veränderung der Klimagasanteile hat einen direkten Einfluss auf die globale Temperatur. Eine globale Erwärmung, egal aus welchen Ursachen, führt darüber hinaus zu Vorgängen, die wie eine positive Rückwirkung, also verstärkend/destabilisierend, wirken.

Die Wasserdampfmenge, die von Luft aufgenommen werden kann, steigt mit deren Temperatur. Bei 15°C kann 1m³ Luft maximal 13g Wasserdampf aufnehmen. Bei 0°C sind es 5g, bei tropischen 30°C sind es 30g. Bei einer globalen Erwärmung erhöhen sich also die Wasserdampfmenge und der – durch den Wasserdampf verursachte – Treibhauseffekt. Zusätzlich kann mehr Wasser und Energie transportiert werden, was wir dann wiederum am Wetter merken, die Häufigkeit und Intensität der Extremwetterlagen nimmt zu.

Im Wasser der Ozeane sind erhebliche Mengen CO₂ und Methan gelöst. Allerdings verhält sich die Lösungsfähigkeit von Wasser für diese Gase umgekehrt zur Temperatur, sie steigt mit sinkender Wassertemperatur. Folglich werden erhebliche Mengen dieser Gase wieder frei gesetzt, wenn die Wassertemperaturen infolge einer globalen Klimaerwärmung steigen. D.h., der Anteil der klimawirksamen Gase in der Atmosphäre wird weiter erhöht.

Auf dem Grund der Ozeane und in Permafrostböden, speziell in der sibirischen Tundra, sind erhebliche Mengen Methan in fester Form (Methaneis) gespeichert. Dies könnte bei einer

Teil I Energiewende – muss das sein?

globalen Erwärmung aufschmelzen und sich damit auch zu einer positiven/destabilisierenden Rückkopplung auf das Klima entwickeln.

Zusätzliches Methan wird durch den Bergbau freigesetzt (s.a. die Kapitel 5.2 bis 5.4). Durch die Produktion von Nahrungsmitteln wird zusätzliches Lachgas und Methan erzeugt. Lachgas entsteht bei intensiver Landwirtschaft, insbesondere durch stickstoffhaltige Düngemittel. Methan entsteht speziell bei der Massentierhaltung. Diese Industrialisierung der Land- und Viehwirtschaft hängt mit der Zunahme der Erdbevölkerung zusammen. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Weltbevölkerung vervierfacht, der Verbrauch von Primärenergie aber verzwölfacht. Dies ist Folge der Industrialisierung und Globalisierung, aber auch des gestiegenen Lebensstandards der Industrienationen.

Das [Öko-System Erde und das Klima](#) sind zwei globale Systeme, die sich ständig gegenseitig beeinflussen, aufeinander rückwirken. Das macht das Verständnis der Zusammenhänge so komplex. Darüber hinaus gibt es noch weitere Einflüsse auf das Klima:

Es gibt zyklische Veränderungen in der Strahlungsenergie der Sonne. Einmal eine Änderung der Energieabstrahlung von weniger als 1 ‰, mit einer 11-jährigen Zykluszeit, erkennbar an den Sonnenflecken. Diese Zyklen sind in der globalen Temperatur nicht erkennbar. Sie sind zu klein und die thermische Zeitkonstante der Erde ist etwa das 10-fache dieser Zykluszeit. Solche Änderungen werden einfach verschluckt. Bekannt sind weitere 3 astronomische Ursachen, allerdings mit Zykluszeiten zwischen 25.000 und 100.000 Jahren. Diese sind für die jetzige kurzfristige Klimaerwärmung ebenfalls nicht relevant.

Vulkanismus wirkt meist durch den Ausstoß von Aschewolken, die in große Höhen aufsteigen (bis zu 50km), sich über den ganzen Erdball verteilen und die Sonnenstrahlung z.T. schlucken. Es müssen aber schon sehr große Vulkanausbrüche sein, damit sie eine globale Wirkung auf das Klima haben. Der letzte Ausbruch dieser Art war 1815 der Tambora in Indonesien. Er führte 1816 weltweit zu dem „[Jahr ohne Sommer](#)“.

Meteoriteneinschläge haben – neben den lokalen Verwüstungen – ähnliche Wirkungen auf das globale Klima wie die Aschewolken von Vulkanausbrüchen.

Diese letztgenannten Einflüsse wirken alle Klima-abkühlend. Was uns aktuell beschäftigt sind die Ursachen für eine Klimaerwärmung. Hierbei gibt es immer wieder Diskussionen: Sind die Ursachen natürlichen Ursprungs oder durch den Menschen verursacht? Auch wenn durch neuere Forschungen noch weitere Einflussgrößen auf das Klima entdeckt werden, so können diese zwar zusätzlich wirksam sein, sie heben aber die Erkenntnisse über die Wirkungen der Klimagase nicht auf. Leider ist es in der Wissenschaft ähnlich wie auch in der Werbung: es ist manchmal schwer zwischen seriösen Veröffentlichungen mit sachlichen Informationen und unseriösen zur Meinungsmanipulation zu unterscheiden. Die Süddeutsche Zeitung vom 4.11.2014 enthält hierzu ein interessantes Interview über [kontroverse wissenschaftliche Gutachten](#).

Im nächsten Kapitel wollen wir der Frage nachgehen, inwieweit der Mensch für die derzeitige Klimaveränderung verantwortlich sein kann.

6.6 Ist die Klimaerwärmung menschengemacht?

Es werden immer wieder Zweifel laut, ob die gegenwärtige Klimaerwärmung auf natürliche oder vom Menschen gemachte Ursachen zurückzuführen ist. Diese Zweifel sind verständlich, da es in der Vergangenheit immer wieder Klimaveränderungen gegeben hat, für die der Mensch sicher nicht verantwortlich war. Betrachten wir deshalb die „natürlichen Klimaschwankungen“ der letzten 2000 Jahre.

In diesem Zeitraum gab es zwei ausgeprägte Warmperioden und zwei Kälteperioden. [Details siehe hier](#).

Diese Klimaperioden hatten jeweils eine Dauer von etwa 400 bis 600 Jahren. Der Unterschied der globalen Temperatur zwischen Warm- und Kaltperiode lag bei 0,4°C bis 0,8°C. Eine wesentliche Größe, die „Änderungsgeschwindigkeit“ der globalen Temperatur, betrug 0,1 bis 0,15°C/100 Jahre. Ein Vergleich mit Messwerten der letzten 100 Jahre, macht den Unterschied des jetzigen Klimawandels zu den natürlichen Klimaschwankungen deutlich. Wir haben bereits eine Temperatur erreicht, die um 0,4°C höher ist als der Spitzenwert der letzten 2000 Jahre. Die heutige Temperatur ist 0,8 bis 1°C höher als Ende des 19. Jahrhunderts. Die Änderungsgeschwindigkeit von 0,8 bis 1°C/100 Jahre, ist der 8 bis 10fachen Wert der natürlichen Klimaschwankungen. Wird diese rasante Änderung zurückverfolgt, so zeigt sich: ihr Beginn fällt zeitlich mit dem Start der Industrialisierung zusammen.

Klimagase sind notwendig für den Treibhauseffekt. Sie sind in natürliche Kreisläufe eingebunden. Diese bewirkten, dass unser Klima in gewissen Grenzen gleichbleibend war. Seit Beginn der Industrialisierung greift der Mensch zunehmend in diese Kreisläufe ein. In den CO₂-Kreislauf durch das Verbrennen der fossilen Energieträger, wodurch zusätzliches CO₂ in die Kreisläufe eingespeist wird. Durch die globale Abholzung der Wälder, wodurch die Kapazität des CO₂-Kreislaufs verringert wird. Beim Verbrennen von organischem Material (Holz, Kohle, Öl, Kunststoff) entsteht nicht nur CO₂, sondern auch Wasserdampf. Durch die Nutzung der gespeicherten fossilen Energie, wird zusätzliche Wärmeenergie in den Energiekreislauf eingespeist, und zwar, bedingt durch die hierfür technisch notwendigen Verbrennungsprozesse, etwa 3mal so viel wie wir für unsere Energiewirtschaft eigentlich benötigen (s.a. Kapitel 4.2). Das alles ist minimal, sammelt sich aber in der Summe und im Laufe der Jahre an.

Erinnern wir uns an die Zeitkonstanten für solche Vorgänge auf der Erde und, an unser Wassertopfexperiment (Kapitel 6.1 und 6.2): höhere Energiezufuhr führt zu einer höheren Temperatur für eine ausgeglichene Energiebilanz.

Die Bevölkerungsexplosion der letzten 100 bis 150 Jahre sowie der höhere Lebensstandard führen zwangsläufig zu höherer Lebensmittelproduktion, damit aber auch verstärkt zu der Produktion der besonders wirksamen Klimagase Methan und Lachgas. Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die [Weltbevölkerung](#) etwa vervierfacht. Der [Bedarf an fossilen Energieträgern](#) (ohne Kernkraft und sonstige) hat sich aber mehr als verzwanzigfach. Ein Ende dieser dynamischen Entwicklung ist nicht abzusehen, verstärkt sich eher noch.

Es ist deshalb unbestritten, dass der Mensch seinen Anteil an der gegenwärtigen Klimaerwärmung hat. Umstritten ist, wie groß dieser Anteil ist, bzw. wie stark natürliche Vorgänge verstärkt werden. In einem Punkt jedoch ist sich die Wissenschaft einig: Wenn die Erwärmung so weit fortschreitet, dass die in Kapitel 6.4 und 6.5 beschriebenen positiven Rück-

kopplungen einsetzen, dann ist es für eine Gegenreaktion zu spät. Wenn überhaupt eine Chance besteht, der Klimaerwärmung entgegenzuwirken, dann jetzt. Hierzu ist mehr notwendig, als nur der Umbau des Stromversorgungssystems. Aber dies ist ein wichtiger Baustein, der auch technisch am schnellsten zu realisieren ist. In die Überlegungen für einen umfassenden Energiewandel muss auch einbezogen werden, dass ca. 70 % unseres laufenden Energiebedarfes im privaten Bereich für Gebäudeheizung und Warmwasser benötigt wird. Hier sind Sparmaßnahmen technisch am schnellsten zu realisieren.

Die Internetseite „[Klimawandel verstehen](#)“ fasst die komplexen Zusammenhänge des Klimas verständlich zusammen.

Nach diesem umfangreichen Kapitel über das Klima, sollen die nächsten Kapitel wieder technische Themen aufgreifen: Sicherheit und Risiken von technischen Einrichtungen.

7 Sicherheit und Risiko technischer Einrichtungen

7.1 Atomkraftwerke

Atomkraftwerke sind sicher! So wird es von Atomkraftbefürwortern immer wieder in die Diskussion geworfen. In gewissem Sinne ist das auch richtig. Es gibt kaum einen technischen Bereich, bei dem so viel in die Sicherheit investiert wird, wie in die Bereiche Schienenverkehr und Luftfahrt (in Deutschland) sowie international in die Bereiche Raumfahrt und Atomkraftwerke. Trotzdem passieren in all diesen Bereichen Unfälle! Warum?

Diskussionen über die Sicherheit von Kernkraftwerken enden meist mit der Feststellung: Eine absolute Sicherheit gibt es nicht, ein kleines Restrisiko bleibt immer. Was ist eigentlich Sicherheit und Risiko? Kann man diese bewerten?

Details über das technische Sicherheitskonzept für Kernkraftwerke siehe [hier](#).

Störungen und Unfälle in kerntechnischen Anlagen sind international meldepflichtig. Dies ist wegen der eventuellen überregionalen Gefährdungssituation erforderlich und sollte auch so schnell wie möglich erfolgen. Sie werden in 8 Stufen der Internationalen Bewertungsskala für nukleare Ereignisse ([INRS](#)) klassifiziert. Die 4 Stufen 0 bis 3 gelten als „Störfälle“. Hierzu gehören auch solche Störungen, die in jedem anderen Kraftwerk auch passieren können (z.B. ein Transformatorbrand), die aber im Fall von Kernkraftwerken von den Medien gerne hochgespielt werden. In der Stufe 3 – ernster Störfall – kommt es bereits zu schwerer Kontamination und Gesundheitsschäden beim Personal und ein Teil der mehrstufigen, gestaffelten Sicherheitsvorkehrungen ist ausgefallen. Für die Bevölkerung schädliche Strahlung ist aber noch nicht ausgetreten. Die Stufen 4 bis 7 gelten als „Unfälle“. Es kommt zu Schäden am Reaktorkern und schädliche Strahlung kann austreten. Heute bezeichnet man die Stufen 4 bis 6 als GAU ([Auslegungsstörfall](#)), die Stufe 7 – katastrophaler Unfall – als Super-GAU, die sog. Kernschmelze. Die Definition: **„Die Auswirkungen sind die komplette Zerstörung der Anlage, schwerste Freisetzung von Radioaktivität, Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt in einem weiten Umfeld, gesundheitliche Spätschäden über große Gebiete, ggf. in mehr als einem Land“**.

Nach der deutschen Rechtslage dürfte somit ein Unfall der Stufe 7 gar nicht möglich sein. Denn seit 1994 gilt in Deutschland ein Gesetz, dass „... **die Auswirkungen einer mögli-**

chen Kernschmelze nicht über den Zaun des Reaktorbetriebsgeländes hinaus gehen dürfen“ (so der [Rechtswissenschaftler Prof. Dr. Alexander Roßnagel](#) in einem Interview). Eine technische Unmöglichkeit, d.h. in Deutschland dürfte nach dieser Rechtslage kein neues Kernkraftwerk mehr genehmigt werden. Allerdings wurden alle deutschen Kernkraftwerke auch vor 1994 genehmigt und die anderen europäischen Kernkraftwerke unterliegen ohnehin nicht deutschem Recht.

Seit der kommerziellen Nutzung der Kernenergie in Kraftwerken kam es seit 1957 zu 16 Unfällen; fünf der Kategorie 4; sieben der Kategorie 5 und vier der Kategorie 7 – einem im Kernkraftwerk in Tschernobyl und drei in den nebeneinander liegenden Kernkraftwerken in Fukushima. Letztere im selben Zeitraum durch dieselbe Ursache, ein Erdbeben mit nachfolgendem Tsunami.

Dies sind nur die Unfälle in Kernkraftwerken, ohne die in sonstigen kerntechnischen Anlagen, wie Versuchsanlagen, bei der Brennelemente-Herstellung oder in Wiederaufbereitungsanlagen. Eine komplette Liste von [Unfällen in kerntechnischen Anlagen](#) mit Details ist im Internet veröffentlicht.

Wenn irgendwo ein Unfall passiert, wird die Unfallursache relativ schnell in einen der 3 großen Bereiche eingeordnet: technisches Versagen, menschliches Versagen oder höhere Gewalt. Die Grenzen zwischen diesen Bereichen sind aber fließend, wie wir noch sehen werden. Tschernobyl war eindeutig „menschliches Versagen“, Fukushima wurde in „höhere Gewalt“ eingeordnet. Das zeigt, dass sich Sicherheitsbewertungen nicht nur auf die technische Sicherheit abstützen dürfen.

Im Zusammenhang mit Fukushima geisterte eine Zahl durch die Presse: „Eine Kernschmelze kommt nur einmal in 10.000 Jahren vor.“ Wie kommt man zu solch einer Aussage? Ist sie seriös? Was bedeutet sie? Welche Unfallursachen sind damit abgedeckt? Ist das ein Maß für die „nicht absolute Sicherheit“? Oder für das „kleine Restrisiko“? Diesen Fragen wollen wir in den nächsten Kapiteln nachgehen.

7.2 Atomkraftwerk, Bewertung der technischen Sicherheit

Eine Kernschmelze in 10.000 Jahren. Wie kommt man zu so einer Angabe und was bedeutet sie? Solche Angaben kennen wir auch aus unserem täglichen Sprachgebrauch, z.B. das Jahrhundertwetter oder die Jahrhundertflut. Hiermit will man zum Ausdruck bringen, wie selten solch extreme Ereignisse sind, länger als ein normales Menschenleben, so dass eine Generation sowas u.U. nicht erlebt und nur aus den Überlieferungen ihrer Vorfahren kennt. (Dass solche Ereignisse mittlerweile im 10-Jahres-Abstand auftreten, ist bereits eine Folge der globalen Klimaerwärmung, unabhängig von deren Ursachen.)

In der Technik ist es ebenfalls üblich, die Zuverlässigkeit von Produkten mit solchen Zahlenverhältnissen zu beschreiben. Die Basis hierfür sind statistische Untersuchungen an einer Vielzahl von gleichartigen Produkten. Diese Methode versagt aber bei komplexen Systemen, wie Kernkraftwerken, mit einer für statistische Zwecke zu geringen Stückzahl. Hier behilft man sich zunächst mit statistischen Untersuchungen an Einzelkomponenten. Deren Ergebnisse werden dann auf Basis der Wahrscheinlichkeitstheorie mit mathematischen Gleichungssystemen, welche die Sicherheitskonzepte der Anlage abbilden (mehrere gestaffelte Sicherheitsbarrieren), miteinander verknüpft. Dies kann dann, mathematisch korrekt, Ergeb-

Teil I Energiewende – muss das sein?

nisse wie „1 in 10.000 Jahren“ ergeben. Bei einem geringfügig anderen Aufbau des Gleichungssystems kann sich aber auch „1 in 100.000 Jahren“ ergeben. Das zeigt die Unschärfe dieser Methode. Beide Zeiträume liegen jedoch weit außerhalb unserer Lebenserfahrung und suggerieren dadurch ein hohes Maß an Sicherheit. 10.000 Jahre sind in der Menschheitsgeschichte die Zeit, als die Menschen als Jäger und Sammler anfangen sesshaft zu werden, um ihre Lebensumstände selbst aktiv zu gestalten.

Die Rechnung basiert also auf Statistik und der Wahrscheinlichkeitstheorie. Das Ergebnis kann somit nur im Sinne dieser Methoden bewertet werden. Voraussetzung für ein möglichst realistisches Ergebnis ist eine möglichst große Zahl von Produkten/Ereignissen. Das Ergebnis kann also niemals eine genaue Prognose für ein einzelnes Kernkraftwerk sein und schon gar nicht für den Zeitpunkt eines Unfalls. Denn präzise ausgedrückt heißt das Ergebnis: „Irgendwann innerhalb von 10.000 Jahren 1-mal“. Dies kann in 10.000 oder 5.000 Jahren oder morgen sein.

In der Praxis kann man mit solchen Angaben wenig anfangen, weil sie wesentlich länger sind als die Lebensdauer der betroffenen Anlagen. Hat man aber mehrere gleichartige Anlagen, so kann man auch davon ausgehen, dass sich bei allen Anlagen die Fehler statistisch gleichmäßig über den errechneten Zeitraum verteilen. Solche Angaben über die Zuverlässigkeit von Produkten sind als „MTBF“ bekannt, abgeleitet aus dem Englischen „meantime between failure“, also „mittlere Zeit zwischen den Ausfällen“.

Es gibt sehr unterschiedliche Typen von Kernkraftwerken mit unterschiedlichen Wirkungsprinzipien und entsprechend angepassten Sicherheitsvorkehrungen. Aber nehmen wir für unsere weiteren Überlegungen mal an, dass weltweit alle Kernkraftwerke das gleiche Sicherheitsniveau haben (1-mal in 10.000 Jahren) und wenden diese Methode (MTBF) auf die Kernkraftwerke an. Zurzeit sind weltweit etwa 440 Kernkraftwerke in Betrieb. Nach derzeitiger Planung werden es in einigen Jahren ca. 600 sein. Wenn sich der Zeitpunkt eines Unfalls der Stufe 7 (Kernschmelze) bei allen Kernkraftwerken statistisch gleichmäßig auf die 10.000 Jahre verteilt, dann müssen wir bei 400 Kernkraftwerken alle 25 Jahre und bei 600 alle 17 Jahre weltweit mit einem Super-GAU rechnen. Das sind schon eher Zeiträume mit denen man in der Praxis etwas anfangen kann, obwohl die sachliche Aussage dieselbe ist wie 1 in 10.000 Jahren.

Ist dieses Ergebnis schon eine Antwort auf die Frage nach der Sicherheit und dem Restrisiko? Was ist eigentlich Risiko bzw. Restrisiko? Diesen Fragen gehen wir im nächsten Kapitel nach.

7.3 Atomkraftwerke, Bewertung des Risikos

Im letzten Kapitel hatten wir für eine Eintrittswahrscheinlichkeit eines Super-GAUs für alle Kernkraftwerke weltweit eine MTBF von 25 bzw. 17 Jahren ermittelt. Diese Rechnung basierte jedoch nur auf der technischen Zuverlässigkeit der Anlagen, d.h. mögliche Unfallursache ist nur „technisches Versagen“. Zur Erinnerung: weder Tschernobyl noch Fukushima hatten technisches Versagen als Ursache. Es wäre also recht blauäugig Sicherheitsüberlegungen nur auf technische Aspekte abzustützen.

Die Grenzen zwischen den 3 Unfallursachen sind fließend. Ein technisches Versagen kann durch mangelnde Wartung sowie durch unerkannte Konstruktionsfehler entstehen. Umge-

Teil I Energiewende – muss das sein?

kehrt kann ein unerkanntes technisches Versagen eine Fehlbedienung mit Unfallfolgen provozieren. Und höhere Gewalt? Zum Beispiel Fukushima: Wenn ein Kernkraftwerk an einer Stelle aufgebaut wird, wo ein „Jahrtausendereignis“ alle Sicherheitseinrichtungen zunichtemachen kann (es war bekannt, dass im 8. oder 9. Jahrhundert diese Gegend von einem Erdbeben und Tsunami ähnlicher Größenordnung betroffen war), kommen schon Zweifel an der menschlichen Entscheidung für den Standort auf. Die Ausfallsicherheit der Technik kann beliebig hoch sein, unter diesen Umständen ist die Ausfallsicherheit dieser Anlage nicht besser als „1 in 1.000 Jahren“.

Eine grundlegende Erkenntnis der Unfallforschung lautet: Unabhängig von der nachträglichen Feststellung der Unfallursachen ist der Mensch am gesamten Unfallgeschehen zu 80 % beteiligt. Auch wenn er den Unfall nicht direkt auslöst, bei richtigem Verhalten während des Unfallgeschehens hätte er ihn vielleicht verhindern oder den Schaden mindern können. Der größte Unsicherheitsfaktor in der Unfallprävention ist der Mensch.

Das Max-Planck-Institut in Mainz macht deshalb für seine Arbeiten einen anderen Ansatz. Es bezieht alle bisherigen Unfälle in Kernkraftwerken, unabhängig von deren Ursachen, auf deren gesamte Betriebsstundenzahl. Das Ergebnis: Weltweit ist alle 10 bis 20 Jahre mit einem Super-GAU zu rechnen. Diese Methodik ist unabhängig von der Unfallursache, sie beinhaltet also alle Ursachen. Nach dieser Untersuchung sind – wegen der hohen Reaktordichte – in Westeuropa bei einer einzigen Kernschmelze etwa 28 Millionen Menschen von einer schädlichen radioaktiven Kontamination betroffen. Hier die komplette [Pressemeldung](#) des Max-Planck-Instituts.

Wie ist das nun mit dem Restrisiko bei Kernkraftwerken? Die internationale Norm DIN EN ISO 12100 behandelt ganz allgemein das Thema Risiko. Sicherheit und Risiko werden zwar häufig zusammen genannt, sind aber nicht dasselbe. In dieser Norm wird eine Methodik festgelegt, wie die Sicherheit technischer Produkte und das von ihnen ausgehende Risiko zu beurteilen ist sowie eine erforderliche Risikominderung bei nicht akzeptablem Risiko. Diese Methodik entspricht sehr gut dem, wie Menschen subjektiv ein Risiko empfinden und auch bewerten.

In dieser Norm ist Risiko definiert als: **„Kombination der Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Schadens und seines Schadensausmaßes“**. Die „Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts“ entspricht dem Begriff Sicherheit und kann durch das Verhältnis „1 in 10.000 Jahren“ oder die MTBF ausgedrückt werden. In das „Risiko“ geht aber jetzt zusätzlich das „Schadensausmaß“ mit ein. Dies beschreibt sehr gut die subjektive Empfindung eines Risikos, denn es gibt keinen objektiven Maßstab für die Höhe eines Risikos. Ein seltenes Ereignis mit kleinem Schaden empfinden wir sicher als kleines Risiko. Umgekehrt wird ein häufiges Ereignis mit großem Schaden sicher als hohes Risiko eingestuft. Schwieriger wird es bei einem seltenen Schadenseintritt mit hohem Schaden oder einem häufigen Schadenseintritt mit niedrigem Schaden. Da können die Meinungen schon auseinander gehen. Aber es macht auch deutlich, dass es kein „Null-Risiko“ gibt, außer es tritt kein Schaden auf.

Die Bewertung eines Risikos kann daher nur lauten „akzeptabel“ oder „nicht akzeptabel“. Falls das Urteil „nicht akzeptabel“ lautet, verlangt die Norm „Risiko mindernde Maßnahmen“, bis das „Restrisiko“ akzeptabel ist. Das Restrisiko ist definiert als ein **„Risiko das verbleibt, nachdem Schutzmaßnahmen getroffen wurden“**.

Was diese Risikobetrachtung für Kernkraftwerke bedeutet, schauen wir uns im nächsten Kapitel an.

7.4 Das Restrisiko der Atomkraftwerke

Wenden wir die Risikobeurteilung der DIN EN ISO 12100 auf die Unfallkategorie 7 bei Kernkraftwerken an, dann ist die weltweite Eintrittswahrscheinlichkeit eines Super-GAUs die je nach Methode und Rechenansatz ermittelte MTBF zwischen 10 und 25 Jahren. Als Schadenshöhe können wir die Schadensbeschreibung der Unfallkategorie 7 (s.a. Kapitel 7.1) nehmen:

Die Auswirkungen sind die komplette Zerstörung der Anlage, schwerste Freisetzung von Radioaktivität, Auswirkungen auf Gesundheit und Umwelt in einem weiten Umfeld, gesundheitliche Spätschäden über große Gebiete, ggf. in mehr als einem Land.

Die Erfahrungen mit den bisherigen Super-GAUs bestätigen, dass dies realistisch ist. Nach Tschernobyl war eine erhöhte, die zulässigen Grenzwerte überschreitende Strahlenbelastung bis weit nach Nord-Skandinavien feststellbar. Auch Deutschland, speziell Südbayern, war betroffen. Bestimmte Waldprodukte, vor allem Pilze, Beeren und Wild, sind in einzelnen Regionen immer noch, nach fast 30 Jahren, unzulässig hoch belastet. Auf einer [interaktiven Karte des Umweltinstituts München](#) kann man sich das im Detail ansehen. Die Zusammenhänge erklärt eine weitere Seite dieses Institutes:

http://www.umweltinstitut.org/fileadmin/Mediapool/Druckprodukte/Radioaktivit%C3%A4t/PDF/umweltinstitut_pilze_und_wild.pdf.

Ist diese Gesamtsituation noch ein „kleines Restrisiko“ das akzeptabel ist? Lt. Max-Planck-Institut wären in Westeuropa 28 Millionen Menschen betroffen (Kapitel 7.3). Falls nicht akzeptabel, welche Möglichkeiten der Risikominderung haben wir? Da das Risiko aus den zwei Komponenten – Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenshöhe – besteht, haben wir auch zwei Ansatzpunkte für eine Risikominderung:

1. Eine Schadensbegrenzung: Bisher sind keine Methoden bekannt oder gar erprobt, um bei einer Kernschmelze den Schaden zu begrenzen. Die Energien, die hierbei freigesetzt werden, sind einfach zu groß und nicht mehr beherrschbar. Hinzu kommt bei bestimmten Kernkraftwerkstypen, dass sich bei der Entwicklung eines Super-GAUs auch Wasserstoff in größeren Mengen bildet. Das führt letztlich, wie in Fukushima, zu einer heftigen Knallgas-Explosion, einem Verstärkungsfaktor zur Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre. Tatsache ist, dass keines der z.Z. in Betrieb oder im Bau/Planung befindlichen Kernkraftwerke einer Kernschmelze standhalten würde. Es gibt zwar einige Denkmodelle ([core-catcher](#)) sowie eine Ausführung an zwei chinesischen Reaktoren, aber keines dieser Modelle ist praktisch erprobt. Eine praktische Erprobung verbietet sich auch, weil der Schaden bei einem fehlgeschlagenen Test nicht zu verantworten ist. Auch ist eine Nachrüstung bestehender Kernkraftwerke nicht möglich, so dass sich an dem bestehenden Risiko nichts verbessern würde.
2. Weitere Reduzierung der Eintrittswahrscheinlichkeit: Ein solcher Unfall ist kein Blitz aus heiterem Himmel. Es kommen immer mehrere Ursachen zusammen. Der Unfall bahnt sich langsam, aber zunächst unerkannt an. Man kann sicher davon ausgehen, dass

Teil I Energiewende – muss das sein?

technisch alle Möglichkeiten ausgeschöpft wurden, um einen Unfallhergang möglichst auf die [Stufen 4 bis 6](#) zu begrenzen, obwohl die Schäden hier auch erheblich sein können. Dies betrifft jedenfalls das „technische Versagen“ als Unfallursache. Das Bedienungspersonal steht jedoch fast unlösbaren Aufgaben gegenüber. Auch wenn es theoretisch dafür ausgebildet, vielleicht auch an Simulatoren trainiert wurden, es ist eine andere Situation, wenn ein solch dramatisches Unfallgeschehen real erkannt wird, u.U. mit mangelhaften Informationen. In Fukushima führte eine fehlerhafte Anzeige dazu, dass vom Personal eine bestimmte Notmaßnahme, die vielleicht das Schlimmste hätte verhüten können, nicht eingeleitet wurde.

Wie schon in Kapitel 7.3 festgestellt: Der größte Unsicherheitsfaktor in der Unfallprävention ist der Mensch. Dies gilt auch in den Bereichen, die als sehr sicher gelten. Natürlich gibt es auch Unfallgeschehen, wo ein Mensch planvoll eingreift und das Schlimmste verhindert, z.B. die Notlandung eines Verkehrsflugzeuges auf dem Hudson River nach einem totalen Triebwerksausfall durch Vogelschlag (höhere Gewalt). Aber Unfälle durch menschliches Versagen sind wesentlich häufiger. Und auch ein in selbstmörderischer Absicht verursachter Unfall, wie bei der Germanwings, ist zwar sehr selten, aber kein Einzelfall. Ein geflügeltes Wort bei Unfallexperten bringt dies alles zum Ausdruck:

Unfälle passieren nicht, Unfälle werden verursacht.

Was gibt uns eigentlich die Sicherheit, dass dies nicht auch in anderen großen technische Systemen passiert bzw. was tun wir dagegen? Es gibt praktisch nur eine realistische Möglichkeit: Solche Systeme müssen so aufgebaut werden, dass Schadensfolgen bei einem Unfall, und damit das Restrisiko, so weit wie möglich begrenzt werden, was aber bei einem Super-GAU praktisch unmöglich ist.

Aber was bleibt, wenn alle technischen Möglichkeiten zur Schadensbegrenzung, Personalauswahl und Schulung ausgeschöpft sind um die Eintrittswahrscheinlichkeit weiter zu reduzieren, d.h. die MTBF zu vergrößern? Nur die Verringerung der möglichen Störquellen, also der Kernkraftwerke! Wie weit muss eine Eintrittswahrscheinlichkeit reduziert werden, damit ein Restrisiko mit einem Schaden, der sich erheblich über alle Bereiche wie Sachschäden, Personenschäden, Umweltschäden und Spätfolgen erstreckt, als klein akzeptiert wird?

Unter diesen Aspekten wird die Entscheidung der Bundesrepublik, aus der Kernenergie auszusteigen verständlich. Sie war von Anfang an wohldurchdacht und richtig. Lediglich das Intermezzo des Ausstiegs vom Ausstieg war inkonsequent.

Wissenswertes zum Thema:

Eine Dokumentation der taz (die Tageszeitung): Bundesweite Übung mit einem [simulierten Atomunfall in Deutschland](#)

Im nächsten Kapitel betrachten wir eine weitere Komponente unter dem Sicherheit-Risiko-Aspekt: große Stromnetze.

7.5 Stromnetze – Ausfallsicherheit der Stromnetze

Deutschland hat die ausfallsicherste Stromversorgung in Europa, wahrscheinlich auch weltweit. Dies weisen Statistiken der Stromversorger (Kraftwerke und Netzbetreiber) aus. Hier-

Teil I Energiewende – muss das sein?

nach war die statistische „Nichtverfügbarkeit“ für jeden deutschen Stromkunden in 2010 und 2011 etwa $\frac{1}{4}$ Stunde/Jahr. Ähnlich ist der Wert für Dänemark. Die Niederlande und Österreich kommen schon auf $\frac{1}{2}$ Stunde/Jahr. Die Schlusslichter sind Portugal und Finnland mit etwa 3 Stunden/Jahr. Alle anderen EG-Länder bewegen sich zwischen 1 und 2 Stunden pro Jahr. Allerdings beinhalten diese Statistiken nur die Stromausfälle auf Grund von Ursachen, die im direkten Verantwortungsbereich der Stromversorger lagen und deshalb auch relativ schnell behoben werden konnten.

Wird jedoch auch die Ursache „höhere Gewalt“ mit einbezogen, dann steigen diese Werte sprunghaft an. Ausnahmen sind hier Deutschland, die Niederlande und Österreich, aber nur weil es in diesen Regionen in den hier betrachteten beiden Jahren keinen großflächigen längeren Stromausfall durch „höhere Gewalt“ gegeben hat. Alle großflächigen und lang andauernden Stromausfälle wurden entweder durch extreme Wetterereignisse (höhere Gewalt) oder falsch eingeschätzte Schalthandlungen im Netz verursacht (menschliches Versagen?), die dann weitere kaskadenartige Abschaltungen zur Folge hatten (Dominoeffekt). S.a. Kapitel 3.2 und 3.3 sowie eine [Liste historischer Stromausfälle](#) in Wikipedia.

Die letzten großen Stromausfälle in Deutschland:

2005 durch Extremwetter, das „Münsterländer Schneechaos“: Stromausfall regional bis zu 5 Tagen. Es waren viele Reparaturarbeiten notwendig.

2006 durch die gezielte Abschaltung einer 380 kV-Leitung. Ursache: mangelhafte Planung der Abschaltung und Kommunikationsprobleme bei den folgenden Dominoeffekten. Betroffene Regionen: Teile von Deutschland, Frankreich, Belgien, Italien, Österreich und Spanien bis nach Marokko; betroffen ca. 10 Millionen Haushalte; Zeitdauer regional unterschiedlich im Stundenbereich. Es waren keine Reparaturen notwendig, aber das Synchronisieren der Teilnetze und Wiederherstellen des Gesamtnetzes gelang erst nach mehreren fehlgeschlagenen Versuchen; Link zu Details:

http://de.wikipedia.org/wiki/Stromausfall_in_Europa_im_November_2006

2007: „Kyrill“ legt weite Teile Europas lahm, zahllose Stromleitungen werden beschädigt; dadurch in einigen Regionen Deutschlands tagelange Stromausfälle.

Wir erkennen, Ursachen für größere und lang andauernde Stromausfälle gibt es alle paar Jahre. Die regionale Ausdehnung (Dominoeffekt) ist von der augenblicklichen Situation im Netz abhängig und damit von vielen Zufällen. Die Dauer eines solchen Stromausfalls hängt unmittelbar mit seinen Ursachen und den dadurch erforderlichen Reparaturarbeiten zusammen. Hierbei dürfen zukünftig nicht nur die bisher vorgekommenen Ursachen berücksichtigt werden, sondern auch gezielte terroristische Anschläge, vor allem auch Cyberterrorismus. Die letzten bekannt gewordenen Eingriffe in das Computersystem der Bundesregierung demonstrieren nachdrücklich die Anfälligkeit scheinbar sicherer Systeme für solche Attacken. Und dies ist kein Einzelfall.

Der entstehende Schaden durch einen Stromausfall wächst mit der Dauer des [Stromausfalls](#), weil unsere gesamte Infrastruktur von einem funktionierenden Stromnetz abhängig ist. S.a. die Studie des [Ausschusses für Technikfolgenabschätzung](#) im Auftrag des Bundestages.

Wir stellen auch hier eine ganz allgemeine Problematik fest: Je größer und komplexer ein System wird, umso höher wird einerseits der Komfort und die Sicherheit, die es seinen Nut-

Teil I Energiewende – muss das sein?

zern bietet, andererseits wird aber auch der Schaden umso größer, wenn es doch mal ausfällt.

Was hat das mit Sicherheit und Risiko zu tun? Sind wir für die daraus entstehenden Risiken ausreichend vorbereitet? Was kann noch für eine Risikominderung / Schadensbegrenzung getan werden? Diesen Fragen gehen wir im nächsten Kapitel nach.

7.6 Stromnetze, Risiko und mögliche Risikominderung

Betrachten wir die Stromausfälle unter dem Risiko-Aspekt: der Eintrittswahrscheinlichkeit eines großflächigen Stromausfalls und des daraus entstehenden Schadens.

Die Wahrscheinlichkeit für einen bundesweiten Stromausfall ist gering. Es gibt kaum Erfahrungswerte, die man bei der Abschätzung verwenden könnte. Aber diese Tatsache beweist nicht, dass es nicht passieren kann.

Unsere Erfahrung mit einer dichten bundesweit aufgebauten Vernetzung, wie wir sie heute haben, beträgt auch erst ca. 30-40 Jahre; die Vernetzung mit unseren Europäischen Nachbarn ca. 15 Jahre.

Im privaten Bereich wird man sicher einige Stunden ohne Strom schadlos überstehen. Aber gilt das auch für einen mehrere Tage/wochenlangen und großflächigen Stromausfall? Es wird keine Heizung mehr funktionieren. Gas- und Wasserversorgung werden zusammenbrechen. Denken Sie an Ihre Toiletten, an die Inhalte von Kühlschränken und Gefriertruhen! Sie können Ihr Auto nicht mehr nachtanken. Der gesamte Zahlungsverkehr (elektronische Kassen, Geldautomaten) bricht zusammen. Wie lange reichen ihre Bargeldvorräten? Ohne Nachschub in den Supermärkten (oder auch Apotheken, Krankenhäusern) – die Lieferwagen sind trocken gefahren – gibt es nichts mehr zu kaufen. Einrichtungen, die Notstromaggregate haben, wie Krankenhäuser oder Polizei, haben auch nicht unbegrenzt Kraftstoff; meist nur für wenige Tage. Kurz, bei einem bundesweiten Stromausfall über mehrere Tage bahnen sich chaotische Verhältnisse an.

Fazit: Weil unsere gesamte lebenswichtige Infrastruktur von einem funktionierenden Stromnetz abhängig ist, ist das Risiko eines großflächigen Stromausfalls nicht vernachlässigbar klein. Dieses Risiko wird nicht an die große Glocke gehängt, um nicht Panik zu erzeugen. Man ist sich des Risikos aber durchaus bewusst, s.a. Kapitel 3.3 und 7.6, die [Studie des Ausschusses für Technikfolgenabschätzung](#) sowie [Zeitenwende.de](#) und [Pressenotiz N24](#).

Welche Möglichkeiten der Risikominderung gibt es?

1. Verminderung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stromausfalls mit großflächigen Dominoeffekten: Das ursprünglich einheitliche Netz über ganz Deutschland wurde zwischenzeitlich auf 4 Netzbetreiber aufgeteilt, die auch für eine Schwarzstartfähigkeit und die Möglichkeit eines Inselbetriebes verantwortlich sind. Dies hat die Situation schon etwas entschärft. Der [Stromausfall von 2006](#) zeigt allerdings, wie schnell die Dominoeffekte nicht nur diese Grenzen überspringen können, sondern auch die zu unseren direkten und indirekten europäischen Nachbarn. Eine weitere Dezentralisierung der Stromerzeugung mit der Bildung von kleineren regionalen Netzen würde die Situation weiter entschärfen.

Teil I Energiewende – muss das sein?

Vorausgesetzt, diese regionalen Netze sind schwarzstartfähig und können auch im Inselbetrieb gefahren werden (eigenständige Spannungs-/Frequenzregelung).

2. Schadensbegrenzung: Das Schadensausmaß ist einmal von der Dauer des Stromausfalls abhängig, von seiner regionalen Ausdehnung und damit vom Umfang der betroffenen Infrastruktur. Beides, Dauer und regionale Ausdehnung, lassen sich durch eine weitere Dezentralisierung der Stromerzeugung verbunden mit der Aufteilung auf kleinere Netze positiv beeinflussen. Kleinere autarke Netze, die nicht von der eigentlichen Schadensursache, sondern nur vom Dominoeffekt betroffen sind, lassen sich viel schneller wieder hochfahren. Ausgehend von solchen „Inseln“ lassen sich Zug um Zug die benachbarten Regionen wieder zuschalten. Es bricht nicht die gesamte Infrastruktur zusammen bzw. kann schneller wieder hergestellt werden.

Fazit: Die Dezentralisierung der Netze, verbunden mit einer Dezentralisierung der elektrischen Energieerzeugung, hat viele Vorteile für den Risikoaspekt.

Darüber hinaus kann man auch im privaten Bereich vorsorgen, um einen längeren Stromausfall leichter zu überstehen. Tipps hierfür findet man u.a. auf einer Internetseite des Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe: [Stromausfall – was tun wenn die Energie ausfällt](#). Die Behörden sind sich also durchaus dieses Risikos bewusst. Nur, eine wirklich durchgreifende Risikominderung steht im Widerstreit mit den unterschiedlichsten wirtschaftlichen Interessen.

Nach diesen vielen Detailbetrachtungen, die aber für das Gesamtverständnis notwendig waren, wollen wir uns in den folgenden Kapiteln wieder dem eigentlichen Thema widmen: Was bedeutet eigentlich Energiewende?

8 Was bedeutet eigentlich Energiewende?

8.1 Ursachen der ungebremsten Energieverschwendung

Wir haben jetzt unser Stromversorgungssystem in seiner ganzen Breite kennengelernt, mit all seinen Vorzügen, aber auch mit seinen negativen Auswirkungen. Speziell die negativen Auswirkungen einer Technik oder eines Systems werden häufig erst erkennbar, wenn diese im großen Umfang angewendet werden. Unsere gesamte Energiewirtschaft mit der Nutzung der fossilen Energieträger macht dies deutlich. Beim ersten mit Benzin angetriebenen Auto und beim ersten Kohlekraftwerk wurden die negativen Auswirkungen noch nicht erkannt und waren auch in ihrer Größenordnung vernachlässigbar klein. Die dynamische Entwicklung dieser Technik in den folgenden 100 Jahren war nicht vorhersehbar.

Seit Beginn der Industrialisierung hat sich die Weltbevölkerung etwa [vervierfacht](#). Der Bedarf an fossilen Energieträgern (ohne Kernkraft und sonstige) hat sich aber mehr als [verzwanzigfacht](#). Ein Ende dieser dynamischen Entwicklung ist nicht abzusehen. Nicht zuletzt deshalb, weil alle Entwicklungs- und Schwellenländer unbesehen den „Wohlstand“ der Industrie-Nationen anstreben.

Dieser Raubbau an den fossilen Ressourcen ist nur zu einem geringen Teil durch den Anstieg der Weltbevölkerung verursacht, den Löwenanteil haben die Industrialisierung und der hohe Lebensstandard in den sog. Wohlstandsländern. Vergleichen Sie nur die Ausrüstung

Teil I Energiewende – muss das sein?

eines normalen Haushaltes mit technischen Einrichtungen vor etwa 50 bis 60 Jahren und heute. Öl- bzw. Gasheizungen, Elektroherde, Kühlschränke, Gefriertruhen, Waschmaschinen, Wäschetrockner, Staubsauger, Fernseher, Computer usw., all dies gehörte noch nicht zur Standardausrüstung eines Haushalts. Diese Dinge wurden erst in den Folgejahren in der Breite eingeführt, und sie wurden immer leistungsstärker. Wir sind heute umgeben von einem Heer von Techniksklaven, die uns das Leben erleichtern. Das alles benötigt aber viel Energie. Und genau das wollen die Entwicklungs- und Schwellenländer möglichst schnell nachholen. Ohne ein völlig neues Energieversorgungskonzept, auf das auch diese Länder möglichst schnell einsteigen können, steuern wir auf ein Desaster zu.

Die weltweiten Transportleistungen sind explodiert, eine zwangsläufige Folge der Globalisierung. Dadurch ist aber auch unsere Erwartungshaltung an ein ständig verfügbares Warenangebot sowie das Tourismusangebot gestiegen. Im Januar frische Erdbeeren aus Chile, Äpfel aus Neuseeland, Wein aus Australien und Kalifornien. Müssen wirklich Produkte um den halben Erdball transportieren werden, die wir genauso gut aus heimischer Produktion haben können. Nur eben nicht das ganze Jahr. Aber muss das sein? Statt einmal Campingurlaub in Italien muss es heute 2mal im Jahr eine Reise um den halben Erdball mit Aufenthalt im 5-Sternehotel sein.

Dies alles wird letztlich mit der Energie der fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas betrieben. In den letzten 100 Jahren haben wir hiervon bereits so viel verbrannt, wie durch natürliche Prozesse in 100 Millionen Jahren entstanden ist (s.a. Kapitel 5.1), mit steigender Tendenz. Die Folgen durch diese Verbrennungsprozesse sind inzwischen unübersehbar:

- Eingriff auf viele natürliche Kreisläufe, insbesondere auf den globalen CO₂-Kreislauf mit langfristigem Einfluss auf das globale Klima, heute schon erkennbar an der Zunahme von Extrem-Wetterlagen und deren Heftigkeit. Siehe auch die Kapitel 6.3 bis 6.6 zum Thema Klima.
- Einfluss auf das Kleinklima in den Ballungsgebieten, durch die in die Atmosphäre abgeführte Abwärme sowie Verunreinigung und Trübung der Luft durch die bei der Verbrennung entstehenden Schmutzpartikel und Feinstaub.
- Veränderung der Gewässerökologie bis hin zum Umkippen durch das Aufheizen mit der Abwärme der großen Dampfkraftwerke (s.a. Kapitel 4.3).
- Die lebensfeindlichen Schadstoffe, die bei der Förderung der fossilen Energieträger zwangsläufig mit zu Tage gefördert werden, wie Schwefel, Quecksilber und sonstige Schwermetalle. Nach neuesten Untersuchungen ist die zulässige Quecksilberbelastung der Flussfische in Rhein, Elbe und Donau dauerhaft überschritten. 2/3 der Quecksilberemissionen in Deutschland stammen aus der Kohleverbrennung der großen Kohlekraftwerke.
- Die direkte Zerstörung großer Landschaften und Ökosysteme durch den Tagebau sowie die indirekten sog. Bergschäden durch den Untertage-Bergbau.
- Hinzu kommen noch erhebliche Risiken durch den Betrieb hochkomplexer technischer Systeme, sowie die totale Abhängigkeit unserer gesamten Infrastruktur von solchen Systemen (s.a. Kapitelgruppe 7).

Der Frage, ob wir uns eine solche Energieverschwendung und die leider erst jetzt erkennbaren Folgen weiterhin leisten können, können wir nicht länger ausweichen.

8.2 Ziel der Energiewende – sorgsamer Umgang mit Energie

Das eigentliche Ziel einer globalen und umfassenden Energiewende ist die Umstellung unseres gesamten Energiebedarfs auf eine neue Basis, um die negativen Begleiterscheinungen durch die Förderung und Nutzung der fossilen Energieträger zu vermeiden und dabei auch unvermeidliche Risiken auf ein beherrschbares Maß zu begrenzen. Allerdings ist dies eine Mammutaufgabe, die nicht binnen einer Generation zu schaffen ist. Allein das Versprechen eines früheren Bundeskanzlers, wieder für blauen Himmel über dem Ruhrgebiet zu sorgen, erforderte einen riesigen technischen Aufwand mit entsprechenden Kosten und, selbst bei diesem regionalen Problem, 30 bis 40 Jahre Zeit. Die Reparatur schädlicher Auswirkungen eines Systems dauert in der Regel mindestens so lang wie deren Entstehung.

Um die verschiedenen Energieträger miteinander zu vergleichen, rechnet man diese über ihren Energieinhalt auf ein sog. „Öläquivalent“ um, welches in kg oder in t angegeben wird, entsprechend dem Energieinhalt von 1 kg oder 1 t Öl. Der Weltverbrauch betrug im Jahr 2011 13,11 Milliarden t. 1973 waren es 6,12 Milliarden t. [Also in 38 Jahren etwas mehr als eine Verdoppelung](#). Bis 2040, also in nur weiteren 29 Jahren, rechnet man mit der nächsten Verdoppelung, also eine [immer schnellere Ausbeutung](#) der nicht erneuerbaren Lagerstätten.

Man muss sich bewusst machen: Unsere derzeitige Energiewirtschaft ist zu 100 % von Energiespeichern abhängig. Energiespeicher, welche die Natur vor Millionen von Jahren angelegt hat, die nicht unendlich sind und die nicht wieder aufgefüllt werden können. Der Anteil von Kohle, Erdöl und Gas an dieser speicherabhängigen Energiewirtschaft beträgt etwa 80 % bis 85 %. Von dieser geförderten Menge werden etwa 40 % für Dampfkraftwerke zur Stromerzeugung verwendet. Ein weiterer Teil dient der Wärmeerzeugung, und ein wesentlicher Teil geht in den Transport und den Verkehr. In Kapitel 4.2 hatten wir schon gesehen, dass Dampfkraftwerke die zugeführte Energie nur zu ca. 35 % in elektrische Energie umwandeln können, die für allgemeine Anwendungen nutzbar ist. Ca. 65 % gehen als Abwärme verloren. Eine weitere Nutzung dieser Abwärme ist bei den Großkraftwerken wegen fehlender Abnehmer nur marginal möglich (s.a. Kapitel 4.2). Diese Relation gilt für alle Einrichtungen, bei denen die zugeführte Energie über Wärmeenergie in mechanische Energie umgesetzt wird, also auch für alle Antriebsmotoren für den Transport und Verkehr (s.a. Kapitel 4.1). Fazit: Wir verbrennen etwa dreimal so viel Primärenergieträger, mit allen Begleiterscheinungen (Luftverschmutzung, CO₂, Lagerstättenausbeutung), als wir tatsächlich nutzen, weil es technisch nicht anders möglich ist. Ein sehr verschwenderischer Umgang mit einer endlichen Ressource.

Eine Energiewende muss kommen, ob wir sie wollen oder nicht. Spätesten dann, wenn unsere herkömmlichen Energiequellen versiegt sind. Noch haben wir die Wahl, ob wir diese Aufgabe jetzt in aller Ruhe angehen und den Umstieg aktiv und geplant gestalten, damit der laufende Betrieb möglichst wenig beeinträchtigt wird, oder ob wir warten, bis uns keine Wahl mehr bleibt. Die Engländer haben einen schönen Ausdruck hierfür: Change by design or change by disaster! Je später wir damit anfangen, umso schwieriger wird es.

Nach diesem Blick über den Tellerrand wenden wir uns wieder unserem Kernthema zu, der Energiewende im elektrischen und wärmetechnischen Sektor.

8.3 Energiewende – Anforderungen an die gesamte Energiewirtschaft

Die vor uns liegende umfassende Energiewende ist eine Mammutaufgabe. Meistens wird mit „Energiewende“ jedoch nur der Strom gemeint. Warum? Es ist der relativ einfache Teil der Energiewende, für den wir bereits das notwendige Wissen und die Technik zur Verfügung haben, um sowohl die Sonnenenergie direkt als auch deren sekundäre Energieformen (Wind, Wasser, Bioenergie) zu nutzen. Bei dem Teil der fossilen Energieträger, der in den Transport und Verkehr geht, ist diese Aufgabe viel schwieriger zu lösen, vor allem für den Fern- Schiffs- und besonders den Flugverkehr. Der elektrifizierte Schienenverkehr macht schon seit Jahrzehnten vor, wie im Nah- und Fernverkehr auch Bremsenergie im Generatorbetrieb wieder rückgespeist werden kann – die rollende Dampfmaschine hat hier schon lange ausgedient. Der nächste Schritt, die hierfür benötigte elektrische Energie aus regenerativen Quellen bereit zu stellen, sollte technisch kein großes Problem mehr sein. Für den straßenengebundenen Individualverkehr mit PKWs und dem kommunalen öffentlichen Verkehr gibt es viele gute Ansätze, die letztlich alle – über temporäre Zwischenlösungen – auf die Umstellung auf Elektroantriebe abzielen. Dafür benötigen wir aber die elektrische Energiewende. Denn es macht wenig Sinn, den Strom für die Elektroautos aus fossil beheizten Dampfkraftwerken zu beziehen. Allerdings muss dann auch der Teil des fossilen Energieträgers Öl, der z.Z. noch in den Fahrzeugen verbrannt wird, zukünftig als elektrische Energie aus regenerativen Quellen zur Verfügung gestellt werden.

Im Prinzip ist unsere einzige Energiequelle, die auch kontinuierlich zur Verfügung steht, die Sonne. Ist der gesamte Energiebedarf mit der täglich eingestrahlten Sonnenenergie einschließlich der daraus entstehenden sekundären Energieformen (s.o.) abzudecken? Zum Vergleich: Wenn wir uns auf den Primärenergieverbrauch von 2011 beziehen (Öläquivalent, s. Kapitelgruppe 8), also 13,11 Milliarden t, dann beträgt das entsprechende Energieäquivalent der Sonnenenergie, das pro Jahr auf die Erde eingestrahlt wird, etwa das 10.000fache des Primärenergieverbrauchs bzw. das 30.000fache der von uns z.Z. tatsächlich benötigten Energiemenge (ca. 2/3 der Primärenergie gehen bei den Umwandlungsprozessen als „Verlustwärme“ für unsere Anwendung verloren, s.a. Kapitel 4.2 und 8). Wir müssen es nur fertig bringen, diese Energie für uns nutzbar zu machen. Bezüglich der Umwandlung in elektrische Energie haben wir bereits das erforderliche Wissen und die Technik, und diese wird ständig weiter entwickelt mit dem Ziel höherer Effektivität.

Trotz allem ist es eine Mammutaufgabe. Die Planung der Bundesregierung, nur die Versorgung mit elektrischer Energie bis 2035 auf 55 bis 60 % aus erneuerbaren Quellen umzustellen, ist ein ambitioniertes Ziel. Viele Jahre noch müssen die alte und die neue Art der Stromerzeugung nebeneinander betrieben werden, müssen sich im laufenden Betrieb gegenseitig ergänzen. Das macht die Aufgabe nicht einfacher, aber diese Probleme sind mit dem heutigen Wissen und der Technik lösbar.

Energiewende betrifft aber nicht nur die Stromerzeugung, sondern auch die Energieanwendung. Es wird zu Verschiebungen zwischen den verschiedenen Energieformen kommen. So wie ein Teil des Verkehrs auf elektrische Energie umgestellt wird, müssen Anwendungen wie die Wärmeversorgung für Wohnhäusern und Brauchwasser und in zunehmendem Maße im

Teil I Energiewende – muss das sein?

Sommer auch Klimaanlage ebenfalls auf regenerative oder elektrische Systeme umgestellt werden. Etwa 70 % des Energiebedarfes im privaten Bereich wird für die Wärmeversorgung aufgewendet, aus Öl, Gas oder Strom, ein erhebliches Potential.

Ein wesentlicher Faktor bei der Energiewende wird der bewusste Umgang mit der Energie sein, also die „Energieeffizienz“. Hierbei geht es nicht nur um die effiziente Ausnutzung von Strom, sondern auch um den Wärmehaushalt. Gerade Wärme lässt sich relativ einfach aus Sonnenstrahlung gewinnen und speichern. Gute Isolierungen vermindern den Energiebedarf für Heizungen. Beides zusammen steigert die Effizienz des Wärmehaushalts. Auch wenn Sonne und Wind keine Rechnung stellen, für die Strom- und Wärmeerzeugung sind Anlagen und Geräte notwendig, die Geld kosten und die auch negativen Auswirkungen haben. Nicht nur aus Kostengründen, auch zur Minimierung dieser negativen Auswirkungen, verbietet sich eine Energieverschwendung.

Mit diesem Kapitel beenden wir den 1. Teil unsere Artikelserie „Energiewende – muss das sein“ und beginnen den 2. Teil „Energiewende ja – aber wie?“. Für alle technischen Entwicklungen gilt: Es gibt kein System, welches nur Vorteile und keine negativen Begleiterscheinungen hat. Die Suche nach dem optimalen System ist auch immer die Suche nach dem günstigsten Kompromiss zwischen Vor- und Nachteilen.

Leerseite

9 Welche Struktur soll die neue elektrische Energieversorgung haben?

Für die Planung einer elektrischen Energiewende sollte eine Grundsatzüberlegung am Anfang stehen, weil alle weiteren Umbaumaßnahmen hiervon abhängig sind: Soll die Stromproduktion – wie bisher – weiterhin zentral erfolgen, oder stellen wir um auf eine dezentrale Stromproduktion nahe bei den Stromverbrauchern? Beide Systeme sind grundsätzlich möglich und in Grenzen auch kombinierbar.

Auch unser jetziges Stromversorgungssystem hat zu Beginn (s.a. Kapitel 2) sowie in der Wiederaufbauphase nach dem Krieg dezentral begonnen. Aus logistischen und wirtschaftlichen Überlegungen, um die Kosten für den Kohletransport zu minimieren, hat es sich dann aber schnell dahin entwickelt, die großen Kraftwerke möglichst in der Nähe des Energieträgers Kohle zu konzentrieren. Diese war damals die einzige Primärenergie, die uns im eigenen Land zur Verfügung stand. Nachdem wir heute in hohem Maße auch von der Importenergie Öl und Gas (per Schiff und/oder Pipeline) abhängig sind, ist eine solche Konzentration aus wirtschaftlichen Überlegungen auch nicht mehr so zwingend.

Anders ist es bei der regenerativen Stromerzeugung. Hierbei ist ja die Primärenergie – Sonne, Wind, Wasser und Biomasse – flächig in unserer Nähe verteilt, die beste Voraussetzung somit für ein dezentrales System, weil sowohl die Kosten für die Primärenergieträger als auch deren Transportkosten entfallen. Dies eröffnet weiterhin die Möglichkeit, sich bei der Nutzung dieser Energieträger und deren Kombination den örtlichen Gegebenheiten optimal anzupassen, was bei einem zentralen System nicht möglich ist.

Was wäre nun der Unterschied zwischen einer zentralen und einer dezentralen Stromerzeugung aus regenerativen Quellen? Manchmal muss man die Dinge ins Extreme denken, damit die Unterschiede deutlich werden. Machen wir zwei Gedankenexperimente.

9.1 Gedankenmodell zentrale Stromerzeugung

Alle Windräder in Nord- und Ostsee. Alle Solaranlagen nach Spanien oder besser, in die Sahara. Alle Energiespeicher als Pumpspeicherwerke nach Norwegen. Deutschland wäre frei von diesen die Landschaft verbrauchenden und störenden Bauwerken. Dafür müsste einiges an neuen Stromleitungen gebaut werden. Diese würden richtig groß. Denn jetzt müsste ja die gesamte Energie erst mal nach Deutschland transportiert und hier irgendwie zentral zusammen geführt werden (auf sog. Netzknoten). Denn für eine sichere Stromversorgung müssen sich die aus unterschiedlichen Quellen erzeugten Ströme gegenseitig ergänzen und dann, ähnlich wie bisher, wieder in der Fläche verteilt werden. Das bedeutet, unser bisheriges Überland-Netz (Hoch- und Höchstspannung) bleibt im Wesentlichen bestehen. Hinzu kämen jedoch weitere große Energieleitungen, deren Ausmaß das der jetzt so hitzig diskutierten Stromtrassen deutlich übersteigen würde. Zudem wäre ein solches System wesentlich anfälliger für Störungen durch extreme Wetterereignisse oder Terrorismus und damit für großflächige längere Stromausfälle mit zwangsläufigem Zusammenbruch unserer gesamten Infrastruktur (s.a. Kapitel 3.3).

Eine derart extreme Lösung würde sich z.Z. schon aus politischen Gründen verbieten. Diese Variante müsste deshalb auf die Fläche Deutschlands begrenzt werden. Die grundsätzliche Problematik ist aber dieselbe. Wir bräuchten neue Stromleitungen, um jetzt die großen Energiemengen von anderen Regionen in das Netz einzuspeisen, z.B. Nordsee oder Ostsee für

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Windstrom und Süddeutschland für Solarstrom, statt wie bisher alles z.B. aus Nordrhein-Westfalen und zu den Orten (Netzknoten) zu bringen, wo die flächige Stromversorgung auf der unteren Spannungsebene beginnt.

Bisher war das Stromnetz im Wesentlichen eine Einbahnstraße vom Kraftwerk zum Verbraucher. Da sich aber nun Wind-, Solar- und die anderen Stromerzeuger gegenseitig ergänzen sollen, müssen zumindest Teile des Netzes auch bei einer zentralen Struktur für einen Zweirichtungs-Verkehr ausgebaut werden. Dies betrifft vor allem die Schalt- und Schutzeinrichtungen gegen Überlastung der Netze (s.a. Kapitel 3.1 und 3.2).

Es muss also gründlich und tiefgreifend überlegt werden, wie tatsächlich zukunftsfähige Strukturen aufzubauen sind. Im nächsten Kapitel das Gedankenexperiment, wie eine dezentrale Lösung aussehen würde und welche Folgen damit verbunden sind.

9.2 Gedankenmodell dezentrale Stromerzeugung

Nach der Betrachtung der Konsequenzen einer zentral organisierten Energieversorgung nehmen wir nun eine dezentrale Struktur unter die Lupe.

Technisch haben wir heute die notwendigen Geräte, mit denen sich jedes Haus, in Verbindung mit Energieeffizienz und Stromsparmaßnahmen, selbst mit ausreichend Energie versorgen könnte, zumindest in ländlichen Regionen. Dies dürfte z.Z. bisher jedoch nur in wenigen Fällen wirtschaftlich sein. Dagegen können aber in begrenzten Regionen, z.B. einer Gemeinde, alle unterschiedlichen Stromerzeugungssysteme einschließlich Energiespeicher zu einem „virtuellen Kraftwerk“ zusammen geschaltet werden und diese Gemeinde autark mit Energie (Strom und Wärme) versorgen. Der Begriff „virtuelles Kraftwerk“ sowie die Bedingungen für eine wirkliche Autarkie werden in einer späteren Folge betrachtet.

Dass solche Lösungen funktionieren können, dafür gibt es schon mehrere Beispiele, u.a.: [Wildpoldsried](#), oder die [Gesamtübersicht aller Bioenergiedörfer in der Bundesrepublik](#).

Für Ballungsgebiete, wie große Städte und Industriegebiete, müssen noch weiterführende Lösungen realisiert werden, die sich aber alle auch in eine dezentral organisierte Struktur einordnen ließen.

Solche autarken Inseln müssten aus Gründen der Versorgungssicherheit im Störfall ebenfalls miteinander vernetzt werden. Diese Vernetzung findet aber nur mit den jeweils unmittelbar benachbarten autarken Regionen statt, d.h. auf einem relativ niedrigen Leistungsniveau. Dadurch würden die großen Energieautobahnen überflüssig (mit [Höchstspannung](#)), die für den Transport großer Energiemengen über große Entfernungen benötigt werden. Die Notwendigkeit, Teile der Netze für einen Zweirichtungs-Verkehr auszulegen, gilt hier auch, jedoch ebenfalls auf einem niedrigeren Leistungsniveau. Eine solche Vernetzung würde allerdings ein anderes Netzmanagement erfordern als das bisherige auf der hohen Leistungsebene. Hierbei ist „Netzmanagement“ mehr als nur messen und steuern der Energieflüsse wie bisher. Hierzu gehört jetzt auch eine optimierte Verwaltung mit Vorausplanung der Reservehaltung, je nach Wetterprognose und erwartetem Bedarf, z.B. Aufladen der Speicher, evtl. auch eine zeitoptimierte Steuerung des Bedarfes. All dies wird häufig unter dem neuen Begriff „smart grid“ zusammengefasst. Hierüber in einem anderen Zusammenhang mehr in einem weiteren Kapitel.

Eine solche Struktur wäre weniger anfällig für Dominoeffekte bei einer Störung, egal aufgrund welcher Ursache. Wenn es doch einmal zu solch einem Dominoeffekt über mehrere autarke Strominseln käme, dann ließe sich dessen Auswirkung einfacher lokal begrenzen. Vor allem ließen sich aber solche kleineren autarken Regionen nach einem Blackout schneller wieder hochfahren, so dass die Beeinträchtigung unserer Infrastruktur geringer wäre (s.a. Kapitelgruppe 7).

Insgesamt käme diese Lösung mit weniger großen Stromtrassen aus. Dafür müsste jedoch die regionale Stromerzeugung entsprechend ausgebaut werden. Eine dezentrale Struktur böte aber zugleich die Voraussetzung, dass die Wertschöpfung durch den Bau und den Betrieb dieser Anlagen in der Region bleibt, wie auch die oben angeführten Beispiele demonstrieren.

Soweit die Betrachtung der beiden extremen Lösungen. Wie sieht aber nun die augenblickliche Realität der Bemühungen um eine Energiewende aus? Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

10 Die Entwicklung der Energiewende in Deutschland

10.1 Gesetze zur Energiewende und die Auswirkungen auf den Markt

In den letzten Kapiteln haben wir die zwei extremen Varianten einer neuen elektrischen Energieversorgung betrachtet: einerseits die Stromversorgung durch ein zentral organisiertes System und andererseits die eines dezentral organisierten Systems. Die Realität liegt irgendwo dazwischen.

Angefangen hat die Energiewende dezentral mit PV-Anlagen (Photovoltaik) auf Hausdächern. Diese Entwicklung wurde staatlicherseits gefördert. Zunächst durch das Stromeinspeisungsgesetz von 1991, welches ab 2000 durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) abgelöst wurde. Dieses wurde mehrfach den veränderten Verhältnissen angepasst, letzte Fassung von 2014. Bereits mit dem Stromeinspeisungsgesetz wurde *„Die Einspeisung in das öffentliche Netz ... verbindlich geregelt, weil Strom aus erneuerbaren Energien ... nur von kleinen Unternehmen erzeugt wurde, denen große Stromerzeuger den Zugang zu ihrem Verteilernetz oftmals verweigerten oder stark erschwerten“* ([Quelle Wikipedia](#)). Diese Vorgabe „Einspeisung in das öffentliche Netz“ war eine entscheidende Weichenstellung für zukünftige Entwicklungen bis heute.

Zur Unterstützung der Marktintegration privater PV-Anlagen wurde vom Gesetzgeber eine neue Form der Anschubfinanzierung gewählt. Den Eigentümern dieser Anlagen wurde eine, auf 20 Jahre garantierte Einspeisevergütung zugesagt, die von den Energieversorgern zu bezahlen war und die höher war als der Preis, den diese für den Verkauf ihres eigenen Stromes am Strommarkt erzielten. Hiermit wurde das technisch dezentrale System wirtschaftlich in das existierende zentrale System eingebunden. Was wurde hiermit erreicht?

1. Das Teilziel, den Markt für PV-Anlagen zu öffnen, wurde erreicht. Für die Eigentümer der Anlagen war die Investition auf Sicht von 20 Jahren eine sichere Geldanlage.
2. Die Hersteller der PV-Anlagen konnten dies in ihren Kalkulationen berücksichtigen. Damit entfiel jedoch die Notwendigkeit, eventuelle Kostenvorteile durch höhere Stückzahlen an den Markt weiterzugeben. Es entfiel auch die Notwendigkeit, Technik und Fertigungsme-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

thoden mit dem Ziel von Kostensenkungen weiterzuentwickeln. Als dann ausländische Hersteller mit weiterentwickelten Produkten und niedrigeren Preisen auf unseren Markt drängten, waren auch diese indirekt Nutznießer unseres EEG. Viele deutsche Hersteller hatten sich zu lange auf der gesetzlich festgeschriebenen Marktstruktur ausgeruht und waren nun nicht mehr wettbewerbsfähig.

3. Für die Energieversorger war es zunächst ein Verlustgeschäft. Sie waren gezwungen den regenerativen Strom teurer einzukaufen, als sie ihn an der Strombörse wieder verkaufen konnten. Dieser Verlust wurde ihnen mit der sog. [EEG-Umlage](#) ausgeglichen, die über einen Zuschlag zum Strompreis aller Endverbraucher finanziert wurde. Allerdings gab es viele [Ausnahmen für Großverbraucher](#), so dass letztlich die privaten Haushalte immer höher belastet wurden. Hierdurch wurde das Image aufgebaut: „Der Sonnenstrom treibt den Strompreis hoch!“ Dabei kann der Sonnenstrom von Natur aus nicht teurer sein. Er hat keine Kosten für die Primärenergie. Der Eindruck entstand, weil durch dirigistische Eingriffe, insbesondere auf Steuern, Netzentgelte und EEG-Umlage, die Gesetzmäßigkeiten eines freien Marktgeschehens ausgehebelt wurden.
4. Die oben erwähnte Weichenstellung, dass regenerativer Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen ist, führte dazu, dass sich die Hersteller mit ihrem Produktspektrum vollständig auf diese technische Variante ausrichteten. Die Idee, dass die Betreiber der PV-Anlagen den von ihnen erzeugten Strom direkt selbst nutzen und ihre Anlagen über die eingesparten Stromkosten finanzieren, wurde damals nicht diskutiert. Obwohl die dafür notwendige Technik – angepasste Stromrichter mit Speicher – in anderen technischen Bereichen bereits existierte, wurde sie für diese Anwendung nicht zur Verfügung gestellt. Dies geschieht erst heute. Es wäre wohl auch nicht im Sinne der Energieversorger und Netzbetreiber gewesen, weil dieser Stromanteil, ohne den Umweg über das öffentliche Netz, nicht mehr Bestandteil von deren Umsätzen gewesen wäre.

Es sind letztlich die politischen Festlegungen im EEG gewesen, warum sich der Markt vollständig auf die technisch einseitige Variante ausrichtete, den regenerativen Strom derart in das öffentliche Netz einzuspeisen, dass PV-Anlagen auch nur zusammen mit dem Netz funktionsfähig sind. Bei Netzausfall hätte man zwar mit den Sonnenkollektoren einen Stromgenerator im Haus, kann ihn aber nicht nutzen. Die andere technisch mögliche Alternative, eine auch bei Netzausfall eigenständig funktionsfähige Stromversorgung aufzubauen, wurde nicht weitergedacht bzw. entwickelt. Das hierfür notwendige Produktspektrum, selbstgeführte Stromrichter und Speicher, hätte aus anderen technischen Bereichen prinzipiell zur Verfügung gestanden. Es hätte für die neue Anwendung nur angepasst werden müssen. Aber, wo kein Markt ist, oder wie in diesem Fall, gesetzlich blockiert ist, wird auch kein Geld für Weiterentwicklungen hineingesteckt. So kann eine gesetzliche Vorgabe, die zu sehr ins Detail geht und technische Lösungen statt Ziele vorschreibt, zu einem Hemmnis für technische Weiterentwicklungen werden. Oder sie favorisiert, bewusst oder unbewusst, ein bestimmtes Geschäftsmodell.

Geringfügige Verbesserungen auf diesem Gebiet gibt es in der Neufassung des EEG von 2014. Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

10.2 Die Änderungen des EEG ab 2014 und ihre Auswirkungen

Das EEG hat seit 2000 mehrere Änderungen erfahren. Diese waren im Wesentlichen: Anpassungen an veränderte Randbedingungen, Korrektur von Fehlentwicklungen sowie Ziele für die Entwicklung des zukünftigen Strommarktes. Die [letzte Fassung ist von 2014](#). (Anm. des Verfassers: Unter vorstehenden Link findet man jetzt das EEG von 2014 mit den Änderungen 2017.) In diesem Gesetz werden unterschiedliche Einspeisevergütungen für Wasserkraft, Windenergie, solare Strahlungsenergie (z.B. Photovoltaik), Geothermie und Biomasse langfristig festgelegt, allerdings gegenüber den bisherigen Werten deutlich gekürzt und mit zusätzlichen jährlichen Reduktionsquoten. Die EEG-Umlage bleibt. Ausgenommen hiervon sind lediglich:

- Anlagen, die ausschließlich der Eigenversorgung dienen und die keine physische Verbindung zum öffentlichen Netz haben (sog. Inselbetriebe).
- Anlagen, die ausschließlich der vollständigen Eigenversorgung dienen, evtl. Überschüsse zwar ins Netz einspeisen, aber hierfür auf die Einspeisevergütung verzichten.
- Kleinanlagen mit höchstens 10 kW installierter Leistung und einer jährlichen, ausschließlich selbst verbrauchten Stromproduktion von max. 10.000 kWh.

Diese „Kleinanlagen“ sind die typischen PV-Anlagen auf Hausdächern von Ein- und Zweifamilien Häusern. Alle größeren Anlagen werden im EEG praktisch wie Elektrizitätsversorgungsunternehmen behandelt, auch wenn sie räumlich dezentral aufgebaut sind. Sie müssen ihren Strom ins Netz einspeisen, auch wenn die Erzeuger ihn anschließend wieder vollständig selbst nutzen. Warum? Weil, wie im letzten Kapitel schon angesprochen, die Weichenstellung des Stromeinspeisungsgesetzes dazu geführt hat, dass der Markt sich ausschließlich auf diese technische Variante konzentrierte. Über die technische Alternative einer weitgehend autarken Stromversorgung des jeweiligen Verbrauchers wird erst jetzt nachgedacht.

Das bisherige Geschäftsmodell der großen Energieversorger basiert auf einer zentralen Struktur: möglichst viel Strom mit möglichst großen Kraftwerkseinheiten konzentriert an möglichst wenigen Orten erzeugen, um dann mit einem leistungsfähigen Übertragungs-Netz, das große Energiemengen über große Entfernungen transportiert, zu den Verteiler-Knotenpunkten zu übertragen. Jede private dezentrale Stromerzeugung für den Eigenverbrauch des Erzeugers oder auch Erzeugergemeinschaften (Bioenergiedörfer) mindert die Umsätze der großen Energieerzeuger. Durch den Zwang zur Netzeinspeisung geht sie wirtschaftlich allerdings in die Umsätze der Verteiler-Netzbetreiber ein.

Dass auch dezentrale Stromerzeuger (z.B. Bioenergiedörfer) mit der EEG-Umlage für den Ausbau der Energiewende belastet werden, obwohl sie mit dem Aufbau ihrer Anlagen bereits in Vorleistung gegangen sind, liegt auch daran, dass sich das bisherige System nicht so leicht „umstricken“ lässt. Allerdings bekommen sie auch die Einspeisevergütung. Dieses Hin- und Herschieben von Finanzmitteln sowie der Verwaltungsaufwand hierfür machen den Strompreis intransparenter und den Strom teurer.

Schon das EEG in seinen älteren Fassungen motivierte viele Interessengruppen, sich auf diesem neuen Marktsegment zu betätigen, um sich möglichst frühzeitig ihren Marktanteil zu

Teil II Energiewende ja – aber wie?

sichern. Dies betraf zunächst vor allem das Produktspektrum für die zentral organisierte Variante des Strommarktes.

Für Windkraftanlagen waren der norddeutsche Raum (Onshore) sowie Nord- und Ostsee (Offshore) die Vorreiter. Einmal, weil im Flachland die sog. „Windhöffigkeit“ (Häufigkeit und Stärke des bodennahen Windes) größer ist als im Bergland. Zum anderen aber auch, weil Offshore-Windkraftanlagen außerhalb der Sichtweite der Bevölkerung im Allgemeinen auf weniger Widerstand stoßen. Die Problematik für die dortigen Ökosysteme wird inzwischen erkennbar.

Die Betreiber der Übertragungsnetze planten primär neue Stromtrassen, um die Energie von diesen neuen Kraftwerkszentren zu den Verteiler-Knotenpunkten in ganz Deutschland zu übertragen. Die eigentliche Verteilung obliegt dann den örtlichen Verteiler-Netzbetreibern.

Parallel hierzu entstehen seit einiger Zeit in ländlichen Bezirken über ganz Deutschland verteilt sog. [Bioenergiedörfer](#), die mit ihren Möglichkeiten vor Ort Strom und Wärme für die Haushalte einer oder mehrerer Ortschaften erzeugen: Musterbeispiele für eine dezentrale Energieversorgung. Schaut man sich deren Struktur an, so ist jedes optimal an die lokalen Verhältnisse angepasst, eine der Grundideen der dezentralen Energieversorgung und der „Bürger-Energie-Initiativen“.

Im EEG wird nur der Strom behandelt, so dass Bioenergiedörfer für ihre Wärmeversorgung ein eigenes Nahwärmenetz aufbauen können. Der Strom muss jedoch den Umweg über das allgemeine Netz machen. Eine echte dezentrale Stromversorgung würde anders aussehen. Warum dieser Unterschied in den Netzstrukturen? Beim Wärmenetz existierte noch nichts. Man konnte von Null anfangen und störte keinen existierenden Markt. Beim Stromnetz existierte aber bereits ein Netz, ein Markt und ein Betreiber, in dessen Geschäftsmodell man eingriff. So etwas schafft erst mal Probleme.

Wir befinden uns derzeit am Anfang der Übergangsphase vom bisherigen in das zukünftige Stromversorgungssystem. Dieser Übergang, bei dem beide Systeme parallel laufen und sich gegenseitig ergänzen müssen, wird noch viele Jahre andauern. Unvorhergesehene Probleme, die gelöst werden müssen, bleiben nicht aus. Als z.B. an einem [laststarken Donnerstag im April 2013](#) Wind und Sonne mehr als 50 % des Strombedarfes lieferten, mussten konventionelle Kraftwerke herunter geregelt werden. Eine gute Gelegenheit, das primäre Ziel, nämlich weg von der Kohle, anzugehen. Die schlecht regelbaren Kohlekraftwerke können jedoch nicht einfach mal schnell runtergefahren werden. So wurden stattdessen die besser und schneller regelbaren Gaskraftwerke abgeschaltet, weil die Kohle- bzw. Kernkraft-betriebenen Dampfkraftwerke nicht unter ihre sog. „Grundlast“ herunter geregelt werden können, ohne sie ganz abzuschalten (siehe hierzu auch die Kapitelgruppe 4). Dies wiederum führte zu Überlegungen, die betroffenen Gaskraftwerke wegen zu geringer Auslastung ganz stillzulegen. Solche Überlegungen, die völlig konträr zu den eigentlichen Zielen der Energiewende stehen, zeigen nur, wie schlecht die verschiedenen Akteure der Energiewende untereinander koordiniert sind.

Wenn es auch in den Medien häufig so dargestellt wird, dass die großen Dampfkraftwerke (Kohle, Kernkraft) für die „Grundlast“ benötigt würden, so ist es genau umgekehrt. Für jedes Dampfkraftwerk wird eine Mindest-Grundlast benötigt, um es betreiben zu können. Wenn diese vom Netz nicht bereitgestellt wird, muss das Dampfkraftwerk abgeschaltet werden, um Schäden zu vermeiden. Die sog. „Grundlast“ im Netz ist eigentlich nur eine minimale Auslas-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

tung des Netzes, die sich aus der Summe aller angeschlossenen Verbraucher ergibt. Diese kann dem Netz aber auch von jedem anderen Stromerzeugungssystem, also auch Gaskraftwerken, zur Verfügung gestellt werden.

Im Sinne der Ziele der Energiewende wäre es deshalb besser, die schlechtesten Braunkohlekraftwerke stillzulegen und deren Stromproduktion auf die besser und schneller regelbaren und umweltfreundlicheren Gaskraftwerke zu verlagern. Dies ist die bessere, weil sauberere, Übergangstechnologie vom bisherigen in das zukünftige Stromversorgungssystem. Nur, hier konkurrieren wieder zwei unterschiedliche Interessengruppen.

Wegen der Kalkulationsmethode, die jedes Objekt isoliert betrachtet, gerät das eigentliche Ziel völlig in den Hintergrund. Es fehlt eine zielorientierte Gesamtbetrachtung, die sich bei einem durchdachten dezentralen System für jede einzelne Region automatisch ergeben würde. Das Ganze muss wirtschaftlich sein, nicht unbedingt jede Einzelkomponente. Aber so etwas passiert, wenn unterschiedliche Interessengruppen aktiv sind und jeder gegen jeden um Marktanteile kämpft. Auch hier ist noch viel politischer Handlungsbedarf.

Als nächstes nehmen wir die mittelfristigen Planungen und den gegenwärtigen Stand der Energiewende auf den unterschiedlichen regionalen Ebenen näher unter die Lupe.

11 Aktueller Stand und Planung der Energiewende

11.1 Grundbegriffe

Da dies ein beliebtes Thema in den Medien ist, sollen zwei wichtige technisch/physikalische Größen erläutert werden, die häufig im gleichen Atemzug genannt werden, aber nicht verwechselt werden dürfen: Leistung und Energie, hier bezogen auf den elektrischen Strom.

Die Leistung eines elektrischen Gerätes/Generators, gemessen in den technischen Maßeinheiten Watt (W), oder dem tausendfachen Wert (kW), ist eine Leistungsangabe, die wir auf Geräten finden, z.B. auf den klassischen Glühbirnen 60 W, auf einem Staubsauger 1 kW. Diese Leistung wird zum Betrieb der Geräte benötigt; bei einem Generator ist es die Leistung, die er in das Netz einspeisen kann.

Die Energie, die zum Betrieb benötigt wird, hängt von der Einschaltdauer ab. Energie ist das Produkt aus Leistung und Betriebsdauer, gemessen in den technischen Maßeinheiten Ws oder kWh; bei Geräten: wie lange sie benötigt werden, bei Generatoren: wie lange sie eine bestimmte Leistung abgeben.

Wie wirkt sich das auf unseren Geldbeutel aus? Die Leistung bezahlen wir, wenn wir ein Gerät kaufen. Die Energie bezahlen wir über die Stromrechnung, wenn wir dieses Gerät betreiben. Die hierfür benötigte Energie steigt, je größer die Leistung eines Gerätes ist und je länger es eingeschaltet ist. Die getrennte Betrachtung von Leistung und Energie wird wichtig, wenn wir, in einem späteren Kapitel, die Themen „Energieeffizienz“ und „Energie sparen“ behandeln.

Je nach Anwendungstechnik – Mechanik, Heizungstechnik, Elektrotechnik etc. – hatten sich historisch die unterschiedlichsten Maßeinheiten und Systeme für Leistung und Energie entwickelt. Um in der modernen Technik, wo alles miteinander verknüpft ist, einfacher umrech-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

nen zu können, war es notwendig, möglichst viele Maßeinheiten auf dieselbe physikalische Grundeinheit zurückzuführen. Die physikalische Grundeinheit für Energie ist das Joule (J). Wir kennen diese Einheit vom Energieinhalt für Lebensmittel (früher kcal). Die Kalorie war in der Wärmelehre die Einheit für Energie, wo sie auch noch in einzelnen Bereichen weiterverwendet wird. Allerdings ist die Energiemenge der Grundeinheit 1 J so klein, dass für den täglichen Gebrauch mit dem tausendfachen Wert (Kilo bzw. k) gerechnet wird. So hat z.B. ein Hühnerei einen Energieinhalt von 627 kJ. Der Tagesbedarf eines Erwachsenen beträgt je nach Größe, Alter, Geschlecht und körperlicher Aktivität etwa 10.000-15.000 kJ (nach alter Maßeinheit 2.400 bis 3.500 kcal).

Die Energiemenge der elektrotechnischen Maßeinheit von 1 Wattsekunde (Ws) entspricht exakt der Energiemenge von 1 J der physikalischen Grundeinheit.

Mittlerweile werden alle Leistungen in kW angegeben, unabhängig davon, ob es sich um ein elektrisches Gerät, Wärmeleistung einer Heizung (früher kcal/h) oder mechanische Leistung eines Automotors (früher PS) handelt. Entsprechend wird die Energie für deren Betrieb einheitlich in kWh gemessen. Hieran erkennt man sehr gut, was Energie eigentlich bedeutet. Die Leistung in Watt (W), oder dem tausendfachen Wert (kW), multipliziert mit der Betriebsdauer in Stunden (h) ist die benötigte Energie in kWh. Teilweise wird dies auch für den Energieinhalt der verwendeten Brennstoffe gemacht. So hat z.B. 1 l flüssiger Brennstoff (Heizöl, Diesel, Benzin) einen Energieinhalt von ca. 10 kWh. Beim „Primärenergieverbrauch“ wird meist ein Vielfaches der Grundeinheit Joule verwendet, oder das „Öläquivalent“ (s.a. Kapitel 8.1).

Die Vorsilbe „Kilo“ (das 1000-fache der jeweiligen Grundeinheit) führt bei den Maßeinheiten kW für Leistung und kWh bzw. kJ für Energie zu praktikablen Zahlenwerten im täglichen Gebrauch (Jahresbedarf an elektrischer Energie eines normalen 4-Personen-Haushalts: ca. 3.000-4.000 kWh). Bei Kraftwerksblöcken oder dem Energiebedarf ganzer Regionen würde man schnell zu unübersichtlichen Zahlen kommen. Deshalb werden dann der jeweiligen Maßeinheit andere Vorsilben in 1.000-Schritten zugeordnet (abgeleitet aus dem Griechischen). Im Fall von Watt (W):

k für Kilo, 1 kW = 1.000 W

M für Mega, 1 MW = 1.000 kW

G für Giga, 1 GW = 1.000 MW

T für Tera, 1 TW = 1.000 GW

P für Peta, 1 PW = 1.000 TW

E für Exa, 1 EW = 1.000 PW

Das Gleiche gilt sinngemäß auch für die Maßeinheiten der Energie in Wh bzw. J.

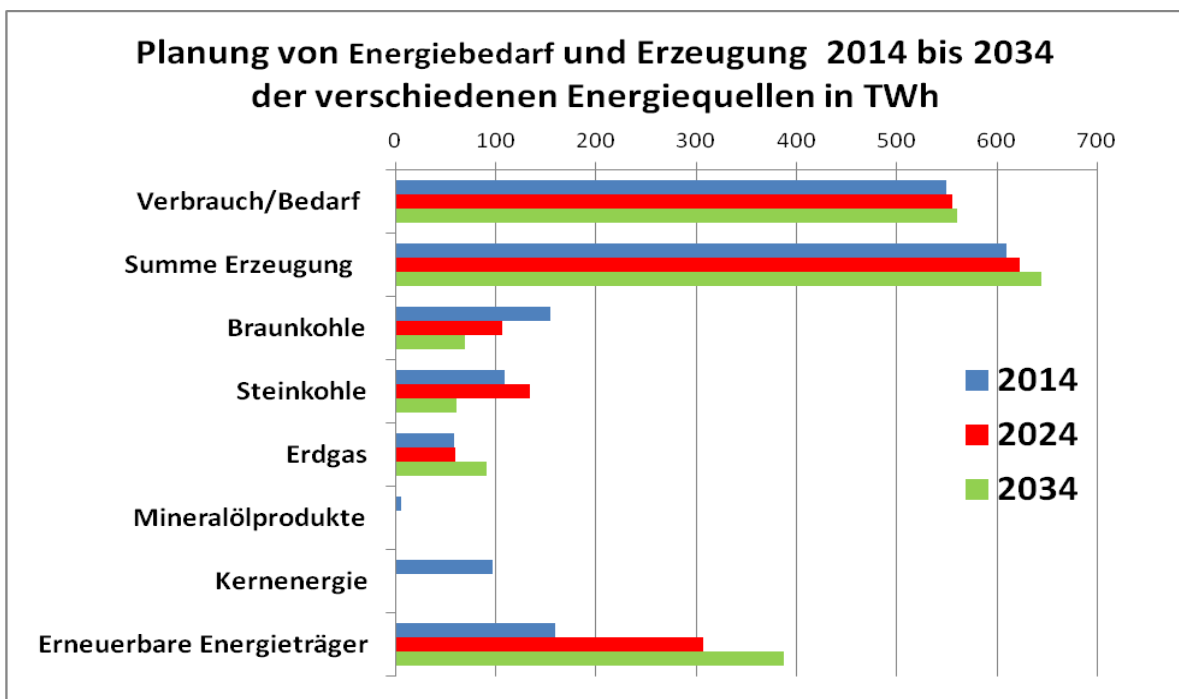
Der vorgenannte Jahresbedarf für einen 4-Personen-Haushalt von 3.000-4.000 kWh ist also identisch mit 3-4 MWh. In letzter Zeit wird in den Medien und im alltäglichen Sprachgebrauch immer häufiger die Angabe „Milliarden kWh“ benutzt. Der Vorteil ist: Es werden zwei gängige Begriffe miteinander verknüpft. Die kWh der Stromrechnung mit der, mittlerweile aus der Finanzwelt, bekannten Milliarde. Etwas verwirrend hieran ist, dass sich die Angabe „Milliarde“ (hierfür steht im obigen Schema das „Giga“) nicht auf die Grundeinheit W bezieht, sondern auf den 1.000-fachen Wert kW. 1 Milliarde kWh ist also identisch mit 1 TWh.

Mit diesem Wissen wenden wir uns im nächsten Kapitel dem Stand und den Prognosen für die Energiewende in Deutschland zu.

11.2 Die Energiewende in der Bundesrepublik Deutschland

Alle Daten dieses und der nächsten Kapitel stammen aus Veröffentlichungen des statistischen Bundesamtes, der Bundesnetzagentur, dem 2. Entwurf des Netzentwicklungsplanes 2014 ab S. 48, sowie Wikipedia.

Die nachfolgende Graphik verdeutlicht im 10-Jahresrhythmus die Gesamtplanung für die Stromwirtschaft bis 2034, die Aufteilung auf die einzelnen Energiequellen und damit auch den Übergang von den fossilen zu den erneuerbaren Energieträgern.



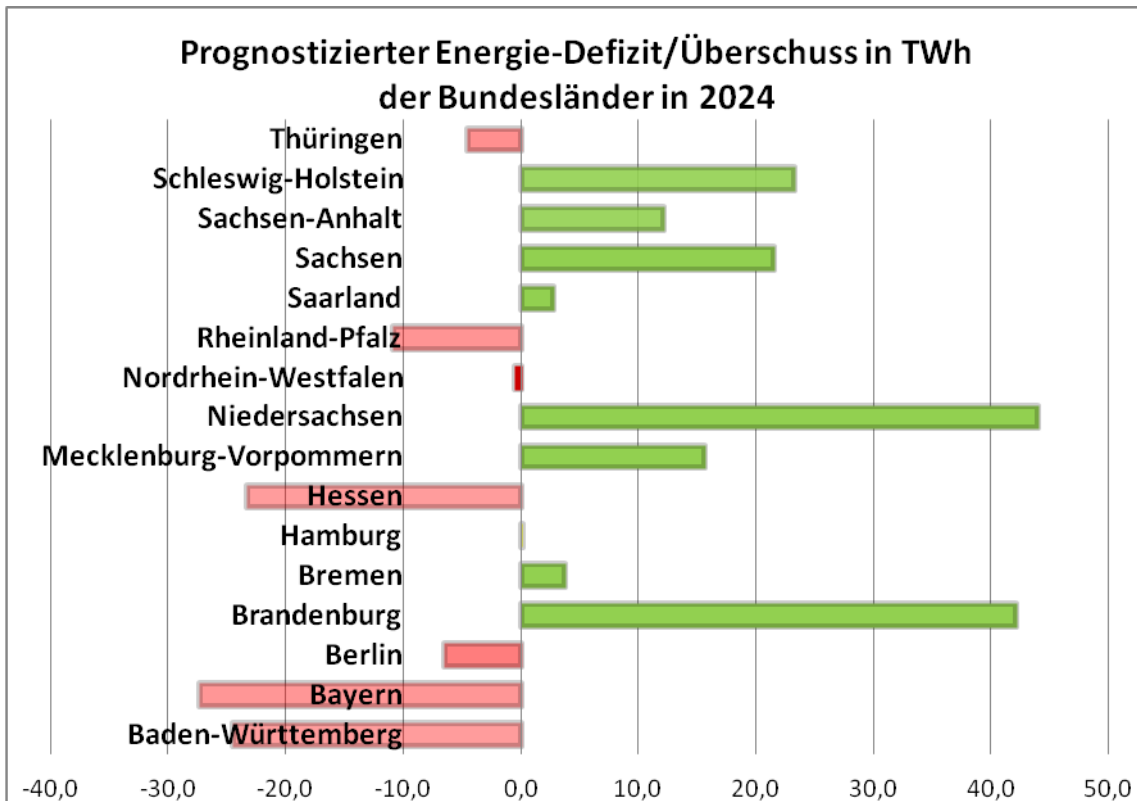
Der Verbrauch bleibt nahezu unverändert. Man geht wohl davon aus, dass der Bedarf von neu hinzukommenden Stromverbrauchern, z.B. der Elektromobilität, durch eine verbesserte Effizienz und Einsparung bei der klassischen Stromanwendung kompensiert wird. Hinzu kommt, dass durch die Reduzierung der großen Dampfkraftwerke (Atomkraft, Kohle) deren Eigenbedarf entfällt. Die Werte für die Erzeugung sind die tatsächlich erzeugten bzw. geplanten Energiemengen, nicht die installierte Kraftwerksleistung. Dies wird häufig verwechselt.

Der Überschuss zwischen Bedarf und Erzeugung von ca. 60 bis 80 TWh – Stromerzeugung muss sekundengenau dem Verbrauch entsprechen – deckt zunächst den Eigenbedarf der großen Dampfkraftwerke (s.a. Kapitel 4.2, Dampfkraftwerke), der in den Bedarfszahlen nicht enthalten ist, sowie den Stromexport. Im Europäischen Verbundnetz ist Deutschland seit Jahren Stromexportland. 2013 wurden z.B. 34,9 TWh mehr exportiert als importiert. Dies zeigt auch, dass diese Planung ausreichend Notfallreserven für begrenzte Störungsfälle vorsieht.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

2024 ist das erste Prognosejahr ohne Kernkraftwerke. Betrachtet man die Stromerzeugung und den Bedarf der einzelnen Bundesländer (Netzentwicklungsplan, s.o.), so steht Nordrhein-Westfalen in beidem absolut an der Spitze. Aber die Bilanz ist ausgeglichen. Es produziert keinen Stromüberschuss mehr wie bisher. 2034 hat es ein Stromdefizit. Die Reduzierung des Kohlestromanteils von 93,7 TWh auf 50,3 TWh wird nur z.T. durch den Ausbau von Erdgas und Windkraft von 34,3 TWh auf 50,4 TWh ausgeglichen.

Die nachfolgende Graphik zeigt die prognostizierte Energiebilanz der einzelnen Bundesländer für das Jahr 2024, dem ersten Prognosejahr ohne Kernkraftwerke und einem Energiemix von etwa 50 % aus fossiler Primärenergie und 50 % aus erneuerbaren Energien.



Entsprechend dem Netzentwicklungsplan haben die nördlichen und östlichen Bundesländer 2024 einen nennenswerten Stromüberschuss. Niedersachsen, Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern durch die Windkraftanlagen (Offshore und Onshore), Sachsen-Anhalt durch Windkraft und Braunkohle, Brandenburg und Sachsen nur durch Braunkohle. 2034 verstärkt sich dieser Stromüberschuss der nördlichen drei Bundesländer durch den weiteren Ausbau der Windkraftanlagen. Die der östlichen drei ebenfalls durch weiteren Ausbau der Windkraft, der größer ist als die Reduktion der Braunkohle auf etwa 2/3 der Kapazität von 2024.

Die vier südlichen Bundesländer Hessen, Rheinland Pfalz, Baden Württemberg und Bayern haben in 2024 ein erhebliches Stromdefizit, was sich auch in 2034 nicht grundlegend ändert.

Das Land mit dem größten Stromdefizit ist Bayern. Die folgende Tabelle zeigt die prognostizierten Daten, absolut in TWh, sowie das Defizit relativ in % des prognostizierten Bedarfs.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

	2024	2034
Bedarf in TWh	81,1	82,1
Erzeugung in TWh	51,8	66,0
Defizit in %	36,1	19,6

Wobei der geplante Ausbau auch bis 2034 nicht ausreicht, um diese Lücke zu schließen. Welche Möglichkeiten hierfür zur Verfügung stehen, schauen wir uns im nächsten Kapitel an.

11.3 Die Energiewende im Bundesland Bayern

Das vorige Kapitel zeigte, dass Bayern 2024 lt. Netzentwicklungsplan ein Defizit bei der Stromversorgung von ca. 30 TWh = 36 %, haben wird. Grundsätzlich gibt es 3 Möglichkeiten diese Lücke zu schließen:

1. Strom sparen. Jede nicht verbrauchte kWh entlastet die Umwelt, das Klima und den Geldbeutel. Aber landesweit 36 %? Ein sehr ambitioniertes Ziel!
2. Stromlieferung aus Bundesländern mit Stromüberschuss. Das ist sicher realisierbar, bedeutet aber Umbau und Erweiterung des Übertragungsnetzes.
3. Ausbau der dezentralen Stromerzeugung aus lokalen erneuerbaren Energiequellen. Das Konzept der Bürgerinitiativen und der Bioenergiedörfer.

Wahrscheinlich ist ein Mix aus allen drei Punkten notwendig.

Obwohl in der Zwischenzeit das neue „Bayerische Energieprogramm 2015“ bekannt gemacht wurde, wollen wir uns zunächst ansehen, welche Konsequenzen sich aus der ursprünglichen bundesweiten Planung (Netzentwicklungsplan 2014) und dem Bayerischen Energiekonzept von 2011 ergeben würden. Dann werden auch die Unterschiede zum neuen Bayerischen Energieprogramm 2015 deutlicher. Da dieses nur einen Ausblick auf die Entwicklung bis 2025 macht, beschränken wir die folgende Analyse auch auf die Prognosezahlen des Netzentwicklungsplanes bis 2024.

Nehmen wir zunächst den 2. Punkt unter die Lupe. Die fehlenden 30 TWh müssten dann aus Norddeutschland bzw. Ostdeutschland kommen. Grundsätzlich wäre dies möglich. Die Bundesländer mit Stromüberschuss wären in der Lage das Defizit der anderen Bundesländer zu decken, siehe Graphik im Kapitel 11.2. Wie unter Punkt 2 schon erwähnt, bedeutet dies eine Anpassung des Übertragungsnetzes. Hierfür würden, mit den bisher in Deutschland üblichen 400 kV Leitungen, zusätzlich 3 Trassen benötigt, die ursprüngliche Planung der Übertragungsnetzbetreiber. Dies wurde von der Politik nach zähen Verhandlungen auf Bundesebene auf einen kleinen Rest einer Trasse reduziert. Was wurde an der Situation geändert? Will man die dezentrale Stromerzeugung (Punkt 3) stärker ausbauen? Werden Maßnahmen zu effizienterem und sparsamerem Umgang mit elektrischer Energie (Punkt 1) in die Wege geleitet? Hierüber wurde nichts bekannt.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Eine einzelne Leitung würde vermutlich genügen, wenn diese als 750 kV Drehstrom-Leitung oder Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung gebaut würde (beides im bundesdeutschen Netz bisher noch nicht realisiert). Dann würden aber die fehlenden 30 TWh (ca. 36 % des Strombedarfes) Bayern an nur einem Punkt erreichen. Somit wären ebenfalls erhebliche Anpassungen im bayerischen Verteilernetz notwendig.

Warum können nicht die bisherigen Übertragungsleitungen zwischen Bayern und den anderen Bundesländern genutzt werden? Betrachten wir hierzu die heutige Strombilanz Bayerns, vor Abschaltung der Atomkraftwerke, einschließlich Grafenrheinfeld (stillgelegt Juni 2015). Denn dies ist für Bayern ein entscheidender Einschnitt in der Stromversorgung.

Atomkraftwerk	Installierte Leistung (el.)	Jahresproduktion gerundet
Grafenrheinfeld	1.345 MW	7 TWh
Gundremmingen	2.688 MW	20 TWh
Isar/Ohu	1.485 MW	11 TWh

Die Stromproduktion dieser drei Atomkraftwerke war insgesamt größer als das für 2024 prognostizierte Defizit. Bayern war Stromüberschussland. Nach Abschaltung von Grafenrheinfeld dürfte die Energiebilanz einigermaßen ausgeglichen sein. Nach Abschaltung aller Atomkraftwerke (bis 2022) ändert sich dies, Bayern wird Stromdefizitland, einige Energieströme im Übertragungsnetz drehen sich um. Die Einbahnstraße geht jetzt in die andere Richtung. Außerdem wäre der zukünftige Stromimport etwa 3mal größer als der frühere Stromexport. Es ist fraglich, ob die Übertragungskapazität der alten Leitungen, angepasst an den geänderten Energiefluss, für die neue Aufgabe ausreichen würde. Es ist eine Systemfrage, ob günstiger komplett neue Leitungen gebaut oder die alten Leitungen den neuen Verhältnissen angepasst werden, (s.a. Kapitelgruppe 9 zentrales / dezentrales System). Grundsätzlich gilt: je kleiner der Strombedarf (Punkt 1), umso weniger muss produziert werden, und je höher die verbrauchernahe Eigenproduktion (Punkt 3), umso geringer der Stromimport über das Übertragungs- und Verteilernetz.

Das Defizit ausschließlich über Stromlieferungen zu decken, erfordert eine zentrale Struktur. Das Defizit zumindest zu einem großen Teil durch verstärkte, dezentrale und verbrauchernahe Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen, kombiniert mit Energie-Sparmaßnahmen, zu decken (Punkte 3+1), zeigt in Richtung einer dezentralen Struktur. Nehmen wir deshalb jetzt diese beiden Möglichkeiten (Punkte 1+3) unter die Lupe.

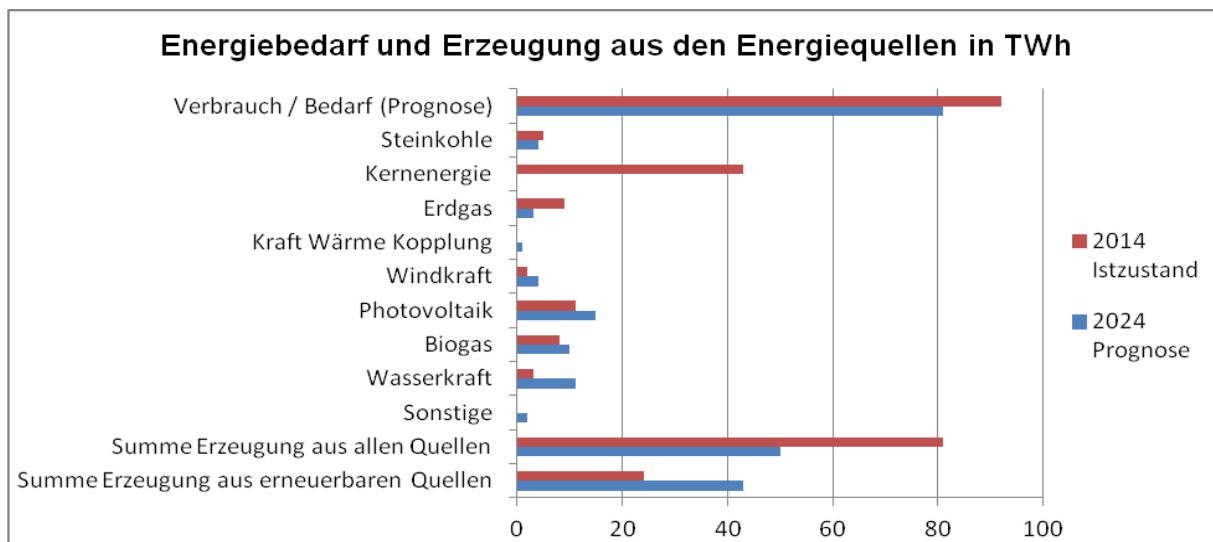
Datenquellen für die folgende Betrachtung: Netzentwicklungsplan/Bundesnetzagentur für die Planzahlen 2024.

www.energyMap.info Für den Verbrauch sowie den erzeugten Strom aus erneuerbaren Energiequellen in 2014.

[Bayrisches Landesamt für Statistik](#) Für Stromerzeugung aus fossiler Energie (Kohle, Erdgas, Kernenergie) in 2013.

Die nachfolgende Graphik verdeutlicht sowohl den Anteil der einzelnen Energiequellen am Gesamtmix der Stromversorgung als auch die Veränderung bis 2024.

Teil II Energiewende ja – aber wie?



Betrachtet man in dieser Zusammenstellung nur das Endergebnis (letzte Zeile), so scheint Bayern auf einem guten Weg zu sein. Die derzeitige Entwicklung entspricht etwa dem [Bayrischen Energiekonzept von 2011](#). Zitat: „**Wir halten es für erreichbar, dass innerhalb der nächsten 10 Jahre (2021) 50 % des bayerischen Stromverbrauchs aus erneuerbaren Energien gedeckt werden**“. Demnach wäre bereits 2015 die Hälfte der Zielvorgabe erreicht.

Überlegen wir auf Basis der Planzahlen 2024, wie eine weitere Entwicklung aussehen müsste, mit dem Ziel, die Lücke zwischen Strombedarf und Summe der Eigenerzeugung/Plan (31 TWh) mit zusätzlicher Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen bzw. durch Stromersparung zu schließen.

1. Verbrauch/Bedarfsprognose: Die scheinbare „Stromeinsparung“ von 2014 auf 2024 resultiert im Wesentlichen nur aus dem Wegfall des Eigenbedarfes der großen Dampfkraftwerke (Kernkraft, Kohle. S.a. Kapitel 4.2). Der tatsächliche Endstromverbrauch (2024 = 81 TWh) müsste um weitere 38 % (31 TWh) gesenkt werden, um den Ausgleich herzustellen.
2. Alternativ auf der Erzeugerseite aus erneuerbaren Quellen:
 - a) Am Beispiel des größten Erzeugers, der Photovoltaik. Deren Ausbaugrad für 2024 müsste fast vervierfacht werden (+200 % von 11 auf 42 TWh).
 - b) Am Beispiel der beiden Quellen mit dem größten Entwicklungspotenzial in Bayern, Windkraft und Biogas. Beide müssten ebenfalls etwa verdreifacht werden.

Ist das realistisch?

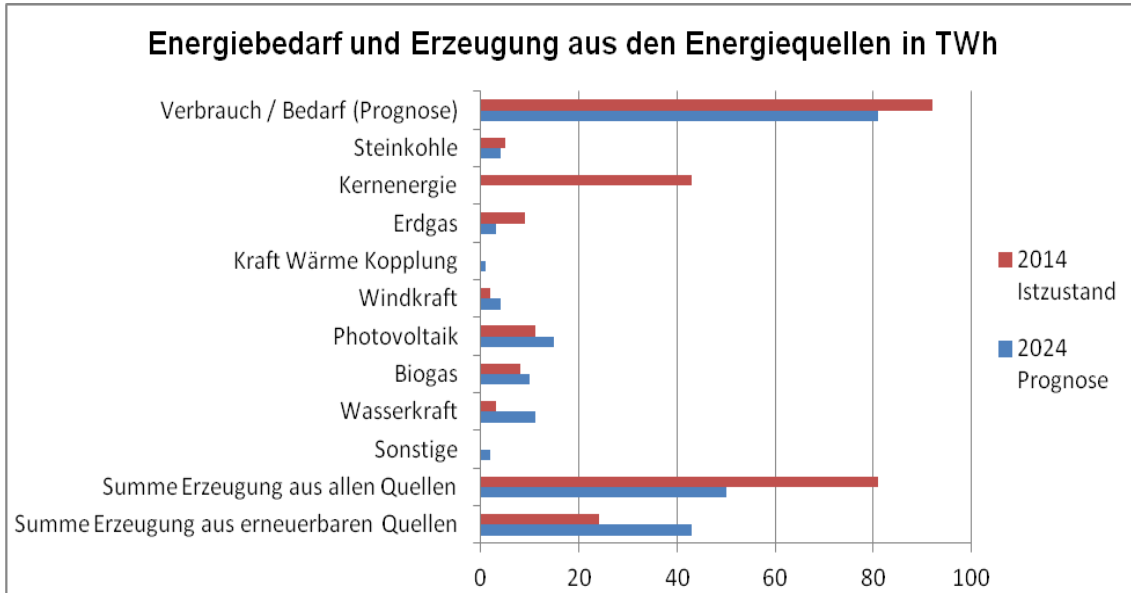
Fazit: Ein Ausgleich kann nicht durch einen zusätzlichen Ausbau nur einer Energiequelle oder nur durch Stromsparmaßnahmen erreicht werden. Hieran müssen alle vorhandenen Energiequellen beteiligt sein, denn es kommt auch auf ein optimales Mischungsverhältnis an. Der effektivste Ansatz ist aber die Reduzierung des Verbrauchs. Denn eine insgesamt geringere Stromproduktion verringert auch die hierfür notwendigen Anlagen und damit auch die unerwünschten Begleiterscheinungen, die jede Technik mit sich bringt. Hier ist zwar jeder Einzelne gefordert. Aber das Ergebnis wird auch sofort im eigenen Geldbeutel sichtbar. Hier-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

zu mehr in einer späteren Folge. Jedes „Restdefizit“ muss aus dem Norden zugeliefert werden.

Wie realistisch ist aber der Netzentwicklungsplan 2014? Hierzu weitere Überlegungen im nächsten Kapitel sowie der Vergleich mit dem neuen Bayerischen Energieprogramm 2015.

Wir greifen die vorstehende Graphik und die daraus abgeleiteten Überlegungen nochmal auf. Zur besseren Lesbarkeit hier eine Wiederholung der Graphik.



Wir hatten festgestellt, dass Bayern nach den Zielvorgaben dieser Graphik und dem [Bayerischen Energiekonzept von 2011](#) scheinbar auf einem guten Weg ist. Bei den weiteren Überlegungen, wie auf Basis dieser Planzahlen das Fernziel (100 %-Deckung) zu erreichen ist, kamen Zweifel auf, wie realistisch denn die Planzahlen für 2024 sind. Ob es für Bayern realistisch ist, die Lücke zwischen Strombedarf und Summe der Eigenerzeugung aus allen Quellen (2024 ca. 31 TWh) mit zusätzlicher dezentraler Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen bzw. durch Stromeinsparung zu schließen?

In der Tat sind einige Planzahlen schwer nachvollziehbar. Schauen wir uns einzelne Punkte im Detail an:

Steinkohle: Die Erzeugung aus Steinkohle wird nur unwesentlich reduziert.

Erdgas wird dagegen auf 1/3 reduziert. Erdgas ist zwar auch keine erneuerbare Energiequelle, ist aber wesentlich klimaschonender als Kohle und wäre deshalb die bessere Übergangstechnologie. Es wäre also sinnvoller, die Steinkohle stärker und Erdgas weniger zu reduzieren. Außerdem wurde ja auch bereits diskutiert, zusätzliche Gaskraftwerke statt Windräder zu bauen.

Die Windkraft ist relativ unbedeutend. Sie deckt 2014 nur ca. 2 TWh (2,2 %) des Energiebedarfes, aus etwa 900 Windkraftanlagen. Der Plan sieht bis 2024 zwar eine Verdopplung vor, aber dies ist immer noch unbedeutend. Selbst diese Prognose ist bei der existierenden 10H-Regelung völlig unrealistisch. Oder man gibt der 10H-Regelung keinen langfristigen Bestand.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Die Photovoltaik, angeblich Bayerns größte erneuerbare Energiequelle: 2014 trägt sie mit 11 TWh (12 %) zum Energiemix bei. Geplanter Ausbau für 2024 knapp das 1,5-fache. Die geringe Veränderung lässt vermuten, dass man kein großes Potential mehr sieht. Allerdings gibt es noch viele ungenutzte Dachflächen, die einen weiteren Ausbau ohne zusätzlichen Flächenverbrauch problemlos zulassen

Biogas: 2014 ca. 8 TWh. Ausbau für 2024 auf etwa das 1,25-fache. Diese geringe Veränderung lässt ebenfalls vermuten, dass man kein großes Potential mehr sieht. Betrachtet man allerdings den Energiemix der [Bioenergiedörfer](#), so spielt Biogas aus landwirtschaftlichen **Abfällen** die entscheidende Rolle. Es gibt noch ein wesentliches Ausbaupotenzial, wenn die Idee der Bioenergiedörfer ausgebaut wird.

Wasserkraft: Die Erweiterung von 2014 auf 2024 um fast das Vierfache ist sehr fragwürdig. Allgemein wird immer die Meinung vertreten, dass Bayern, wie auch ganz Deutschland, sein Wasserkraftpotential weitgehend ausgeschöpft hat. Dies ist sicher richtig für große Wasserkraftwerke. Kleine Wasserkraftwerke, als ein ergänzender Baustein zu einer dezentralen Energieversorgung, haben ein gewisses Potenzial, wie auch das Beispiel einiger Bioenergiedörfer zeigt. Hierfür gibt es auch interessante Neuentwicklungen für kleine Fließgewässer oder geringes Gefälle. Die Nutzung der Wasserkraft speziell bei kleinen Fließgewässern ist jedoch aus zwei Gründen problematisch. Kleine Fließgewässer sind häufig sehr sensible Ökosysteme. Der zweite Grund liegt aber im Klimawandel selbst. Dieser wird auch unser regionales Klima beeinflussen. Vor allem die Universität Bayreuth forscht auf diesem Gebiet für den fränkischen Raum. Alle Modellrechnungen und Prognosen kommen zu dem Ergebnis, dass es regional, z.B. auch in Oberfranken, zu Wasserproblemen kommen wird, insbesondere wird auch die Grundwasserhaltung betroffen sein. Es gilt also gerade bei Neubau oder Erweiterungen von kleinen Wasserkraftanlagen, den Aufwand, die ökologische Beeinflussung und den mittel- bis langfristigen Nutzen unter Einschluss der möglichen Veränderungen durch den Klimawandel sorgfältig gegeneinander abzuwägen. Eine Vervielfachung des Anteils der Wasserkraft ist hiermit absolut unrealistisch.

Kann mit dieser Planung das Fernziel für Bayern, 100 % erneuerbare Energie, überhaupt erreicht werden? Dies erscheint sehr zweifelhaft. Aber das neue bayerische Energieprogramm von 2015 verspricht bereits für 2025 eine „70 %-Deckung“, statt der „53 %-Deckung“ nach der alten Planung. Wie soll das gehen? Was wurde geändert? Dies werden wir im übernächsten Kapitel unter die Lupe nehmen. Zuvor schauen wir uns noch die Situation auf der Landkreisebene am Beispiel des Landkreises Forchheim an.

11.4 Die Energiewende im Landkreis Forchheim

Betrachten wir im Sinne einer dezentralen verbrauchernahen Energieversorgung die Stromversorgung auf der Landkreisebene am Beispiel des Landkreises Forchheim. Hierzu verwenden wir ein vereinfachtes Schema wie im Kapitel 11.3 für das Bundesland Bayern.

Es gibt keine Eigenerzeugung aus fossilen Energieträgern. Das Defizit zwischen Eigenerzeugung aus erneuerbaren Quellen und Bedarf muss von außen kommen.

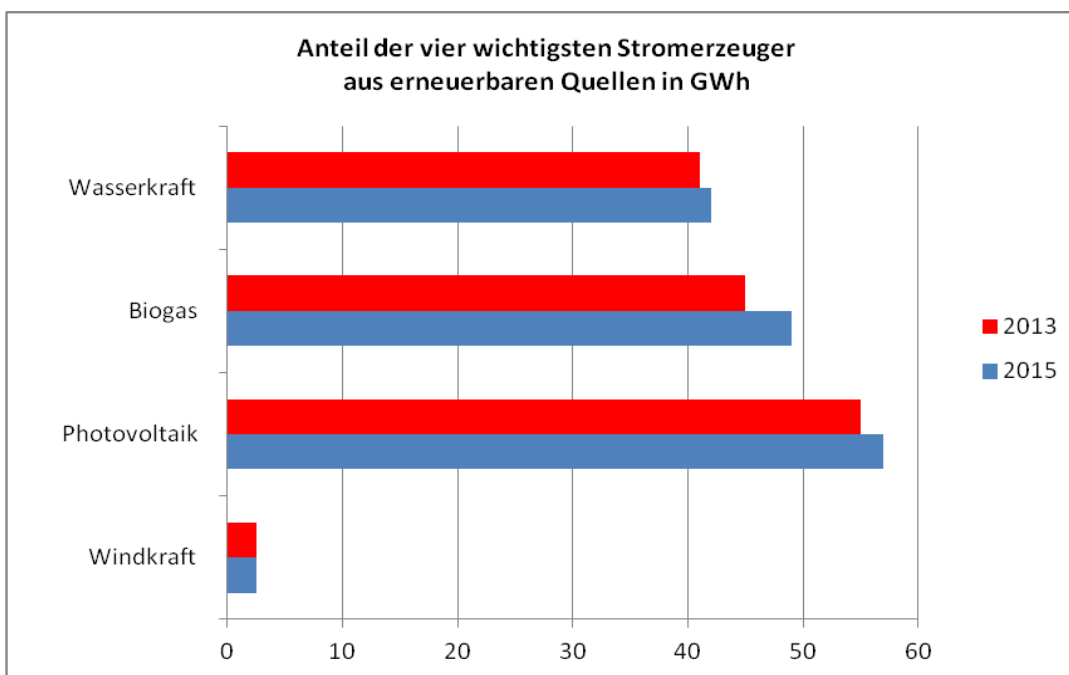
Die Tabelle und die Graphik enthalten für das Jahr 2013 die tatsächlichen Werte. Die Werte für das Jahr 2015 sind hochgerechnete Werte auf Basis der Daten bis August 2015. Danach wurden von der Bundesnetzagentur keine Daten mehr zur Verfügung gestellt, die es ermög-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

lichen würden, diese Statistiken weiterzuführen. Dieses Informationsdefizit erschwert natürlich einen gezielten Ausbau der Energiewende von unten. Trotzdem werden hier diese beiden Jahre einander gegenüber gestellt, um die kurzfristige Entwicklung im Landkreis beurteilen zu können.

Basisjahr / Prognosejahr	2013	2015
Verbrauch / Bedarf (Prognose) in GWh	491	520
Summe Erzeugung aus erneuerbaren Quellen in GWh	144	151

Die nachfolgende Graphik zeigt den Anteil der Stromerzeugung aus den vier wichtigsten erneuerbaren Energiequellen des Landkreises Forchheim (Summe 151 GWh).



Die drei Hauptenergieträger sind die Photovoltaik, das Biogas und die Wasserkraft. Dies ist typisch für einen Landkreis, wo auch kleine Fließgewässer Möglichkeiten für kleine Wasserkraftwerke bieten, eine Chance, die auch schon in der „vorelektrischen Zeit“ genutzt wurde. Negativ in diesem Energiemix ist der geringe Anteil der Windkraft. Wie wir später noch sehen werden, fördert ein bestimmtes Verhältnis Windkraft zu Photovoltaik einen gleichmäßigeren Energiefluss und vermindert dadurch den notwendigen Bedarf an Energiespeichern. Trotzdem ist der Landkreis nach eigenen Erhebungen mit 29 % des Bedarfes aus erneuerbaren Quellen besser als der bayerische und bundesdeutsche Durchschnitt mit je 26 %. Je nach örtlichen Verhältnissen ist der Energiemix in den Kommunen, insbesondere wenn vor Ort Wasserkraft oder Biogas genutzt werden, sehr unterschiedlich. Dies trifft insbesondere auf die beiden Spitzenreiter im Landkreis zu: Wiesenttal mit 72 % und Pinzberg mit 66 % Eigenversorgung. Dagegen kommt z.B. Neunkirchen im Jahr 2014 bei einem Verbrauch von 26 GWh nur auf 3,4 GWh aus erneuerbaren Quellen, entsprechend 13 %. Dies wird zu 2/3 aus PV-Anlagen (viele Hausdachanlagen) und 1/3 aus Biogasanlagen generiert.

Nachdem infolge von den Festlegungen der Regionalplanung Oberfranken-West auf Druck der Öffentlichkeit sowie der bayerischen 10H-Regelung ein weiterer Ausbau von großen

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Windkraftanlagen im Landkreis Forchheim nicht mehr möglich ist, gibt es Entwicklungspotenzial im Wesentlichen nur noch für PV-Anlagen und kleine Wasserkraftanlagen, evtl. kombiniert mit Kleinwindanlagen. Zur Problematik der Nutzung der Wasserkraft bei kleinen Fließgewässern siehe auch Kapitel 11.3.

Weitere Informationen hierzu:

[Regionale Ausprägung des Klimawandels in Oberfranken](#): Eine Ausarbeitung von Prof. Thomas Foken & Dr. Johannes Lüers, Uni Bayreuth. Diese kann kostenlos herunter geladen werden.

Die Entwicklung von PV-Anlagen für Hausdächer einschließlich kleiner Energiespeicher wird sowohl für kleine Unternehmen als auch für Privathäuser zunehmend interessant, um den Eigenbedarf weitgehend zu decken, finanziert über eingesparte Stromkosten. Hierzu mehr in Kapitelgruppe 17.

Das Stromnetz im Landkreis war bislang ein typisches Verteilernetz. Die elektrische Energie wurde im unteren Spannungsbereich von außen zu einigen wenigen Einspeisepunkten zusammengeführt, und von dort aus in der Fläche verteilt. Die Energie floss in einer Richtung, vom Einspeisepunkt zum Verbraucher. Eine dezentralisierte Energieversorgung beinhaltet jedoch, dass die Verbraucher auch zum Energielieferanten werden können. Das Verteilernetz muss jetzt auch für einen Zweirichtungsverkehr aufgerüstet werden.

Fazit: Es gibt eine Energiewende von „Oben“ und eine von „Unten“. Die Energiewende von „Oben“ wird zentral gesteuert durch das EEG und vorangetrieben durch die großen Energieversorger und Übertragungsnetzbetreiber sowie deren Investoren.

Die Energiewende von „Unten“ ist dezentral. Sie wird vom EEG geduldet, aber nicht aktiv gesteuert (s.a. Kapitel 35 und 36). Diese obliegt Initiativen von Einzelpersonen, Kommunen oder Genossenschaften.

Als nächstes werden wir das neue bayerische Energieprogramm 2015 unter die Lupe nehmen und ergründen, wie bereits für 2025 eine Stromdeckung von 70 % aus erneuerbaren Quellen erreicht werden soll, anstatt der ursprünglich geplanten 50 %. Danach schauen wir uns die Ergebnisse der Pariser Klimakonferenz im Dezember 2015 an.

12 Nachtrag – Bayerisches Energieprogramm 2015

In den letzten Kapiteln hatten wir den gegenwärtigen Stand und die weitere Planung der bayerischen Energiewende bis 2034 analysiert sowie einige Details dieses Zahlenwerkes kritisch an der Realität gespiegelt. Nun liegt das [Bayerische Energieprogramm 2015](#) vor. Es empfiehlt sich, den vorstehenden Link zu öffnen und die nachfolgende Analyse direkt mit dem Originaltext zu vergleichen.

Dieses Energieprogramm enthält keine konkreten Ziele, nur viele unverbindliche Absichtserklärungen. Im 1. Abschnitt, der Darstellung der bayerischen Erfolge der Energiewende von 2010 bis 2014, werden mit sehr kreativen Graphiken Prozentzahlen genannt. Man wird an den bekannten Satz erinnert: „Glaube keiner Statistik, die Du nicht selbst gefälscht hast“;

Teil II Energiewende ja – aber wie?

besonders mit Prozentzahlen lassen sich Verhältnisse gut verschleiern, wenn die Basis für die Prozentrechnungen nicht eindeutig ist, oder, wie in diesem Fall, ständig geändert wird.

Es ist in allen Statistiken im Zusammenhang mit der Energiewende üblich, den Anteil der **Stromerzeugung** aus erneuerbaren Quellen am **Strombedarf** zu spiegeln – „**allgemein übliche Berechnungsmethode**“. Diese zeigt, wie weit man noch vom Fernziel, den gesamten Strombedarf aus erneuerbaren Quellen zu decken, entfernt ist. In dieser Prozentrechnung ist 100 % also der **Strombedarf**. Das bayerische Energieprogramm 2015 stellt diese Rechnung jedoch trickreich von der Basis „bayerischer Strombedarf“ auf die Basis der „bayerischen Bruttostromerzeugung“ um – „**bayerische Berechnungsmethode**“. In dieser Prozentrechnung ist 100 % also die **bayerische Stromerzeugung**, nicht mehr der Strombedarf. Hierdurch wird jeder Vergleich mit bundesdeutschen Statistiken oder der anderer Bundesländer unmöglich, und die bayerische Energiewende steht schlagartig überraschend gut da. Dies wird gleich an der ersten Graphik 1.1 des Energieprogramms erkennbar. Solche Säulengraphiken vermitteln einen guten optischen Eindruck über die Steigerungsraten in dem betrachteten Zeitraum. Diese betragen für 2010 bis 2014 mit abnehmender Tendenz etwa 2,6 % bis 1,3 % pro Jahr. Lediglich der Wechsel von 2011 auf 2012 fällt mit 3,9 % positiv aus der Reihe. Was verschwiegen wird: Im August 2011 wurde das Kernkraftwerk Isar/Ohu 1 abgeschaltet. Damit verringerte sich die „bayerische Bruttostromerzeugung“ um ca. 8 % (etwa 6,6 TWh/Jahr), die neue Basis für die bayerische Prozentrechnung. Im Rechenergebnis führte dies dazu, dass der Anteil der erneuerbaren Energien ein Plus von 3 % erzielte, ohne wirklich mehr geworden zu sein. Rechnet man diesen Effekt wieder heraus, betrug die tatsächliche Steigerung für 2012 nur 0,9 %. Dieser Rechentrick wirkt sich auch auf die Folgejahre aus. Damit wird verständlich, warum für 2014 bereits einen Anteil von 36,1 % erneuerbare Energien angegeben wird, während Bayern nach der allgemein üblichen Berechnungsmethode und bundesweit praktizierten Rechnung (Basis Strombedarf) nur auf 26 % kommt. In der Werbung nennt man so etwas Etikettenschwindel.

Im Juni 2015 wurde Grafenrheinfeld abgeschaltet (ca. 7 TWh/Jahr). Die Folge: 2016 wird es wieder einen solchen „Etikettenschwindel-Sprung“ geben, denn um diesen Betrag vermindert sich wieder die Stromerzeugung und damit die Basis für die bayerische Prozentrechnung; ebenso in den Jahren 2018 bis 2023, wenn die restlichen Kernkraftwerke abgeschaltet werden. Vor diesem Hintergrund muss man auch folgende Absichtserklärung aus dem Energieprogramm 2015 verstehen,

*Zitat: Ziel der bayerischen Energiepolitik ist es daher, dass die erneuerbaren Energien einen möglichst hohen Anteil an der **Stromerzeugung** ausmachen. Bis 2025 wollen wir diesen Anteil auf rund 70 Prozent steigern. Zitat Ende.*

Nach der allgemein üblichen Berechnungsmethode mit den alten Prognosen kommt Bayern nur auf 53 %.

Gedankenspiel: Wie kommt Bayern also am schnellsten auf 100 %? Einfach alle konventionellen Kraftwerke abschalten! Das reicht nach der bayerischen Berechnungsmethode! Nach der bayerischen Berechnungsmethode sind viele Landkreise, die kein konventionelles Kraftwerk haben, z.B. auch Forchheim, bereits bei 100 %.

Bei dieser Methode fallen aber nicht nur alle Stromimporte, die Bayern zukünftig tätigen muss, um den Strombedarf zu decken, völlig „unter den Tisch“, auch Erfolge bei der Strom-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

einsparung und Stromeffizienz, also verringerter Strombedarf, wirken sich in der Statistik nicht mehr aus. Wie begründet man eine solche Maßnahme?

Zitat aus dem Energieprogramm: *Bezugsgröße ist nicht mehr der **Stromverbrauch**, sondern die **Stromerzeugung**. Daraus resultiert eine höhere Aussagekraft, da die Stromerzeugung messbar ist, während die geographische Herkunft des Stroms, den Bürger und Wirtschaft verbrauchen, ebenso wenig messbar und nachvollziehbar ist wie die Herkunft des Stroms aus erneuerbarer oder konventioneller Erzeugung.* Zitat Ende.

Diese Aussage ist zunächst nicht falsch: Dem Strom, der aus der Steckdose kommt, kann man weder ansehen, woher er kommt, aus Bayern oder importiert, noch aus welcher Quelle, Kohle oder Windrad. Falsch ist aber die Schlussfolgerung aus dem Teilsatz: „... da die Stromerzeugung messbar ist ...“. Hiermit wird begründet, warum die Erzeugung der richtige Maßstab sei. Der Verbrauch ist jedoch genau so messbar – wie jeder an seiner Stromrechnung sehen kann.

Im Grunde bedeutet diese Aussage aber: Bayern kann nicht mehr, jetzt sollen sich die Anderen bemühen, damit Bayern auf 100 % ökologisch erzeugten Strom kommt.

Eine Bankrotterklärung für die Bayerische Energiewende? Machen wir weiter mit der Analyse dieses Programms.

Die Graphik 2.1 im Abschnitt 2 des Bayerischen Energieprogramms zeigt die Entwicklung der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch. Diese Graphik ist die einzige in diesem gesamten Energieprogramm, die sich an dem eigentlich korrekten Maßstab „Energiebedarf“ orientiert. Aber es geht hier, außer um die elektrische Energie, auch um den Energiebedarf für Wärme und Verkehr. Diese Graphik weist für 2010 bis 2014 eine Steigerung von 15,1 % auf 18,8 % aus, also +3,7 % in 5 Jahren. Die Prognose für die nächsten 10 Jahre bis 2025 weist nur noch eine Steigerung von +1,2 % auf 20 % aus, nur noch 1/6 der bisherigen Steigerungsrate. Besser kann man nicht deutlich machen, dass die bayerische Energiewende am Ende ist. Trotzdem steht ein Abschnitt weiter folgende Behauptung unter der Überschrift (Zitat Anfang):

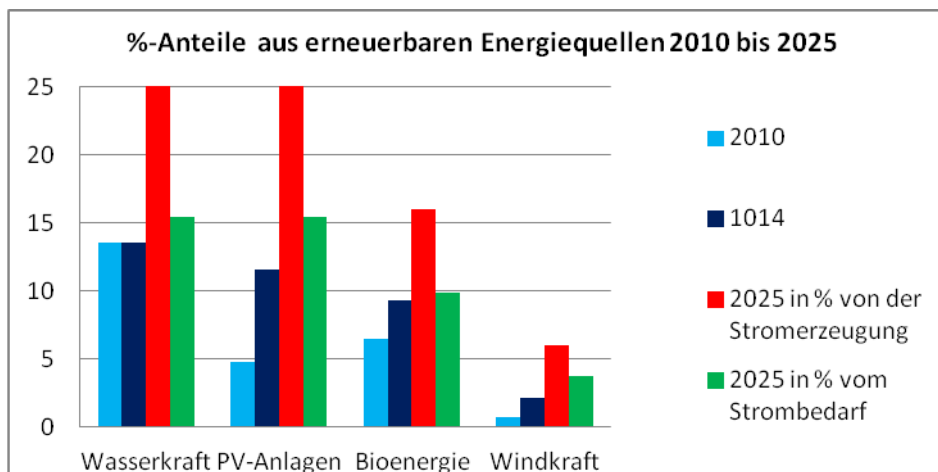
Bayern als Taktgeber in der Energiepolitik

Bayern ist Vorreiter bei der Energiewende und will dies auch künftig bleiben. (Zitat Ende)

Wie soll das gehen? Die Säulengraphiken 1.2 bis 1.5 des Energieprogramms zeigen optisch sehr eindrucksvoll die Entwicklung der jeweiligen Energieerzeugung in den Jahren 2010 bis 2014. Insbesondere für die heiß diskutierte Windkraft scheint die Steigerungsrate auf das Dreifache enorm. Also nur viel Lärm um nichts? Erst beim genauen Hinschauen erkennt man, dass die Graphiken zwar alle gleich groß, aber alle unterschiedlich skaliert sind. Insbesondere für die Windkraft findet die Verdreifachung auf einem sehr niedrigen, fast vernachlässigbaren Niveau statt. Auch eine Art von Etikettenschwindel.

Zum Vergleich der Größenordnungen werden die Graphiken 1.2 bis 1.5 mit den Zielvorgaben für 2025 aus Abschnitt 2, Überschrift: **„Energiewende ist auch eine Klimawende“**, für die vier wichtigsten Stromerzeuger aus erneuerbaren Energiequellen in folgender Graphik mit einem einheitlichen Maßstab zusammen gefasst.

Teil II Energiewende ja – aber wie?



Die blauen Säulen zeigen den tatsächlichen Ausbaugrad und den Fortschritt der jeweiligen Energiequelle für 2010 (hellblau) bis 2014 (dunkelblau). Die Wasserkraft blieb unverändert, die PV-Anlagen wurden mehr als verdoppelt, die Bioenergie wurde um knapp 50 % erweitert, und die Windkraft wurde verdreifacht, jedoch auf einem fast vernachlässigbar niedrigen Niveau. Dies zeigt auch der Vergleich mit der bereits besprochenen Graphik 1.1. Die Prozentwerte dieser blauen Säulen beziehen sich, wie das ganze bayerische Energieprogramm, auf die bayerische Berechnungsmethode (Basis Stromerzeugung). Da aber in diesen Jahren die bayerische Energiebilanz im Wesentlichen ausgeglichen war (Strombedarf = Stromerzeugung, weil noch 3 AKWs in Betrieb waren), würde die allgemein übliche Berechnungsmethode (Basis Strombedarf) etwa die gleichen Werte ergeben. Die roten Säulen zeigen die jeweiligen Zielvorgaben für 2025 aus Abschnitt 2 des bayerischen Energieprogramms. In den Jahren davor (2018 bis 2023) werden aber die restlichen Kernkraftwerke abgeschaltet. Dadurch vermindert sich die Basis „Stromerzeugung“ für die bayerische Berechnungsmethode erheblich. In den grünen Säulen sind diese Werte für die allgemein übliche Berechnungsmethode (Basis Strombedarf) umgerechnet. Der Vergleich der roten mit den grünen Säulen zeigt die bewusste Verzerrung der Zielvorgaben durch die bayerische Berechnungsmethode (Etikettenschwindel, optische Schönfärberei mit Hilfe eines Rechentricks). Nur der Vergleich der dunkelblauen mit den grünen Säulen zeigt die tatsächlichen Erweiterungen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen bis 2025. Bezogen auf den Strombedarf: Wasserkraft +1,9 %, PV-Anlagen +3,8 %, Bioenergie +0,6 % und Windkraft +1,6 %. Für die Windkraft würden selbst die „nur“ +1,6 % wegen des niedrigen Niveaus bedeuten: Die Zahl der Windkraftanlagen bezogen auf 2014 müsste nahezu verdoppelt werden (genau +75 %) – bei Berücksichtigung der existierenden 10H-Regelung eine völlig unrealistische Zielvorgabe (s.a. Kapitel 11.3).

Fakt ist, mit diesen Zielvorgaben können 2025 nur etwa 45 % des bayerischen Strombedarfes aus erneuerbaren Energiequellen in Bayern gedeckt werden. Um den Bedarf zu 100 % zu decken, muss zukünftig der meiste Strom nach Bayern importiert bzw. in Bayern weiterhin aus fossilen Energieträgern erzeugt werden (s.a. Graphik 3.1 in Abschnitt 3). Es ist nicht verwunderlich, dass die abgeflauten Diskussionen um die Stromtrassen schon wieder auf-flammen (s.a. Kapitel 39).

Fazit: Man muss wohl unterscheiden zwischen einer „Energiewende von oben“, initiiert und realisiert durch die bayerische Staatsregierung, und einer „Energiewende von unten“, initiiert durch die Bürger selbst, Bürgerinitiativen, Genossenschaften, (Bio)Energiedörfer, Kommunen etc.. Die bayerische Energiewende von oben ist offensichtlich am Ende. Umso wichtiger

Teil II Energiewende ja – aber wie?

wird für Bayern die Energiewende von unten. Sieht das Bayerische Energieprogramm 2015 das auch so? Hierzu auszugsweise einige Schlagzeilen mit Absichtserklärungen aus Abschnitt 3 des Energieprogramms unter dem Titel (Zitat):

Wie wollen wir die Ziele konkret umsetzen:

- *Kommunen und Landkreise als Partner der Energiewende*
- *Vorrang für Bürgerenergie*
- *Bürgerenergie und Akteursvielfalt stärken*
- *Bürgernahe Gestaltung als Wegbereiter der Energiewende*
- *Unterstützung von Kommunen und Bürgern durch den Freistaat*
- *Rahmenbedingungen anpassen*
- *Reduzierung des Energiebedarfs durch weitere Einsparung und Steigerung der Effizienz*
- *Deckung des Strombedarfes durch erneuerbare Energien*

(Zitat Ende)

Benötigt werden hierfür nun aber auch die entsprechenden politischen Rahmenbedingungen und gezielte Förderungen.

Man darf gespannt sein, was da kommt!

13 Die UN-Klimakonferenz in Paris 2015

Am 12. Dezember 2015 gingen in Paris die 21. UN-Klimakonferenz und gleichzeitig das 11. Treffen zum Kyoto-Protokoll zu Ende. Um das Ergebnis vorweg zu nehmen: Erstmals herrscht unter 195 Staaten Konsens darüber, dass ein Teil der aktuellen Klimaerwärmung auf Einflüsse des Menschen und seine Nutzung der fossilen Energieträger zurückzuführen ist. Nach vielen gescheiterten Versuchen wurde erstmalig ein völkerrechtlich verbindliches Klimaschutzabkommen auf die Beine gestellt, welches diesen Namen auch verdient. Dieses Ergebnis wird in den Medien enthusiastisch als „einmaliges historisches Ereignis“ gefeiert.

Was steckt nun hinter diesem „einmaligen historischen Ereignis“? Zunächst muss man die Leistung der Verhandlungsführung anerkennen, alle 195 teilnehmenden Länder, trotz unterschiedlicher Detailinteressen, in wenigen Tagen auf einen umfangreichen gemeinsamen Vertragstext (32 Seiten) zusammenzuführen, diesen einstimmig zu verabschieden und zu unterschreiben. Erstmals wurde auch im Rahmen der 21 UN-Klimakonferenzen von allen Beteiligten anerkannt, dass ein möglichst schneller Ausstieg aus der Nutzung der fossilen Energieträger und ein Umstieg auf regenerative Energiequellen notwendig sind. Somit wurde erstmalig einer wissenschaftlichen Erkenntnis und der Vernunft höhere Priorität als Wirtschafts- und Lobbyinteressen eingeräumt. Diese „erstmaligen historischen Ereignisse“ können nicht hoch genug gewürdigt werden. Diese bleiben aber hoffentlich nicht „einmalig“, da sind noch genug globale Probleme, die nur mit dieser Gemeinsamkeit gelöst werden können.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Es gibt jetzt einen völkerrechtlich verbindlichen Vertrag, der erstmals alle Länder zum Klimaschutz verpflichtet, der aber noch von jedem einzelnen Land ratifiziert werden muss. D.h., in Kraft tritt dieser Vertrag in dem jeweiligen Land erst nach seiner Ratifizierung. Für dieses Prozedere ist die Zeit bis 2020, dem Datum für das allgemeine Inkrafttreten des Vertrages, vorgesehen,

Was sind nun die wesentlichen Vereinbarungen dieses Vertrages? Die wichtigsten 3 Ziele stehen in Artikel 2 des Anhangs. Das 1. Ziel:

(a) *Begrenzung des Anstiegs der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau, wenn möglich auf 1,5°C über dem vorindustriellen Niveau. Dadurch sollen die Risiken und Auswirkungen des Klimawandels deutlich reduziert werden;*

Dies bedeutet:

1. Die bisher allgemein diskutierten 2°C werden als Obergrenze angesehen. Die Zielgröße sollte – wenn möglich – 1,5°C sein. Dies wäre notwendig für die Länder, die besonders von den Folgen der Klimaerwärmung und des Anstieges der Meeresspiegel betroffen sind. Von den 195 Unterzeichnerstaaten haben sich zum Schluss der Klimakonferenz bereits ca. 160 zu konkreten Maßnahmen verpflichtet. Diese würden aber noch nicht ausreichen, um wenigstens das 2°C-Ziel zu erreichen.
2. Diese Zielvorgaben beziehen sich auf die „vorindustrielle globale Temperatur“, etwa Ende des 19. Jahrhunderts. Wir haben heute bereits eine Erwärmung von ca. 0,8°C erreicht, etwa die Hälfte zum 1,5°C-Ziel. Dabei haben wir die Phase des größten Temperaturanstieges noch vor uns. Denn die zusätzlich erzeugten Treibhausgase der letzten 20 bis 30 Jahren werden sich erst in 20 bis 50 Jahren auf Grund der Zeitkonstanten voll in der globalen Temperatur auswirken. (s.a. Kapitel 6.2). Es bleibt also noch viel zu tun.

Das 2. Ziel aus Artikel 2 des Anhangs:

(b) *Die Stärkung der Fähigkeit, sich durch eine Förderung der Klimaresistenz und geringeren Treibhausgasemissionen an die nachteiligen Auswirkungen des Klimawandels anzupassen. Dieses soll in einer Weise geschehen, die nicht die Nahrungsmittelproduktion bedroht;*

Dieses Ziel zeigt zwei Wege auf, um die Klimaveränderung zu beherrschen:

1. die „geringere Treibhausgasemission“, um Klimaveränderungen möglichst zu begrenzen, und
2. „eine Förderung der Klimaresistenz“.

Unter Klimaresistenz sind Anpassungsmaßnahmen an veränderte klimatische Bedingungen und deren Auswirkung zu verstehen. Z.B. Deiche als Schutz gegen steigenden Meeresspiegel, Anpassungen der Landwirtschaft/Lebensmittelproduktion an die Verschiebung der Klimazonen. Speziell auf diesem Gebiet wird es Gewinner und Verlierer des Klimawandels geben. Die optimalen Anbaubedingungen für bestimmte landwirtschaftliche Produkte werden sich räumlich verändern. All dies darf aber die Nahrungsmittelproduktion insgesamt nicht beeinträchtigen. Die notwendigen Gegenmaßnahmen dürfen nicht zu einem Werkzeug für Lebensmittelspekulationen werden.

Das 3. Ziel aus Artikel 2 des Anhangs:

(c) Stärkung der Finanzströme, die zu einem Weg mit niedrigen Treibhausgasemissionen und klimaresistenter Entwicklung führen.

Alle diese Maßnahmen kosten Geld. Staaten, deren Wirtschaftssystem von Förderung und Export der fossilen Energieträger abhängig ist, werden größere Umstellungsprobleme haben als Staaten, die diese Energiequellen für teures Geld importieren müssen. Es wird Änderungen in den globalen Wirtschaftssystemen geben. Die „reichen“ industrialisierten Länder werden mit diesen Problemen besser zurechtkommen, als die „armen“ Entwicklungsländer, die aber u.U. besonders von Klimazonenverschiebung und Meeresspiegelanstieg betroffen, also die Leidtragenden sind. Je schneller und je stärker der globale Temperaturanstieg gebremst wird (Ziel (a)), umso geringer wird der Aufwand für die Verbesserung der Klimaresistenz (Ziel (b)). Die notwendigen Finanzmittel sind so zu steuern, dass die durch den Klimawandel entstehenden Probleme für alle beherrschbar bleiben (Ziel (c)). In diesem Zusammenhang muss auch gesehen werden, dass den weniger finanzstarken Staaten lt. Vertrag mit 100 Milliarden Dollar jährlich ab 2020 bis zunächst 2025 geholfen werden soll.

Nun ist mit diesem Vertrag das Klima noch nicht gerettet. Die Arbeit fängt jetzt erst an, hat aber nun eine global anerkannte Grundlage. Welche weiteren Konsequenzen ergeben sich aus diesem Vertrag und wie sollte es weitergehen?

Der Leitgedanke dieses Vertrages:

Jeder Unterzeichnerstaat entscheidet selbst, welche zielführenden Maßnahmen auf seinem Territorium notwendig und möglich sind. Man unterstellt, dass alle Unterzeichnerstaaten auch die Absicht haben, die notwendigen Maßnahmen umzusetzen. Sollten diese die (finanziellen) Möglichkeiten eines Staates überschreiten, ist die Kooperation der Gemeinschaft gefordert, damit die notwendigen Maßnahmen realisiert werden.

An solch einem Vertragswerk gibt es naturgemäß auch viel Kritik. Den Einen gehen die Festlegungen schon zu weit, den Anderen nicht weit genug. Man darf aber nicht verkennen, dass es gerade die Beschränkung auf einen möglichst großen gemeinsamen Nenner ist, dass solch eine Basisvereinbarung überhaupt zustande kommt. Es ist die Kunst einer guten Verhandlungsführung, die Möglichkeiten für einen tragfähigen Kompromiss zu erkennen und umzusetzen. Dies schließt jedoch nicht aus, dass die Realisierung dieser Vereinbarung kritisch beobachtet werden muss, um bei weiteren Detailverhandlungen konkrete und messbare Umsetzungspläne einzufordern.

Einer der Hauptkritikpunkt an dem Vertrag ist, dass die Umsetzung von Maßnahmen lediglich auf freiwilliger Basis erfolgen soll und Sanktionsmöglichkeiten fehlen. Es wird befürchtet, dass dadurch letztlich doch zu wenig für den Klimaschutz getan werden könnte, weil Nichtstun keine Konsequenzen nach sich zieht. Diese Sorge ist sicher nicht unbegründet. Es gibt auf vielen Gebieten genügend Beispiele hierfür. Andererseits darf man nicht vergessen, dass die Vereinbarung auf Kooperation und nicht auf dirigistische Zwangsmaßnahmen setzt, die dann letztlich doch nicht durchsetzbar sind. Auch hierfür gibt es genügend Beispiele. Wenn ein Mitglied einer Gemeinschaft Probleme hat, dann muss die Gemeinschaft ihm helfen, und nicht durch eine Bestrafung noch zusätzliche Probleme bereiten. Ein schwieriger Weg, aber in bester demokratischer Tradition. Ganz abgesehen davon, dass eine Diskussion über Sanktionen bei den Vertragsverhandlungen bei vielen Teilnehmern eine Abwehrhaltung erzeugt hätte, und damit vermutlich das ganze Vertragswerk wieder gescheitert wäre.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Die Gemeinschaft muss dann jedoch auch sicherstellen, dass die dafür notwendigen Finanzmittel zielführend verwendet und nicht nur unkontrolliert in das betreffende Land hineingepumpt werden.

Das Klima ist mit diesem Vertrag noch nicht gerettet, die Arbeit fängt jetzt erst an, hat aber nun eine vertragliche Grundlage.

Etwa 160 der Unterzeichnerstaaten haben sich bei Abschluss der Klimaschutzvereinbarung bereits zu konkreten Zielen für ihren Einflussbereich verpflichtet. Das Ergebnis dieser Ziele ist jedoch noch nicht ausreichend, um nur das 2°C-Ziel zu erreichen. Andererseits würden bereits diese Maßnahmen bedeuten, dass ca. 80 % der z.Z. bekannten Ressourcen der fossilen Energieträger auf immer im Boden bleiben müssten. Dies bietet noch viel Zündstoff für Querschüsse. Es wird letztlich Aufgabe der Öffentlichkeit sein darauf zu achten, dass die Regierungen, trotz dem Druck der betroffenen Wirtschaftslobby, die als richtig erkannten Wege und Maßnahmen weiter umsetzen.

Öffentlichkeit sind: die Medien, die vielen NGOs (Nicht-Regierungs-Organisation, abgeleitet aus dem Englischen: „non-governmental organisation), die vielen Bürgerinitiativen sowie jeder einzelne Bürger. Wir hatten in vorangehenden Kapiteln über Stand und Entwicklung der Energiewende in Deutschland und Bayern schon die Bedeutung der „Energiewende von unten“ für die bisherige und zukünftige Entwicklung hervorgehoben. Das Klimaschutzabkommen sieht dies offensichtlich ähnlich. Dort steht in Artikel 12 des Anhangs sinngemäß (eine offizielle Übersetzung liegt noch nicht vor):

„Die Parteien kooperieren in der Einleitung angemessener Schritte, um in Sachen Klimawandel Schul- und andere Bildungsmaßnahmen, die Mitwirkung der Öffentlichkeit und den öffentlichen Zugang zu Informationen zu verbessern, und erkennen die Wichtigkeit dieser Schritte für die Verstärkung von Maßnahmen unter diesem Abkommen an.“

Dies eröffnet viele Möglichkeiten für die Beteiligung der Öffentlichkeit und wird in den Ländern, je nach den organisatorischen und gesetzlichen Randbedingungen, zu unterschiedlichen Maßnahmen führen. In Deutschland hat die „Energiewende von unten“ durch viele Bürgerinitiativen, (Bio)Energiedörfer, Genossenschaften etc. bereits einen hohen Stand erreicht. Der Artikel 12 ist dahingehend zu verstehen, dass neben der notwendigen „Energiewende von oben“ auch die „von unten“ gefördert und ausgebaut werden soll. Spezielle Aufgabe der deutschen Öffentlichkeit ist es zu beobachten, wie Bundes- und Landesregierungen diese Anforderungen umsetzen wollen, wie dies bei zukünftigen Änderungen des EEG angemessen berücksichtigt wird.

Es gibt noch viel zu tun! Packen wir es an, dann schaffen wir das auch!

Weitergehende Informationen im Netz:

[Originaltext des Vertrages](#) (englisch)

[Stellungnahme der Bundesregierung](#)

[Stellungnahme des BMWi](#)

Wikipedia: [Hintergründe und Vorgeschichte](#) der UN-Klimakonferenz

Nach der Kommentierung der aktuellen Ereignisse, Bayerisches Energieprogramm 2015 und Pariser Klimakonferenz, soll es jetzt, wie bereits angekündigt, mit der „Energiewende von unten“ weitergehen.

14 Energiewende von unten – allgemeine Betrachtung

Von Johann Wolfgang von Goethe, der sich auf einigen Gebieten auch naturwissenschaftlich betätigt hat, stammt folgendes Zitat:

Die Natur versteht keinen Spaß, sie ist immer wahr, immer ernst, immer strenge, sie hat immer recht, und die Fehler und Irrtümer sind immer des Menschen. Goethe, *Gespräche*. Mit Johann Peter Eckermann, einem engen Vertrauten von Goethe, am 13. Febr. 1829.

Besser und kürzer kann die Problematik unserer globalen Energiewirtschaft kaum zusammengefasst werden als in diesem fast 200 Jahre alten Satz von Goethe; zu einer Zeit, als von elektrischer Energie noch gar nicht die Rede war, als noch nicht erkennbar war, welche dynamische Entwicklung sich mit der Industrialisierung anbahnte. Die Erkenntnis dahinter ist vermutlich noch einige tausend Jahre älter, als die Menschheit anfang, sich ihre eigene Umwelt zu gestalten und statt mit der Natur von der Natur und ihren Ressourcen zu leben. Und warum wird immer wieder, selbst in unserem aufgeklärten Zeitalter, gegen diese Erkenntnis verstoßen? Weil im Interessenkonflikt zwischen Ökologie und Ökonomie immer der Ökonomie die höhere Priorität eingeräumt wird.

Energie ist, ähnlich wie Wasser, eine unabdingbare Lebensgrundlage für unsere Existenz. Elektrische Energie für ihre vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, Wärmeenergie für unseren Lebenskomfort oder als Prozesswärme in der Industrie, mechanische Energie für Transport und Verkehr, alles sind unabdingbare Voraussetzungen für unsere Wirtschaftssysteme und unseren Lebensstandard. Abgesehen von der tiefen Erdwärme (Geothermie) ist der einzige Energielieferant für die Erde die Sonne, die ihre Energie als Strahlungsenergie täglich bereitstellt. Energieformen wie Wind, Wasser oder Bioenergie, auch unsere Lebensmittel, sind letztlich nur aus der Strahlungsenergie der Sonne umgewandelte Energieformen, die auch eine gewisse Speicherfunktion beinhalten. Alle Energieformen, die ihre Energie unabhängig von zyklischen Einflüssen, wie z.B. Tag-Nacht-Rhythmus (Licht) oder Jahreszeiten-Rhythmus (Bioenergie/Lebensmittel), zur Verfügung stellen sollen, benötigen Speicher.

Unsere bisherige Energiewirtschaft auf Basis der sog. fossilen Primär-Energieträger ist sogar zu 100 % von Energiespeichern abhängig, welche die Natur vor Millionen von Jahren angelegt hat (s.a. Kapitelgruppe 5, Fossile Energieträger). Speicher sind aber, wenn man ihre Inhalte nutzt, irgendwann leer. Außer, man füllt sie wieder auf. Bei den fossilen Energiespeichern, die sich über ca. 300 Millionen Jahren entwickelt haben, ist dies nicht möglich. Von diesen fossilen Speichern haben wir in einem Jahrhundert intensiver Industrialisierung bereits etwa 1/3 der bekannten und noch vermuteten Ressourcen verbraucht. Die Förderung dieser fossilen Energieträger wird immer aufwändiger und zerstörerischer für Natur, Umwelt und Klima, erfordert immer kompliziertere Techniken mit noch unabsehbaren Folgen, wie z.B. das Fracking. Detailinformationen siehe [Wikipedia](#) und [Umweltinstitut München](#).

Ziel einer Energiewende muss es deshalb sein, anstelle der Ausbeutung der fossilen Energiespeicher das Angebot der natürlichen, überall vorhandenen Energieformen zu nutzen. Je

Teil II Energiewende ja – aber wie?

mehr von diesen natürlichen Energieformen anwendernah in elektrische Energie umgesetzt wird, umso weniger elektrische Energie muss über große Fernleitungen transportiert werden. Umso kleiner können diese dimensioniert werden. Dies ist ein wesentliches Ziel vor allem der Energiewende „von unten“. Dass dies auf kommunaler Ebene funktioniert, zeigen die vielen Beispiele der (Bio)Energiedörfer (s.a. Kapitelgruppen 9 und 10, [Was ist ein \(Bio\)Energiedorf](#), und [Bioenergiedörfer](#))

Dazu gehört auch der sorgsame Umgang mit Energie. Je weniger gebraucht wird, umso weniger muss bereitgestellt werden und umso geringer sind die Eingriffe in Natur und Umwelt.

Die nächsten Kapitel geben einen Überblick über die Möglichkeiten für einen sorgsamen Umgang mit Energie, sowie die erforderlichen Maßnahmen und Komponenten.

14.1 Maßnahmen und Komponenten, Übersicht

Die Energiewende ist nicht etwas, „was die da Oben“ machen und wir können uns nur zurücklehnen und warten, bis es fertig ist. Eine gelungene Energiewende, vor allem die „Energiewende von unten“, geht jeden Haushalt an und jeder kann und sollte auch mitwirken (s.a. Kapitel 11.4). Es ist zu unterscheiden zwischen Geräten und Maßnahmen auf der Erzeugerseite einerseits und auf der Anwender- bzw. Verbraucherseite andererseits. Bei der Energiewende von unten können allerdings in Einzelfällen Anwender und Erzeuger identisch sein.

Auf der Anwenderseite ist der wichtigste Punkt der sorgsame Umgang mit der Energie. Dies wirkt sowohl auf die Energiewende von unten als auch von oben, und wird auch sofort im eigenen Geldbeutel wirksam. Die Schlagworte „Energie sparen“ und „Energieeffizienz“ werden häufig im gleichen Atemzug genannt, sind aber nicht dasselbe. Zum Unterschied mehr im nächsten Kapitel.

Speziell für die elektrische Energie gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Stromerzeuger, welche die unterschiedlichsten regenerativen Energiequellen nutzen, nämlich: Sonnenstrahlung, Windkraft, Wasserkraft, Biomasse, Erdwärme. Hinzu kommt die Energie, welche für Heizung und Brauchwassererwärmung benötigt wird. Zur Erinnerung: Mehr als 70 % des Energiebedarfs eines Haushaltes ist Wärmeenergie, die überwiegend auch direkt aus fossilen Energieträgern gewonnen wird. Das übergeordnete Ziel der Energiewende – weg von den fossilen Brennstoffen – betrifft daher auch den Wärmebedarf. Insbesondere der Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung lässt sich im Sommer leicht aus direkter Sonneneinstrahlung gewinnen. Wärme in Form von Warmwasser lässt sich auch relativ einfach über mehrere Tage speichern, was für den Warmwasserbedarf eines Privathaushaltes im Sommer völlig ausreichend ist, um Wetterschwankungen auszugleichen.

Alle genannten Energiequellen unterliegen ganz spezifischen periodischen Schwankungen. Es ist deshalb sinnvoll, sich nicht nur auf eine Quelle zu stützen, sondern – abhängig von den lokalen Verhältnissen – möglichst auf zwei oder mehrere sich ergänzende Quellen. Um die Restschwankungen auszugleichen, werden Energiespeicher eingesetzt, die in Zeiten eines Überangebotes aufgeladen werden. Je besser die Kombination der verwendeten Quellen ist, umso geringer ist der Speicherbedarf. Geräte wie Wärmepumpen und Einrichtungen für die Kraft-Wärme-Kopplung dienen dazu, die unterschiedlichen Energiequellen optimal auszunutzen und die Nutzenergie sowohl in Form von elektrischem Strom als auch von Wärme bedarfsgerecht bereit zu stellen.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Alle genannten Geräte und Methoden lassen sich sowohl im Großen – für die Energiewende von oben – als auch im Kleinen – für die Energiewende von unten – anwenden. Es ist nur eine Frage des Leistungsspektrums, welches von den verschiedenen Herstellern angeboten wird.

In der Folge wollen wir alle Geräte und Methoden im Einzelnen durchsprechen, ihre Vorteile, aber auch ihre negativen Begleiterscheinungen, und welche Prinzipien sinnvoll miteinander kombiniert werden können. Die Suche nach dem optimalen Kompromiss beinhaltet immer das Maximieren der Vorteile, die man haben möchte, und das Minimieren der Nachteile, die man dabei noch bereit ist einzugehen. Dafür muss man aber beide kennen. Es geht zwar auch um die Ökonomie, aber das übergeordnete Ziel der Energiewende ist eine bessere Ökologie und Umweltverträglichkeit. Hierzu ist in einigen Fällen sicher ein Umdenken notwendig um der Ökologie eine höhere Priorität einzuräumen. Es macht wenig Sinn, die Fehler der Vergangenheit dadurch zu beseitigen, indem man die alten Fehler nur durch neue Fehler ersetzt.

Beginnen wollen wir im nächsten Kapitel mit dem wichtigsten Punkt, dem sorgsamem Umgang mit Energie.

14.2 Energieeffizienz, Energiesparen

Der sorgsame Umgang mit Energie ist nicht nur für die elektrische Energiewende wichtig, sondern auch für den Energiebedarf zur Wärmeherzeugung. Unabhängig vom Fortschritt der elektrischen Energiewende: Ein geringerer Bedarf an elektrischer Energie bedeutet in jedem Fall weniger Stromerzeugung (weniger Kraftwerke) und weniger Transport ((Hochspannungs-)Leitungen). Soweit elektrische Energie noch aus fossiler Primärenergie erzeugt wird, bedeutet dies auch weniger landschaftszerstörenden Bergbau und weniger Verbrennung (CO₂). Viele Maßnahmen zum sorgsamem Umgang mit Energie sind ohne zusätzlichen Aufwand, und deshalb auch kurzfristig, realisierbar. Je breiter in der Anwendung umso effektiver. Hieran kann sich jeder Haushalt beteiligen, auch wenn er sonst keine Möglichkeiten hat, die Energiewende zu unterstützen, mit positiven Auswirkungen im eigenen Geldbeutel. Es gibt zwei unterschiedliche Ansätze, um das Ziel zu erreichen, die sich aber gegenseitig ergänzen: Energieeffizienz (in Kapitel 14.3) und Energiesparen (in Kapitel 14.4).


Unter Energieeffizienz versteht man, den gleichen Nutzen mit weniger Energieaufwand zu erzielen, z.B. bei einer Waschmaschine das gleiche Waschergebnis mit geringerem Stromverbrauch. Hier sind zunächst die Gerätehersteller gefordert, dann die Anwender, wenn eine Neuanschaffung von Geräten ansteht. Bei Haushaltsgeräten haben die Hersteller bezüglich der Energieeffizienz erhebliche Fortschritte erzielt. Weniger Stromverbrauch nicht durch leistungsschwächere Geräte, sondern durch geschickt angewendete Begleitmaßnahmen, die den Gesamtwirkungsgrad verbessern.

Beispiel Waschmaschinen und Spülmaschinen: Durch ausgeklügelte Wasch- bzw. Spülprogramme wird der Wasserverbrauch (auch ein Kostenfaktor) gesenkt und damit die notwendige Energie, um diese geringere Wassermenge auf die Betriebstemperatur aufzuheizen. Es kann auch energiesparender sein, wenn die Wasch- bzw. Spülzeit verlängert, dafür aber mit niedrigeren Temperaturen gearbeitet wird.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Beispiel Kühlschränke und Gefriertruhen, die dauernd in Betrieb sind und deshalb einen großen Anteil am Stromverbrauch eines Privathaushaltes haben. Bei diesen Geräten ist es im Wesentlichen eine bessere Isolierung, um die Kälteverluste zu verringern, mit dem Effekt, dass die Kühlaggregate seltener einschalten und kürzer laufen.

Beispiel Beleuchtungskörper: Hier ist es anders. Die Verbesserung der „Lichtausbeute“ (ähnlich wie ein Wirkungsgrad) beruht auf der technischen Anwendung anderer physikalischer Prinzipien. Bei der klassischen Glühlampe wurde Licht erst über das Aufheizen eines metallischen Glühfadens auf sehr hohe Temperaturen erzeugt. Nur wenige Prozent der aufgewendeten Energie wurden in Licht umgewandelt, mehr als 95 % in Wärme. Die klassischen Leuchtstoffröhren und die sog. „Stromsparlampen“ verwenden ein anderes physikalisches Prinzip. Der eigentliche Beleuchtungskörper bleibt dabei nahezu kalt (handwarm). Etwas „Verlustleistung“, die in Wärme umgesetzt wird, entsteht im Wesentlichen in den Vorschaltgeräten zum Betrieb dieser Beleuchtungskörper. Der Energiebedarf ist etwa die Hälfte einer vergleichbaren Glühlampe. Die vorerst letzte Stufe der Entwicklung sind die „LED-Lampen“, deren Energiebedarf nur noch etwa 10 % dem einer vergleichbaren Glühlampe entspricht, wovon der größte Teil ebenfalls als „Verlustwärme“, überwiegend in der Vorschalt elektronik für den Betrieb dieser Lampen, entsteht.

Energie		Waschmaschine
Hersteller Modell		
Niedriger Energieverbrauch		A
A		
B		
C		
D		
E		
F		
G		
Hoher Energieverbrauch		
Energieverbrauch kWh/Waschprogramm <small>(ausgehend von den Ergebnissen der Normprüfung für das Programm „Baumwolle, 60 °C“)</small> <small>Der tatsächliche Energieverbrauch hängt von der Art der Nutzung des Gerätes ab</small>		0,89
Waschwirkung <small>A: besser G: schlechter</small>		A B C D E F G
Schleuderwirkung <small>A: besser G: schlechter</small> Schleuderdrehzahl (U/min)		A B C D E F G 1800
Füllmenge (Baumwolle) kg		5
Wasserverbrauch ℓ		39
Geräusch (dB(A) re 1 pW)	Waschen	
	Schleudern	
<small>Ein Datenblatt mit weiteren Geräteangaben ist in den Prospekten enthalten</small>		
<small>Norm EN 60456 Richtlinie 95/12/EG Waschmaschinenetikett</small>		

Beispiel eines Energielabels für eine Waschmaschine

Quelle: Wikipedia

Beim Thema Energiesparen sind ausschließlich die Anwender gefordert.

Die Hersteller sind verpflichtet, den Kunden/Anwendern Informationen über die Energieeffizienz der jeweiligen Geräte zu liefern. Dies geschieht in Form der EU-weit festgelegten „[EU-Energielabels](#)“, die jedem Gerät sichtbar beigegeben werden.

Sie geben in einer farblich kodierten Form, ähnlich einer Ampel, darüber Auskunft, welcher Energieeffizienzklasse (von 7 möglichen) dieses Gerät angehört. Weiterhin wird ein Energiebedarf pro Jahr in kWh angegeben. Häufig werden auch gleichartige Geräte in unterschiedlichen Effizienzklassen angeboten, zu unterschiedlichen Preisen.

Welche Entscheidungshilfen geben diese Labels einem Käufer? Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

14.3 Energieeffizienz elektrischer Geräte

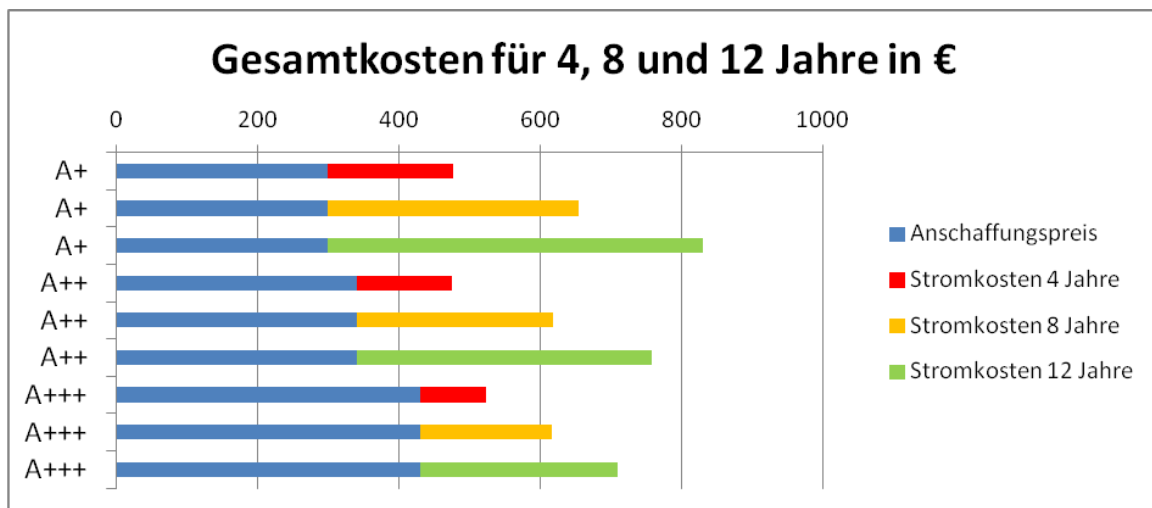
Es gibt z.Z. 7 Energieeffizienzklassen, s.a. Bild im vorhergehenden Kapitel. Die beste Klasse ist mit einer satt grünen Farbe und evtl. auch mit A+++ (A zuzüglich 1 bis 3 +Zeichen) gekennzeichnet. Häufig werden gleichartige Geräte in unterschiedlichen Effizienzklassen und

Teil II Energiewende ja – aber wie?

mit unterschiedlichen Preisen angeboten. Das teuerste Gerät mit der höchsten Klasse wird mit dem Argument beworben, dass es das für die Umwelt verträglichste Gerät ist. Dieses Argument ist sicher richtig. Wem es auf den Preis nicht ankommt, ist hiermit sicher gut bedient. In der Werbung wird auch herausgestellt, dass der höhere Preis durch den geringeren Stromverbrauch gerechtfertigt sei, da man die Mehrkosten „durch geringeren Stromverbrauch ja wieder hereinholt“. Ob das stimmt, kann man durch die Daten auf dem Energielabel nachprüfen, allerdings nicht ganz ohne etwas zu rechnen. Hierzu ein Beispiel eines Kühlschranks, willkürlich ausgewählt aus dem Angebot eines Elektrogroßmarktes, von 2 verschiedenen Herstellern. Die Daten der Kühlschränke und des zugehörigen Labels in folgender Tabelle:

Volumen in Liter	Eff.Kl.	Energiebedarf in kWh/a	Preis in €	Stromkosten in €/a
107/15	A+	177	299	44,25
110/16	A++	139	340	34,75
108/14	A+++	93	430	23,25

Die erste Spalte zeigt das Volumen von Kühl- und Gefrierteil, die 2. und 3. Spalte die Daten der jeweiligen Energielabels, Effizienzklasse und Jahresverbrauch, die 4. Spalte den Angebotspreis und die 5. Spalte die jährlichen Stromkosten auf Basis der Spalte 3 und eines Energiepreises von 25 €-Cent/kWh. Man ahnt schon, dass hier die Gebrauchsdauer des Gerätes eine entscheidende Rolle spielt. Ein Kühlschrank ist sicher ein langlebiges Gerät. Die folgende Graphik zeigt das Rechenergebnis für die Gebrauchsdauern 4, 8 und 12 Jahre.



Das Ergebnis: Nach 4 Jahren (rot) ist A+++ immer noch die teuerste Anschaffung. A+ und A++ sind etwa gleichwertig. Nach 8 Jahren (gelb) sind A++ und A+++ etwa gleichwertig mit leichten Vorteilen gegenüber A+. Erst bei längeren Gebrauchsdauern, 12 Jahre (grün), werden die Kostenvorteile der jeweils höheren Effizienzklasse deutlich.

Dieses Beispiel darf nicht verallgemeinert werden, aber nach diesem Muster kann man die Werbeaussagen überprüfen. Je größer die Preisdifferenz zwischen den einzelnen Effizienzklassen ist, umso länger dauert es, bis sich die Mehrkosten bei der Anschaffung über die geringeren Stromkosten wieder amortisieren. Bei höheren als den hier angenommenen Stromkosten werden die höher effizienten Geräte früher wirtschaftlich und umgekehrt. Bei Wasch- und Spülmaschinen muss noch der Wasserverbrauch in die Rechnung einbezogen werden,

Teil II Energiewende ja – aber wie?

der wiederum vom gewählten Programm abhängt und zusätzlich den Energiebedarf für das Aufheizen beeinflusst. Hier wird die Rechnung aufwändig. Abgesehen von diesen Wirtschaftlichkeitsüberlegungen, die sich auch auf den eigenen Geldbeutel auswirken, ist ein geringerer Stromverbrauch grundsätzlich ein wichtiges Element der gesamten Energiewende.

Wie genau ist aber der auf dem Energielabel angegebene Energiebedarf pro Jahr? Wie kommt dieser Wert zustande?

Die Energielabels haben zwar alle die gleiche Struktur, unterscheiden sich aber je nach Gerät (Kühlschrank, Herd, Waschmaschine) in ihren Angaben. Auf den Energielabels wird von den Herstellern neben der Effizienzklasse (mittels eines Farb- und Buchstabencodes) auch ein Jahresstromverbrauch angegeben. Woher weiß der Hersteller, wie Sie das Gerät nutzen? Überhaupt nicht! Diese Angabe ähnelt den Verbrauchsangaben für Autos in den Autoprospekten. Solchen Angaben liegt ein in einer jeweils eigenen Norm festgeschriebener standardisierter Benutzungszyklus zu Grunde. Da alle Hersteller diese Angaben nach derselben Norm ermitteln, sind diese Angaben zum Vergleich gleichartiger Geräte unterschiedlicher Hersteller geeignet. Sie sind ein erster Orientierungspunkt für den Verbrauch und die oben beschriebenen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Welchen Stromverbrauch pro Jahr dieses Gerät dann tatsächlich hat, hängt von vielen äußeren Umständen ab. Hierzu mehr nächsten Kapitel über Energiesparen.

Wie und wo kann man sich nun über besonders effiziente Geräte vorinformieren, wenn ein Neukauf ansteht? Das Angebot des Elektrohandels ist zunächst verwirrend. Bei der EnergieAgentur.NRW findet man die Broschüre „Besonders sparsame Hausgeräte 2015/16“, die man sich kostenlos herunterladen kann. Diese Broschüre behandelt Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen, Wäschetrockner und Spülmaschinen. Sie gibt darüber hinaus viele Hinweise, welche äußeren Einflüsse den Stromverbrauch beeinflussen, sowie Tipps zum effizienten Betrieb dieser Geräte. Die effizientesten Geräte einer Gruppe verschiedener Hersteller werden mit ihren technischen Daten tabellarisch zusammengefasst, einschließlich einer Berechnung der Betriebskosten (Strom, Wasser) für 15 Jahre. Wie wir oben gesehen haben, ist dies eine Betriebszeit, bei der die teureren aber effizienteren Geräte ihre Betriebskostenvorteile voll ausspielen können. Aber halten diese Geräte auch so lange? Da kommen manchmal Zweifel auf. Sinnvoll wäre dies, denn die Produktion jedes einzelnen Gerätes kostet ebenfalls Energie und wertvolle Ressourcen. Im Sinne einer umfassenden Energiewende und Schonung der Umwelt müssen wir möglichst langlebige Produkte haben und diese auch lange nutzen. Stichwort: **weg von der Wegwerfgesellschaft!** Dies steht natürlich im Konflikt mit einem Wirtschaftssystem, das von großen Stückzahlen und ständigem Wachstum abhängig ist. Aber wie lange lässt sich das noch durchhalten?

Ähnliche Informationen wie die oben genannte Broschüre liefert auch die Internetseite www.spargeräte.de. Diese Seite wird auch regelmäßig aktualisiert. Hier werden zu Beginn der Suche einige Eckdaten eingegeben, wie z.B. äußere Maße, Gerätetypen, wie z.B. Ein- oder Unterbau, so dass die Ergebnisse auf diese Eckdaten konzentriert sind. Dies fördert die Übersichtlichkeit und ist besonders geeignet, wenn ein Gerät bestimmte äußere Anforderungen erfüllen muss, wie bei Ersatz von Altgeräten.

Im nächsten Kapitel greifen wir das Thema Energiesparen auf.

14.4 Energiesparen beim Betrieb elektrischer Geräte

Sorgsamer Umgang mit Energie ist die Verwendung von energieeffizienten Geräten kombiniert mit Energiesparen. Sparen hat häufig ein negatives Image im Sinne von Einschränkung. Das ist hier aber nicht gemeint. Energiesparen bedeutet: Energie nicht sinnlos verschwenden, Energie nicht nutzlos einsetzen für Vorgänge, die eigentlich überflüssig sind, oder auch für Probleme, die ohne energetischen Aufwand genauso gut gelöst werden könnten. Energiesparen in diesem Sinn geht über die Anwendung der elektrischen Energie hinaus. Zur Erinnerung: Mehr als 70 % des Energiebedarfes eines Haushaltes entstehen für Wärme. Es ist also auch ein Optimierungsprozess, welches Problem mit welcher Energieform am günstigsten gelöst wird. Diesem Thema wollen wir uns im nächsten Kapitel widmen.

Energie nutzlos verschwenden? Bewusst macht dies wohl niemand. Meist sind es nur alltägliche Nachlässigkeiten, Unkenntnis über die Auswirkungen einer falschen Benutzung, sowie Bequemlichkeit und unnötiger Komfort. Einige Beispiele:

An die jeweilige Herdplatte ungenügend angepasste Kochtöpfe. Licht wird vergessen auszuschalten. Kühlschranktür bleibt unnötig lange offen stehen. Unnötige Stand-by-Funktion vieler Geräte. Diese haben zwar nur einen geringen Stromverbrauch, das aber 8760 Stunden/Jahr. Wie viele Geräte in einem Haushalt zeigen die Uhrzeit an? Alle diese haben eine Stand-by-Funktion. Wofür? Vielleicht, dass man sie mit einer Fernbedienung ein- und ausschalten kann, oder für einen Wecker, oder dass sie beim Einschalten etwas schneller betriebsbereit sind. Notwendiger Komfort? In diese Kategorie gehören auch viele der steckbaren Niedervolt-Stromversorgungen für Handys, Notebooks etc.

Ein kleines Rechenbeispiel für gedankenlosen, aber gerne angenommenen Komfort: Es gibt LED-Lampen mit integriertem Bewegungsmelder zum Schalten der Lampe. Sehr praktisch für Räume, in denen man sich nur kurz aufhält (Durchgangsflure) oder mit vollen Händen betritt oder verlässt (Vorratskeller). Die Lampe hat eine Stromaufnahme von 10W. Davon braucht der Bewegungsmelder etwa 10 % = 1W. Wenn die Lampe durchschnittlich 15 min/Tag leuchtet, werden hierfür 0,9 kWh/Jahr benötigt. Der Sensor, der dagegen ständig in Betrieb ist, benötigt 8,76 kWh/Jahr, verursacht also fast das 10-fache an Energiebedarf und damit auch an Betriebskosten.

Man schätzt, dass der Strombedarf all dieser Nebenfunktionen in Deutschland etwa die Stromproduktion von zwei Großkraftwerken verschlingt. Allerdings sind hier auch die Gerätehersteller gefordert, die viele Geräte gar nicht mehr mit einem einfachen und preiswerten mechanischen Schalter ausrüsten. Solange die Gerätehersteller glauben, an dieser Stelle sparen zu müssen, bleibt einem energie- und kostenbewussten Anwender nur: Bei Nichtbenutzung Stecker ziehen oder über eine schaltbare Steckerleiste anschließen. Das Gleiche gilt auch für die oben genannten Niedervolt-Stromversorgungen.

Sucht man im Internet nach Stromspartipps oder Ähnlichem, so bekommt man eine verwirrende Vielzahl von Hinweisen, von Veröffentlichungen des Bayerischen Staatsministeriums für Wirtschaft sowie des Bundesministeriums für Wirtschaft (BMWi), die mehr allgemeiner Natur sind, bis zu sehr spezifischen Vorschlägen. Eine weitere gute Hilfe findet man auf der Seite der [Deutschen Energie-Agentur](#) (dena). Hier wird online ein interaktiver Stromsparcheck angeboten. Seine Nutzung bedeutet etwas Arbeit. Aber schon die Zusammenstellung der Eingabedaten erfordert, sich über die eigenen Installationen und das persönliche Verbraucherverhalten Gedanken zu machen. Als Ergebnis bekommt man tabellarisch und gra-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

phisch eine individuelle Übersicht über die Schwerpunkte des eigenen Stromverbrauchs sowie konkrete Hinweise, an welchen Stellen wie viel Strom durch die Verwendung effizienterer Geräte noch eingespart werden kann. Eine gute Entscheidungshilfe für eigene Überlegungen.

Der sorgsame Umgang mit elektrischer Energie ist also eine Kombination von Verwendung stromeffizienter Geräte und einem persönlichen bewussten Umgang mit Energie.

Sorgsamer Umgang mit Energie allgemein geht aber weit darüber hinaus. Zur Erinnerung: Nur etwa 30 % des Energiebedarfes eines Privathaushaltes entfallen auf die Nutzung elektrischer Energie, 70 % entstehen für den Wärmebedarf, Heizung, Brauchwasser etc. Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

14.5 Energieeffizienz Kühl- und Gefriergeräte – Nachtrag

In Kapitel 14.1 hatten wir die Daten des Energielabels besprochen und festgestellt, dass die Angaben des Jahresverbrauchs realitätsfern sind und bestenfalls zum Vergleich verschiedener Geräte untereinander taugen. Ein aufmerksamer Leser hat mir daraufhin seine privaten Messungen zur Verfügung gestellt und auch auf entsprechende Messreihen der Stiftung Warentest hingewiesen, z.B. Heft Juli 2016 über Kühl-Gefrierkombinationen sowie auf weitere Daten und Informationen, die auf der Website der Stiftung Warentest einsehbar sind.

Die Stiftung Warentest versucht mit zwei Messreihen, geringe Nutzung und starke Nutzung, die Realität nachzubilden. Details zu diesen Messverfahren siehe:

<https://www.test.de/Produkttests-So-kommt-die-Stiftung-Warentest-Tricksern-auf-die-Spur-4933009-0> und <https://www.test.de/Kuehlgeraete-im-Test-4735177-4735180> – Stromverbrauch.

Bei der Messreihe „geringe Nutzung“ wird der Stromverbrauch gemessen, der notwendig ist, um die Temperatur des eingelagerten und bereits heruntergekühlten Gutes (in Form von Messpaketen) konstant zu halten. Bei der Messreihe „starke Nutzung“ wird berücksichtigt, dass der Inhalt (Messpakete) gewechselt wird und heruntergekühlt werden muss. Da die Umgebungstemperatur am Aufstellort ein wesentlicher Faktor für den Stromverbrauch ist, werden diese Messreihen bei 25°C (mittlere Temperatur), 32°C (heißer Sommertag in der Küche) und 10°C (kühler Keller) gemacht.

Aus dieser Datenflut lassen sich nun folgende allgemeine Tendenzen ableiten:

- Die Messreihe für „geringe Nutzung“ bei 25°C ergibt in etwa den gleichen Wert wie die Angabe des Jahresverbrauchs auf dem Energielabel, im Folgenden **„Basiswert“** genannt.
- Bei der Messreihe „starke Nutzung“ ergibt sich ein Mehrverbrauch, gegenüber dem „Basiswert“, von durchschnittlich 30 % bis 40 %, mit einzelnen Ausreißern sowohl nach oben als auch nach unten.
- Bei Umgebungstemperaturen von 10°C ist der Stromverbrauch ca. 50 % kleiner, er halbiert sich also.
- Bei Umgebungstemperaturen von 32°C ist der Stromverbrauch ca. 50 % größer, also etwa das 1,5-fache.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

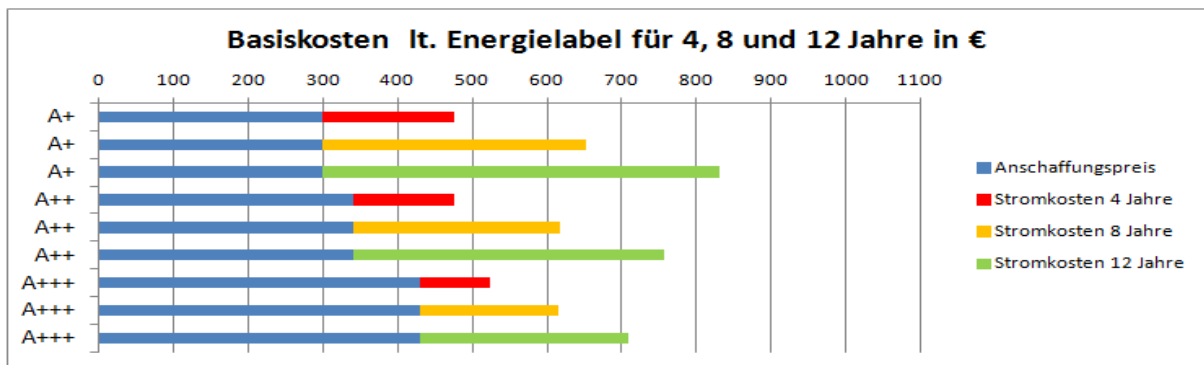
Alle Faktoren sind nahezu unabhängig von der Effizienzklasse. D.h., der Basiswert (Angabe auf dem Energielabel bzw. Messung bei „geringer Nutzung“) ist natürlich bei A+, A++ und A+++ Geräten unterschiedlich. Für den Mehrverbrauch im praktischen Betrieb gegenüber dem jeweiligen Basiswert kann man aber dieselben Faktoren ansetzen.

Hieraus lassen sich jetzt folgende Maßnahmen für einen möglichst stromsparenden Betrieb in der Praxis ableiten:

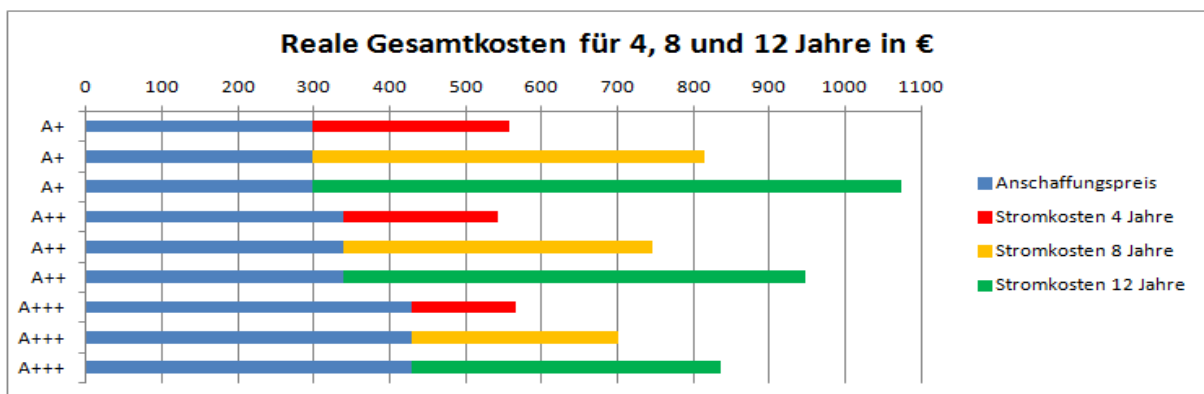
- Den Kühlschrank für den Tagesbedarf wird man nicht in einen kühlen Keller stellen, sondern in die Küche. Man sollte aber die unmittelbare Nähe zu Wärmequellen wie Herd, Backofen etc. meiden.
- Frisch eingelegt Waren, z.B. noch warme Speisereste, erst auf Raumtemperatur, besser noch Kellertemperatur, abkühlen lassen.
- Tiefkühlkost zum Auftauen erst in den Kühlschrank legen.

In Kapitel 14.3 hatten wir anhand der (praxisfremden) Daten auf dem Energielabel festgestellt: Die Mehrkosten beim Kauf energieeffizienterer Geräte lohnen sich erst, wenn die Nutzungsdauer 8 bis 10 Jahre überschreitet. Wie sieht diese Rechnung jetzt aus, wenn wir die realistischeren Daten ansetzen.

Zur Erinnerung noch mal die Graphik aus Kapitel 14.3, die zeigte, dass die Nutzungsdauer 8 bis 10 Jahre übersteigen musste, damit sich die Mehrkosten für die Anschaffung eines höher effizienten Gerätes durch eingesparte Stromkosten rentieren.



In Kapitel 14.3 wurde dies „Gesamtkosten“ genannt, hier jetzt präziser „Basiskosten“, mit einem Strompreis von 0,25 €/kWh. Für die folgende Graphik, die „realen Gesamtkosten“, wurde für den Stromverbrauch das 1,35-fache der Angabe auf dem Energielabel angesetzt (Mittelwert der Warentestmessungen) und für die Stromkosten ein Preis von 0,27 €/kWh, was den derzeitigen Strompreisen besser entspricht.



Teil II Energiewende ja – aber wie?

Die Gesamtkosten liegen jetzt naturgemäß höher, aber die Nutzungsdauer, die mindestens erreicht werden muss, damit sich die Mehrkosten der effizienteren Geräte durch Einsparungen bei den Stromkosten rentieren, ist auf etwa 4 bis 6 Jahre gesunken.

Ein weiterer Aspekt ergibt sich aus Langzeitmessungen der Stiftung Warentest: Die Wärmeisolierung der Kühl- und Gefriergeräte altert und wird vor allem in den ersten 3 Jahren deutlich schlechter, was ebenfalls einen höheren Stromverbrauch zur Folge hat. Details siehe <https://www.test.de/Kuehl-und-Gefriergeraete-Stromhunger-waechst-4579954-0>.

Fazit: Je intensiver die Nutzung, d.h. je häufiger der Zugriff auf den Inhalt bzw. dessen Austausch, und je höher der Strompreis, umso schneller rentieren sich Mehrausgaben für energieeffizientere Geräte. Je geringer die Nutzung, d.h. je seltener der Inhalt ausgetauscht wird, umso mehr nähert sich der Betrieb den Basiskosten, z.B. bei Gefriertruhen mit Aufstellung in einem kühlen Keller. Umso fragwürdiger wird es aber auch, ob sich die Mehrausgaben bei der Anschaffung rentieren. Es sei denn, die Preisdifferenzen zwischen den einzelnen Effizienzklassen werden deutlich geringer als in unserem willkürlich gewählten Beispiel aus einem Elektrogroßmarkt in Kapitel 14.3.

15 Sorgsamer Umgang mit Energie allgemein

Der Energiebedarf eines Haushaltes beschränkt sich nicht auf die Anwendung elektrischer Energie. Vor allem der Bedarf an Wärmeenergie für Heizung und Warmwasser wird häufig durch andere Energieträger, wie Öl, Gas sowie in zunehmendem Maß auch wieder mit Holz (Scheite, Holzpellets, Hackschnitzel), gedeckt. Ein Mittelwert der verschiedenen Statistiken für den Energiebedarf eines Haushaltes sagt: 70 % für die Raumheizung, 13 % für Warmwasser, 17 % für allgemeine Anwendung, meist als elektrische Energie. Wenn der Bedarf an elektrischer Energie z.B. 3.500 kWh/Jahr beträgt (4-Personen Haushalt), dann würden noch ca. 17.100 kWh/Jahr für den Wärmebedarf benötigt, entsprechend einem Äquivalent von etwa 1.710 l Heizöl, 1.710 m³ Erdgas oder 3.450 kg Holzpellets (s.a. Kapitel 8.2). Dies alles kann individuell sehr unterschiedlich sein. Wird mit Strom oder Gas gekocht? Wird evtl. elektrisch geheizt (Nachtspeicheröfen)? Wie groß ist die Wohnung, das Haus und wie gut sind die Wände nach außen isoliert? Wie ist die Warmwasserbereitung? Mit der Heizung oder separat? Womit? Wie viele stromeffiziente Geräte werden bereits genutzt.

Schon allein diese Fragen zeigen, wie viele Ansatzpunkte es gibt, um die Energiekosten zu optimieren, und wie viele Alternativen sich eröffnen. So können z.B. die Heizungskosten erheblich gesenkt werden, wenn zumindest im Sommer, wenn nicht geheizt werden muss, die Warmwasserbereitung unabhängig von der Heizung funktioniert. Insbesondere Wärmeenergie lässt sich relativ einfach mit dem eigenen Hausdach direkt aus Sonnenenergie gewinnen und auch für einige Tage speichern. Die Kontrolle des spezifischen Stromverbrauchs einzelner Geräte im Haushalt gibt ebenfalls Hinweise für diese Optimierung. Hierfür bieten Baumärkte kleine Messgeräte an (für ca. 20 €), die man zwischen Steckdose und Gerätestecker setzt, mit denen man den Einzelverbrauch direkt verfolgen kann.

Um zwischen all den technischen Möglichkeiten die günstigste Lösung zu finden, ist eine kompetente, umfassende und individuelle Beratung notwendig, am besten auch vor Ort. Hierfür bieten sich unterschiedliche Beratungsstellen an, zum großen Teil kostenlos bzw. gegen eine kleine Gebühr/Kostenerstattung bei individuellen Beratungen zuhause.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Allgemein für ganz Bayern: [Verbraucherservice Bayern](#). Neben allgemeinen Hinweisen werden auch Orte und Termine für eine persönliche Beratung angeboten.

Für den [Regierungsbezirk Oberfranken](#). Individuelle Beratung je nach Wohnort.

Unter 09221/8239-18 erhält man telefonische Beratung von Energieeffizienz bis zu Förderprogrammen, sowie speziell für den Landkreis Bayreuth auch kostenlose Vor-Ort-Beratung.

Speziell für den [Landkreis Erlangen-Höchstadt](#): Das Landratsamt Erlangen-Höchstadt bietet monatlich allgemeine Energieberatungen in den Rathäusern der Landkreisgemeinden an. In Zusammenarbeit mit der Energiewende ER(H)langen e.V. wird eine individuelle, persönliche Stromsparberatung mit Analyse des Verbrauches und Aufstellen von Einsparmaßnahmen angeboten, die durch ehrenamtliche Stromsparberater durchgeführt wird.

Speziell für den Landkreis Forchheim: [Landratsamt Forchheim](#) oder telefonisch unter 09191/861025. Hier stehen leihweise ein Musterkoffer mit diversen LED-Lampen zum Ausprobieren sowie ein Verbrauchsmessgerät mit Auswertemöglichkeit im PC zur Verfügung.

Die Politik der großen Energieversorger hat über Jahrzehnte einen Trend zur Energieverschwendung unterstützt. Dies war ihr Geschäft. Das Bewusstsein, dass Energie ein im doppelten Sinne des Wortes kostbares Gut ist, diese Energieverschwendung ohne Einbußen wieder auf das wirklich notwendige Maß zurückzuführen sowie den eigenen Energiebedarf zu optimieren, hat nicht nur ganz persönliche finanzielle Vorteile, sondern ist auch ein wesentlicher Faktor für das Gelingen der Energiewende.

Als Nächstes untersuchen wir, wie durch Druck von unten der Fortgang der Energiewende zu beeinflussen ist.

16 Energiewende von oben durch Druck von unten

16.1 Allgemeines

Energie ist eine der Grundvoraussetzungen für Leben auf unserer Erde. Leben, pflanzliches und tierisches, braucht Energie. Dabei kommen alle Lebensformen auf der Erde zur Sicherung ihrer Existenz mit einem Minimum an Energie aus. Sie decken ihren Energiebedarf ausschließlich aus den sich ständig erneuernden Energieformen, erzeugt durch die täglich eingestrahlte Sonnenenergie – ausgenommen der Mensch. Dieser hat gelernt, fossile Energiespeicher anzuzapfen. Im Zuge der Industrialisierung entstand ein Wirtschaftszweig, der – zusätzlich zu der Sonnenenergie – Energie in beliebigen Mengen zur Verfügung stellte. Dieses Angebot führte zu einem ungebremsten, ständig wachsenden Energiebedarf, zu ständigem Hunger nach mehr Energie und letztlich zu Energieverschwendung. Abgesehen von den daraus resultierenden negativen, unsere Umwelt und die Natur zerstörenden Nebenwirkungen, kann dieser immense Energieverbrauch nicht unendlich fortgeführt werden, denn diese fossilen Energiespeicher gehen irgendwann zur Neige. Ihre Ausbeutung wird bereits aufwändiger und kostspieliger. Es wird Zeit, sich an die natürlichen, täglich neu vorhandenen Energiequellen zu erinnern und diese zu nutzen. Das notwendige Wissen haben wir. Die Technik steht in ihren wesentlichen Teilen zur Verfügung und wird weiter entwickelt.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Dieser etwas philosophische Exkurs ist ab und zu notwendig, um das eigentliche Ziel der Energiewende nicht aus den Augen zu verlieren: weg von den fossilen Energiespeichern, hin zu den erneuerbaren, natürlichen Energiequellen. Dies bedeutet aber nicht, wie es von Energiewendegegnern häufig kolportiert wird: „zurück in die Steinzeit“. Unser heutiges Wissen und unsere Technik ermöglichen es, dieses Ziel zu erreichen und einen hohen Lebensstandard zu erhalten. Ein wesentliches Mittel hierzu ist, Energie nicht unnötig zu verschwenden. Dies war das Thema der letzten Kapitel.

Dieses steht freilich den Geschäftsmodellen und Zielen der etablierten Energiewirtschaft, die uns bisher im Überfluss aus fossilen Energiespeichern versorgt hat, entgegen. Eine sehr aufwändige Technik, die nur durch ein koordiniertes Zusammenspiel mehrerer großer Wirtschaftsunternehmen in einer Wertschöpfungskette möglich ist. Diese sind: Bergbau für die Gewinnung der fossilen Energieträger, Transport zu den Kraftwerken, Stromerzeugung, Stromtransport über das bundesweite Übertragungsnetz und regionale Stromverteilung zu den Stromverbrauchern. Teilweise waren diese Wirtschaftsunternehmen in einer Hand, insbesondere bei der westdeutschen Braunkohle, bei der die ganze Kette in einer Hand lag. Die ostdeutsche Braunkohle wurde nach der Gründung der neuen Bundesrepublik praktisch auch in eine Hand gelegt, z.B. Vattenfall. Viele Jahre wurde diese Monopolisierung akzeptiert, weil es bei solch einem [„natürlichen Monopol“](#) wegen der hohen Fixkosten und niedrigen Grenzkosten nicht sinnvoll ist, den Markt auf mehrere Unternehmen aufzuteilen. Im Rahmen der Europäischen Harmonisierung der Märkte setzte sich jedoch die Auffassung durch, ... *dass natürliche Monopole nur auf den Teil der Wertschöpfungskette beschränkt werden, für den unter Beachtung der volkswirtschaftlichen Kosten ein Wettbewerb nicht sinnvoll ist.* (s.a. [Liberalisierung der Energiemärkte](#)). Aus diesen Überlegungen entstand 1996 die erste EU-Richtlinie zur Elektrizitätsmarktliberalisierung, die 1998 in deutsches Recht umgesetzt wurde.

Damit wurde der Status eines „natürlichen Monopols“ im Strommarkt nur noch den Wertschöpfungsstufen Stromtransport und Verteilung zugebilligt. Die Segmente Bergbau, Transport der fossilen Energieträger und Erzeugung liegen zumindest bei der deutschen Braunkohle überwiegend noch in einer Hand. Die Segmente Erzeugung, Handel und Vertrieb unterliegen aber seit der Liberalisierung des Marktes dem freien Wettbewerb. Sie erfolgen jetzt über die sog. Strombörse, an der auch jeder andere Stromerzeuger seinen Strom vermarkten kann. Diese politische Entscheidung hat für den Stromverbraucher weitreichende Konsequenzen. Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

16.2. Der König Kunde

Die im letzten Kapitel beschriebene Liberalisierung des Strommarktes hat für den Stromkunden zwei wichtige Konsequenzen:

1. In das Stromnetz darf jeder Stromerzeuger seinen Strom einspeisen und den Stromkunden, im Rahmen der gesetzlichen Regelungen, zu seinen Tarifen anbieten. Eine wichtige Voraussetzung, um den Strom aus erneuerbaren Energie-Quellen (EE-Strom, grüner Strom, Öko-Strom) in der Breite zu vermarkten.
2. Der Stromkunde kann sich per Vertrag seinen Stromlieferanten aussuchen, der König Kunde bestimmt, welchen Strom er bezahlt. D.h., je mehr Stromkunden EE-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Stromlieferanten bevorzugen, umso größer wird auch der Druck von unten, die Energiewende voran zu treiben, um die vertraglich zugesicherten Strommengen zu liefern.

Allerdings beeinflussen solche vertraglichen Regelungen nicht den Strom, der aus Ihrer Steckdose kommt. Wie eingangs dieser Serie erläutert (Kapitelgruppe 2 und 3), sucht sich der Strom im Netz seinen Weg vom Erzeuger zum Verbraucher nach physikalischen Gesetzen selbst. Politische Gesetze oder vertragliche Festlegungen regeln nur die Finanzflüsse. Der Strom aus ihrer Steckdose kommt aus dem (elektrisch) nächst liegendem Kraftwerk, egal welche Energiequelle dieses Kraftwerk nutzt und was Sie vertraglich festgelegt haben. Sie müssen sich darauf verlassen, dass der EE-Strom, den Sie bestellt haben, auch tatsächlich irgendwo in das Netz eingespeist wird, und somit der „Stromsee“ etwas grüner wird.

Der König Kunde kann so im Prinzip positiven Druck auf die Weiterentwicklung der Energiewende von oben ausüben. Jeder Haushalt, der einen eigenen Stromzähler hat, also auch Mieter in Mehrfamilienhäusern, kann so die Energiewende vorantreiben. Wie kommt man als Stromkunde aber zu den Stromerzeugern, die Ökostrom in das Netz einspeisen? Sucht man unter diesem Stichwort im Internet, so bekommt man eine verwirrende Vielzahl von Anbietern. Allerdings ist leider nicht überall, wo Öko draufsteht, auch 100 % Öko drin. Am besten steigt man über die Seite www.oekostrom-anbieter.info/ ein. Hier kann man sich zunächst über die Unterschiede der Begriffe echter Ökostrom, grüner Strom, Graustrom informieren, weiterhin über die verschiedenen Arten der Ökostromeinspeisung und was unter „Stromsee“ zu verstehen ist. Es wird erklärt, was hinter den verschiedenen Ökostromzertifizierungen steckt und wie mit den „RECS-Zertifikaten“ Etikettenschwindel betrieben wird. Zum Schluss bleiben gerade mal 5 Ökostromanbieter übrig, die diesen Namen auch verdienen und die ihren Strom bundesweit anbieten.

Diesen ist gemeinsam, dass sie zu 100 % Ökostrom vertreiben, dass es keine wirtschaftlichen Verflechtungen mit konventionellen Stromanbietern gibt, dass sie sich einem seriösen Zertifizierungsverfahren unterwerfen und dass sie nicht an dem RECS-Zertifikate-Handel teilnehmen. Sie unterscheiden sich etwas in dem jeweiligen Geschäftsmodell, woher sie den Ökostrom beziehen, nur aus Deutschland oder auch grenzüberschreitend, z.B. aus österreichischen oder norwegischen Wasserkraftwerken.

Darüber hinaus gibt es seit 2015 speziell für Bayern einen echten Ökostromanbieter, die Bavariastrom (www.bavariastrom.de), eine Zusammenarbeit der Bürgerenergie Bayern e.V. mit dem Grünstromwerk. Warum gerade dieser Anbieter in Bayern so interessant ist, dazu mehr im nächsten Kapitel.

16.3 Der bayerische König Kunde

Im letzten Kapitel hatten wir die Stromanbieter besprochen, die bundesweit echten Ökostrom anbieten. Seit 2015 gibt es auch einen bayerischen echten Ökostromanbieter, den [Bavariastrom](http://www.bavariastrom.de), eine Initiative der [Bürgerenergie Bayern e.V.](http://www.buergerenergiebayern.de) in Zusammenarbeit mit dem [Grünstromwerk](http://www.gruenstromwerk.de). Um die Bedeutung eines solchen Anbieters besser einzuschätzen, ein kurzer Rückblick (Kapitel 11.3) auf die bayerische Situation nach Abschaltung der letzten Kernkraftwerke. Bayern wird dann zum Stromimportland. Das Defizit beträgt rund 30 % des derzeitigen Strombedarfes. Um diese Lücke zu schließen ist ein Bündel von Maßnahmen notwendig:

1. weniger Strom verbrauchen (s.a. Kapitel 14.2 bis 14.5),

Teil II Energiewende ja – aber wie?

2. mehr Strom aus lokalen erneuerbaren Quellen erzeugen,
3. Strom aus nördlicheren Bundesländern beziehen.

Bei Punkt 2 ist z.Z. zumindest fragwürdig, in welchem Ausmaß dies in Bayern noch möglich ist. Die Wasserkraft ist weitgehend ausgeschöpft. Der noch mögliche Ausbau der Windkraft ist durch die 10H-Regelung praktisch abgewürgt. Großflächige Solaranlagen und die Bioenergie haben auch „Nebenwirkungen“ und erfordern eine sorgfältige Nutzen-Schaden-Abwägung. Die geplanten Veränderungen des EEG werden hierfür voraussichtlich engere Grenzen setzen. Hierzu mehr in späteren Kapiteln.

Punkt 3, die Deckung des kompletten Defizits durch Importe/Zukäufe, erfordert neue Stromtrassen (s.a. Kapitel 11.3), gegen die es ebenfalls erhebliche Widerstände gibt. Ideal wäre es, mit einer Kombination aus 1 und 2 die Energielücke soweit zu schließen, dass keine Importe nötig sind. Zumindest aber soweit, dass die vorhandenen Stromtrassen, die heute den bayerischen Stromexport abwickeln, ausreichend sind.

Wichtig ist vor allem, dass der in Bayern erzeugte Ökostrom auch tatsächlich direkt in Bayern vermarktet wird. Andernfalls fließt er in das bundesweite Übertragungsnetz der großen Energieversorger, wird über die Strombörse vermarktet und kommt dann als „Graustrom“ nach Bayern zurück. Hier liegt die Bedeutung von Bavariastrom.

Das Besondere dieser Initiative der Bürgerenergie Bayern e.V. liegt darin, dass es zum ersten Mal möglich ist, Öko-Strom direkt aus bayerischen Bürgerkraftwerken zu beziehen. Dieser Anteil beträgt 25 %, die restlichen 75 % stammen aus bayerischer Wasserkraft. Dieses Angebot ist komplett konzernunabhängig und hat keinerlei Verflechtungen zur Atom- und Kohlewirtschaft. Es unterwirft sich der [Zertifizierung des TÜV Süd](#) und nimmt nicht am [RECS-Zertifikate-Handel](#) teil.

Der Verkauf erfolgt an die Stromkunden ohne Umweg über die Strombörse (deshalb keine staatliche Förderung (Einspeisevergütung), aber auch keine EE-Umlage)) – und durch diesen Direktvertrieb keine Nutzung des Übertragungsnetzes, d.h., hierfür auch keine Netzegebühren. Genutzt werden nur die regionalen Verteilernetze. Dieses Angebot entspricht der im EEG vorgesehenen „Direktvermarktung“, ist deshalb autark und unabhängig von staatlicher Bevormundung.

Wie bei den anderen bundesweit tätigen echten Öko-Stromversorgern auch, wird mit den Erträgen aus dem Stromgeschäft die weitere Entwicklung der erneuerbaren Energien gefördert. In diesem Fall jedoch konzentriert auf die regionalen Projekte der vielen Bürger-Energie-Vereine und Energie-Genossenschaften in Bayern. Dies fördert die Dezentralisierung des bayerischen Energiemarktes und unterstützt ein wesentliches Ziel dieser Organisationen: Die Mittel für den Ausbau sollen aus der Region kommen und die Erträge auch wieder der Region der jeweiligen Stromkunden zugutekommen.

In folgenden Kapiteln betrachten wir weitere Möglichkeiten für den Punkt 2: Strom aus lokalen erneuerbaren Quellen für den Eigenbedarf.

17 Energiewende durch Druck von unten

17.1 Dezentralisierung durch Eigenversorgung

Nach Abschaltung der letzten Kernkraftwerke 2022 wird Bayern ein Stromdefizit von ca. 30 % haben (Kapitel 11.3). Um die Folgen dieses Defizits zu beherrschen gibt es außer der Möglichkeit eines Stromimportes aus nördlichen Bundesländern und südlichen Nachbarstaaten, was einen Ausbau der Übertragungsnetze erfordert, noch folgende Alternativen:

- den Strombedarf verringern durch effizientere Geräte und Stromsparen, Kapitel 14.2 bis 14.5, und
- mehr Strom aus lokalen erneuerbaren Quellen möglichst dort erzeugen, wo er gebraucht wird. Dies würde sowohl die lokalen Netze als auch die Übertragungsnetze entlasten.

Am effektivsten ist eine Kombination dieser beiden Punkte, realisierbar in jedem Haus mit einer entsprechenden Photovoltaik-Anlage. Hierbei gibt es ein generelles Problem: Der Energielieferant, die Sonne, liefert um die Mittagszeit die meiste Energie. Dies ist aber eine Zeitspanne, in der in vielen Haushalten keiner zu Hause ist, so dass kein Energiebedarf entsteht. Es müsste also tagsüber mindestens so viel Energie gespeichert werden, dass sie für den Energiebedarf abends und am nächsten Morgen reicht.

Als vor etwa 15 bis 20 Jahren die ersten PV-Anlagen auf Hausdächern installiert wurden, gab es solche Speicher zwar schon, jedoch so teuer, dass solche Anlagen unwirtschaftlich waren. Deshalb wurde zunächst die gesamte Energie, ab 2009 nur die, die im Haus nicht direkt verbraucht wurde, in das allgemeine Stromnetz eingespeist, wo sie anderen Verbrauchern direkt zur Verfügung stand. Das Netz wirkte quasi wie ein Speicher, aus dem man zu anderen Zeiten seinen Strombedarf wieder decken konnte. Real bewirkte das Netz nur einen Ausgleich zwischen der Vielzahl der Verbraucher und Stromerzeuger. Wirtschaftlich waren solche Anlagen, weil die Einspeisevergütung für den ins Netz eingespeisten Strom wesentlich höher war, als der Preis des Stromes für den Bezug aus dem Netz. Die Investition in eine solche Anlage brachte dadurch meist eine akzeptable Rendite. Die Steuerungsstrategie für solche Anlagen war: möglichst viel in das Netz einspeisen und möglichst wenig selber verbrauchen.

In der Zwischenzeit haben sich aber diese Kostenrelationen erheblich geändert. Der Strom aus dem Netz wurde teurer. Die Einspeisevergütung wurde deutlich reduziert, auf Werte unter dem Preis des Stromes aus dem Netz. D.h., die alte Steuerungsstrategie würde zu einem Verlustgeschäft führen. Andererseits haben die Entwicklungen für die Elektromobilität bewirkt, dass das Angebot für Akkus als Energiespeicher vielseitiger und preiswerter wurde. D.h., man kann heute PV-Anlagen mit Akkus ergänzen und das Überangebot der Sonne um die Mittagszeit speichern, um es in den sonnenärmeren Zeiten, z.B. abends und morgens, wieder abzurufen. Die Rendite einer Investition in solch eine Anlage entsteht durch die eingesparten Kosten für einen deutlich geringeren Strombezug aus dem Netz. Die Steuerungsstrategie solcher Anlagen ist also genau umgekehrt: möglichst wenig Strom in das Netz einspeisen und möglichst viel der selbst erzeugten Energie auch selbst nutzen.

Die zur Verfügung stehenden Hardwarekomponenten, die verschiedenen Anlagenkonzepte, ein modularer Aufbau und evtl. Erweiterungsmöglichkeiten mit dem Ziel, möglichst autark zu werden, bis hin zu einem Notbetrieb bei Netzausfall, das sind Themen der nächsten Kapitel.

17.2 Anlagenkonzepte

Wie im letzten Kapitel festgestellt, erfordert die Kostensituation bei kleinen PV-Anlagen auf Hausdächern, bezüglich Wirtschaftlichkeits- und Renditeüberlegungen, ein Umschwenken von „möglichst viel ins Netz einspeisen“ auf „möglichst viel selbst verbrauchen“. Dies erfordert: in die Anlage einen eigenen Energiespeicher (Batteriespeicher, Akku) zu integrieren, um einen zeitlichen Ausgleich zwischen Energie-Überangebot der Sonne und Energiebedarf zu anderen Zeiten herzustellen. Hierfür werden zwei grundsätzlich unterschiedliche Konzepte angeboten: eine AC-Kopplung oder eine DC-Kopplung. Was ist das?

Eine klassische PV-Anlage besteht im Prinzip nur aus 2 Komponenten:

1. den Solarmodulen auf dem Dach, welche die Sonnenstrahlung (Lichtenergie) in elektrische Energie in Form von Gleichstrom umsetzen.
2. dem Wechselrichter, der den Gleichstrom in Wechselstrom oder Drehstrom umwandelt, mit dem die elektrischen Geräte im Haus betrieben werden können, oder der ins Netz eingespeist wird.

Bei einer AC-Kopplung (aus dem englischen: alternating current = Wechselstrom) wird der Akku an der Wechselstromseite des Wechselrichters (Netzseite) über entsprechende Zusatzgeräte angeschlossen, welche die Wechselspannung des Netzes auf das Gleichspannungsniveau der Batterie umwandeln, um die Batterie zu laden, und beim Entladen der Batterie wieder in Wechselspannung transformieren.

Bei einer DC-Kopplung (aus dem englischen: direct current = Gleichstrom) wird der Akku an das Gleichspannungsniveau direkt hinter den Solarmodulen angeschlossen. Die doppelte Umwandlung des Stromes für den Batteriebetrieb entfällt. Lediglich der Wechselrichter (bei Altanlagen) muss ausgetauscht werden.

Deshalb ist bei der Wahl zwischen den beiden Systemen zunächst entscheidend, ob es sich um eine Altanlage handelt, die lediglich durch einen Energiespeicher ergänzt werden soll, oder um eine Neuanlage. Zusätzliches Entscheidungskriterium ist, welche weiteren Eigenschaften, mögliche Modernisierungen und Ergänzungen bis hin zu einem Notbetrieb realisiert werden sollen oder für später geplant sind (Details in einem späteren Kapitel).

Jede Energieumwandlung, auch rein elektrische wie Gleichstrom in Wechselstrom und umgekehrt, hat Verluste, die sich im Wirkungsgrad niederschlagen. Dies sind zwar immer nur wenige Prozent, bei mehreren Umwandlungen summiert sich das aber. Da bei der AC-Kopplung mehr Umwandlungen nötig sind als bei der DC-Kopplung, hat die DC-Kopplung den besseren Gesamtwirkungsgrad.

Die AC-Kopplung ist das einfachere Konzept, wenn es ausschließlich darum geht eine bestehende Anlage durch einen Akku zu erweitern. In dem Fall kann der bisherige Wechselrichter weiter verwendet werden. Evtl. weitere Ergänzungen oder Modernisierungen sind aber eingegrenzt. Ist so etwas angedacht, auch wenn es vielleicht erst für einen späteren Ausbau vorgesehen ist, dann sollte man gleich den größeren Schritt machen und auf eine DC-Kopplung umsteigen, die aber den Austausch des Wechselrichters erfordert.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Die DC-Kopplung ist das universellere Konzept. In einer Weiterentwicklung werden die PV-Module und der Akku gemeinsam wie ein Generator und, zusammen mit einem speziellen Wechselrichter, wie ein kleines Kraftwerk betrachtet (in einigen Veröffentlichungen auch als „Hybrid-Stromspeicher“ oder „Generator gekoppeltes Speichersystem“ bezeichnet). Mit einem speziellen Konverter/Wechselrichter ist auch eine Aufladung des Speichers aus dem Netz möglich. Dies ist u.U. für einen evtl. Notbetrieb interessant (Details in einem späteren Kapitel).

Die technische Weiterentwicklung wird sich deshalb auf die DC-Kopplung konzentrieren. Deshalb, und wegen des besseren Gesamtwirkungsgrades, ist bei Neuanlagen die DC-Kopplung zu bevorzugen.

Die nächste Frage ist die Wahl des Speichers. Auch hier gibt es Alternativen, das Thema des nächsten Kapitels.

17.3 Solarstromspeicher

Die wichtigste neue Komponente für Solaranlagen zur Eigenversorgung ist ein Energiespeicher. Hierzu bieten sich angepasste, wiederaufladbare Batterien (Akkus) an, wie sie schon lange für andere Anwendungen in Gebrauch sind. Hierfür stehen zwei Technologien zur Verfügung:

1. Blei-basierte Batterien, ähnlich einer Starterbatterie im Auto, jedoch in einer Weiterentwicklung optimiert auf die veränderten Betriebsverhältnisse als Solarbatterie.
2. Lithium-basierte Batterien, ursprünglich für Kleingeräte wie Laptops entwickelt, inzwischen aber favorisiert für die Elektromobilität mit hoher Speicherkapazität bei geringem Gewicht. Die Betriebsverhältnisse dort sind vergleichbar mit denen einer PV-Anlage zur Eigenversorgung: möglichst schnelle Aufladung und viele kleine Teilentladungen.

Die für den Betrieb in Solaranlagen wesentlichen Eigenschaften und die Unterschiede zwischen den Systemen sind:

Die Kapazität gibt den Betrag der Energie in kWh an, die gespeichert werden kann. Die **Nennkapazität** gibt die Energiemenge an, die bei der Erstladung gespeichert werden kann. Batterien dürfen aber nie wieder zu 100 % entladen werden, dies würde ihre Lebensdauer drastisch verkürzen. Lithiumbatterien dürfen tiefer entladen werden als Bleibatterien, d.h. deren **Nutzkapazität** ist bei gleicher Nennkapazität größer, oder umgekehrt, bei gleicher gewünschter Nutzkapazität muss die Bleibatterie für eine höhere Nennkapazität dimensioniert werden. Manche Hersteller geben gleich die Nutzkapazität an. Man muss also schon sehr genau hinschauen. Manchmal findet man auch eine Kapazitätsangabe in Ah. Dies ist eigentlich kein Maß für Energie, ist aber für Starter- und Kleinbatterien üblich und hat dort eine gewisse praktische Bedeutung, jedoch nicht für die hier behandelte Anwendung als Solarstromspeicher.

Die Leistung in kW ist eine Angabe, die meist im Zusammenhang mit dem verwendeten Wechselrichter steht. Sie gibt die Anschlussleistung des größten Gerätes oder die Summenleistung einer Gerätegruppe an, die gleichzeitig von dem Wechselrichter aus der Batterie mit Strom versorgt werden können. Dies ist primär eine Dimensionierungsgröße für den Wech-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

selrichter und nur sekundär abhängig von der Batterie. Gängige Werte sind für kleinere Anlagen (einphasig) 1,5 kW, für größere Anlagen (dreiphasig) um die 3 kW, was für Privathaushalte völlig ausreichend ist.

Die Lebensdauer wird meist in sog. Vollladezyklen angegeben. In diesem Punkt unterscheiden sich die beiden Batterie-Systeme. Die Angaben für Lithiumbatterien sind meist höher als die für Bleibatterien. Ein Vollladezyklus (100 % Ladung und anschließende 100 % Entladung) ist ein theoretischer Wert, denn die Batterien dürfen nicht voll entladen werden (s.o.) und der praktische Betrieb wird auch aus vielen Teilentladungen mit anschließender Teilladung auf 100 % bestehen. Es werden deshalb immer mehrere Teilzyklen zu einem Vollzyklus aufaddiert. Man geht davon aus, dass in der hier vorliegenden Betriebsweise – Strombedarfsdeckung für Privathaushalte – im Jahr etwa 200 bis maximal 250 Vollladezyklen entstehen. Herstellerangaben von 4500 bis 5000 Ladezyklen würden somit für Nutzungsdauern von ca. 20 Jahren voll ausreichen.

Außer der Lebensdauerbegrenzung durch die Ladezyklen gibt es auch noch eine sog. **kalendarische Lebensdauer**, wofür in den Herstellerangaben nur sehr vage Angaben gemacht werden.

Man kann sich dies wie einen Alterungsprozess bzw. wie einen inneren Verschleiß vorstellen, der u.a. vom mittleren Ladezustand sowie von äußeren Einsatz-Verhältnissen, z.B. Umgebungstemperatur, abhängig ist. Da diese vom Batteriehersteller nicht beeinflusst werden können, sind konkrete Angaben über die kalendarische Lebensdauer kaum möglich. Die tatsächliche Gebrauchsdauer setzt sich in der Praxis ohnehin aus beiden Werten zusammen, der Zahl der Ladezyklen und der kalendarischen Alterung. Praktisch äußert sich beides in einem Rückgang der Nennkapazität. Der Grenzwert für die Angabe der Lebensdauer wurde auf 80 % der Nennkapazität festgelegt. Die Batterie ist also dann noch nicht unbrauchbar, sie kann durchaus noch einige Zeit weiter betrieben werden. Insbesondere, wenn sie großzügig dimensioniert wurde. Präziser wäre deshalb der Begriff „Gebrauchsdauer“.

Bezüglich der so definierten Gebrauchsdauer unterscheiden sich wieder die beiden Batterie-Technologien. Für Blei-basierte Batterien wird allgemein eine Lebensdauer von 10 Jahren genannt. Diesen Wert kann man als gesichert ansehen, denn mit Bleibatterien gibt es genügend Langzeiterfahrungen. Für Lithium-basierte Batterien werden allgemein Werte von 20 Jahren genannt. Hierbei handelt es sich z.Z. noch um eine Hochrechnung aus gesicherten Laborwerten, weil es mit den neuesten Entwicklungen dieses Batterietyps noch keine praktischen Langzeiterfahrungen geben kann. Immerhin gibt es bereits Hersteller, die im Zusammenhang mit Gesamtsystemen und definierten Einsatzbedingungen eine 10-jährige Garantie anbieten. Dies kann ein Hersteller nur dann tun, wenn er sicher ist, dass die überwiegende Mehrzahl seiner Produkte eine deutlich längere Lebensdauer hat.

Weitere Unterschiede liegen im Gewicht und im Anschaffungspreis. Lithium-Batterien haben bei gleicher Nennkapazität ein erheblich geringeres Gewicht, aber einen höheren Anschaffungspreis als Blei-Batterien. Das Gewicht spielt bei dem Anwendungsfall als Solarbatterie wohl nur eine untergeordnete Rolle. Bei der Elektromobilität ist jedoch sowohl das Gewicht als auch die Gebrauchsdauer ein entscheidender Faktor. Man kann deshalb davon ausgehen, dass sich die zukünftige Batterieentwicklung auf die Lithiumtechnologie fokussiert. Der höhere Anschaffungspreis wird sicher durch die höhere Nutzkapazität und die längere Gebrauchsdauer aufgewogen.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Die Internetseite von [Solarify](#), einem Informationsportal der „Agentur Zukunft“ und der „Max-Planck-Gesellschaft“ enthält eine Graphik, welche die 20 umsatzstärksten Lieferanten für Solarbatterien zeigt. Diese Graphik entstammt dem „Speichermonitoring 2016“ der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH), die im Auftrag des Bundes-Wirtschaftsministerium jährlich diesen Markt sondiert und bewertet. [Der komplette Bericht](#) kann kostenlos herunter geladen werden.

Diese Liste enthält bekannte Namen, die man schon von den Autobatterien kennt. Es gibt aber auch einige neue, die speziell mit der Solartechnik auf diesen Markt gekommen sind. Herausragend sind die ersten vier, die zusammen über 60 % des Marktes bedienen. Diese sind: Sonnenbatterie, Senec, SMA und E3/DC. Diese vier liefern vor allem auch Komplettsysteme. Was man darunter versteht, welche unterschiedlichen Ausbaugrade hierbei möglich sind und wie ein angepasstes Energiemanagement den spezifischen Betrieb optimiert, dazu mehr im nächsten Kapitel.

17.4 Komplettsysteme – Energiemanagement

Im letzten Kapitel hatten wir festgestellt, dass sich einige Hersteller nicht nur auf die Bereitstellung der Solarbatterien beschränken, sondern darüber hinaus auch komplette Photovoltaikanlagen (PV-Anlage) im Programm haben. Eine solche PV-Anlage besteht aus:

- den Solarzellen auf dem Dach,
- einem Wechselrichter zur Anpassung der Gleichspannung der Solarzellen an die Wechselspannung des Netzes und dem Anschluss an die Hausinstallation (Haus-Netz),
- einer Solarbatterie, möglichst DC-gekoppelt (Kapitel 17.2), und
- dem Anschluss an das öffentliche Stromnetz über einen Einspeisezähler oder einen kombinierten Zweirichtungs-Zähler.

Eine solche PV-Anlage würde auch ohne gezielte Steuerungseingriffe an einem guten Sonnentag zunächst die Batterie aufladen, eingeschaltete Stromverbraucher des Haus-Netzes versorgen und als letztes dann noch überschüssige Energie in das öffentliche Netz einspeisen. Sie würde aber nicht der Steuerungsstrategie gerecht: möglichst viel Strom selbst verbrauchen und möglichst wenig ins Netz einspeisen. Es kann hierbei durchaus sein, dass der gesamte Eigenbedarf, einschließlich der Batterieladung, bereits in den Vormittagsstunden gedeckt ist, und in der Mittagszeit, bei höchstem Energieangebot, nur noch die Netzeinspeisung übrig bleibt. Hier hat aber der Gesetzgeber einen Riegel vorgeschoben. Es dürfen nicht mehr als 70 % der Nennleistung einer PV-Anlage in das Netz eingespeist werden, je nach Inanspruchnahme bestimmter Fördermaßnahmen nur 50 %. In diesem Fall könnte ein Teil der bereitgestellten Energie nicht mehr genutzt werden.

Bereits diese gesetzliche Vorgabe erfordert einen steuernden Eingriff in die Energieflüsse. Für eine wirtschaftliche Optimierung kann es deshalb sinnvoll sein, die Netzeinspeisung in die Vormittagsstunden zu legen, wenn das Energieangebot ohnehin noch unter den zulässigen Grenzen liegt. Die Deckung des Eigenbedarfes einschließlich der Batterieladung wird in die Stunden des Überangebotes gelegt, damit diese Spitze nicht ungenutzt bleibt. Man sieht,

Teil II Energiewende ja – aber wie?

dass für die optimale Nutzung einer PV-Anlage auch eine Vorausplanung notwendig ist. Eine Steuerung, die das leistet, wird nicht zu Unrecht auch als „Energiemanagement“ bezeichnet. Es gibt Systeme auf dem Markt, die in der ersten Betriebszeit ein spezifisches Nutzerprofil ermitteln und dieses in die tägliche Steuerungsstrategie einbeziehen. Es sind auch die ersten Systeme in Betrieb, die sich über das Internet die tägliche Wetterprognose abholen, um sie in die Steuerungsstrategie einzubeziehen. Denn nichts wäre ärgerlicher, als wenn in Erwartung eines schönen Sonnentages, in den Vormittagsstunden die Netzeinspeisung freigeschaltet wird, und Mittags, wenn man die Energiespitze für den Eigenbedarf und die Batterieladung nutzen will, kommt die große Regenfront.

All diese Steuerungsmaßnahmen haben das Ziel, eine möglichst hohe Autarkie gegenüber dem Netzbezug zu erreichen. Darunter versteht man, wie viel Prozent des Strombedarfes durch Eigenerzeugung gedeckt werden. (Mathematisch: $\text{Autarkiegrad} = (1 - \text{Netzbezug}/\text{Stromverbrauch}) \times 100 \%$). Muss der gesamte Bedarf aus dem Netz bezogen werden, ist der Autarkiegrad = 0 %. Kann der komplette Eigenbedarf aus der Kombination PV-Anlage + Solarbatterie gedeckt werden, ist der Autarkiegrad 100 %. Autarkie ist somit ein direktes Maß dafür, um welchen Betrag sich die Stromrechnung für den Strombezug aus dem Netz verringert, wenn die Angabe denselben Zeitraum wie die Stromrechnung erfasst. Angaben zur Autarkie sind nur für den Zeitraum informativ, über den sie ermittelt wurden.

Für den wirtschaftlichen Betrieb einer PV-Anlage ist es deshalb sinnvoll, die Energieaufteilung auf die drei Zweige Haus-Netz, Speicherung in der Solarbatterie und Einspeisung in das öffentliche Netz an dem Energieangebot zu orientieren. Während man die Zeitpunkte für die Speicherung und die Netzeinspeisung frei wählen kann, muss das Haus-Netz allerdings ständig versorgt werden. Zwar ist nicht ständig ein Energiebedarf vorhanden, aber es gibt Geräte, die, wenn sie sich automatisch einschalten, auch sofort mit Energie versorgt werden müssen. Typische Beispiele hierfür sind Kühl- und Gefriergeräte. Andererseits gibt es in jedem Haushalt Geräte, bei denen der Einschaltzeitpunkt nicht so relevant ist, so dass deren Betrieb gezielt in die Zeit eines hohen Energieangebotes gelegt werden kann. Typische Beispiele hierfür sind Waschmaschinen, Spülmaschinen und Heizungen für Warmwasser-Boiler.

Diese Verhältnisse sind in jedem Haushalt unterschiedlich und können sich auch ändern, z.B. durch neue oder andere Geräte. Die entsprechenden Steuerungsmaßnahmen könnten natürlich alle manuell durchgeführt werden, wenn ständig eine Person anwesend ist, die sich mit dieser Problematik auseinandersetzt. In allen anderen Fällen sollte diese Aufgabe dem Energiemanagement übertragen werden. Voraussetzung hierfür ist eine entsprechende Software und die Möglichkeit, die betreffenden Geräte gezielt einschalten zu können (Zusatz-Hardware). Die Software ist in einigen am Markt befindlichen Geräten bereits Standard. Sie muss bei Bedarf nur freigeschaltet und auf die spezifischen Verhältnisse konfiguriert werden. Die zusätzliche Hardware besteht aus einfachen fern-schaltbaren Schaltelementen, die zwischen die Anschlussleitung der betreffenden Geräte und die Steckdose gesteckt werden. Damit können bestehende Anlagen nachgerüstet oder, bei sich änderndem Gerätespektrum, angepasst werden.

All diese Steuerungsmaßnahmen haben das Ziel, eine möglichst hohe Autarkie zu erreichen. Welche Autarkiewerte sind bei einer PV-Anlage, die auf den individuellen Energiebedarf optimiert ist, praktisch erreichbar?

In den Monaten April bis Oktober können über mehrere Tage in Folge 100 % erreicht werden, zuzüglich noch einer nennenswerten Netzeinspeisung. Bezogen auf einen Monat sind

Teil II Energiewende ja – aber wie?

in den Monaten Mai bis August um 80 % bis 85 % realistisch. Zum Winter hin sinkt die Autarkie ab, auf 15 % bis 20 % von November bis Februar. Bezogen auf ein Kalenderjahr sind Mittelwerte von 60 % bis 70 % realistisch. Auch hier zeigt sich der positive Einfluss von Stromsparmaßnahmen und Stromeffizienz (Kapitel 14.2 bis 14.5). Je geringer der Eigenverbrauch ist, umso geringer sind auch Aufwand und Kosten, die man in eine PV-Anlage investieren muss, um hohe Autarkiegrade zu erzielen.

In den nächsten Kapiteln betrachten wir weitere Ausbaumöglichkeiten bis zu einem Notbetrieb bei Netzausfall.

17.5 Notbetrieb bei Netzausfall

Notbetrieb bei Netzausfall – brauchen wir so etwas überhaupt? Wir haben doch das sicherste Versorgungssystem. Dieses Thema hatten wir schon mal, Kapitel 3, 7.5 und 7.6. Die statistische „Nichtverfügbarkeit pro Anschluss im Jahr“, ist für Deutschland etwa 15 min. In diesen statistischen Mittelwert gehen vor allem die zig Millionen Haushalte ein, die im Laufe eines Jahres keinen Netzausfall hatten. Da fallen die einige Hunderttausend Haushalte, die vielleicht 24 Stunden ohne Netz waren, statistisch kaum ins Gewicht. Auch Stromausfälle von mehreren Tagen, die aber regional begrenzt sind, fallen in solchen Statistiken kaum ins Gewicht. Für die betroffenen Haushalte sind die Folgen aber alles andere als harmlos.

Die Bundesregierung hat ihre „[Konzeption der Zivilen Verteidigung](#)“ von 1995 überarbeitet und im August 2016 veröffentlicht. Unter „Zivile Verteidigung“ sind vor allem Vorsorgemaßnahmen für Notsituationen durch extreme Ereignisse, wie Wetter, Hochwasser, Ausfall von Versorgungseinrichtungen etc. zu verstehen. Erstmals werden bei den möglichen Bedrohungen auch „Cyber-Angriffe auf kritische Infrastrukturen“ genannt. Unsere derzeit immer noch zentral organisierte elektrische Energieversorgung ist solch eine „kritische Infrastruktur“, von der wiederum weitere Infrastrukturen wie Wasserversorgung, Abwasser, Zahlungsverkehr, Kommunikation, Lieferverkehr usw. abhängig sind. Welche Auswirkungen ein mehrere Tage dauernder großflächiger Stromausfall auf unsere gesamte Infrastruktur hat, wurde bereits 2011 vom Ausschuss des Bundestages für [Technikfolgenabschätzung](#) analysiert (Kapitel 7.5, 7.6). Darüber hinaus hat das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe speziell für Privathaushalte, zwei Broschüren/Ratgeber veröffentlicht, für die Vorsorge für [allgemeine Notsituationen](#) und für [Stromausfall](#). In diesem wird bereits die Möglichkeit der privaten Notversorgung mit elektrischer Energie über eine PV-Anlage angesprochen (s.a. Kapitelgruppe 14).

Nachstehend eine Zusammenfassung der für Privathaushalte [wichtigsten Punkte für die Notfallvorsorge](#) mit vielen weiterführenden Links. Betrachtet man nur die Trinkwassermengen, die für einen Notfall vorzuhalten empfohlen werden, so soll man sich auf einen Ausfall der Wasserversorgung von bis zu 2 Wochen einstellen. Ein solcher großflächiger Notfall, bei dem weder Nachbarregionen noch Supermärkte einen Trinkwassernachschub sicherstellen können, kann nur durch einen entsprechend langen und großflächigen Stromausfall verursacht werden.

Einen Stromausfall von wenigen Stunden kann sicher jeder Haushalt unbeschadet überstehen. Welche zusätzlichen Risiken treten aber bei einem längeren Stromausfall für einen Haushalt auf? Zur Erinnerung: Risiko ist die „**Kombination der Wahrscheinlichkeit des**

Eintritts eines Schadens und seines Schadensausmaßes“, s.a. Kapitel 7.3 und 7.6. Die Wahrscheinlichkeit für einen längeren Stromausfall ist relativ gering. Ursachen hierfür sind aber nicht nur, wie bisher, menschliches Versagen oder extreme Wetterereignisse. Heute muss man außerdem mit den erwähnten Cyber-Attacken rechnen. Es gibt kein absolut sicheres IT-System. Die Schäden bei einem Stromausfall über mehrere Tage können recht teuer und unangenehm werden. Da sind zunächst die Inhalte der Kühl- und Gefriergeräte. Einerseits sind deren Inhalte lebensnotwendig, wenn wegen großflächigem Energieausfall die Lieferketten für Einzelhandel und Supermärkte unterbrochen werden. Andererseits sind sie aber bei einem Stromausfall einem schnelleren Verderb unterworfen. In der Heizperiode kommt hinzu, dass alle klassischen Heizsysteme (Öl-, Gas-, Pelletkessel) ohne Strom nicht funktionsfähig sind.

Warum also nicht die eigene PV-Anlage auf dem Dach (Kapitel 17.5) für einen Notbetrieb bei Netzausfall, der Fachmann spricht auch von „Inselbetrieb“, zu ertüchtigen, um wenigstens die wichtigsten Funktionen eines Haushaltes sicher zu stellen. Zumal der zusätzliche Aufwand hierfür denkbar gering ist.

Das entscheidende Element hierfür ist die Art des Wechselrichters. Dieser hat im Normalbetrieb die Aufgabe, die Gleichspannung der Solaranlage in eine entsprechende Wechselspannung umformen, die ins Netz eingespeist werden kann. Hierfür muss die Ausgangsspannung des Wechselrichters exakt mit der Netzspannung synchron sein, d.h. sie muss der Spannungshöhe, der Frequenz und der Phasenlage des Netzes angepasst werden. Dafür braucht der Wechselrichter ein entsprechendes Führungssignal (Triggerimpuls), welches er aus der Netzspannung generiert. Der Fachmann spricht von einem „**netzgeführten Wechselrichter**“. Dieser Wechselrichtertyp war der Standardwechselrichter für die älteren PV-Anlagen, die ausschließlich ihren gesamten Strom ins Netz einspeisten. Bei Netzausfall fehlt aber dieses Führungssignal und die PV-Anlage ist nicht funktionsfähig.

Daneben gibt es jedoch Wechselrichter, die nicht mit einem vorhandenen Netz synchronisiert werden müssen, und die sich ihr Führungssignal nach anderen Kriterien selbst generieren. Der Fachmann spricht vom „**selbstgeführten Wechselrichter**“. Dieser Wechselrichtertyp wird in der Industrie in großen Stückzahlen überall dort eingesetzt, wo drehzahlveränderbare Antriebe erforderlich sind. Dieser Wechselrichtertyp kann natürlich auch die Netzspannung für ein kleines Netz liefern, welches keine Verbindung zu einem übergeordneten großen Netz hat, deshalb auch der Name „Inselbetrieb“. Dies ist jedoch genau die Situation einer Hausinstallation (Hausnetz) bei Ausfall des Versorgungsnetzes.

Für den Notbetrieb ist also ein selbstgeführter Wechselrichter erforderlich. Mittlerweile gibt es am Markt Wechselrichter, die auf beide Betriebsarten umschaltbar sind. Und einige der am Markt angebotenen Komplettsysteme für PV-Anlagen enthalten bereits standardmäßig diesen Wechselrichtertyp. Erkennbar an Formulierungen in der Produktbeschreibung wie „für Notbetrieb vorbereitet“ oder ähnliches. Was dann noch zusätzlich notwendig ist, ist ein simpler Schalter, der das Hausnetz eindeutig von dem Versorgungsnetz trennt und so praktisch die „Insel“ herstellt.

Sicher wird man mit solch einer Notversorgung nicht seinen normalen Strombedarf decken können. Der Ladezustand der Batterie beim Eintritt des Notfalls ist nicht vorhersehbar. Der Energienachschub durch die Sonne ist u.U. auch eingeschränkt. Aber mit einem sorgsam Einsatz der zur Verfügung stehenden Energie aus der Batterie, nur um die wichtigsten Funk-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

tionen notdürftig zu betreiben, kann man sicher größere Schäden und Unannehmlichkeiten begrenzen.

Einige Hersteller von Komplettsystemen sehen einen zusätzlichen Anschluss für eine weitere kleine Stromquelle vor. Hier bieten sich insbesondere solche Energiequellen an, welche die PV-Anlage in sonnenarmen Perioden ergänzen können. Über das Energiemanagementsystem wird diese Energie dazu benutzt in der Batterie evtl. fehlende Ladung zu ergänzen. Es geht darum, den in der PV-Anlage integrierten Energiespeicher auch in sonnenarmen Perioden zu nutzen. Dies erhöht einerseits den Autarkiegrad, andererseits gibt dies auch mehr Sicherheit für eine ausreichende Notversorgung bei Netzausfall. Hierzu mehr im nächsten Kapitel.

17.6 Verbesserung der Autarkie

In den letzten Kapiteln hatten wir gesehen, wie sich die Autarkie über ein Jahr entwickelt. Speziell in den Wintermonaten ist die Autarkie nur etwa 15 % bis 20 %. Dies bedeutet auch, dass die Batteriekapazität des Energiespeichers der PV-Anlage auch nur zu 15 % bis 20 % genutzt wird. Lässt sich das verbessern?

Einige Hersteller von Energiemanagementsystemen bieten Geräte mit einem zusätzlichen Anschluss für eine alternative Stromeinspeisung zum Aufladen der PV-Speicherbatterie an. Im Prinzip eignet sich hierfür jede beliebige Energiequelle, z.B. Strom aus

1. einer Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) gekoppelt mit der Heizung
2. Wind- oder Wasserkraft
3. einem Notstromaggregat
4. dem übergeordneten Stromnetz

Zu 1: Da die sonnenarmen Wintermonate auch die Heizperiode sind, wäre hier die Kombination mit einer KWK vorteilhaft. Der KWK-Gedanke ist nicht neu, denn jedes Großkraftwerk erzeugt mehr Wärme als Strom, die aber mangels Abnehmer nicht genutzt werden kann (s.a. Kapitel 4.2) und deshalb in Flüsse oder die Atmosphäre abgeleitet wird. Jedoch bei kleineren Kraftwerken, welche elektrische Energie und Wärme nur für eine kleine Region bereitstellen, etwa eine Ortschaft, Gemeinde oder größere Wohnsiedlung (s.a. Bioenergiedörfer, Kapitel 11.2 bis 11.4), sieht dies schon besser aus. In solchen begrenzten Regionen findet man genügend Abnehmer für diese (Verlust-)Wärme und die Entfernungen erlauben es auch, diese Wärme ohne große Verluste verteilen. Diese speziellen Kraftwerke werden auch „Blockheizkraftwerk“ (BHKW) genannt. Die Entwicklung/Miniaturisierung dieser Technik stellt mittlerweile Systeme zur Verfügung, die auf den Heizbedarf einzelner Wohnhäuser optimiert sind. Details hierzu in der „[BHKW Infothek](#)“.

Derartige Heizsysteme werden mit Gas betrieben. Sie erzeugen mit einer Brennstoffzelle oder einem sog. Stirlingmotor elektrische Energie kleiner Leistung, etwa 0,5kW bis 1kW. Die Abwärme dieser Stromerzeugung wird in das Heizungssystem des Hauses geleitet. Die elektrische Energie lädt über den oben erwähnten zusätzlichen Anschluss des Energiemanagementsystems die Speicherbatterie der PV-Anlage auf. Die kleine Leistung ist völlig aus-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

reichend, um die Batterie ständig auf einem hohen Ladezustand zu halten, so dass die gesamte Hausinstallation hierüber betrieben werden kann, wie im Sommer über die PV-Anlage.

Die Abwärme dieser Stromerzeugung reicht aus, je nach thermischer Qualität des Hauses, dieses in den Übergangszeiten mit ausreichend Wärme zu versorgen. Wird der Wärmebedarf größer, wird für das Heizungssystem ein zusätzliches Heiz-Aggregat zugeschaltet.

Zu 2: Wind- oder Wasserkraft sind Energiequellen, die einem einzelnen Privathaushalt nur selten zur Verfügung stehen. Es sei denn, auf kommunaler Ebene werden solche Überlegungen in die Planung der Erschließung von Wohnsiedlungen mit eingebunden. So können z.B. mit Kleinwindanlagen oder kleinen Wasserkraftanlagen die regional vorhandenen Energiespeicher, z.B. von PV-Anlagen, gepuffert werden. Hierzu mehr in einem späteren Kapitel.

Zu 3: Notstromaggregate sind ebenfalls für diese Zusatzeinspeisung geeignet. Für den ungestörten Normalbetrieb ist dies allerdings unwirtschaftlich. Der Kraftstoff, um 1 kWh elektrisch mit dem Notstromaggregat zu erzeugen, ist teurer als die 1 kWh direkt aus dem Netz zu beziehen. Der Vorteil liegt in der erforderlichen Größe des Notstromaggregates im Notfall/Netzausfall. Soll die Hausinstallation direkt mit dem Notstromaggregat betrieben werden, so ist ein Gerät mit einer Spitzenleistung von ca. 3 kW erforderlich. Soll mit dem Notstromaggregat jedoch nur die Batterie der PV-Anlage aufgeladen und während des Netzausfalls gepuffert werden, so reicht eine Geräteleistung von 0,5 bis 1 kW, ähnlich wie bei den oben beschriebenen Heizungsanlagen. Der Vorteil liegt also in den geringeren Investitionskosten.

Zu 4: Wie bei 3) ist dies für den ungestörten Normalbetrieb keine wirtschaftliche Lösung. Der einzige Vorteil dieser Schaltung ist, dass man bei dem seltenen Fall eines Netzausfalls gleich zu Beginn einen voll aufgeladenen Energiespeicher für den Notbetrieb zur Verfügung hat.

In den letzten Kapiteln haben wir gesehen, wie vielseitig die PV-Systeme für den Eigenbedarf sind, so dass praktisch für jeden Haushalt ein bedarfsgerechtes Optimum gefunden und eingestellt werden kann. Dies setzt natürlich die genaue Kenntnis des jeweiligen Systems und seiner Möglichkeiten voraus, d.h. dies ist eine Aufgabe für Spezialisten. Kapitel 17.4 enthält Links zu den namhaften Herstellern solcher Systeme. Über die Internetseite des jeweiligen Herstellers findet man auch lokale Fachfirmen, die sich mit dem jeweiligen System bestens auskennen. Auch dies ist ein maßgeblicher Gedanke der dezentralisierten Energiewende, dass die Leistungen von lokalen Firmen erbracht werden und nicht von Bundes- oder Europaweit agierenden Großunternehmen.

Auch die Ausrichtung der Dachflächen (bisher vorzugsweise Süd) ist für Ertrag und Wirtschaftlichkeit kein entscheidender Faktor mehr. Bei einer Ausrichtung des Dachfirstes in Nord-Süd-Richtung kann man die PV-Module auf die Ost- und Westfläche verteilen, und man hat mehr Dachfläche zur Verfügung. Die Ostfläche hat jetzt ihr Ertragsmaximum in den späten Vormittagsstunden, Die Westfläche in den frühen Nachmittagsstunden. Die extreme Mittagsspitze entfällt, die ohnehin häufig nicht genutzt werden kann. Der Gesamtertrag ist nahezu unverändert, nur gleichmäßiger über den Tag verteilt. Dies auf den speziellen Bedarfsfall zu optimieren, ist ebenfalls eine Aufgabe für die Spezialisten der Lieferanten.

Hiermit soll das Thema „Energiewende von unten“ zunächst abgeschlossen sein. In den folgenden Kapiteln werden wir einige Aspekte der „Energiewende von oben“ betrachten.

18 Zentrale oder dezentrale Stromversorgung?

Die Sonne liefert der Erde täglich so viel Energie, dass der Energiebedarf der gesamten Menschheit mehrfach gedeckt werden kann (s.a. Kapitelgruppe 8). Wir müssen nur lernen, diese Energiequelle zu nutzen. Hierfür steht uns nicht nur die direkte Sonnenstrahlung als Energiequelle zur Verfügung. Wind, fließendes Wasser, Meeresströmungen, Bioenergie usw., dies alles sind durch die Sonnenenergie gespeiste sekundäre Energieformen, die wir nutzen können, und die, wie auch Erdwärme, alle bis zu einem gewissen Grad auch in der Fläche zur Verfügung stehen. Sowohl das notwendige Wissen als auch die Technik für deren Nutzung sind vorhanden und werden ständig weiterentwickelt. Es ist daher möglich, zumindest einen Großteil der benötigten elektrischen Energie dezentral dort zu erzeugen, wo sie gebraucht wird. Dies entlastet vor allem die Übertragungsnetze, deren weiterer Ausbau ja auch im Brennpunkt der öffentlichen Kritik steht.

In der Wiederaufbauphase nach dem Krieg war es zwingend erforderlich, für die Stromversorgung möglichst die heimische Energiequelle Kohle zu nutzen, denn auf andere Energiequellen hatten wir keinen nennenswerten Zugriff. Deutschlands Infrastruktur, wie Schienennetz, Straßennetz, Stromnetz und die Häfen, war erheblich zerstört. Die durch diese Umstände bedingte anfangs dezentrale Stromversorgung, entwickelte sich rasch zu einer zentralen Stromversorgung, weil es einfacher und kostengünstiger war, die Energie in Form von Strom über Leitungen in die Fläche zu verteilen, als viele kleine lokale Kraftwerke mit Kohle zu versorgen. Dieses Konzept erforderte jedoch den Ausbau eines starken Übertragungsnetzes.

Mit den technischen Möglichkeiten der Energiewende – Nutzung der in der Fläche vorhandenen regenerativen Energiequellen – sind grundsätzlich beide Varianten – dezentral und zentral – realisierbar. Die Möglichkeit der dezentralen Stromversorgung mit PV-Anlagen lässt sich bis auf die Ebene von Einfamilienhäusern herunterbrechen (Kapitelgruppe 17). Die großen Windparks, vor allem Offshore, die wie Großkraftwerke wesentlich mehr Strom generieren als in der unmittelbar benachbarten Region benötigt wird, sind Beispiele für eine zentrale Stromversorgung. Der Aufbau und der Betrieb einer dezentralen Stromversorgung ist vor allem auch für die vielen regional tätigen kleinen Unternehmer und Handwerksbetriebe eine Chance. Das Konzept einer zentralen Stromversorgung – Energiewende von oben – ist dagegen etwas für Großinvestoren, und kommt natürlich dem klassischen Geschäftsmodell der großen Energieversorger und Netzbetreiber entgegen, weshalb es von diesen bevorzugt wird.

Die Fragestellung heißt aber **nicht**: dezentral **oder** zentral? Die technischen Möglichkeiten der Stromerzeugung aus den verschiedenen erneuerbaren Quellen erlauben jede beliebige Mischform. Jede technische Lösung und jedes Konzept hat seine spezifischen Vor- und Nachteile. Die Aufgabenstellung lautet deshalb: Maximierung der Vorteile und Minimierung der Nachteile – durch geschickte Kombination der verschiedenen Komponenten. Die Lösung dieser Aufgabe ist in hohem Maße von den regionalen Gegebenheiten abhängig (s.a. Energiedörfer, Kapitel 9.2). Und die Stärke der dezentralen Stromerzeugung liegt genau darin, alle regional vorhandenen Ressourcen möglichst optimal zu nutzen. Es gibt daher keine Standardlösung bzw. keinen Königsweg, der für alle passt.

Diesen optimalen Kompromiss zu finden und in die Wege zu leiten erfordert entsprechende Initiativen auf regionaler bzw. kommunaler Ebene. Damit solche Überlegungen auch eine breite Akzeptanz finden, müssen die wesentlichen Vor- und Nachteile der einzelnen Kompo-

nenten und Konzepte, die für einen Kompromiss entscheidend sein können, bekannt sein. Die folgenden Kapitel sollen deshalb diese Eigenschaften einander vergleichend gegenüber stellen.

19 Sonne und Wind

Was, wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht, ist die stereotype Frage der Energiewendekritiker, um zu beweisen, dass die Energiewende nicht funktionieren kann. Aber schauen wir uns das zeitliche Verhalten von Sonne und Wind etwas näher an.

Die Sonne liefert ihre Energie zwar 24 Stunden am Tag, aber durch die Erddrehung hat die Energieeinstrahlung für jeden einzelnen Ort einen ausgeprägten Tag-Nacht-Rhythmus. Hinzu kommt ein jahreszeitlicher Rhythmus. Im Sommer ist in unseren Breiten die Energieeinstrahlung höher, weil die Sonne höher am Himmel steht und die Tage länger sind. Bei niedrigerem Sonnenstand und kürzeren Tagen im Winter ist die Energieeinstrahlung entsprechend geringer. In diese zyklischen Schwankungen sind noch die wolkenreichen Schlechtwetter-Perioden eingelagert (Tiefdruckgebiete), die zusätzlich die ausnutzbare Energieeinstrahlung reduzieren.

Der Wind ist eine Bewegung von Luftmassen (Luftaustausch) die durch die Sonnenenergie in Bewegung gesetzt wird, folgt aber anderen Gesetzmäßigkeiten. Wir müssen grundsätzlich zwischen drei Ursachen für diese Luftbewegung unterscheiden. Da sind einmal die globalen Zirkulationssysteme – Passatwinde und Jetstreams (s.a. Kapitel 6.3). Diese Winde wehen ständig, sie haben keinen Tag-Nacht-Rhythmus. In diese eingelagert sind als weitere Ursache die Hoch- und Tiefdruckgebiete, die durch regional unterschiedliche Temperaturen entstehen, aber auch durch Wechselwirkungen mit dem globalen Zirkulationssystem. Beispiele hierfür sind das im Wetterbericht häufig genannte „Islandtief“ und das „Azorenhoch“. In der freien Atmosphäre können aber solche Druckunterschiede nicht lange existieren, mit der Folge, dass ständig Luftmassen aus dem Hochdruckgebiet in das Tiefdruckgebiet strömen – Wind – bis dieses aufgefüllt ist. Antriebskraft für diese Luftbewegung ist der Druckunterschied, der sog. Druckgradient, der die Luftmassen ständig beschleunigt. Deshalb ist die Windgeschwindigkeit im Tiefdruckgebiet meist höher als im Hochdruckgebiet. Weiterhin sind Tiefdruckgebiete gekennzeichnet durch großräumig aufsteigende Luftmassen, wodurch sich eine dichte Bewölkung bildet. Im Gegensatz zu Hochdruckgebieten, die durch großräumig absinkende Luftmassen mit geringer oder gar keiner Bewölkung gekennzeichnet sind.

Diese beiden Windarten haben keinen Tag-Nacht-Rhythmus. Sie unterliegen bedingt einem jahreszeitlichen Rhythmus durch eine Nord-Süd-Verlagerung entsprechend dem Sonnenstand. Sie umfassen den gesamten wetteraktiven Höhenbereich der Atmosphäre, in unseren Breiten vom Boden bis in 10 bis 11 km Höhe. Sie überlagern sich und können sich regional verstärken oder abschwächen. In Bodennähe werden sie durch die Bodenreibung etwas abgebremst, verwirbelt und, je nach Geländeform, auch in der Richtung abgelenkt. Für Windkraftanlagen bedeutet dies, dass sie möglichst über diese bodennahe Grenzschicht heraus ragen sollten. Im Bergland (Mittelgebirge) ist diese Grenzschicht etwas dicker als im Flachland. Deshalb sind effektive Windkraftanlagen im Bergland etwas höher und möglichst auf Bergkuppen positioniert. Eine Binsenweisheit: in der Höhe weht der Wind stärker.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Eine dritte Ursache für Luftbewegungen, ausschließlich im unteren Bereich der Atmosphäre (bis zu 3000 m Höhe), sind lokal unterschiedliche Luftherwärmungen durch direkte Sonneneinstrahlung. Ursachen hierfür sind Unterschiede in der Bodenstruktur, Bewuchs, Feuchtigkeit, Hangneigung etc. Wenn die Temperaturunterschiede ein bestimmtes Maß überschreiten, steigen die wärmeren Luftmassen auf (thermischer Auftrieb). Hierdurch bilden sich kleinräumige Tiefdruckgebiete (wenige 10 bis wenige 100 m Durchmesser), die dann von allen Seiten aufgefüllt werden. Es bilden sich lokale, bodennahe Luftbewegungen aus. Diese teilweise böigen Luftbewegungen sind typisch in Hochdruckgebieten und häufig erkennbar an den bekannten „Schönwetterwolken“ (Fachjargon: bestimmte Cumuluswolken). Diese können auch brauchbare Energielieferanten sein, vor allem auch in Verbindung mit Batteriespeichern (s.a. Kapitel 17.3 und 17.6). Je nach Geländestruktur können sich diese kleinräumigen Winde auch summieren und im Tagesverlauf recht beständig wehen. Typische Vertreter hierfür sind der Land-See-Wind an der Küste, und der Berg-Tal-Wind im Hochgebirge.

Was wir landläufig als „Wind“ bezeichnen, ist letztlich die Summe aus der Überlagerung der drei Ursachen für Luftbewegungen.

Betrachtet man Sonne und Wind gemeinsam als Energiequelle, so sieht man: Sonne hat einen ausgeprägten Tag-Nacht-Rhythmus, Wind deutlich weniger bis gar nicht. Tiefdruckgebieten schwächen die Sonneneinstrahlung durch dichte Bewölkung, sind aber wesentlich windintensiver. Die windarmen Hochdruckgebiete haben dagegen nur eine geringe aufgelockerte oder gar keine Bewölkung. Die sonnenschwache Winterperiode ist dagegen auch wesentlich windintensiver.

Fazit: Sonne und Wind ergänzen sich also recht gut. Vor allem, wenn PV-Anlagen und Windkraftanlagen in einem optimalen Verhältnis zueinander stehen, was aber regional sehr unterschiedlich sein kann. Pauschal betrachtet: von den 8544 Stunden eines Jahres wird eine PV-Anlage in deutlich weniger als 50 % der Zeit Energie liefern, eine Windkraftanlage dagegen in mehr als 50 % der Zeit. Windkraftanlagen sind also die zuverlässigeren Energielieferanten. Optimal ergänzt durch PV-Anlagen können sie zusammen bereits einen erheblichen Anteil des Energiebedarfes decken.

Allerdings hat sich Bayern durch seine 10H-Regelung für Windkraftanlagen diese Möglichkeit der Optimierung verbaut. Mit der Folge, dass die fehlende elektrische Energie aus der Windkraft entweder aus anderen Energiequellen erzeugt werden muss oder von anderswo aufgestellten Windkraftanlagen nach Bayern transportiert werden muss. Dies erfordert wiederum entsprechend leistungsfähige Übertragungsnetze. So hängt alles mit allem zusammen, s.a. Kapitel 18, zentrale oder dezentrale Stromversorgung.

Natürlich gibt es Wetterlagen, in denen sowohl die Sonne als auch der Wind schwach sind, die sog. [Dunkelflaute](#). Typisch hierfür sind bestimmte Hochdrucklagen im Winter, in denen sich Hochnebel oder Smoglagen entwickeln können. Dann müssen andere Energiequellen, z.B. Bioenergie, im Winter Blockheizkraftwerke oder Energiespeicher einspringen. Dagegen gibt es auch viele Situationen, in denen Sonne und Wind im Überfluss zur Verfügung stehen. Mit diesem Energieüberschuss können dann Energiespeicher wieder aufgeladen werden. Die Energiewende besteht eben nicht nur aus einer Komponente, sondern aus dem optimierten Zusammenspiel vieler Komponenten. Das sind die Themen der nächsten Kapitel.

20 Energiespeicher

Wir wollen uns nun einem Thema widmen, das für viele Menschen große Fragezeichen aufwirft. Wie kann die Energiewende mit erneuerbaren Energiequellen gelingen, wenn sich Strom nicht speichern lässt? Wie können wir unsere elektrische Energieversorgung auf ein natürlich schwankendes Angebot umstellen und Versorgungssicherheit erreichen? Hier ist zunächst einmal grundsätzlich klarzustellen: Hierfür werden keine Stromspeicher gebraucht, sondern Energiespeicher. Strom ist keine Energie. Der elektrische Strom ist eigentlich nur das Vehikel, mit dem elektrische Energie über metallische Leiter transportiert werden kann. Aber wozu brauchen wir diese Speicher und welche gibt es bereits?

Beginnen wir mit den bisher genutzten fossilen Energiequellen, die wir hinter uns lassen müssen.

Die fossilen Energieträger Kohle, Öl und Gas sind im Grunde gespeicherte Bioenergie und entstammen großen natürlichen Lagerstätten (Speicher), die seit Beginn der Industrialisierung ab ca. 1750 zunehmend ausgebeutet werden (s.a. Kapitelgruppe 5). Die Nutzung der fossilen Energieträger ist also zu 100 % von diesen Lagerstätten bzw. Energiespeichern abhängig. Diese sind endlich, d.h. wenn sie leer sind, sind sie leer, und können in menschlichen Zeitmaßstäben nicht mehr aufgefüllt werden. Zwar weiß keiner so genau, wie groß die Vorräte noch sind, ihre Ausbeutung wird aber jetzt schon immer aufwändiger, kostenintensiver und umweltschädlicher. Außerdem sind sie wertvolle Grundstoffe für viele andere notwendige Produkte, so dass es eigentlich viel zu schade sind, sie nur zu verbrennen, um aus ihnen mit einem schlechten Systemwirkungsgrad (ca. 35 %, s.a. Kapitel 4.2) elektrische Energie zu gewinnen. Hierfür müssen diese Grundstoffe von ihren Lagerstätten zu den Kraftwerken transportiert werden. Das bedeutet, in der Nähe der Kraftwerke müssen nochmal Zwischenlager eingerichtet werden („Pufferspeicher“), um die diskontinuierliche Lieferung (Schiffe, Eisenbahn) dem kontinuierlichen Energieumwandlungsprozess anzupassen.

Die deutschen Braunkohlekraftwerke sind überwiegend in der Nähe der deutschen Braunkohlelagerstätten errichtet. Der Transport erfolgt im Wesentlichen über Förderbandanlagen. Die Rohkohle muss für eine optimale Verbrennung noch aufbereitet werden. Wegen der kurzen Wege und des kontinuierlichen Transportes können die Pufferlager vor und hinter der Kohleaufbereitung relativ klein gehalten werden.

Anders ist dies bei Steinkohle und Öl. Die deutschen Vorkommen sind bereits weitgehend ausgebeutet, sodass diese Energieträger aus Übersee herbeigeschafft werden müssen. Deshalb sind größere Zwischenlager sowohl in den Häfen als auch bei den Kraftwerken notwendig. Erdöl kann ohnehin nicht direkt verwendet werden und muss noch in Raffinerien aufbereitet werden. Gas wird über Pipelines nach Deutschland transportiert, also kontinuierlich. Die großvolumigen Gasleitungen für die Lieferung und flächenmäßige Verteilung fungieren auf Grund ihrer Bauart auch als Speicher. Darüber hinaus wurden große Gasspeicher angelegt, die den deutschen Bedarf von einigen Monaten decken können; sie sind u.a. notwendig, weil die Gaslieferanten in „politisch unsicheren Ländern“ sitzen. Soweit zu den Speichern bei den fossilen Energieträgern. Die Erzeugung elektrischer Energie ist hierbei zu 100 % von Energiespeichern abhängig.

Man sieht, die bedarfsgerechte Bereitstellung elektrischer Energie ist nicht nur eine technische Herausforderung, sie beinhaltet auch erhebliche logistische Probleme, zu deren Lösung immer wieder auf Energiespeicher (Pufferspeicher) zurückgegriffen werden muss.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Dagegen führt die bedarfsgerechte Bereitstellung elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen zu ganz anderen logistischen Problemen, die deshalb auch andere (Speicher-) Lösungen erfordern.

Die „Primärenergie“ Sonne und Wind gibt es auf der Erde zu jeder Zeit irgendwo im Überfluss (s.a. Kapitelgruppe 8), aber eben nicht in gespeicherter Form. Diese Energien können nur dann genutzt werden, wenn sie da sind (vergleiche hierzu auch Kapitel 19). D.h. der Umwandlungsprozess von Sonne und Wind in elektrische Energie kann nicht kontinuierlich stattfinden. Um eine bedarfsgerechte, kontinuierliche Versorgung sicherzustellen, müssen deshalb hierbei die Energiespeicher, die bei den mit fossilen Brennstoffen betriebenen Kraftwerken vor dem Umwandlungsprozess liegen, nun hinter den Umwandlungsprozess „geschaltet“ werden. Dies eröffnet aber auch die Möglichkeit, die Speicherfunktionen auf die jeweilige Anwendung zu optimieren. Hierzu gehört auch das Problem der sog. „Regelenergie“. Hierzu mehr in einem späteren Kapitel.

Es muss also eine ausreichende Speicherkapazität zur Verfügung stehen, um ein Energieüberangebot von Sonne und Wind in Spitzenzeiten aufzunehmen, dieses langfristig zu speichern, um damit dunkle, windarme Zeiten zu überbrücken. Hierfür stehen die unterschiedlichsten Speicherverfahren zur Verfügung, die z.T. bereits im Einsatz sind, oder sich in der großtechnischen Praxiserprobung befinden. Ein wesentlicher Vorteil dieser technischen Speicherverfahren ist, dass sie auf bestimmte Anforderungen hin optimiert werden können. Einen sehr guten Überblick über die verschiedenen Verfahren und deren Funktionsweise gibt die Seite „[Energiespeicher](#)“ in Wikipedia. Über die, auch in der klassischen Energietechnik bereits genutzten Speicherverfahren wie Pumpspeicher-Kraftwerke hinaus, sind die für die Energiewende drei wichtigsten Verfahren:

1. Galvanische Zellen (Akkumulator, Batterie) auf elektrochemischer Basis. Diesen Energiespeicher haben wir bereits im Kapitel 17.3 kennen gelernt. Eine Batterie etwa in der Größe eines Kühlschranks kann ungefähr den Tagesbedarf eines Privathaushaltes decken. Sinnvolle Speicherzeiten: einige Tage, da solche Batterien eine geringe Selbstentladung haben. Dieses Prinzip ist jedoch auch geeignet, um damit größere „Batterie-Speicherkraftwerke“ aufzubauen, da diese die gespeicherte Energie extrem schnell zur Verfügung stellen können.
2. Redox-Flow-Batterien, auch Flüssigbatterie oder Nasszelle genannt. Hierbei wird die elektrische Energie mit einem elektrochemischen Prozess in zwei unterschiedlichen flüssigen Elektrolyten gespeichert. Im Gegensatz zu den galvanischen Zellen haben diese jedoch getrennte Kreisläufe und können in getrennten Behältern gespeichert bzw. gelagert werden. Hierdurch gibt es keine Selbstentladung, die Speicherzeiten sind praktisch unbegrenzt. Die Speicherkapazität ist, unabhängig von einer kurzzeitig benötigten maximalen Leistung, nur von der Menge der Elektrolyte abhängig und kann auch nachträglich beliebig erweitert werden. Leistung und Speicherkapazität können völlig unabhängig voneinander dimensioniert werden. Diese Batterien sind besonders geeignet für die Langzeitspeicherung von Energieüberschüssen um damit „Dunkelflauten“ zu überbrücken. Der elektrochemische Prozess, der die elektrische Energie aufspaltet und auf die beiden Elektrolyte verteilt, ist umkehrbar, sodass die gespeicherte Energie direkt wieder in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Alles, was wir im allgemeinen Sprachgebrauch als „Energieerzeugung“ bezeichnen, ist in Wirklichkeit immer nur ein Umwandeln einer vorhandenen Energieform in eine andere Form, die für die jeweilige Nutzung

Teil II Energiewende ja – aber wie?

geeigneter ist (s.a. Kapitelgruppe 4, Kraftwerke). Solche Redox-Flow-Batterien stehen z.Z. für die großtechnische Anwendung zur Verfügung. Eine Miniaturisierung für private Anwendungen ist prinzipiell möglich. So wie heute Öltanks oder Gasbehälter im Keller stehen, wären es dann zwei Elektrolyt-Tanks. Ob eine solche Lösung auch wirtschaftlich gegenüber den jetzigen galvanischen Zellen ist, muss die Entwicklung zeigen.

3. Power-to-Gas: Hierbei handelt es sich um schon lange bekannte Verfahren, die sich jetzt in der großtechnischen Erprobung zur Speicherung von überschüssiger elektrischer Energie befinden, z.Z. überwiegend für Windstrom. Dabei wird Wasser in einem elektrolytischen Prozess in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Der Wasserstoff kann dann als Energieträger entweder in Tanks oder auch in sog. „[chemischen Wasserstoffspeichern](#)“ praktisch unbegrenzt gespeichert werden und, z.B. in Brennstoffzellen, wieder in elektrische Energie zurückverwandelt werden. Eine weitere Möglichkeit ist es, den Wasserstoff in einem zweiten Prozess in Methan umzuwandeln und dem Erdgasnetz (d.h. einem vorhandenen Speicher- und Verteilsystem) beizumischen. Diese Möglichkeit wird dann interessant, wenn in einer späteren Phase der Energiewende auch der Bedarf an Wärmeenergie möglichst aus erneuerbaren Energiequellen gedeckt werden soll.

Nach dem Gesagten wird klar, dass die kontinuierliche und bedarfsgerechte Bereitstellung elektrischer Energie neben der technischen Herausforderung auch erhebliche logistische Probleme beinhaltet. Dies gilt unabhängig davon, aus welchen Quellen und mit welchen Methoden die Umwandlung in elektrische Energie erfolgt. Nur die Art der Probleme und deren Lösungen unterscheiden sich.

Zeitgleich mit dem Ausbau der elektrischen Energienutzung aus fossilen Energiequellen in den letzten 70 Jahren wurden für deren jeweils spezifische Probleme entsprechende angepasste und optimierte Lösungen entwickelt, wodurch erst die kontinuierliche Bereitstellung elektrischer Energie im Überfluss möglich war. Bei der Umstellung auf erneuerbare Energiequellen entstehen andere spezifische Probleme und erfordern andere Lösungen, die genauso zeitgleich mit deren Ausbau entwickelt und optimiert werden müssen. Viele technische Probleme, die jetzt während der Umstellung auf Erneuerbare Energien auftauchen, haben ihre Ursache darin, dass während dieser Umstellungsphase beide Systeme parallel laufen müssen. Das alte System wird durch das neue „gestört“, das neue System ist noch nicht fertig ausgebaut. Dies sind aber keine prinzipiellen und dauerhaften Probleme, sondern Umstellungsprobleme, die Zug um Zug gelöst werden.

Fazit: Die Energieversorgung der Zukunft aus erneuerbaren Quellen erfordert es, dass alle Komponenten, d.h. Sonne, Wind, Wasser, evtl. Bioenergie und die verschiedenen Speichersysteme, zusammenwirken und die Energieflüsse über ein entsprechendes Managementsystem gesteuert werden. Dies kann sowohl großräumig als auch dezentral auf kommunaler Ebene erfolgen, weil das Energieangebot – Sonne, Wind – ja auch dezentral zur Verfügung steht. Im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern, die erst aufwändig zu den Kraftwerken transportiert werden müssen, deren Endprodukt elektrische Energie dann wieder aufwändig in der Fläche verteilt werden muss. Dass dies nicht nur reine Theorie ist, demonstriert ein Pilotprojekt auf der nordfriesischen Insel Pellworm. Hier werden zur Energieerzeugung Photovoltaik-, Windenergie- und Biogasanlagen betrieben. Zur Energiespeicherung und für die Bereitstellung von Regelenergie werden Lithium-Ionen-Batterien und Redox-Flow-Batterien benutzt, alles verknüpft über ein sog. „smart grid“ mit einem angepassten Energie-

Managementsystem. Die Erprobungsphase 1 ist abgeschlossen. Die Insel ist mit ihren ca. 1200 Einwohnern und einem Mehrfachen an Kurgästen zu 100 % energieautark. In einer zweiten Phase wird jetzt erprobt, weitere noch überschüssige Energie dem Festlandsnetz als Regelenergie zur Verfügung zu stellen.

Detailinformationen:

<https://www.hansewerk.com/de/ueber-uns/innovationen/forschungsprojekte/smartregion-pellworm.html>

Was sich unter dem oben genannten Stichwort „Regelenergie“ verbirgt, hierzu mehr im nächsten Kapitel.

21 Regelenergie – Regelleistung

21.1 Was ist Regelenergie?

Im Zusammenhang mit der Energiewende wird häufig der Bedarf an Regelenergie als Problem dargestellt. Dieses Problem existierte aber auch schon bei der rein fossil betriebenen Erzeugung von elektrischer Energie. Was ist also „Regelenergie“ und wozu braucht man sie?

Wir haben schon mehrfach festgestellt, dass sich die Belastung des Stromnetzes ständig ändert, wenn Verbraucher zu- oder abgeschaltet werden, und dass sich die stromliefernden Kraftwerke diesen Änderungen sekundengenau anpassen müssen (s.a. Kapitelgruppe 3). Diese Änderungen überlagern die sog. Grundlast des Netzes. Sie können – bezogen auf die Grundlast – positiv sein, wenn mehr elektrische Energie von den Verbrauchern angefordert wird, oder negativ, wenn einige Verbraucher abgeschaltet werden. Diese Änderungen können im Tagesverlauf langsam auftreten, z.B. im Tag-Nacht-Rhythmus, wenn morgens die Büros und Betriebe hochlaufen. Sie können sehr schnell auftreten, z.B. um die Mittagszeit, wenn viele Haushalte Herd und Mikrowellen einschalten, oder abends, wenn der Krimi oder eine Fußballübertragung beginnt. Diese Lastspitzen können in Summe u.U. genau so groß sein wie die Grundlast. Würde die Stromeinspeisung in das Netz nicht diesen Belastungsänderungen nachgeführt werden, so hätte dies erhebliche Auswirkungen auf die Qualität der Stromversorgung, und zwar sowohl auf die Spannung als auch auf die Frequenz. Bei steigendem Bedarf – Unterversorgung im Netz – würden Spannung und Frequenz absinken, mit der Folge, dass viele Geräte nicht mehr ordnungsgemäß arbeiten würden. Bei sinkendem Bedarf – Überversorgung im Netz – würden Spannung und Frequenz steigen mit der Folge von Schäden in den angeschlossenen Geräten. Deshalb muss die Stromproduktion möglichst schnell dem Bedarf angepasst bzw. „nachgeregelt“ werden. In das Netz muss also kurzfristig mehr Strom eingespeist werden (positive Regelenergie), oder bei Energieüberschuss weniger eingespeist oder mehr Verbraucher zugeschaltet werden (negative Regelenergie).

Nun sind aber die Haupterzeuger für die Grundlast in der klassischen Stromversorgung, die großen mit Braunkohle oder Kernkraft beheizten Dampfkraftwerke, für solche Regelaufgaben denkbar ungeeignet (s.a. die Kapitel 4.2 bis 4.4). Für schnelle Änderungen sind sie zu träge; große Änderungen, vor allem in den negativen Bereich, würden zu sehr unwirtschaftlichen Betriebszuständen führen. Deshalb ist man bestrebt, diese großen Dampfkraftwerke möglichst gleichmäßig durchlaufen zu lassen und die Regelaufgaben auf andere, kleinere und

Teil II Energiewende ja – aber wie?

schneller regelbare Kraftwerkseinheiten zu verlagern. Hierfür besonders geeignet sind bestimmte Wasserkraftwerke, Gaskraftwerke und auch kleinere Steinkohlekraftwerke.

Als Maß für die Steuerung der Regelleistung dient die Abweichung der Frequenz vom Sollwert 50 Hz. Die Eingriffe erfolgen in mehreren Stufen. Bei Abweichungen bis zu 0,01 Hz (0,02 %) erfolgen noch keine Eingriffe, sog. „Totband“. Bei größeren Abweichungen müssen zunächst die primären Kraftwerke innerhalb von 30 s ihre Regelleistung zur Verfügung stellen. Um jedoch auch in dieser Betriebsphase deren wirtschaftlichen Betrieb zu erhalten, wird diese auf 2 % der jeweiligen Nennleistung und auf eine Dauer von maximal 15 min begrenzt. Ist dies nicht ausreichend, kommen weitere Regelkraftwerke ins Spiel, die spätestens nach 15 min den Bedarf an Regelleistung – u.U. auch mehr als 2 % – übernehmen müssen. Ist positive Regelenergie erforderlich (Unterversorgung im Netz), werden Regelkraftwerke zugeschaltet bzw. hochgefahren, die dann ihre volle Regelleistung innerhalb von 5 min zur Verfügung stellen müssen.

Ist negative Regelenergie erforderlich (Übersorgung im Netz), werden diese Regelkraftwerke zunächst gedrosselt bzw. ganz abgeschaltet. Reicht das nicht aus, müssen zusätzliche Verbraucher zugeschaltet werden. Hierfür wurden seit jeher Pumpspeicherkraftwerke eingesetzt, die diese überschüssige Energie speichern und dann später wieder als positive Regelenergie zur Verfügung stellen können. Weiterhin bietet sich an, diese überschüssige Energie in andere Energieformen umzuwandeln und zu speichern, um sie dann zeitversetzt anderweitig zu verwenden. Beispiele hierfür waren schon immer Elektrodenkessel (Power-to-heat) und Nachtspeicherheizungen für die Wärmeversorgung, oder in zunehmenden Maße nach einer Elektrolyse, d.h. Umwandlung in Gas (Power-to-gas) mit seinen vielfältigen anderweitigen Verwendungsmöglichkeiten, einschließlich der Rückverstromung für positive Regelenergie.

[Weitere Details hier.](#)

Fazit: Die Ursache für die Belastungsänderungen im Netz liegt ausschließlich bei den Verbrauchern. Die Ursache, dass für die Anpassung an diese Änderungen spezielle Regelkraftwerke benötigt werden, hat technische und wirtschaftliche Gründe bei den primären Stromerzeugern (große Dampfkraftwerke). Sie sind technisch nicht in der Lage, den schnellen Belastungsänderungen im Netz zu folgen. Längere Abweichungen von dem wirtschaftlich günstigsten Betriebsbereich führen zu schlechteren Wirkungsgraden und einem höheren Verschleiß dieser Kraftwerke.

Wie sich jetzt die Energiewende auf diese Problematik auswirkt, betrachten wir im nächsten Kapitel.

21.2 Regelenergie und Energiewende

Im letzten Kapitel haben wir gesehen, dass die Gründe für den Einsatz spezieller Regelkraftwerke zum einen in den ständig wechselnden Energieanforderungen der Verbraucher liegen und zum anderen in der Trägheit der großen Dampfkraftwerke – der Hauptstromerzeuger – die diese schnellen und großen Änderungen nicht ausregeln können. Die bisherige Struktur der Stromerzeugung entsprach diesen Gegebenheiten: Die annähernd konstante und gut planbare Grundlast wurde von den großen Dampfkraftwerken geliefert, die ständig wechselnde Spitzenlast von den schnelleren Regelkraftwerken. Bei den letzteren wurde nochmal unterschieden zwischen Mittellast und Spitzenlast. Mittellast-Kraftwerke übernahmen auch einen Teil der Grundlast, um diese dann im Bedarfsfall als negative Regelleistung zur Verfügung stellen zu können. Spitzenlast-Kraftwerke stellten überwiegend positive Regelleistung zur Verfügung. Die Grenzen waren, wie auch die Betriebszustände im Netz, fließend. [Weitere Details hier](#).

Wie ändert sich jetzt diese Situation durch die Energiewende?

Mit dem Einsatz der von Sonne und Wind abhängigen regenerativen Stromerzeuger kam zu den durch die Verbraucher verursachten Schwankungen eine zusätzliche Komponente auf der Erzeugerseite hinzu. Dies bedeutete für die Bereitstellung der notwendigen Regelenergie zunächst eine zusätzliche Anforderung, zumal es gesetzlich vorgeschrieben war, das regenerative Energieangebot vorrangig ins Netz einzuspeisen.

Im Prinzip sind jedoch die regenerativen Stromerzeuger schnell genug regelbar, um auch den Lastschwankungen des Netzes zu folgen, d.h. auch Regelenergie zur Verfügung stellen zu können. Nachdem diese mittlerweile im Energiemix einen Anteil von etwa 25-30 % haben, werden sie auch für die notwendigen Regelaufgaben mit eingesetzt. Windkraftanlagen dienen zurzeit noch vorwiegend für die Bereitstellung negativer Regelenergie; jedoch bei weiterem Ausbau der diversen Energiespeicher, um Energieüberschüsse aufzunehmen, werden sie in Kombination mit diesen auch positive Regelenergie bereitstellen, ähnlich wie Pumpspeicher-Kraftwerke (s.a. das Beispiel Pellworm aus Kapitel 20). Darüber hinaus gibt es bereits erste Ansätze, gespeicherte Energie aus Solaranlagen zur Eigenversorgung (siehe Kapitelgruppe 17), die von den Erzeugern nicht selbst genutzt werden können, in sog. Communities zu sammeln und dem Netz als positive Regelenergie zur Verfügung zu stellen.

Wie sieht die Zukunft aus?

Das mittelfristige Ziel ist, alle großen Dampfkraftwerke, vordringlich Kernkraft und Braunkohle, stillzulegen. Der gesamte Bedarf an elektrischer Energie ist dann durch regenerative Stromerzeuger zu decken, einschließlich derer, die bisher als Regelkraftwerke betrieben werden. Die Unterscheidung zwischen Grundlast und Spitzenlast erübrigt sich dann. Technisch kann jedes dieser Kraftwerke seinen Anteil sowohl zur Grundlast als auch zur Spitzenlast beitragen. Das häufig gehörte Argument, die Dampfkraftwerke wären auch weiterhin zur Deckung der Grundlast nötig, vertauscht Ursache und Wirkung. Diesem Kraftwerkstyp wurde die Grundlast nur deshalb zugeordnet, weil er aus technischen und ökonomischen Gründen nichts anderes kann. Im Prinzip ist jeder Kraftwerkstyp auch [grundlastfähig](#). Dies gilt auch für Windkraft- und Solaranlagen, wenn sie in einem optimalen Verhältnis zueinander und mit entsprechenden Energiespeichern zu sog. „virtuellen Kraftwerken“ oder „Kombikraftwerken“ zusammengeschaltet werden (s.a. Kapitel 19 Sonne und Wind).

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass einerseits die regenerativen Kraftwerke weiter ausgebaut werden und dass andererseits auch genügend Energiespeicher zur Verfügung stehen, um Überangebote zu speichern (s.a. Kapitel 20). Dies ist schon deshalb notwendig, um die sog. Dunkelflauten zu überbrücken. Diese gespeicherte Energie kann dann auch zur Deckung einer Spitzenlast verwendet werden. Virtuelle Kraftwerke können also sowohl positive als auch negative Regelenergie zur Verfügung stellen.

Darüber hinaus müssen, wie heute auch, genügend Reservekapazitäten zur Verfügung stehen, um technische Störungen zu überbrücken. Im Grunde sind dann alle Kraftwerke gleichermaßen an der Bereitstellung der jeweils benötigten elektrischen Energie beteiligt. Welche Kraftwerke dann, je nach Energieanforderung im Netz, Spitzenlasten übernehmen bzw. heruntergeregelt werden, oder welches Energieüberangebot in welche Speicher geleitet wird, kann nach rein organisatorischen und ökonomischen Gesichtspunkten im Einzelfall entschieden und mit einem entsprechenden Energiemanagement gesteuert werden.

22 Nachtrag aus Sicht des Jahres 2018 und Ausblick

Die vorstehende Kapitelserie begann vor etwa 4½ Jahren im März 2014. Die Entwicklung ist nicht stehen geblieben. Es hat in dieser Zeit nicht nur technische Weiterentwicklungen gegeben, auch der Strommarkt und die politischen Rahmenbedingungen haben sich verändert. Vor allem haben sich auch das öffentliche Bewusstsein und die Darstellung in den Medien geändert. Die Wetterveränderungen der letzten Jahre, insbesondere des Jahres 2018, werden viel deutlicher als Folgen des vom Menschen gemachten Klimawandels verstanden (s.a. Kapitel 6.6). In der seriösen Wissenschaft gibt es keine Zweifel mehr, dass die Ursachen für den jetzigen Klimawandel im Wesentlichen auf menschliche Einflüsse, die Bevölkerungsexplosion und vor allem aber auf den extremen Energiebedarf der hoch entwickelten Zivilisationen zurückzuführen ist.

Den Überlegungen der Kapitelgruppen 9 bis 11 lagen das EEG und die Netzentwicklungspläne von 2014 zu Grunde. Beides hat sich bis heute geändert, die Netzentwicklungspläne sogar mehrfach auf Grund von Protestaktionen gegen die großen Stromtrassen. Geändert haben sich die Trassenführungen, die soweit irgend möglich außerhalb Bayerns geplant wurden und innerhalb Bayerns möglichst als Erdkabel statt Freileitungen. Diese Maßnahmen sind reine Augenwischerei, um die Protestaktionen zu beruhigen. Der Vorteil eines Erdkabels ist, dass man es nicht sieht. Der Eingriff in die Ökologie ist aber nahezu derselbe. Beim Queren einer Hochspannungsleitung durch ein Waldgebiet muss die Waldschneise so breit sein, dass die Bäume nicht in das Hochspannungsfeld der Freileitung hineinwachsen. Bei einem Erdkabel muss sichergestellt sein, dass das Wurzelwerk nicht den Kabelkanal beeinträchtigt, ganz abgesehen von der Wärmequelle, die durch das Erdkabel in den Boden eingebracht wird und die Wärmeflussrichtung gegenüber der natürlichen Flussrichtung umkehrt.

An dem grundsätzlichen Mangel der Netzpläne hat sich nichts geändert. Die Planer (Netzbetreiber) gehen nach wie vor davon aus, dass die gesamte Stromproduktion der bayerischen Atomkraftwerke nach deren Abschaltung von den norddeutschen Windparks nach Bayern übertragen werden muss. Es wird nicht berücksichtigt, dass sich die Energieflüsse bei einem weiteren Ausbau der dezentralen Stromproduktion im süddeutschen Raum erheblich ändern. Es fehlt eine gesamtheitliche Betrachtung und Planung. Darüber hinaus sind sowohl die Änderungen im EEG/2017 als auch die 10H-Regelung in Bayern nicht geeignet, um die Energiewende von unten – d.h. Dezentralisierung – zu fördern. Die Verpflichtung zu Ausschreibungsverfahren im EEG bevorzugt die finanzkräftigen Großinvestoren.

Es gibt mehrere Studien, die zu dem Schluss kommen, dass ein konsequenter Ausbau der dezentralen Stromversorgung den Bedarf für ein leistungsfähiges Übertragungsnetz verringern würde. Die positiven Ergebnisse dieser Studien sind jedoch immer an bestimmte, unterschiedliche Rahmenbedingungen geknüpft. Das [Öko-Institut](#) hat jetzt 10 Modellierungsstudien, in denen räumlich differenzierte Analysen angestellt und ggf. Schlussfolgerungen für den Netzausbau gezogen werden, näher untersucht und zu einer Meta-Studie zusammengefasst. Die gesamte Meta-Studie ist im Internet unter dem Titel [„Dezentralität, Regionalisierung und Stromnetze“](#), eine Kurzfassung unter dem Titel [„Auch eine dezentrale Energiewende braucht Netzausbau“](#) abrufbar. In [„Transparenz Stromnetze“](#), einem weiteren Projekt des Öko-Institutes, werden verschiedene Szenarien einer Dezentralisierung durchgerechnet. Der Titel der [Kurzfassung dieses Projektes](#) macht das Dilemma der Netzentwicklungspläne deutlich: Projekt „Transparenz Stromnetze“ zeigt: „Netzausbau benötigt klares Energiewende-Konzept“. D.h., die Reihenfolge muss stimmen, erst ein klares Energiewende-Konzept ein-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

schließlich der möglichen Dezentralisierung, dann ist ein angepasster Netzentwicklungsplan möglich.

Das Fazit aus all diesen Arbeiten kann man etwa wie folgt zusammenfassen:

Eine klar strukturierte Dezentralisierung kann den notwendigen Netzausbau reduzieren. Dies setzt voraus, dass die einzelnen regionalen Zellen (virtuellen Kraftwerke) im Normalfall autark sind. Es müssen alle, in der jeweiligen Region verfügbaren regenerativen Energiequellen ausgeschöpft und optimal miteinander kombiniert sein, einschließlich der notwendigen Flexibilitätsoptionen. Hierunter versteht man all jene Reserven, die kurzfristig einspringen können (Regelenergie), wenn Angebot und Nachfrage auseinanderlaufen. Dies sind in erster Linie Energiespeichersysteme (s.a. Kapitel 20), evtl. auch Gaskraftwerke. Je besser die vorhandenen Energiequellen für den Normalbetrieb kombiniert sind, umso geringer ist der Aufwand für diese Flexibilitätsoptionen. S.a. Kapitel 19 Sonne und Wind. Damit sind wir bei dem bayerischen Problem: Durch die 10H-Regelung ist die optimale Kombination von Energie aus Sonne und Wind nicht herstellbar. Bayern hat auch keine anderen Energiequellen, welche die fehlende Windenergie in ausreichendem Maße ersetzen könnte. Ein weiterer Ausbau der Sonnenenergie löst das Problem auch nicht. Der Aufwand für die notwendigen Flexibilitätsoptionen würde zu groß, wahrscheinlich größer als die jetzt geplanten Netzerweiterungen. Dies ist das Ergebnis aller oben genannten Studien, und unter diesen Umständen braucht Bayern einen Netzausbau, wie er derzeit geplant ist.

Es mangelt demnach nicht an Wissen oder Information, und wir haben auch keine technischen Umsetzungsprobleme. Unsere Probleme sind gesellschaftlicher Art, es sind Probleme der Akzeptanz für die Notwendigkeit des Wandels, und die politische Durchsetzungsmöglichkeit.

Ein Lichtblick ist vielleicht der Entwurf für eine geänderte EU-Richtlinie „... zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung)“. In diesem Entwurf sind zwei neue Artikel eingefügt die, wenn sie so beschlossen werden, die Dezentralisierung und die Energiewende von unten fördern:

Artikel 21 – Eigenverbraucher erneuerbarer Energien

Artikel 22 – Erneuerbare-Energien-Gemeinschaften.

Dieser Entwurf ist mit seinen vielen Streichungen, Änderungen und Ergänzungen schwer lesbar. Jedoch hat das „Forum Nachhaltige Immobilien“ diese beiden Artikel auf einer [speziellen Seite](#) analysiert und bewertet. Bis dieser Entwurf verabschiedet und dann in deutsches Recht umgesetzt wird, wird es jedoch noch dauern.

Das Kapitel 13 beschäftigt sich mit den Ergebnissen der Klimakonferenz 2015 in Paris. 195 Staaten verpflichteten sich freiwillig, ihr Möglichstes zu tun, um bestimmte Klimaziele einzuhalten. Was hat das bewirkt? Leider haben die Kritiker Recht behalten, die bemängelten, dass freiwillige Maßnahmen ohne Sanktionen bei Nichterfüllung nichts taugen. Aber, wäre mehr geschehen, wenn solche Sanktionen vereinbart worden wären? Die heutige Regierung der USA wäre sicherlich auch dann aus dem Klimaabkommen ausgestiegen. Deutschland und seine Kanzlerin verließen die Klimakonferenz mit dem Image, Vorreiter in Sachen Energiewende und Klimaschutz zu sein! Was ist davon übrig geblieben? CO₂-Minderung, Kohleausstieg, Verkehrspolitik etc.? Spiegelt man das alles an den jüngsten Ereignissen – dem Dieselskandal, den Diskussionen um die Braunkohle in Verbindung mit dem Hambacher Forst, der Haltung Deutschlands in Brüssel bei den jüngsten Festlegungen der neuen CO₂-

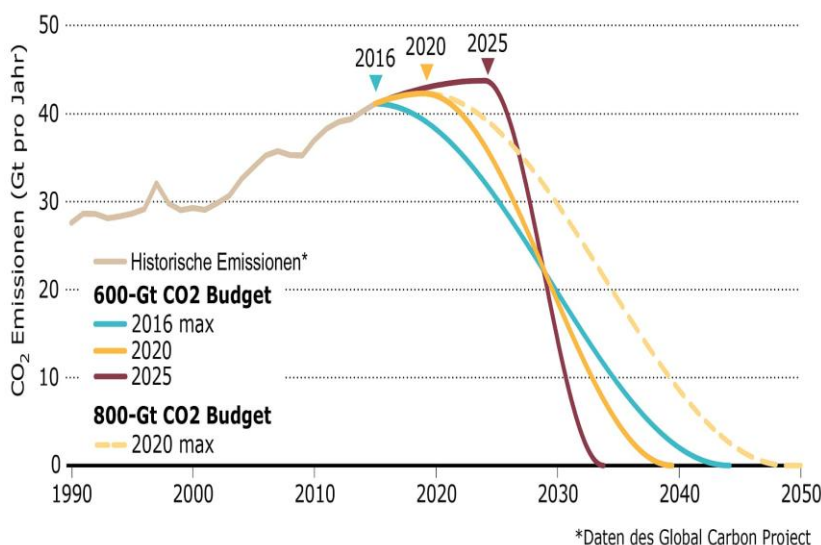
Teil II Energiewende ja – aber wie?

Grenzwerte für PKWs – Deutschland steht mit an letzter Stelle. Was bleibt ist die Erkenntnis der offensichtlichen Machtlosigkeit der Politik gegenüber den Interessen der großen Industriekonzerne, die mit überkommenen Geschäftsmodellen ihre bisherige Wirtschaftsweise weiterführen wollen. Die Sozialwissenschaften haben hierfür den Begriff des „pre-end profit-takings“ etabliert. Auch im Angesicht eines drohenden Klimakollapses und der 1,7-fachen Übernutzung unserer Erde (Stand 2018) wird versucht, weiterhin Gewinne zu erwirtschaften, auch wenn diese längst auf Kosten und zu Lasten der nachfolgenden Generationen gehen. Es ist wohl dem Stabilitäts- und Wachstumspakt zu verdanken, der Wachstum zum Gesetz erhebt, dass auch für die Industrie der Satz von „to big to fail“ gilt und ein überlebensnotwendiger Ausweg nicht in Sicht scheint.

Obwohl seit dem Pariser Abkommen inzwischen fast drei Jahre vergangen sind, ist dieses Abkommen bisher ein reiner Papiertiger. Dringende Handlungen – in ALLEN Richtungen – sind daher für uns alle (über-)lebensnotwendig.

Was bedeuten die Klimaschutzziele von Paris nun praktisch für die erforderlichen Klimaschutz-Maßnahmen?

Weltweit werden jährlich über 40 Gt CO₂ ausgestoßen, mit steigender Tendenz. Der Anteil der Treibhausgase in der Atmosphäre und der Temperaturanstieg sind miteinander verknüpft: Mit zeitlicher Verschiebung folgt die Temperatur dem CO₂ (s.a. Kapitel 6.2). Wenn wir die Temperaturerhöhung, wie in Paris beschlossen, auf 1,5°C bis max. 2°C begrenzen wollen, lässt sich eine Maximalmenge an CO₂ berechnen, die wir noch in die Atmosphäre entlassen dürfen. Das sind 600 Gt für das 1,5°C-Ziel bzw. 800 Gt für das 2°C-Ziel. Bei jährlich ca. 40 Gt Ausstoß ergibt sich ein Zeitraum von 15-20 Jahren, in dem wir überhaupt noch CO₂ in die Atmosphäre entlassen dürfen. Danach müssten wir auf Null sein! Daraus folgt aber auch: Je später wir mit wirksamen Klimaschutzmaßnahmen beginnen, umso weniger Zeit steht uns zur Verfügung und umso schwieriger wird es. Die folgende Graphik des Klimaforschers Prof. Stefan Rahmstorf verdeutlicht dies.



Die drei durchgezogenen Linien entsprechen einem Gesamtausstoß von 600 Gt CO₂ ab 2016 (blau), 2020 (gelb) und 2025 (rot). Die gelbe gestrichelte Linie einem Gesamtausstoß von 800 Gt ab 2020. Die drei durchgezogenen Linien zeigen, wie sich die zeitliche Verzögerung beim Einsatz wirksamer Klimaschutz-Maßnahmen auf den Kurvenverlauf und den

Die Vereinbarungen von Paris: Historischer Verlauf der globalen CO₂-Emissionen sowie mögliche künftige Verläufe, die mit dem Paris-Korridor vereinbar sind.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

Zeitpunkt der Nullemission auswirkt. Der komplette Kommentar von Prof. Rahmstorf für Spektrum.de „[Vollbremsung fürs Klima?](#)“ zeigt auch, wie groß der Anteil der deutschen Klimaschutz-Maßnahmen an diesen globalen Erfordernissen sein müsste.

In mehreren Kapiteln wurde bereits die Bedeutung von Energiespeichern für die Energiewende herausgestellt. In Kapitel 20 wurde dieses Thema nochmal gezielt aufgegriffen, welche Speichermöglichkeiten bereits existieren und für welche Aufgaben die verschiedenen Speichertypen geeignet sind, z.B. für positive und negative Regelenergie (s.a. Kapitelgruppe 21). Dort wurde auch das Projekt der Insel Pellworm vorgestellt. In einer ersten Erprobungsphase wurde nachgewiesen, dass die Insel mit ihren ca. 1200 Einwohnern und einem Mehrfachen an Kurgästen zu 100 % energieautark ist. In einer zweiten Phase sollte erprobt werden, weitere noch überschüssige Energie dem Festlandsnetz als Regelenergie zur Verfügung zu stellen und dort zu vermarkten. Diese Phase ist jetzt auch abgeschlossen, der [Ergebnisbericht liegt vor](#). In dem Bericht wird nochmal das Gesamtprojekt in Einzelheiten vorgestellt. Das Fazit der zweiten Erprobungsphase wird in seinem letzten Abschnitt zusammengefasst. Technisch war demnach auch die zweite Phase ein voller Erfolg. Wirtschaftlich allerdings noch nicht, weil noch keine ausreichende Rendite (Zielgröße 5 %) erwirtschaftet werden konnte. Einer der Gründe hierfür sind die Investitionskosten für die Speicherbatterien. Hierfür zeichnet sich aber eine interessante Lösung ab.

Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern

Die Lösung ist die Verwendung von ausgedienten Batterien von Elektroautos. Diese werden in der Regel ausgetauscht, wenn ihre Rest-Kapazität etwa 70 % bis 80 % der Nennkapazität beträgt. Sie sind dann aber nicht unbrauchbar. Anstatt sie zu verschrotten werden sie als sog. „second-life-Batterien“ zu großen, stationären Energiespeichern für das Stromnetz zusammengeschaltet. Dort können sie noch viele Jahre – man schätzt mindestens 10 Jahre – ihren Dienst tun, bis sie endgültig verbraucht sind. [Mehrere interessante Projekte](#) für unterschiedliche Anwendungen unter Beteiligung von Autoherstellern als Batterielieferanten sind bereits im Aufbau. Ein [Gemeinschaftsunternehmen](#) unter Beteiligung der Daimler AG erstellt einen Großspeicher mit einer Kapazität von 13 MWh in Lünen bei Dortmund. Diese Kapazität würde ausreichen um alle 85.000 Einwohner von Lünen 1 Stunde mit Strom zu versorgen. Diese Beispiele zeigen, welches Entwicklungspotenzial noch in der Sektor-übergreifenden Energiewende steckt, wenn alle zusammen arbeiten.

Wo stehen wir nun mit der Energiewende? Haben wir noch eine Chance, die Klimaziele von Paris zu erreichen? Die deutsche Regierung, die GROKO/2018, hat ja bereits bei ihrer Gründung einen Offenbarungseid geleistet, dass die selbst gesteckten Ziele für 2020 nicht mehr erreichbar sind, dass aber dadurch die Ziele für 2030 nicht gefährdet sind. Eine Versprechung wie viele andere? Wie soll das gehen? Was muss dann in der dritten Dekade des 21. Jahrhunderts mehr gemacht werden, um die schleppenden Fortschritte der zweiten Dekade zu kompensieren? Vergleiche auch vorstehende Graphik und Text. Die kleine Energiewende von unten funktioniert, wenn engagierte Personen oder Gruppen sie vorantreiben, und nicht durch gesetzliche Vorgaben ausgebremst werden. Die große Energiewende von oben scheitert an der Machtlosigkeit der Politik, die selbst gesteckten Ziele gegen die etablierten Konzerne durchzusetzen.

In den Kapiteln 6.4 bis 6.6 haben wir schon über die unterschiedlichen Einflüsse und die positiven und negativen Rückwirkungen auf das Klimageschehen gesprochen. Und darüber, dass, wenn bestimmte Grenzwerte überschritten werden, positive Rückwirkungen angestoßen werden, die dann ein Eigenleben entwickeln und das Klima-System verstärkt destabili-

Teil II Energiewende ja – aber wie?

sieren. Der Übergang eines Systems mit negativen/stabilisierenden Rückwirkungen in positive/destabilisierende Rückwirkungen, d.h. das Erreichen der vorgenannten Grenzwerte, wird häufig auch als „Kipppunkt“ bezeichnet.

Die mittlere globale Temperatur (zur Erinnerung: ein gemittelter Wert über alle Klimazonen und über einen Zeitraum von 30 Jahren) beträgt z.Z. 15°C. Das ist bereits eine Erwärmung von 1°C über dem vorindustriellen Wert. Das hört sich relativ harmlos an. Das liegt aber nur an dem aufwändigen Rechenverfahren, um die unzähligen gemessenen Daten in einem globalen Mittelwert zusammen zu führen. Eine Veröffentlichung der Freien Universität Berlin [„Entwicklung der Temperatur auf der Erde“](#) gibt einen Überblick über dieses Rechenverfahren und verdeutlicht dies mit leicht verständlichen Graphiken. Diese Rechnung ist auch notwendig, um einzelne extreme Wetterereignisse herauszufiltern, führt allerdings auch dazu, dass die Rechenergebnisse das tatsächliche Klimageschehen erst mit einer Verzögerung von 15 Jahren abbilden. Aber es ist der vereinbarungsgemäß festgelegte Maßstab für die Beurteilung des Klimageschehens, der aktuellen Klimaänderung, der Klimaziele von Paris und der zukünftigen Kontrolle, ob diese Ziele erreicht wurden oder nicht. Bei einem relativ konstanten Klima sind diese Fehler vernachlässigbar. Bei einem dynamischen Klimawandel, wie wir ihn z.Z. erleben, werden hierdurch die realen Verhältnisse verharmlost.

Die Klimaziele von Paris sind 1,5°C, maximal jedoch 2,0°C für die globale Erwärmung. Nun erwärmt sich die Erde aber nicht gleichmäßig. Die größten Erwärmungen werden in der Arktis gemessen. Für die Arktis beträgt die mittlere Erwärmung bereits 2°C, stellenweise bis 3°C, bezogen auf den 30-Jahre-Zyklus. D.h., für diese Region sind die Klimaziele von Paris bereits deutlich überschritten. Klimatologen unterscheiden zwischen „Klimadaten“ – entsprechend dem 30-Jahres-Mittelwert, und „Wetterdaten“, Einzelmessungen oder Mittelwerte über kürzere Zeiträume als 30 Jahre, die dann zeitverzögert in den Klimadaten wirksam werden. In Grönland wurden für begrenzte Gebiete für die Erwärmung bereits 1-Jahres-Mittelwerte von 5°C ermittelt. Einzelmessungen im Sommer 2017 erreichten über mehrere Wochen 8°C. Dies führt z.B. in Grönland dazu, dass im Sommer immer breitere Küstenstreifen eisfrei werden. Mit der Folge, dass dort immer mehr der eintreffenden Sonnenstrahlung direkt in Wärme umgesetzt werden kann – abnehmender Albedo-Effekt (s.a. Kapitel 6.3 und 6.4). Hierdurch wird das Abschmelzen des Grönlandeises weiter beschleunigt und das im Eis gebundene CO₂ freigesetzt – positive/destabilisierende Rückwirkung. Ähnliches gilt für die Permafrostböden in Kanada, Alaska und Sibirien. Hier wandert die Permafrost-Grenze laufend nach Norden mit der Folge, dass in dem Permafrostboden gebundenes Methan freigesetzt wird, ein ca. 30-mal wirksameres Klimagas als CO₂. In diesen Regionen wird das Erreichen solcher Kipppunkte bereits deutlich erkennbar. Siehe auch das Hintergrundpapier des Umwelt-Bundesamtes: [Klimagefahr durch tauenden Permafrost?](#)

Für Klimatologen gilt die Arktis als „Frühwarnsystem“ für den Klimawandel. Siehe den Bericht des Umwelt-Bundesamtes [„Klima der Arktis“](#).

Der umfassendste Bericht über den derzeitigen Wandel in der Arktis ist der ACIA-Bericht (Arctic Climate Impact Assessment), leider nur in Englisch. Er analysiert nicht nur die Wetterereignisse der letzten Jahre, sondern schätzt auch deren Auswirkungen auf Flora, Fauna und Bevölkerung ab, bis hin zu Einflüssen auf die globale Wirtschaft. Dieser Bericht kann bei [„AMAP“ \(Arctic Monitoring and Assessment Programme – an Arctic Council Working Group\)](#) als Pdf-Datei heruntergeladen werden.

Teil II Energiewende ja – aber wie?

In Deutsch kann ein etwas verkürztes Resümee des ACIA-Berichtes bei Germanwatch unter dem Titel „[Klimawandel in der Arktis](#)“ als Pdf-Datei herunter geladen werden.

Ist es noch 5 vor 12? Oder schon 5 nach 12? Siehe hierzu auch einen Artikel „[Das Jahrzehnt, als wir beinahe den Klimawandel stoppten](#)“, dessen erste Absätze ins Deutsch übertragen und auf der Website der Energie- und Klima-Allianz Forchheim veröffentlicht sind sowie der Link zur englischen Lang-Version.