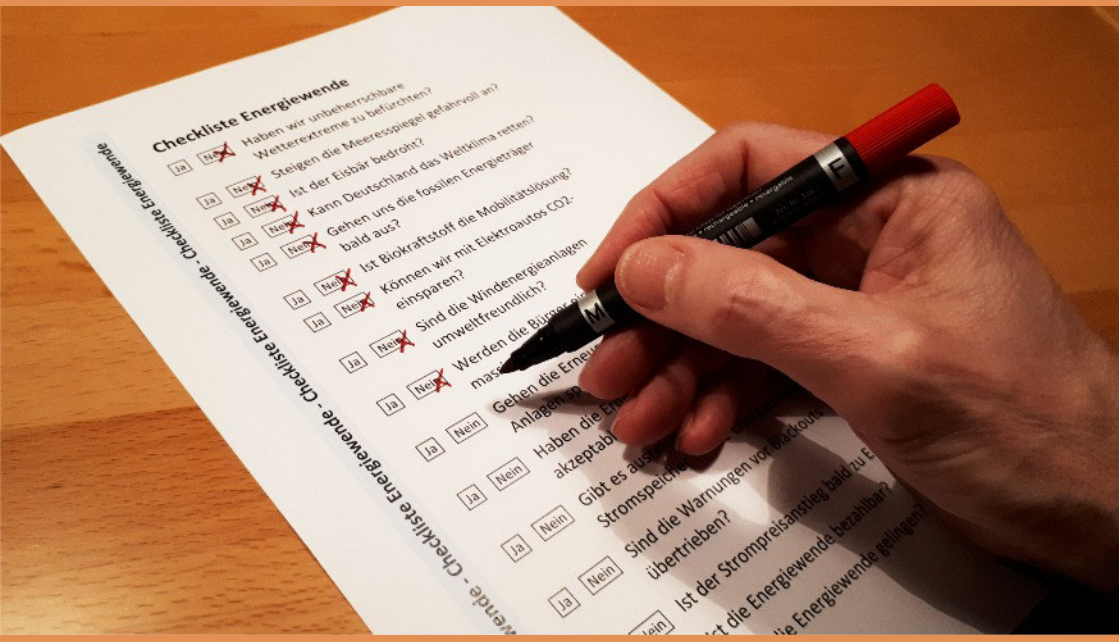
*Klaus Maier*

# Die Abrechnung

## ... mit der Energiewende




## Der Energiewende-Check

*Klaus Maier*

# Die Abrechnung

## ... mit der Energiewende

## Der Energiewende-Check

tredition®

© 2020 Klaus Maier

1. Auflage

Autor: Klaus Maier

Umschlaggestaltung, Illustrationen: Klaus Maier

Lektorat, Korrektorat: Dr. Hermann Eisele

Verlag & Druck: tredition GmbH, Halenreie 40-44, 22359 Hamburg

Hardcover: ISBN 978-3-347-06790-5 als Paperback: ISBN 978-3-347-06789-9

Das Werk, einschließlich seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ist ohne Zustimmung des Verlages und des Autors unzulässig. Dies gilt insbesondere für die elektronische oder sonstige Vervielfältigung, Übersetzung, Verbreitung und öffentliche Zugänglichmachung.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

## Geleitwort

Vor dem Beginn der industriellen Revolution erfolgte die Energieversorgung des Landes nach heutigem Verständnis in vollem Umfang durch sogenannte „erneuerbare Energien“. Für die Produktionsprozesse etwa in Schmieden und Mühlen waren Wind- und Wasserkraft die tragenden Säulen, für die Wärmeversorgung spielte der nachwachsende Rohstoff Holz die entscheidende Rolle. Erst die Nutzung von fossilen Energieträgern für Wärmekraftmaschinen, Verkehr, Elektrizität und Wärme hat in den vergangenen 250 Jahren einen in der Menschheitsgeschichte einmaligen und beispiellosen Wohlstandsschub und Fortschritt überall in der Welt bewirkt.

Doch ist das der richtige Weg gewesen? Wurde dieser Wohlstand nicht mit einem unmäßigen Raubbau an der Natur und an den beschränkten Ressourcen des Planeten viel zu teuer erkauft? Sind nicht die menschengemachte Erhöhung des Kohlendioxidgehalts unserer Atmosphäre und der Anstieg der Erdtemperaturen die Strafe der Natur für diese ungezügelte Ressourcenverschwendung?

Seien wir ehrlich: Die Nutzung natürlicher und nachhaltiger Energiequellen zur Energieversorgung ist ein sehr überzeugendes Konzept, ein geradezu weltbewegender Gedanke. Keine rauchenden Schlote, kein gigantischer Kohletagebau, kein radioaktiver Abfall, keine Endlager, keine stinkenden Auspuffgase aus unseren Autos und Lkws. Qualitativ ist die Energiewende eine phänomenale und zukunftsweisende Strategie. Wer wollte sich ihr ernstlich entziehen, oder, schlimmer noch, gegen sie argumentieren oder gar opponieren? Sollte es nicht möglich sein, unsere modernen und fortgeschrittenen Technologien erfolgreich für eine nachhaltige Energieversorgung zu nutzen?

Aus alter Gewohnheit betrachten Naturwissenschaftler und Ingenieure technische Probleme und Aufgabenstellungen in Zahlen, Daten und Fakten. Sie beleuchten die Konzepte quantitativ in Bezug auf physikalische Gesetzmäßigkeiten und den dadurch verursachten technischen und wirtschaftlichen Aufwand. Als der amerikanische Präsident Kennedy 1962 mit seinem berühmten Satz „Ich glaube, dass diese Nation sich dazu verpflichten sollte, noch vor dem Ende dieses Jahrzehnts das Ziel zu erreichen, einen Menschen auf dem Mond landen zu lassen und ihn dann sicher wieder zur Erde zurückzubringen“ das größte technische Großprojekt der Menschheitsgeschichte angekündigt hatte, haben Ingenieure und Physiker die Stirn in Falten gelegt: Dem Präsidenten schien nicht klar zu sein, dass man ein knapp 3000 Tonnen schweres, hochexplosives Tanklager in den Himmel schießen musste um Menschen zum Mond und wieder zurück zu bringen. Der durchschlagende Erfolg des Mondlandeprogramms binnen weniger Jahre und der dadurch bewirkte gigantische Fortschritt, insbesondere auch in den Informationstechnologien sind heute praktisch allgegenwärtig.

Bei der Energiewende und der allerorten diskutierten „Dekarbonisierung“ liegen die Dinge genauso wie bei der Ankündigung des Mondlandeprogramms, nur die Zahlen sind anders. Wenn ein Ingenieur bei einer physikalischen Größe die Vorsilbe „Tera“, etwa bei der Energie-Einheit Terawattstunden (TWh), nur liest, wird er hellhörig. Er weiß sofort, es geht um gigantische Beträge, die so groß sind, dass er sie sich in Analogien versinnbildlichen muss: Unser jährlicher Stromverbrauch liegt bei 600 TWh. Mit diesem Energiebetrag könnte man den ganzen Bodensee mit seinen 48 Kubikkilometern Inhalt in 4600 Meter Höhe buchstäblich in den Himmel pumpen. Unser gesamter jährlicher sogenannter Primärenergieverbrauch für die Sektoren Strom, Verkehr, Heizung, Prozesswärme liegt bei 3600 TWh, also nochmal um den Faktor 6 über unserem Stromverbrauch. Und dieser gigantische Energiebetrag wird fast vollständig durch fossile Energieträger bereitgestellt. Mit 600 TWh kann man den ganzen Chiemsee zum Kochen bringen und zu einem guten Drittel verdampfen. Damit stehen die Größenordnungen des Projekts fest und zu ihrer Ermittlung braucht es weder anspruchsvolle Mathematik noch komplizierte physikalische Modelle. Für die „Berechnung“ reichen Grundrechenarten und ein Blatt Papier. Diese quantitative Seite der Energiewende stand von Anfang an unabänderlich fest. Die Energiewende ist ein gigantisches Megaprojekt, gegen das der Berliner Flughafen unter der Rubrik Jugend forscht abgelegt werden kann. Dass unsere Jugend dagegen Spitzenleistungen abliefert, wenn sie bei Jugend forscht dabei ist, ist eine andere Angelegenheit.

Um diese rein zahlenmäßige Analyse drückt sich die Wissenschaft und noch mehr die Politik seit Jahren herum und ergeht sich in wolkigen Allgemeinplätzen.

Ein Buch, das diese quantitative Seite der Energiewende im Detail betrachtet und beleuchtet, war lange überfällig. Es ist eine gewissenhafte und detaillierte Analyse der Technologien und des Aufwands einer „Energiewende“, die sich am Ende als Illusion erweisen wird. Diese Energiewende ist schon lange gescheitert: an den Gesetzen der Physik, an den Gesetzen der mathematischen Statistik und an den Gesetzen der Ökonomie.

*Dr.-Ing. Detlef Ahlborn im Juni 2020*

# Bevor wir einsteigen …

… sollten Sie sich kurz die Zeit nehmen, die folgenden Hinweise und die Einleitung zu lesen. Sie erfahren wie das Buch aufgebaut ist und auf welcher Grundlage es entstanden ist.

## Vorwort

Gestatten Sie mir, einige einführende Worte an Sie, den Leser bzw. die Leserin, zu richten. Ich glaube, dass Sie das Buch besser verstehen und nutzen können, wenn Sie die folgenden Erläuterungen kennen.

### Motivation

Nachdem ich mich über 6 Jahre praktisch täglich intensiv mit dem Thema ***Energiewende*** beschäftigt und viele tausend Stunden investiert hatte, stellte sich die Frage: War's das? Bin ich nicht angesichts der Bedeutung meiner Erkenntnisse verpflichtet diese weiterzugeben?

### Qualität oder Quantität?

Ist Ihnen schon mal aufgefallen, dass es immer wieder Meldungen gibt, die eine hoffungsvolle Zukunft im Konjunktiv beschreiben?

So wird von zu erwartenden Innovationen gesprochen, die *helfen werden, dass die Energiewende zum Erfolg wird*. Sicher gibt es *„Möglichkeiten"*, dass die Nachfrage dem Angebot (im Smart Grid[A]) besser angepasst werden kann. Sicher *„helfen"* die Batterien, die die Häuslebauer an ihre Photovoltaikanlagen anschalten, die Volatilität des Sonnenstroms zu glätten, und sicher *„könnte"* man durch Einbeziehung der Batterien der Elektromobile diese nutzbringend in das Smart Grid integrieren. Und sicher stimmt es auch, dass Ihr Sohn mit seinem Taschengeld *helfen könnte,* die Schulden, die Sie für Ihren Hausbau gemacht haben, zu verringern. Wer würde dem widersprechen? Sie widersprechen doch? Ja, dann haben Sie es verstanden: Es geht nicht um ***qualitativ*** richtige Aussagen, sondern um eine ***quantitative*** Bewertung, *wie viel* etwas hilft. Erst die ermittelten Quantitäten bilden die Grundlage, um zu beurteilen, ob ein Konzept trägt. Auf diese Quantitäten habe ich meinen Fokus gerichtet. Diese Zahlen führen zu meiner vernichtenden Beurteilung und damit zur titelgebenden „Abrechnung".

---

[A] E·ON: „Das Smart Grid ist ein intelligentes Stromnetz. Ein Netz wird dann intelligent, wenn innerhalb des Netzes ein Informationsaustausch erfolgt, mit dessen Hilfe die Stromerzeugung, der Verbrauch und die Speicherung dynamisch gesteuert werden können."

### Wirksamer Informationsfluss

Ich habe viele Vorträge gehalten und meine Arbeitspapiere wurden gelesen, aber viel bewegt habe ich damit nicht. Zudem kommt man gegen die Wirkung der (Mainstream-)Medien so nicht an. Die Erkenntnisse, die sich aus der Beschäftigung mit den Implikationen der Energiewende ergaben, waren aber so gravierender Natur, dass es aus meiner Sicht verantwortungslos erschien, diese weitgehend für mich zu behalten.

Aber welche Möglichkeiten gab es und gibt es, diese Erkenntnisse, die sich zum Teil dramatisch von den Inhalten der TV-Sendungen und Artikel unterscheiden, zu verbreiten? Angesichts der geringen Teilnehmerzahlen meiner Vorträge – trotz öffentlicher Bewerbung – ist das offenbar kein geeigneter Weg. Es bedeutet zudem jedes Mal die Anfahrt gegebenenfalls mit Übernachtung und die damit verbundene Zeit und Kosten. Vorträge kann man über vieles halten, aber möglichst nicht über 45 Minuten, wie es heißt. Bei diesem komplexen und notwendigerweise technischen Thema kann man die Zuhörer in kurzer Zeit nicht leicht überzeugen.

Da die fachliche Seite bereits erarbeitet war, entschied ich mich, das in einem Buch zusammenzufassen.

Haben Sie sich über den Titel gewundert? Warum „Abrechnung“? Wer hat da eine Rechnung mit wem offen, mögen Sie sich gefragt haben. Ich will mit dem Narrativ der notwendigen Energiewende abrechnen. In Abrechnen steckt auch der Teil rechnen, und das passt auch, weil meine Arbeit mit vielen Berechnungen verbunden war.

Sie alle hören es immer wieder und überall, dass die Energiewende ein notwendiges Generationsprojekt sei. Kritische Stimmen, die zwar vermehrt, aber immer noch zu wenig zu hören sind, kritisieren verschiedene Aspekte und Auswirkungen der Energiewende. Hier lautet fast ausnahmslos der Tenor, dass die Energiewende natürlich nötig, aber eben schlecht gemacht sei.

Wenn meine Abrechnung in diesem Buch weitergeht und darlegt, dass die Energiewende, mit dem Schwerpunkt der $CO_2$-Vermeidung, weder nötig noch machbar ist, ist das Fundamentalkritik. Diese hat nur eine Chance zu bestehen, wenn sie sorgfältig begründet und mit Zahlen belegt wird. Genau das ist der Anspruch dieses Buchs.

### Konzept des Buchs

Es ist allgemein bekannt, dass jede Information für die entsprechende Zielgruppe angepasst sein muss, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. So kann man mit einer hochwissenschaftlichen Abhandlung keinen Grundschüler und mit einer

simplifizierten Darstellung keinen Wissenschaftler fesseln. Wenn nun das Buch gleichermaßen den am Thema interessierten Durchschnittsbürger wie auch den Wirtschafts- oder Wissenschaftsjournalisten erreichen will, muss man sich über das Darstellungskonzept Gedanken machen.

Um diesen gordischen Knoten zu durchschlagen, wurde das Buch in drei Teile und den Anhang aufgeteilt.

### *1. Was Sie wissen sollten*

Der **1. Teil** beschreibt, „Was Sie wissen sollten“, und verzichtet dabei so weit wie möglich auf wissenschaftliche Abhandlungen, auf komplizierte Grafiken und Zahlen. Die Kapitel dieses Teils sollten fortlaufend gelesen werden, weil sie aufeinander aufbauen. Für jeden, der sich etwas für das Thema interessiert, sind sie allgemeinverständlich und erfordern keine besonderen Vorkenntnisse. Das hat aber zur Folge, dass Aussagen gemacht werden, für die der eine oder andere Leser vielleicht eine Begründung haben will. Viele sind bereit, Aussagen einfach zu akzeptieren und wollen im Text fortfahren, um den Anschluss an den Gedanken nicht zu verlieren. Anderen fällt es schwer, die Behauptungen zu glauben und fordern vom Autor Beweise oder sie interessieren sich für mehr Details. Um dem gerecht zu werden, werden an den entsprechenden Stellen Verweise gemacht, die in der Regel in den 2. Teil des Buchs führen. Der 1. Teil braucht für die gesamte Breite der Energiewendekritik keinen weiteren Teil des Buchs, sofern man sich mit der Abhandlungstiefe zufriedengibt.

### *2. Wer es genauer wissen will*

Im **2. Teil** *„Wer es genauer wissen will“* finden Sie eine Reihe von Kapiteln, die jeweils einen Aspekt der Energiewende mehr im Detail abhandeln. Die Kapitel sind weitgehend in sich geschlossen, so dass man diesen Teil des Buchs eher wie ein Lexikon zum Nachschlagen verstehen sollte. Hier wird der Leser aber schon mehr mit Zahlen und anspruchsvollen Grafiken konfrontiert. Der 2. Teil erwartet an verschiedenen Stellen gewisse ökonomische, technische und physikalische Grundkenntnisse.

### *3. Details und viele Zahlen*

Im **3. Teil** wird anhand eines ausgesuchten Szenarios der Energiewende für das Jahr 2050 detailliert dargestellt, wie bei den Berechnungen vorgegangen wurde. Es werden die Methodik und die Parameter beschrieben und begründet. Die Berechnung dieses Szenarios wird ausführlich dokumentiert. Dieser Teil soll zeigen, dass die quantitativen Aussagen in diesem Buch unter erheblichem Aufwand ermittelt wurden.

Im **Anhang** schließlich finden Sie spezielle Grafiken, Literaturverweise und Erläuterungen sowie ein Glossar, ein Abbildungs- und ein Stichwortverzeichnis.

Mit diesem Konzept möchte ich die Erwartungen einer breiten Leserschaft erfüllen.

### Zum Inhalt

Sie werden einiges über die Gründe finden, warum es die Energiewende gibt und wie wir mit Mitteln der Angst und Moral gefügig gemacht werden, diese zu unterstützen. Diese ***psychologischen Aspekte*** sind bedeutsam und müssen verstanden werden.

Der umstrittene ***Klimawandel*** wird angesprochen, aber er wird weder physikalisch widerlegt noch eine Gegenthese aufgestellt. Trotzdem ist im 2. Teil ein Kapitel, in dem erklärt wird, warum der Klimawandel aus meiner Sicht nicht maßgeblich durch den Menschen verursacht ist.

Sie werden einiges über die Bedeutung der Energieversorgung erfahren und über die wichtigen Merkmale des ***Stromversorgungssystems***. Wir werden die Mittel der Energiewende ansprechen, die zu der geplanten, weitreichenden $CO_2$-Reduktion führen sollen.

Schließlich wird die ***Sektorkopplung*** als propagiertes Lösungselement der Energiewende behandelt. Über die Sektorkopplung kann die Energiewende quantifiziert beschrieben werden; d.h., man kann berechnen, welchen technischen Aufwand es bedeutet und welche Kosten damit verbunden sind. Auf dieser Basis wird dann die „Abrechnung“ vorgenommen.

Bei so viel Kritik ist die Forderung berechtigt, ein ***Gegenkonzept*** zur Energiewende zu verlangen. Das werde ich natürlich auch beschreiben.

Viele Kritiker der Energiewende meinen, dass sie einfach besser gemacht werden müsse. Da werden dann die Gesetzeslage mit all ihren Folgen auf die Vergütungssätze, die Kostenverteilung, die Genehmigungsverfahren, fehlende Förderungen, die Verbesserung der Akzeptanz bei den Bürgern und anderes als Grund angeführt.

Da ich in diesem Buch den belegten Standpunkt vertrete, dass die technischen und ökonomischen Probleme unüberwindlich sind, brauchte ich über die Ausgestaltung der Energiewende und die Verteilung der Kosten nicht zu fabulieren. Daher werden diese Aspekte auch nur am Rande erwähnt.

### Quellen und Hinweise

Damit der Text von störenden, erläuternden Einschüben entlastet wird, sind ***Fußnoten*** verwendet worden. Sie sind mit Großbuchstaben (A, B …) gekennzeichnet und jeweils unten auf der Seite, so dass Sie nicht blättern müssen. Für weniger wichtige Informationen, insbesondere für Quellenangaben, meist als Internetlinks, werden ***Quellen und Hinweise*** benutzt, die Sie im Anhang des Buchs finden. Diese sind als Endnoten mit Nummern (1, 2 …) dargestellt, so dass Sie Fuß- und Endnoten klar unterscheiden können.

Verweise erfolgen mit dem Pfeil nach rechts, gefolgt von der ***K***apitelnummer oder der ***S***eitenzahl. Beispiele: *→K18* oder *→S138*. Darüber hinaus gibt es eine feste Darstellungsform für eine zusammenfassende Information oder einen Merksatz:

Hier steht eine **Information**, die am Rande gegeben wird, aber in diesem Zusammenhang von Bedeutung ist.

Hier steht ein **Merksatz** als Erkenntniszusammenfassung.

In der PDF-Version des Buchs sind dies Hyperlinks, die mit Mausklick ans Ziel führen. Sehr hilfreich sind auch die Lesezeichen, die in der PDF-Datei enthalten sind. Mit diesem Inhaltsverzeichnis haben Sie Direktzugriff auf das gewünschte Kapitel.

Im Downloadbereich

https://www.magentacloud.de/share/ad8hd2e2oa

finden Sie zusätzliche Informationen, die ich schrittweise erweitern werde.

### Ich sage Danke …

Das Schreiben von Büchern hat sich in den letzten 30 Jahren mächtig gewandelt. Wer gut mit einem Computer umgehen kann, braucht „nur noch die richtigen Worte“ zu finden. Na ja, das ist wohl stark vereinfacht, aber es trifft den Kern der Sache. Dank meiner Berufstätigkeit in der Entwicklung und Forschung habe ich schon in den 1980er Jahren den Umgang mit PC-Programmen gelernt und technische und wissenschaftliche Dokumente erstellt.

Es macht allerdings einen großen Unterschied, ob man nur einen Artikel oder ein ganzes Buch schreiben will. Sachbücher, insbesondere solche, die ins Wissenschaftliche gehen, erfordern Grafiken, Tabellen und Ähnliches. Dank meiner langjährigen Kenntnisse und Erfahrungen konnte ich diesen Teil problemlos selbst bewältigen. Aber es blieben bohrende Fragen.

Wer ist die Zielgruppe und wie erreiche ich sie? Wie kann man die eigenen Argumente glaubhafter machen? Ist das Buchkonzept das richtige? Und dann zum Inhalt: Ist die Gliederung sinnvoll? Wie sieht es mit der Verständlichkeit der nicht einfachen Zusammenhänge aus? Ist etwas Wichtiges vergessen worden, was zum Verständnis nötig ist? Was kann oder muss man voraussetzen? Welche Sätze kann man vereinfachen?

Selbst steht man sich zu nah – es fehlt der Abstand zur Selbstkritik. Ist das Manuskript fast fertig, braucht man Hilfe von außen. Der erste Testleser war meine Frau. Sie hat mir sehr geholfen, Formulierungen zu verbessern und an der einen oder anderen Stelle Polemik zu entfernen. In ähnlicher Art haben Freunde und Verwandte, wie z.B. Gerald oder Gunnar, die Mühen auf sich genommen und viele Stunden gelesen, kommentiert und Änderungsvorschläge gemacht. Danke!

Besonderer Dank gebührt den Fachkollegen, die spezielle Kapitel geprüft haben: Prof. Erich Albrecht (Stromnetz), Dipl.-Ing. Helmut Gradic (Kernenergie), Dipl.-Physiker Christoph Barthe (Klima, Kernenergie), Prof. Dr. Horst-Joachim Lüdecke (Klima), auch wenn ich nicht jeden ihrer Vorschläge übernommen habe. Ich sage danke denen, die *alles* gelesen und hilfreiche Anregungen gegeben haben: Dr.-Ing. Andreas Geisenheiner, Dipl.-Physiker Peter Würdig und Dipl.-Ing. Marc Kublun.

Viel Glück hatte ich, dass ich auch kritische Leser fand, die ihr ganzes Berufsleben in der Energietechnik in verantwortlicher Position verbracht haben und das gesamte Buch durchgearbeitet haben. Hier ist zunächst Dipl.-Ing. (FH) Karl-Werner Bluhm zu nennen, der mich in meiner Arbeit, auch schon vorher, unterstützt und ermuntert hat.

Aber besonders möchte ich meinen Bruder Wolfgang erwähnen, mit dem ich so endlos viele wertvolle Gespräche geführt habe. Seine jahrzehntelange Erfahrung mit konventionellen Kraftwerken war eine wichtige Informationsquelle. Auch er hat sich trotz seiner vielen Gartenarbeit die Zeit genommen alles gründlich durchzugehen und mir schon zu Beginn konzeptionelle Anregungen gegeben.

Last but not least muss ich meinem Lektor danken, Herrn Dr. Eisele, der so viele wertvolle Hinweise gegeben hat und den Kommateufel erfolgreich bekämpfte.

So ist auch dieses Buch auf seine besondere Art ein Gemeinschaftswerk. Danke!

## Inhaltsverzeichnis

Geleitwort ..... 5
Vorwort ..... 8

**1 Einleitung ..... 20**

# 1. Teil

**2 Wir haben nur eine Erde! ..... 24**

**3 Klimawende und Klimakatastrophe ..... 27**

**4 Risikowahrnehmung ..... 31**

4.1 Falsche Entscheidungen ..... 32
4.2 Eigene Risikoeinschätzung ..... 32

**5 Qualitativ und quantitativ ..... 35**

**6 Energie – was ist das? ..... 37**

6.1 Bedeutung von Energie ..... 39
6.2 Peak Oil ..... 40
6.3 Blackout ..... 42

**7 Arbeitsplätze ..... 44**

**8 Umweltschutz und Nachhaltigkeit ..... 47**

8.1 Gegen die Natur ..... 47
8.2 Gegen den Menschen ..... 49
8.3 Gegen die Nachhaltigkeit ..... 49
8.4 Gegen Flächenschonung ..... 50
8.5 Teller oder Tank? ..... 51
8.6 Ökonomische Schäden ..... 52
8.7 Akzeptanz ..... 53

**9 Technik und Ideenreichtum ..... 54**

9.1 Gefahren durch neue Techniken? ..... 54
9.2 Nicht jede Idee wird zur Lösung ..... 54
9.3 Rasante Innovation ..... 55

**10 Das Stromversorgungssystem ..... 58**

10.1 Ein kurzer Blick in die Geschichte der Stromversorgung ..... 58
10.2 Leistung, Energie und Arbeit ..... 59

10.3 Das Stromnetz ..... 62
10.4 Beteiligte ..... 64
10.5 Stromerzeuger-Mix ..... 65
10.6 Erneuerbare Energien ..... 67
10.7 Volatilität der Stromerzeuger ..... 69
10.8 Viele Stromerzeuger – ein Netz ..... 71
10.9 Stromkosten ..... 72
10.10 Stromspeicher ..... 75

**11 Heizen und Dämmen bei Gebäuden ..... 78**

**12 Die Mobilitätswende ..... 81**

12.1 Wie viel $CO_2$-Einsparung? ..... 82
12.2 Energie für die Elektrofahrzeuge ..... 83
12.3 Wasserstoff – das bessere Konzept? ..... 85
12.4 Sind E-Fuels die Lösung? ..... 86
12.5 Verkehrskonzepte der Zukunft ..... 87
12.6 Die Bahn ..... 88
12.7 Luft- und Schiffsverkehr ..... 89

**13 Energiesparen ..... 90**

13.1 Energieeffizienz ..... 90
13.2 Energiemehrverbrauch ..... 91
13.3 Bilanz ..... 92

**14 Die Energiewende mit Sektorkopplung ..... 94**

14.1 Was ist Sektorkopplung? ..... 94
14.2 Propagierte Konzepte ..... 96
14.3 Was sagen die Fachleute? ..... 101
14.4 Grundlagen eigener Berechnungen ..... 102
14.5 Ergebnisse eigener Berechnungen ..... 104
14.6 Nötiger VEE-Ausbau ..... 104
14.7 Volkswirtschaftliche Mehrkosten ..... 106

**15 Die „Abrechnung“ ..... 110**

15.1 Politische Einordnung ..... 110
15.2 Klimaschutz ..... 115
15.3 Umweltschutz ..... 116
15.4 Elektromobilität ..... 117
15.5 Arbeitsplätze – Jobwunder? ..... 118
15.6 Falsche Behauptungen ..... 118
15.7 Das Großprojekt Energiewende ..... 119
15.8 Verhältnismäßigkeit ..... 122

15.9 Ausstieg aus der Kernenergie und der Kohleverstromung ..... 122
15.10 Zusammenfassung ..... 123
15.11 Protagonisten in der Klemme ..... 125

**16 Gegenkonzept zur Energiewende ..... 127**

# 2. Teil

**17 Die Welt in unserem Kopf ..... 132**

17.1 Die Medien und die Angst ..... 132
17.2 Das soziale Wesen Mensch ..... 134
17.3 Was ist die Wahrheit? ..... 135
17.4 Korrelation und Kausalität ..... 136

**18 Das Vorsorgeprinzip ..... 138**

**19 Der Klimawandel ..... 140**

19.1 Kann man sich auf die Wissenschaftler und das IPCC verlassen? ..... 140
19.2 Wissenschaftler einig? ..... 141
19.3 Die Klimakatastrophe ..... 145

**20 Die Klimakatastrophe verhindern ..... 153**

20.1 Verschwörungstheorien? ..... 153
20.2 Moralischer Anspruch der Energiewende ..... 153
20.3 Weitere Argumentationen ..... 155
20.4 Zielsetzung und Mittel ..... 156
20.5 Das Paris-Abkommen ..... 157
20.6 Weltmarkt fossiler Energieträger ..... 160
20.7 Der „Green Deal“ ..... 162
20.8 Erfolgsaussichten ..... 164

**21 Widerlegung der $CO_2$-Theorie ..... 165**

21.1 Einleitung ..... 165
21.2 Die letzten 140 Jahre ..... 166
21.3 Temperatur und $CO_2$-Konzentration über 10.000 Jahre ..... 168
21.4 Falsifikation der AGW-Theorie ..... 169
21.5 Mögliche Einwände zur Falsifikation ..... 173

**22 Weltenergiebedarf ..... 176**

**23 Die Energiewende – Kosten vs. Nutzen ..... 178**

23.1 Vorreiterrolle ..... 178

23.2 EU-ETS (EU Emissions Trading System) ... 178
23.3 Eingesparte Importkosten fossiler Energieträger ... 179
23.4 Schonung der (fossilen) Ressourcen ... 179
23.5 Die Energie- und $CO_2$-Steuer ... 180
23.6 Import von synthetischen Energieträgern ... 181
23.7 Subventionen, andere Kosteneinflüsse ... 182
23.8 Vermiedene Kosten der Umweltschäden ... 182

**24 Das Volatilitätsproblem ... 184**

24.1 Konzept 1: Kein Speicher, dafür Abregelung und Kraftwerke ... 186
24.2 Konzept 2: Speicher für die gesamte VEE ... 188
24.3 Konzept 3: Begrenzter Speicher ohne Abregelung aber mit Backup-KWs ... 190
24.4 Konzept 4: Begrenzter Speicher mit Abregelung aber ohne Backup-KWs ... 192
24.5 Konzept 5: Begrenzter Speicher mit Abregelung und mit Backup-KWs ... 193
24.6 Übersicht Volatilitätslösungen ... 195
24.7 Verschiedene Speichertypen kombinieren ... 195

**25 Das Stromnetz ... 197**

25.1 Die Dynamik der Stromerzeugung ... 197
25.2 Netzebenen ... 201
25.3 Strommarkt ... 203
25.4 Netzausbau ... 212
25.5 Netzstabilität ... 216
25.6 Regelenergie ... 229
25.7 Blackout ... 236

**26 Dezentrale Stromversorgung ... 245**

**27 Ausstieg aus Kohle und Kernkraft ... 247**

27.1 Offizielle Begründung ... 247
27.2 Versorgungssicherheit ... 248
27.3 Der $CO_2$-Bilanztrick ... 249
27.4 Kosten ... 251

**28 Kernenergie ... 253**

28.1 Nichts ist ohne Risiko ... 253
28.2 Risiken und Sicherheit ... 254
28.3 Kosten ... 259
28.4 Endlager ... 261
28.5 Nachhaltigkeit ... 263
28.6 Gefährlichkeit radioaktiver und ionisierender Strahlung ... 265
28.7 Zukunft der Kernenergie ... 268

**29 Speicherkonzepte ..... 274**

29.1 Aspekte von Speichertechniken ..... 274
29.2 Speicherbedarf ..... 277
29.3 Speicherarten ..... 278
29.4 Zusammenfassung ..... 285

**30 Sektorkopplung und Technik ..... 286**

30.1 P2G ist die nächstliegende Technik ..... 287
30.2 P2L baut auf P2G-Technik auf ..... 291
30.3 P2H (Power-to-Heat) ..... 294
30.4 Wasserstoffwirtschaft ..... 296
30.5 Technische Aspekte ..... 298

**31 Jede Menge Ideen … ..... 306**

31.1 Speicher ..... 306
31.2 Volatilität ..... 320
31.3 Netzoptimierungen ..... 323
31.4 Autarkieprojekte ..... 325
31.5 Energieeinsparung ..... 328

**32 Ausbaugrenze der VEE ..... 331**

**33 Wetterstochastik ..... 336**

**34 Flexibilisierung, Smart Grid ..... 346**

**35 „Peak Oil“ und Rohstoffe ..... 351**

35.1 Umgang mit Rohstoffen ..... 351
35.2 Peak Oil ..... 352
35.3 Fossile Energieträger ..... 352

**36 Biokraftstoffe ..... 355**

**37 Die Mobilitätsfrage ..... 357**

37.1 Mobilität der Zukunft ..... 357
37.2 Politische Aspekte ..... 359
37.3 Antriebskonzepte ..... 361
37.4 $CO_2$-Einsparung ..... 365
37.5 Umstellung auf E-Mobilität ..... 368

**38 Ergebnisse aus eigenen Berechnungen ..... 372**

38.1 Die betrachteten Szenarien ..... 376
38.2 Vergleich der Power-to-X-Techniken ..... 378

38.3 Szenario mit den relativ besten Merkmalen ..... 382
38.4 Resultierende $CO_2$-Kosten ..... 384

**39 Andere Studien ..... 387**

# 3. Teil

**40 Grundlagen der Berechnung ..... 396**

40.1 Energieversorgung mit Sektorkopplung ..... 397
40.2 Untersuchte Szenarien ..... 402
40.3 Verwendete Parameter ..... 403
40.4 Das Stromversorgungsmodell ..... 406
40.5 Modellierungsschritte ..... 408
40.6 Dimensionierungsrechnung ..... 412
40.7 Flexibilisierung durch Nachfragesteuerung ..... 428
40.8 Kostenentwicklung ..... 431
40.9 Einsparung, Energieeffizienz ..... 433

**41 Szenario S7 mit 90 % $CO_2$-Einsparung ..... 435**

41.1 Das Szenario ..... 436
41.2 Vorgehen, Entscheidungen ..... 437
41.3 Dimensionierung des SVS ..... 439
41.4 Flexibilisierung ..... 445
41.5 Übernommene Parameter für die Kostenentwicklung ..... 446
41.6 Kostenentwicklung ..... 446
41.7 Kennwerte der Dimensionierung ..... 451
41.8 Technische Werte ..... 451
41.9 Backup-Kraftwerke ..... 452
41.10 Verteilung der Ladeleistung des Methanspeichers ..... 453
41.11 Überschussenergie für externe Nutzung ..... 454
41.12 Kostenwerte ..... 457

**42 Anhang ..... 459**

42.1 Glossar ..... 459
42.2 Diagramme ..... 470
42.3 Abbildungs- und andere Verzeichnisse ..... 472
42.4 Quellen und Hinweise ..... 480
42.5 Stichwortverzeichnis ..... 515

# 1 Einleitung

Ab dem Jahre 2000, als das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) beschlossen wurde, trat die Energiewende verstärkt in die öffentliche Wahrnehmung und damit auch in den Diskurs. Das EEG enthielt zwei wesentliche Elemente, die den Bau von Anlagen zur Erzeugung von sogenanntem Ökostrom fördern sollten:

- die ***Vorrangeinspeisung*** und
- die ***garantierte Vergütung*** über 20 Jahre.

Auf dieser Grundlage entwickelte sich der lukrative Bau von Windenergie-, Photovoltaik- und Biomasseanlagen. Zweifellos lukrativ für die Investoren, die finanzierenden Banken, die Betreiber und die Verpächter von Flächen. Auch wenn der Strom an der Strombörse gehandelt wird, herrscht hier keine Marktwirtschaft, eben weil sich das Produkt Strom aus den oben genannten Gründen nicht der Konkurrenz auf gleicher Grundlage stellen muss. Sobald das Wetter ***Ökostrom***[A] ermöglicht, wird dieser mit den hohen Vergütungen in das Stromnetz eingespeist und die anderen Stromerzeuger müssen ihre Kraftwerke drosseln, damit die Strombilanz stimmt.

Das hat zur Folge, dass wir in Deutschland die höchsten Strompreise in Europa bezahlen. Nur noch Dänemark hat ähnlich hohe Strompreise, weil auch die Dänen konsequent auf EE-Strom setzen.

### *Energiewende-Image verblasst*

In der Marktwirtschaft sind Gewinne keine unmoralischen Erwartungen. Beim Strom jedoch, haben wir keine Marktwirtschaft mehr. Der teurere Strom wird von Gesetzes wegen verordnet und jeder Stromkunde muss dieses Mehr bezahlen. Das trifft besonders die Menschen mit einem schmalen Geldbeutel. Es ist eine groß angelegte Umverteilung von unten nach oben, von fleißig nach reich. Die ursprünglich von Trittin propagierte „Eiskugel pro Monat“, die die Energiewende für einen Haushalt kosten würde, ist zur wiederholten Lachnummer geworden.

Die Energiewende muss sich an dem messen lassen, was mit ihr versprochen wurde:

- massive $CO_2$-Einsparung (für den Klimaschutz)
- Umweltschutz

[A] Wenn in diesem Buch von Ökostrom die Rede ist, so verwende ich diesen Begriff nur, weil er so verbreitet ist. Man könnte auch EE-Strom oder Grünstrom sagen. Dass der EE-Strom nicht viel mit „Öko“ zu tun hat, wird noch erläutert.

- bezahlbare Energie (insbesondere Strom)
- Versorgungssicherheit
- technisch realisierbar
- breite gesellschaftliche Akzeptanz

In diesem Buch wird dezidiert erklärt und anhand umfangreicher Berechnungen belegt, dass diese Ziele mit der beschlossenen Energiewende nicht erreichbar sind.

### *Preisgünstige Energie ist Wohlstand*

Dieser Punkt ist wichtiger, als es vielleicht scheint. Es wird noch deutlich werden, dass diese Energiewende zwangsläufig die Energie erheblich verteuert und damit gewissermaßen das „Blut“ der Wirtschaft und der Gesellschaft knapp und teuer macht. Energie ist die Basis aller Produkte. Es bedeutet, dass die Grundlage für den Wohlstand der entwickelten Länder – wobei es mir hier vorrangig um Deutschland geht – im Kern getroffen wird. Der Preis für Energie bestimmt letztlich die Preise von Waren und Dienstleistungen, weil für alle Produkte und Vorprodukte Energie notwendig ist. Die Verteuerung wird daher tiefgreifende Folgen nach sich ziehen, weil sie in eine selbstverstärkende Abwärtsspirale mündet:

Produkte werden teurer …

→ Wirtschaft verliert an Konkurrenzfähigkeit

→ Firmen verlagern ihre Produktion ins Ausland

→ Arbeitsplatzverluste

→ weniger Steuereinnahmen

→ mehr Sozialausgaben

→ weniger Konsum

→ Abbau staatlicher Institutionen und Leistungen (z.B. massive Sparmaßnahmen im Bildungssystem, Gesundheitswesen, bei Polizei, Feuerwehr, Militär)

→ Zerfall gesellschaftlichen Zusammenhalts (z.B. mehr Kriminalität, Armenviertel, Gewalt im Alltag etc.)

Ich werde die Bedeutung von Energie noch ausführlicher behandeln.

Zunächst aber müssen wir uns der kommunizierten „Bedrohungslage“ zuwenden. Es gelte die Gefahren des Klimawandels, der zur Katastrophe werden soll, abzuwenden.

# 1. Teil

## Was Sie wissen sollten

In diesem Teil erfahren Sie in leicht verständlicher Form – ohne komplizierte Technik, Physik und vielen Zahlen –, über welche Argumente ich meine

„Abrechnung mit der Energiewende“

vornehme.

# 2 Wir haben nur eine Erde!

Sie haben sicher auch schon davon gelesen oder gehört, dass unser Fußabdruck auf unserer Erde schon heute viel zu groß sei. Es geht um den sogenannten ***ökologischen Fußabdruck***. Was ist das?

> *„Der* ökologische *Fußabdruck eines Menschen gibt Auskunft darüber, wie viel Land- und Wasserfläche eine Person benötigt, um ihren Bedarf an Ressourcen zu decken und ihre Abfälle zu neutralisieren. Zurzeit ist der ökologische Fußabdruck der Menschheit so groß, dass wir flächenmäßig 1,7 Erden benötigen.“*[1]

Vielleicht sind Sie alt genug, um sich zu erinnern, wie es damals in den 1960-er Jahren hieß: Die Weltbevölkerung wachse zu schnell und werde sich in wenigen Jahrzehnten von 3 auf 6 Milliarden Menschen verdoppeln. Bereits damals gab es viele Millionen Menschen, die hungerten und an Unterernährung sowie an einfach zu beherrschenden Krankheiten starben. Man fragte sich bei 3 Milliarden Menschen, wie bei dem bestehenden Lebensmittelmangel doppelt so viele Menschen ernährt werden sollen. Es schien unmöglich. Besonders schlimm war die Tatsache, dass gerade die Armen so viele Kinder bekamen, die eine perspektivlose Zukunft vor sich hatten.

Der vorhergesagte Zuwachs an Weltbevölkerung fand statt, aber die Versorgungslage verbesserte sich trotzdem. Was war der Grund? Die armen Länder entwickelten sich – wenn auch langsam – mit der Unterstützung der entwickelten Länder unter Verwendung verbesserter Technik, Maschinen, mehr Bildung, mehr Wissen über Ackerbau, gute Düngung, geeignete Bewässerung, bessere Schädlingsbekämpfung und vor allem den Einsatz von günstiger Energie. So wurden dann vielfach höhere Erträge pro Fläche erzielt.

Heute, wo wir fast zweieinhalb Mal so viel Menschen auf der Erde ernähren müssen, ist die Ernährungslage besser als je zuvor – entgegen den Vorhersagen und entgegen der allgemeinen Meinung.

Natürlich ist es wichtig, Probleme frühzeitig zu erkennen, damit man sie sorgsam analysieren und Lösungen entwickeln kann. Aber es gibt bei Vorgängen, die sich langsam vollziehen, keinen Grund in Panik und in Aktionismus zu verfallen. Das zeigt uns dieses Beispiel, und es gibt viele andere. Erinnern wir uns an die Bedrohungen: Waldsterben, Ozonloch, Acrylamid, Asbest …

Unser alltägliches Leben ist mit Gefahren nur so gepflastert, wenn wir auf die Sensationspresse hören. *→K4* Wir sind auch fast täglich umgeben von dramatisch ausgemalten Zukunftsszenarien, deren Bewältigung angeblich *sofortiges Handeln* verlangt.

Es ist – zumindest im Durchschnitt – eben nicht so, dass es auf der Welt immer schlimmer wird. Ein ungebremstes Bevölkerungswachstum würde tatsächlich irgendwann zu unüberwindlichen Problemen führen, weil auf der Erde eben nicht z.B. 100 Milliarden Menschen leben könnten. Man weiß heute aus empirischer Forschung, dass die Weltbevölkerung nicht endlos weiter so wachsen wird wie bisher:

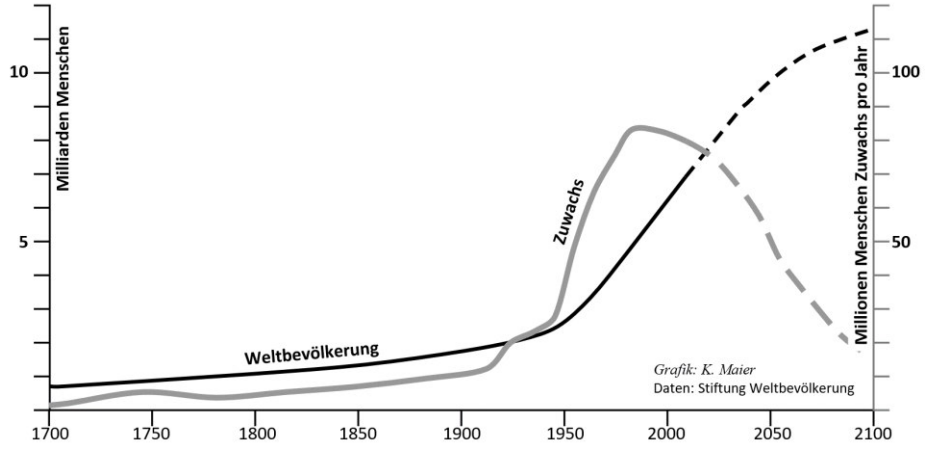



Abb. 2-1: Weltbevölkerung

Dass wir ein falsches Bild von den Entwicklungen auf der Erde und den Lebensverhältnissen der Menschen haben, hat Hans Rosling mit seinem Buch „Factfulness“ eindrucksvoll belegt.[2] So zeigt *Abb. 2-1*, dass der *Zuwachs* der Weltbevölkerung seit etwa 1975 zurückgeht. Das hat zur Folge, dass die Weltbevölkerung langsamer wächst. Nach der Prognose (gestrichelt) wird die Zahl der Menschen voraussichtlich mit 12 Milliarden ihr Maximum erreichen.

Es ist einfach falsch, in einer Panikstimmung Entscheidungen zu treffen, ohne zunächst die Dringlichkeit des Handelns ermittelt zu haben.

Zudem offenbaren etliche Entscheidungen nach einigen Jahren unerwartete Nebeneffekte, die die wohlgemeinte Absicht konterkarieren. Ein gutes Beispiel ist das Thema Biokraftstoff. *→K8.5*, *→K36*

Auch bei gut überlegten Entscheidungen muss man den Verlauf kritisch verfolgen, um falsche Entwicklungen rechtzeitig zu erkennen. Ein dogmatisches Festhalten an einer Entscheidung kann grundfalsch sein. Gerade in komplexen Systemen, wie in einer Gesellschaft oder in der Weltwirtschaft, sind die Nebeneffekte und Verstärkungsmechanismen nur schwer zu durchschauen und zu berechnen.

Was wurde alles schon aus der aktuellen Situation oder durch Extrapolation vorhergesagt? Um 1850 prognostizierten Stadtplaner, dass die Straßen New Yorks wegen der Zunahme an Kutschen bis zum Jahr 1910 in meterhohem Pferdemist ersticken würden. In den 1960er Jahren haben Computer Millionen gekostet und in wenigen Stunden so viel Strom verbraucht wie heute eine vierköpfige Familie das ganze Jahr. Wer vorhergesagt hätte, dass es in Zukunft für jeden Haushalt einen Computer geben werde oder dass wir im Jahre 2020 Computer so groß wie eine Zigarettenschachtel haben werden, die millionenfach leistungsfähiger sind als 1965, den hätte man auf seinen Geisteszustand untersuchen lassen.

Was will ich mit alldem sagen? Der menschliche Erfindungsgeist beschäftigt sich mit Problemen, wenn sie schwerwiegend sind, und findet Lösungen, die man nicht vorhersagen kann. Auf der einen Seite kann sich in 30 oder 50 Jahren unheimlich viel ändern, auf der anderen Seite sind manche technischen Entwicklungen auch extrem langsam oder einfach in eine Sackgasse geraten.

Es gibt keinen Grund sich unnötig Sorgen zu machen, dass die Welt zum hundertsten Mal untergehen wird. Und einige, wenige, selbst wenn sie sich Experten nennen, werden nicht die richtige Lösung parat haben für ein Problem, das nach der Vorhersage in 50 Jahren eintreten wird.

Natürlich sind die Ressourcen der Erde endlich. Alles ist endlich, auch die Sonne wird nicht ewig scheinen. Nach den Vorhersagen gäbe es heute auch kein Öl und keine Kohle mehr. *→K6.2*, *→K35.2*

**Vertrauen wir mehr auf die Lösungskraft des Menschen!**

# 3 Klimawende und Klimakatastrophe

Vom Weltklimarat, dem IPCC[A], wird seit Jahrzehnten der politische Kampf gegen das Spurengas $CO_2$ (Kohlenstoffdioxid) geführt, das für die gefährliche Aufheizung der Erde mit *katastrophalen Folgen* verantwortlich sein soll. Der Mensch hat zweifelsohne einen erheblichen Anteil am Anstieg der $CO_2$-Konzentration in der Luft von ca. 280 ppm auf nunmehr über 400 ppm[B]. Es wird behauptet, dass der gleichzeitige Anstieg der mittleren Lufttemperatur der Erde seit der Industrialisierung um etwa 0,9 °C auf den anthropogenen (menschengemachten) $CO_2$-Anstieg zurückzuführen sei. →K21 Daher sei es dringend nötig, den $CO_2$-Ausstoß, der durch Verbrennung von fossilen Energieträgern (Gas, Öl, Kohle) verursacht wird, bis zum Jahre 2050 annähernd auf null zu reduzieren. Man nennt das Klimapolitik zur Begrenzung des „Klimawandels“ und letztendlich die Verhinderung der *„Klimakatastrophe“*. →K20

Das IPCC ist keine wissenschaftliche Einrichtung. Das Gremium wurde 1988 als Teil der Vereinten Nationen gegründet, das den Auftrag hat, den menschengemachten Klimawandel und seine Folgen zu beobachten und zu belegen. Dazu werden Wissenschaftler beauftragt.[3]

Warum Klimakatastrophe? Nun, man argumentiert, dass mit steigender Durchschnittstemperatur der Erde die Häufigkeit und die Stärke der Wetterextreme zunehmen und damit die Schäden immer größer werden. Durch die Erwärmung würde das Eis der Gletscher und der Polkappen schmelzen und so den Meeresspiegel dramatisch ansteigen lassen. Es wird behauptet, dass die Kosten zur Begrenzung der Weltdurchschnittstemperatur deutlich niedriger wären als die Kosten, die die Schäden verursachen würden.

## *Projekt Dekarbonisierung*

Nach der AGW[C]-Theorie müssen die Treibhausgase[D], vor allem der Ausstoß von $CO_2$, bis zum Jahr 2050 praktisch auf möglichst null reduziert werden, um den globalen

[A] Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ist eine Institution der Vereinten Nationen. In Deutschland wird er als Weltklimarat bezeichnet.

[B] ppm = parts per million = millionstel

[C] Anthropogenic Global Warming = menschengemachte globale Erwärmung

[D] Neben $CO_2$ gibt es weitere Treibhausgase: Methan ($CH_4$), Lachgas ($N_2O$) und Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)

Temperaturanstieg aufzuhalten.[4] Das nennt man ***Dekarbonisierung***.

$CO_2$ entsteht bei jeglicher Verbrennung fossiler Energieträger, folglich

- in der Öl- oder Gasheizung
- im Verbrennungsmotor (egal ob Benzin, Diesel oder Erdgas)
- bei Flug- und Schiffsreisen
- in der Schwerindustrie, z.B. in den Hochöfen zur Erzeugung von Eisen und Stahl (Koks-Verbrennung), und
- vor allem bei der konventionellen Stromerzeugung über Öl, Gas und Kohle.

Daraus ergibt sich ein weiteres Argument: Die ***fossilen Energieträger*** seien zu schade, um sie zu verbrennen, denn sie seien endlich. Außerdem würde man sich so unabhängiger von Importen und dem zu erwartenden dramatischen Preisanstieg machen.

Wahrscheinlich haben Sie es schon gemerkt, $CO_2$ steckt praktisch heute in fast jeder Form von Energie.

Verfügbare und preisgünstige Energie macht unser Leben leichter und ermöglichte erst unseren Wohlstand.

Die Vermeidung von $CO_2$ bedeutet den Verzicht auf diese günstige Energienutzung. Wenn man es nicht schaffen sollte, mit der Energiewende einen vollwertigen, bezahlbaren und umweltverträglichen Ersatz zu schaffen, so bedeutet das vor allem Verzicht. Verzicht auf Flugreisen, Individualverkehr, Produkte, die einen langen Lieferweg haben, Klimaanlagen, angenehm warme Wohnungen und Vergleichbares mehr.

Wenn man dies alles als Argumente für die unabwendbar nötige Energiewende zugrunde legt, so muss man die Klimawende →*K19*, →*K20*, die Klimakatastrophe und die Wirksamkeit der Maßnahmen →*K20.8*, die mit großen Kosten →*K38* und Einschränkungen verbunden sind, hinterfragen.

### *Greta und andere*

Seit 2019 gibt es den Greta[A]-Hype, der die Klimapolitik weiter befeuert.[B] Mit der Parole *„Ich will, dass ihr in Panik geratet“* hat sie großen Erfolg. Es ist schwer vorstellbar, dass die medienwirksamen Aktionen von Greta Thunberg in so kurzer Zeit allein von einem 16-jährigen Mädchen (mit Asperger- Syndrom[5]) und seinen Eltern ohne massive Hilfe von NGOs, politischen Organisationen und von anderen Geldgebern[6] durchzuführen waren.[C] Der grünen Politik kommt diese Unterstützung gerade recht. Die Grünen schwimmen, nicht zuletzt durch Greta, auf einem Zustimmungshoch.

Man sagt Greta nach, dass sie relativ viel über den Klimawandel wisse. Was sie weiß, hat sie sich aus den dramatisierenden Darstellungen des IPCC, der NGOs und der Medien angelesen. Was sie erkennbar nicht weiß, ist, was das bedeutet, wenn man so, wie sie fordert, schnell aus der Verbrennung fossiler Energieträger aussteigt. Und hierzu braucht man ökonomisches, technisches und physikalisches Verständnis der Zusammenhänge sowie die nötigen Zahlen dazu. Sie argumentiert im Gegensatz dazu auf rein emotionaler Ebene.

Die Klimaforscher, die üppig mit Mitteln vom Staat für ihre Ergebnisse bezahlt werden, arbeiten vor allem mit sogenannten Klimamodellen. Hiermit will man die Klimazukunft mit Supercomputern und komplexen Formeln berechnen, was nicht gelingen will, vergleicht man Vorhersagen mit der heutigen Realität. Diese Modelle werden als „Beweis“ für die AGW-Theorie angeführt, obwohl sie versagen. Darauf wird im 2. Teil noch näher eingegangen. *→K19*, *→K20*, *→K21*

> Es gibt keinen Beweis, dass der Mensch den Anstieg der globalen Temperatur wesentlich verschuldet hat.

### *Die Photosynthese*

Das Arbeitsprinzip der Pflanzen ist die Photosynthese. Dabei wird mit Hilfe von Wasser, Lichtenergie und $CO_2$ der Luft sowie Zusatzstoffen Pflanzenmasse hergestellt. Mit den Pflanzen beginnt die Nahrungskette, die bis zum Menschen reicht.

---

[A] Greta Thunberg ist eine schwedische Klimaschutzaktivistin.

[B] Die von ihr initiierten „Schulstreiks für das Klima“ sind inzwischen zur globalen Bewegung „Fridays for Future“ (FFF) gewachsen. Durch die Berichte in den Medien, entstand ein großer Druck auf die Politik.

[C] UN-Klimakonferenz in Katowice; 49. Jahrestreffen des Weltwirtschaftsforums in Davos; Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss in Brüssel; Papstaudienz; Rede vor dem britischen Parlament

Gäbe es keine Pflanzen, gäbe es keine Tiere und auch keine Menschen. Das Hauptnahrungsmittel der Pflanzen ist das $CO_2$. Pflanzen wachsen besser, je mehr $CO_2$ sie bekommen. Daher wird zur Wachstumsförderung in Treibhäusern $CO_2$ eingesetzt. Man sagt, dass die $CO_2$-Konzentration der Luft, die die Pflanzen mindestens benötigen, um zu überleben, nur wenig geringer sein darf als zum Ende der Eiszeit. Ein Zuviel gibt es zwar, aber dieser Wert ist noch lange nicht erreicht.

Für unsere Pflanzen, unsere Lebensgrundlage,
darf es viel mehr $CO_2$ in der Luft sein.

Durch den gestiegenen $CO_2$-Gehalt der Luft hat das Pflanzenwachstum auf der Erde zugenommen, wie es die folgende Grafik zeigt.

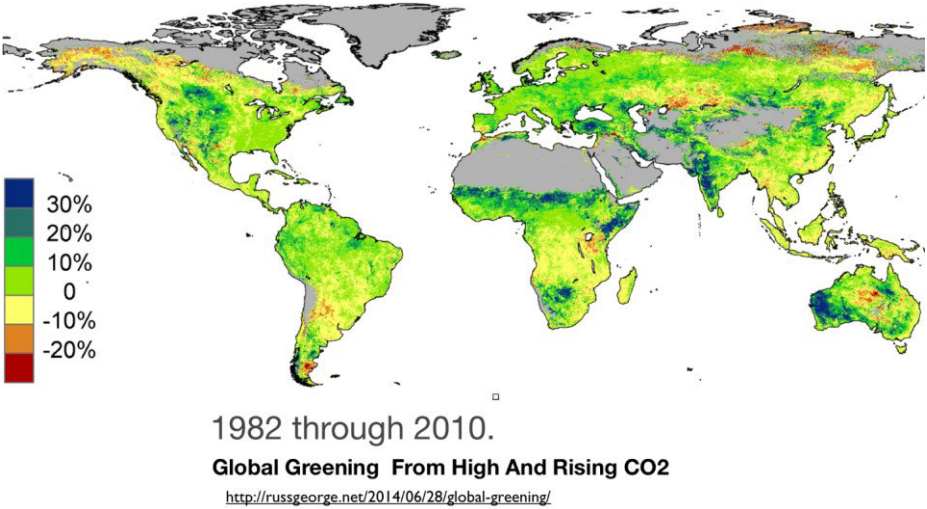



Abb. 3-1: Die Welt ergrünt

Überall dort, wo die Flächen grün sind, hat das Pflanzenwachstum deutlich zugenommen. Wir sollten uns daher über die $CO_2$-Zunahme freuen.

**Es gibt keinen Grund in Panik zu verfallen.**

# 4 Risikowahrnehmung

In diesem Kapitel werden wir einen notwendigen Exkurs machen. Da mit der sogenannten Klimakatastrophe gedroht wird, müssen wir uns kurz mit der Risikowahrnehmung beschäftigen.

Jeder hat seine ganz persönliche Einstellung zu den Gefahren des Lebens. Manche leben nach der Devise „No risk no fun“, andere wollen eher jedes Risiko vermeiden. Aber: Ein Leben ohne Gefahren und ohne jedes Risiko gibt es nicht. Man könnte es überspitzt ausdrücken:

***Das Leben ist hochgefährlich – es endet immer mit dem Tod!***

Es ist unschwer zu erkennen, dass die Risiken, die eingegangen werden, auch etwas Positives zu bieten haben: Der Extremkletterer und der Rekordbrecher werden fasziniert von dem Erfolgsgefühl berichten, der Autofahrer wird nicht auf seine Mobilität verzichten wollen oder können. Dafür geht er jeden Tag das Risiko ein, am Jahresende einer unter den Tausenden Verkehrstoten zu sein.

Im Leben geht es darum, zwischen Risiko und Nutzen/Chancen eine persönliche Abwägung vorzunehmen.

Das gilt für die vielen Dinge, die das Leben in einer modernen Gesellschaft bietet oder erfordert.

Die Neigung, eher risikobereit (waghalsig) oder eher vorsichtig (ängstlich) zu sein, resultiert aus drei Komponenten:

- der *genetischen Komponente*, die von Anbeginn erkennbar ist
- der *Erziehungskomponente*, mit der die Eltern die Grundhaltung beeinflussen können, und
- der *Erlebniskomponente*, die die Einstellung zum Risiko im Erwachsenenalter verändern oder verstärken kann.

Da Risiko offenbar eine persönliche und eine sehr subjektive Einschätzung ist, wäre es doch interessant zu wissen, was da in unserem Kopf passiert. →K17

## 4.1 Falsche Entscheidungen

Eine falsche Risikoeinschätzung führt auch zu kontraproduktivem Verhalten:

Der Terroranschlag am 11. September 2001 auf das World Trade Center in New York führte zu einer absurden Umverteilung des Risikos: Aus Angst, in ein Flugzeug zu steigen, setzten sich Tausende Amerikaner lieber in ihr eigenes Auto. Wie in einer Studie nachgewiesen wurde, haben in den zwölf Monaten nach dem Anschlag etwa 1.500 Amerikaner, indem sie das Fliegen vermieden, ihr Leben gelassen. Sie starben bei Autounfällen.[7]

Rauchen ist ein freiwilliges Risiko, welches von Rauchern typischerweise unterschätzt wird, wohingegen Passivrauchen unfreiwillig ist und deshalb selten toleriert wird.

Lebensmittelzusätze und Konservierungsstoffe sind künstlich, folglich, so nimmt man an, müssen sie gefährlich sein. Gleichzeitig wird die Wahrscheinlichkeit, an verdorbenen, aber natürlichen Lebensmitteln zu erkranken, stark unterschätzt.

Wenn wir die falschen Risiken fürchten und tatsächliche Risiken verharmlosen, treffen wir falsche Entscheidungen.

Der Risikoforscher Peter Sandman hat diese Ergebnisse einmal so zusammengefasst:

> *„Das Risiko, das uns umbringt, ist nicht unbedingt das Risiko, das uns ängstigt“.*[7]

## 4.2 Eigene Risikoeinschätzung

Persönliche Einschätzungen sind meist über lange Zeit durch gewisse Grundhaltungen und Informationsquellen entstanden. Vereinfachungen finden statt, wie „künstlich“ gleich gefährlich, „natürlich“ gleich ungefährlich oder gar gesund.

Die Möglichkeit, die Meinung und Grundhaltungen eines erwachsenen Menschen zu ändern, sind nicht sehr groß. Zudem erfordert es einen hohen Aufwand, da solche Meinungen oft schon verfestigt sind und als wichtige Bausteine zu den Lebensgrundeinstellungen gehören.

Bei der Risikowahrnehmung geht es um die subjektive Einschätzung einer Gefahr.

Ein passionierter Motorradfahrer misst seinem Fahren kein großes Risiko bei, weil er es „selbst unter Kontrolle“ hat und weil er sich „abgesichert“ hat (Lederanzug, Helm).

Objektiv hat aber Motorradfahren ein deutlich höheres Risiko als Autofahren (gleiche Strecke). Ebenso stellt Rauchen ein objektiv großes Risiko dar (statistisch belegt). Trotzdem gehen die Raucher dieses Risiko ein, während sie ein verschwindend geringes Risiko, wie das Wohnen in 500 Meter Entfernung von einer Hochspannungsleitung, gegebenenfalls entschieden ablehnen.

Es ist bekannt, dass die *Freiwilligkeit*, die *Natürlichkeit*, die *Kontrollierbarkeit* oder auch die *Vertrautheit* eines Risikos wichtige Einflussgrößen für die Risikowahrnehmung sind.

Es gibt eine lange Liste von Kriterien, die die Risikowahrnehmung bestimmen. Zwei Faktoren wurden für eine hohe Risikoeinschätzung als zentral identifiziert:[8]

***Unbekanntheit***

korreliert mit Nichtbeobachtbarkeit, Neuheit, unbewusstem Ausgesetztsein, Mangel an Expertenwissen und verzögerten Konsequenzen.

***Furcht***

korreliert mit einem Mangel an Kontrolle, gefürchteten Auswirkungen, Katastrophenpotenzial, ungleicher Verteilung, Zunahme des Risikos über die Zeit und tödlichen Konsequenzen.

Die Risikowahrnehmung hängt zusätzlich von vielen unterschiedlichen Faktoren ab, wie z.B. Alter, Geschlecht, Konstitution, vorhandenem Wissen und Angst vor einer Erkrankung.

Oftmals schätzt man Risiken falsch ein:

Von den ca. 3.200 Verkehrstoten 2017 starben bei Unfällen auf Autobahnen weniger als 300 Menschen (215 Pkw-Fahrer, 39 Kraftrad-Fahrer und 29 Fußgänger), die restlichen 2.900 auf tempolimitierten Land- und Innerorts-Straßen.[A]

Was müsste verboten werden, um viele Tote zu vermeiden?

Das Arbeiten müsste man z.B. verbieten, dabei starben 2017 immerhin 451 Menschen. Und überhaupt verbietungswürdig sind in jedem Fall die Aktivitäten in unserer Freizeit und die Hausarbeit, denn hier kamen 2015 immerhin 9.815 Menschen zu Tode, Tendenz steigend.

[A] Statistisches Bundesamt 2017

Die Einschätzung des Risikos hängt unter anderem von folgenden Umständen ab[A]:

- Habe ich die Gefahrensituation selbst gewählt?
  (Motorradfahren, Bergsteigen)
- Bin ich geübt, habe ich die Kontrolle darüber?
  (ich bestimme die Geschwindigkeit)
- Bin ich darauf angewiesen?
  (Fahrt zum Arbeitsplatz)
- Wann droht die Gefahr?
  (Rauchen: Entscheidung jetzt über eine Gefahr in ferner Zukunft)
- Lebenserfahrung
- Betroffenheit über einen Unfallbericht
  (Generalisierung eines Einzelfalls)

Viele Gefahren, von denen Sie in den Medien lesen und hören, bedrohen Sie nicht tatsächlich.[9] Orientieren Sie sich an den statistischen Risiken und nicht an Schlagzeilen.

*Anmerkung: Gefahr gleich Risiko? Oftmals werden diese beiden Begriffe leichtfertig synonym verwendet. Eine Unterscheidung macht aber Sinn, weil man damit für mehr Klarheit sorgen kann. Oftmals werden die Begriffe auch „gezielt für eigene Botschaften genutzt, um somit ein Risiko eher als geringfügig oder bedeutsam zu klassifizieren."*[10]

*Unter **Gefahr** wird die prinzipielle Möglichkeit einer negativen Wirkung ausgedrückt. Sie ist eine qualitative Aussage, dass etwas „an sich" gefährlich ist oder sein kann. Daraus geht in der Regel nicht hervor unter welchen Bedingungen etwas in welchem Umfange gefährlich ist. Negative Ereignisse, die aus Gefahren resultieren, sind aber an gewisse Umstände gebunden und hängen meist zusätzlich vom Zufall ab.*

*Ein **Risiko** ist eine quantitative Aussage, dass unter bestimmten Bedingungen ein bestimmtes negatives Ereignis eintreten kann. Man drückt das Risiko meist als Wahrscheinlichkeit im Zahlenbereich 0 (unmöglich) bis 1 (sicher) aus. Damit besteht die Möglichkeit komplexe Risikosituationen mathematisch aus Einzelrisiken zu berechnen und ihre Eintrittswahrscheinlichkeiten zu bestimmen.*

[A] Sehr gutes Video vom SWR (4 Min.): https://tinyurl.com/yckph7ql

# 5 Qualitativ und quantitativ

Bei einer ***qualitativen*** Aussage geht es um eine grundsätzliche Äußerung wie etwa: „Wer mit der Bahn zum Arbeitsplatz fährt, geht ein geringeres Risiko ein als jemand, der mit dem Auto fährt."

Das scheint eine richtige Aussage zu sein, aber sie sagt nichts darüber aus, um wie viel ich mein Risiko, im Verkehr zu sterben, dadurch verringern kann. Es kommt daher auf eine ***quantitative*** Aussage an.

Die Statistik sagt: Bei der Bahn sterben 0,04 und beim Pkw 2,12 Menschen pro 1 Milliarde Personenkilometer.[11] Damit ist die Fahrt mit dem Pkw 53-fach gefährlicher. Damit könnte man zufrieden sein.

Was wir aber nicht wissen, ist, ob bei der Bahnalternative auch Fußwege oder Fahrradstrecken enthalten sind. Hier kommt ein nicht vernachlässigbares Zusatzrisiko hinzu, das es beim Pkw nicht gibt. Für die Frage nach der Risikoverminderung durch Umstieg auf die Bahn kann das aber von Bedeutung sein.

Wichtig wäre zu wissen, wie lang die Strecke zum Arbeitsplatz ist. Nehmen wir an, dass die einfache Entfernung 50 km sei und keine Zusatzrisiken bei der Bahn hinzukommen.

Dann beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass man in einem Jahr getötet wird:

$$\text{bei Bahnfahrt: } 0{,}04 \cdot 10^{-9}\ \text{km} \cdot 2 \cdot 50\ \text{km/Tag} \cdot 250\ \text{Tage/Jahr} = 1 \cdot 10^{-6}/\text{Jahr}$$

$$\text{bei Pkw-Fahrt: } 2{,}12 \cdot 10^{-9}\ \text{km} \cdot 2 \cdot 50\ \text{km/Tag} \cdot 250\ \text{Tage/Jahr} = 53 \cdot 10^{-6}/\text{Jahr}$$

Das heißt: Bei einer Berufszeit von 40 Jahren ist die Wahrscheinlichkeit auf der Fahrt zur Arbeit zu sterben, bei der Bahn 0,004 % und beim Pkw 0,212 %. Bei Pkw-Fahrern stirbt so jeder 500ste vor der Rente und bei Bahnfahrern jeder 2.500ste.

Haben wir damit das Risiko ausreichend beschrieben? Nein, wir müssen es ins Verhältnis zu den anderen Risiken setzen, dem unser Leben ausgesetzt ist. Wenn man weiß, dass rund 20 % der Menschen vor dem 65. Lebensjahr sterben, so muss dies anderen Unfällen und Krankheiten zugeschrieben werden. Unterstellt man, dass diese Gründe nicht oder kaum beeinflussbar sind, so muss man für unser Beispiel die oben ermittelten Wahrscheinlichkeiten für Bahn und Pkw als Anteil an diesen 20 % zuordnen.

Jetzt ergibt es ein aussagekräftiges Bild: Die Bahn ist zwar deutlich ungefährlicher als der Pkw, aber die Wahrscheinlichkeit, vor dem 65. Lebensjahr als Bahnfahrer zu sterben, ist 19,996 % und als Pkw-Fahrer 19,8 %. Bedenkt man noch, dass die 20 % kein genauer Wert ist (etwa 18 bis 22%), verschwindet der Unterschied von 0,2% im Ungenauigkeitsbereich.

***Qualitative*** Aussagen müssen hinterfragt werden.

***Quantitative*** Angaben werden erst aussagekräftig,
wenn sie relativ zu einer geeigneten Bezugsgröße stehen.

# 6 Energie – was ist das?

Zunächst muss der Begriff ***Erneuerbare Energien*** kritisiert werden. Energie ist nicht erneuerbar. Energie kann auch nicht geschaffen, sondern nur zwischen verschiedenen Formen umgewandelt werden. Dabei bleibt die Summe der beteiligten Energien konstant. Das ist keine neue Erkenntnis, sondern ein schon länger bekanntes physikalisches Gesetz.[A] Trotzdem verwende ich folgend den Begriff *Erneuerbare Energie* (abgekürzt mit ***EE***), weil er eingeführt ist und jeder weiß, was damit gemeint ist. Außerdem werden Sie später noch den Begriff ***Volatile Erneuerbare Energien*** (***VEE***) und ***Planbare EE (PEE)*** kennenlernen. Dem wollen wir aber hier nicht vorgreifen.

Die ständige Verfügbarkeit von günstiger Energie ist in unserer Gesellschaft so selbstverständlich, dass wir uns dieses Umstands nicht mehr bewusst sind. Da gibt es die ganz kleinen Energiemengen, wie z.B. in der Batterie der Armbanduhr von 0,01 Wh (Wh = Wattstunde), die mindestens für 1 Jahr reicht, oder in der Stahlindustrie, die jährlich etwa 200.000.000.000.000 Wh an Energie benötigt.

Es ist zwischen der ***Leistung*** **P** und der ***Energie*** **W** zu unterscheiden.
Die Energie ist die Leistung über eine bestimmte Zeit **t** ($W = P \cdot t$).

Beispiel: Eine Energie von 1.000 Wh entspricht 1.000 Watt über 1 Stunde oder 50 Watt über 20 Stunden oder 10 Watt über 100 Stunden …

Zunächst fällt einem bei Energie der Strom ein, den wir in Form von Batterien oder Netzstrom benötigen. Aber das ist nicht die einzige Form von Energie. Es gibt:

- *Mechanische Energie* (damit Maschinen, Autos funktionieren)
- *Wärmeenergie* (Heizung, Warmwasser, Industrieprozesse)
- *Strahlungsenergie*[B] (Sonne, Kaminfeuer, Funkwellen)
- *Elektrische Energie* (Strom)
- *chemische Energie* (Batterie, Kraftstoff, Erdgas) und
- *Kernenergie* (Kernkraftwerke)

[A] Energieerhaltungssatz: „In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant."

[B] Elektromagnetische Strahlung: elektrische/magnetische Felder, über Radiowellen, Infrarot bis sichtbares Licht; daran schließt sich die ionisierende Strahlung an (UV, Röntgen- und Gammastrahlung)

Sobald es ein physischer Stoff ist, spricht man von einem ***Energieträger***. Seinen Energiegehalt kann man als Energie freisetzen und so nutzen. Das wird z.B. mit Kraftstoff im Motor gemacht (in mechanische Energie gewandelt) und mit Erdgas in der Heizung, als Wärmeenergie.

Das waren zwei Beispiele, wie man chemische Energie in andere Energieformen wandeln kann. Grundsätzlich kann man jede Energieform in eine andere Energieform wandeln, aber leider nur mit mehr oder weniger großen Verlusten.[12]

Letztlich wandelt auch der Mensch die chemische Energie der Nahrung in die Energieformen Wärme (des Körpers) und mechanische Energie (Arbeit[A]). Der Mensch kann rund 100 kWh (Kilowattstunden) an Arbeit pro Jahr leisten. Dazu benötigt er Nahrung mit rund 1.400 kWh an Energiegehalt.[13] Der Mensch ist folglich ein schlechter Energiewandler. Nur etwa 7 % der aufgenommenen Energie ist als Arbeit nutzbar. Da sind die Verbrennungsmotoren schon erheblich besser. Sie wandeln etwa 30 bis 40 % der im Kraftstoff enthaltenen chemischen Energie in mechanische Arbeit um. Noch besser sind Elektromotoren, die einen Wirkungsgrad von über 90 % erreichen können.

Was heute Energie kostet und was man damit machen kann, zeigen folgende Beispiele:

Ein Liter Kraftstoff enthält eine Energie von rund 10 kWh und kann zu 3 bis 4 kWh mechanische Arbeit gewandelt werden. Er kostet rund 1,40 € (ohne Steuer nur 0,45 €). Die Arbeitsleistung eines Menschen eines ganzen Jahres, die wir durch einen Verbrennungsmotor gedanklich ersetzen wollen, kostet so nur rund 40 € (inkl. Steuer).

Ein Mann kann mit einem Pferd in einer Stunde rund 900 m² Acker pflügen, während man mit einem Traktor in einer Stunde mit Kraftstoffkosten von 20 € etwa 25.000 m² in einer gleichmäßigen Qualität pflügen kann. Während der erste Arbeiter körperliche Höchstleistung vollbrachte, hat der zweite bei der Arbeit für die 28-Fache Fläche entspannt gesessen.

Die Verfügbarkeit von preisgünstiger Energie[B] ist die Grundlage unseres heutigen Wohlstands und der gestiegenen Lebenserwartung.

[A] Die mechanische Energieform wird auch als *Arbeit* bezeichnet. Da die elektrische Energie gut in mechanische wandelbar ist, verwendet man bei der elektrischen auch oft den Begriff *Arbeit*.

[B] Natürlich in Verbindung mit der entsprechenden Technik

## 6.1 Bedeutung von Energie

Die Herausbildung von Hochkulturen in der Menschheitsgeschichte war schon früh an die leichte Verfügbarkeit von Energiequellen gebunden. Gute Beispiele sind das frühe Ägypten, das Zweistromland und das südliche China. An all diesen Orten standen große Wassermengen, relativ gleichbleibende, warme Temperaturen und vergleichsweise große, natürliche Nahrungsquellen (als Energieträger) zur Verfügung. So mussten die Menschen weniger Zeit für den alltäglichen Kampf ums Überleben aufwenden.

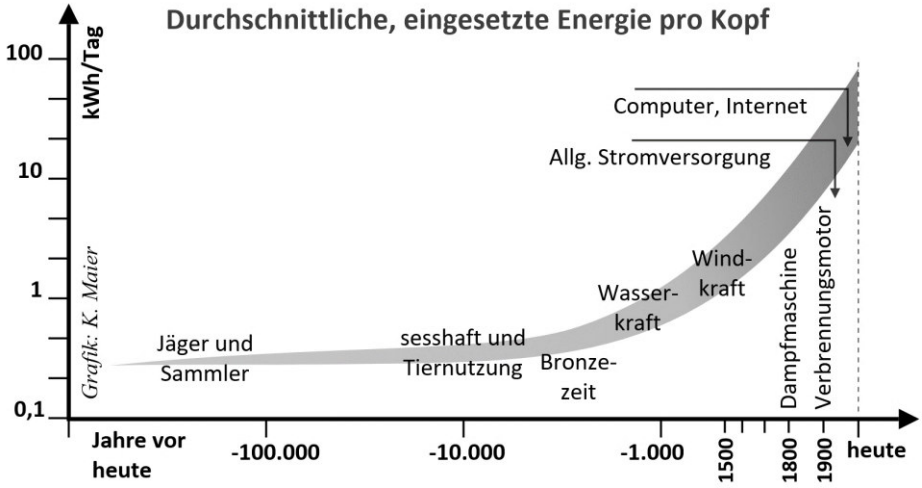



Abb. 6-1: Energie pro Kopf

Energie ist nicht nur für das nötig, was wir heute haben und verbrauchen, sondern war auch der Keim, aus dem sich der heutige Wohlstand entwickelte. Genauso wie das Wissen immer auf dem aufbaut, was vorher erarbeitete wurde, gibt es auch eine Kette von Vorprodukten und Werkzeugen (ebenfalls mit Vorprodukten), die Voraussetzungen für das betrachtete Objekt sind.

Ein Jedes braucht Energie (und Know-how), um geschaffen zu werden. Aber nicht nur die Güter haben Energie als Voraussetzung, nein, praktisch alles basiert auf Energie. So können alle uns selbstverständlichen Einrichtungen, Dienstleistungen und immateriellen Werte unserer Gesellschaft, wie Bildung, Kunst, Gesundheitspflege, Sport, Wissenschaft, Religion nicht ohne ständigen Einsatz von Energie existieren.[14] *Abb. 6-1* zeigt, dass jeder Fortschritt die Grundlage des nächsten Schrittes war und immer stand die Energie im Fokus.

*„Je billiger, gemessen am Durchschnittseinkommen, die verfügbare Energie ist, desto höher ist der Wohlstand, desto mehr kann auch für immaterielle, geistige Güter aufgewendet werden, eine Voraussetzung für wirkliche Lebensqualität.“*[15]

Oder umgekehrt: Je teurer Energie wird, umso teurer werden die Produkte und Dienstleistungen, umso eher gehen die Firmen dorthin, wo billige Energie ist. Wenn die Produkte teurer werden, müssen Arbeitsplätze abgebaut werden, weil die Konkurrenzfähigkeit geschwächt wird. Dies wiederum führt zu mehr Sozialkosten und gleichzeitig weniger Steuereinnahmen. Sie merken es, es ist eine Abwärtsspirale. Neben dem Wettbewerb der Innovationskraft zwischen den Staaten gibt es auch noch den Wettbewerb für billige, gesicherte Energie.

Die künstliche Verteuerung der Energie ist ein Angriff auf den Wohlstand der Gesellschaft.

## 6.2 Peak Oil

Ein Großteil der Energie, die wir nutzen, entstammt aus den fossilen Energieträgern Öl, Gas und Kohle. Wie Sie sicher schon gehört haben, sind die fossilen Energieträger „endlich“, und deshalb müsse man von ihnen loskommen und die Wirtschaft und Gesellschaft auf andere Energiekonzepte umstellen. →K35

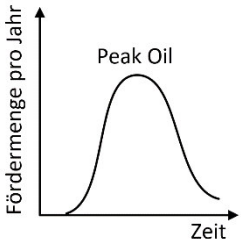


Abb. 6-2: Peak Oil

Alle paar Jahrzehnte wird erneut der „Peak Oil“ für in 20 Jahren vorhergesagt. →K23.4 Immer hat man sich getäuscht. Mit ***Peak Oil*** wird der Zeitpunkt bezeichnet, zu dem die maximale Menge an Öl gefördert wird (*Abb. 6-2*). Danach nimmt die Förderung ab, weil es immer schwieriger und kostspieliger wird, Öl zu fördern. Mit steigendem Preis sinkt auch der Verbrauch. Der entscheidende Grund sind aber die abnehmenden Reserven, die man noch fördern kann.

Nun sollten wir zunächst feststellen, dass alles endlich ist! Auch die Sonne wird nicht ewig scheinen. Noch vor einigen Jahren habe ich gelesen, dass die Sonne noch 500 Millionen Jahre scheinen wird, heute heißt es, dass sie womöglich noch 5 Milliarden Jahre scheint. Es muss uns aber nicht kümmern, stellen wir die eine oder die andere

Zahl zum Lebenshorizont der Menschen oder zur Innovationsgeschwindigkeit in Relation.[16]

Seit den letzten 30 Jahren ist der Verbrauch von Öl kontinuierlich um 50 % gestiegen. Trotz des gestiegenen Verbrauchs sind die Reserven ebenfalls gestiegen, von 1.126 (1995) auf 1.697 Milliarden Barrels (2015).[17] Wie kann das sein? Ganz einfach, weil immer neue Vorkommen, aufgrund von ständig verbesserten Explorationsmethoden, entdeckt werden. Mit weiter entwickelten Techniken sind nun Vorkommen wirtschaftlich nutzbar, die man früher nicht gefördert hätte.

Die *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe* (BGR) gibt regelmäßig Berichte über die Entwicklung der globalen Energieversorgung heraus.[18]

| | Öl [Gt] | Gas [Bill. m³] | Kohle [Gt] |
|---|---|---|---|
| Reserven | 243 | 199 | 1.055 |
| Ressourcen | 448 | 628 | 22.132 |
| Verbrauch pro Jahr | 4,4 | 3,8 | 7,5 |
| Reichweite in Jahren | 157 | 217 | 3.091 |

Tabelle 6-1: Reserven und Ressourcen

Aus den Zahlen wird deutlich, dass unter der Annahme eines weiterhin konstanten Verbrauchs und der heute bekannten ***Reserven*** und ***Ressourcen***[19] die fossilen Energieträger noch lange reichen, wie *Tabelle 6-1* zeigt.

Und wie ist es mit den Preisen? Die Ölpreise sind tatsächlich erheblich gestiegen, in den letzten 20 Jahren um das 2,5-Fache. Aber das muss man in Relation mit der Einkommensentwicklung sehen. Diese stieg in Deutschland in den letzten 20 Jahren um rund 45 % an[20], bei dem Bruttosozialprodukt (Volkseinkommen) sogar um 75 %. Bedenkt man noch die Energieeinsparung beim Heizen und bei den Fahrzeugen, ist der Kostenanstieg nicht mehr so dramatisch, wie er zunächst erschien.

Es kann angesichts der Erfahrungen aus der Vergangenheit davon ausgegangen werden, dass weit vor dem Versiegen dieser Energieträger die Energiefrage anders und besser gelöst sein wird.[21]

Es gibt keine Not, aus Angst vor Knappheit überstürzt einen Ersatz für fossile Energieträger haben zu müssen.

## 6.3 Blackout

Die Energieform Strom ist unter den Energiearten die „edelste“, da man sie leicht in alle anderen Energieformen wandeln und problemlos zum Einsatzort transportieren kann (per Leitung).

Sind wir uns wirklich bewusst, wo überall Strom zum Einsatz kommt und was alles nicht mehr funktionieren würde, wenn plötzlich der Strom großflächig und anhaltend ausfiele? Alle Lebensbereiche wären betroffen!

Bei einem Blackout über mehrere Tage wäre betroffen:

- Licht (privat, öffentlicher Bereich)
- Kochen (elektrische Herde, Wasserkocher, keine warmen Malzeiten)
- Aufzüge, Automatiktüren,
- Kühlung (Kühltruhe, große Kühllager)
- Heizung (Brenner, Steuerung, Umwälzpumpen)
- Wasserver- und -entsorgung (Duschen, Waschen, Toilettenspülung …)
- Lebensmittelversorgung
  (keine Lieferungen wegen Kraftstoffmangel und Verkehrschaos)
- Tankstellen (Treibstoffpumpen fallen aus)
- Ärzte, Apotheken (keine Medikamentennachlieferung)
- Geldautomat, Kassen
- Kommunikation (Festnetz- und Mobiltelefon, Radio, TV)
- Bahnen (bleiben irgendwo stehen)
- Krankenhäuser, Dialysezentren, Intensivstation
- Rettungsdienste, Polizei, Gefängnisse (kein Notruf möglich)
- Verkehrsampeln (führt zu Unfällen und Verkehrschaos)
- Computer (alle! Internet, Verkehrsleitsysteme, Flugsicherung …)
- Landwirtschaft (z.B. Melkmaschine, Kühe verenden qualvoll)
- Wirtschaft, Industrie (Stillstand, bis zur Zerstörung der Produktionsanlagen)

Für besonders wichtige Einrichtungen gibt es Notstromaggregate. Der notwendige Dieselvorrat ist aber in der Regel nur für wenige Stunden oder Tage ausgelegt.

Mehr über die technischen Zusammenhänge beim Blackout erfahren Sie im 2. Teil des Buchs.

Was ein großflächiger, anhaltender Blackout zur Folge hat, wird eindrucksvoll in dem gut recherchierten Roman „BLACKOUT – Morgen ist es zu spät“ beschrieben. Wir kommen ganz schnell zu bürgerkriegsähnlichen Zuständen, wenn es um die blanke Existenz geht und wenn es keine funktionierende Lebensmittel-, Krankenversorgung und Polizei mehr gibt.

Wie die Energiewende mit dem massiven Umbau der Energieversorgungsstruktur auf volatile Energieerzeugungsanlagen (Windenergie- und Photovoltaikanlagen) die Gefahren eines Blackouts dramatisch erhöht, wird noch besprochen werden. *→K25.7*, *→K15.9*

Alle Entscheidungen, die das Risiko für einen Blackout erhöhen, müssen unbedingt unterlassen werden. Leider steuern wir mit der Energiewende auf einen gefährlichen Blackout zu.

# 37 Die Mobilitätsfrage

Das ist eine vielschichtige Thematik, die aus verschiedenen Aspekten besteht, die teilweise zusammengehörig und teilweise unabhängig voneinander gesehen werden können.

## 37.1 Mobilität der Zukunft

Wie heißt es so schön: *„Prognosen sind schwierig, insbesondere, wenn sie die Zukunft betreffen.“*[460] Hier werde ich nicht versuchen, die Zukunft vorherzusagen – das versuchen schon andere mit mäßigem Erfolg. Was aber geht, sind Trends zu erkennen, die auf absehbaren technologischen Entwicklungen oder sich abzeichnenden Problemen basieren. Eine durch den ADAC beauftragte Studie hat das für 2040 gemacht, der ich zu großen Teilen folgen kann.[461]

### Bedeutung der Mobilität als Teil des Lebens

> *„Die Art und Weise der Lebensführung wird individueller. Deshalb prägt kaum etwas unser Leben so sehr wie die Mobilität. Sie ist unentbehrlich. Mobil sein ist die Voraussetzung für soziale Teilhabe und gesellschaftlichen Fortschritt, für wirtschaftliches Wachstum, Selbstverwirklichung und individuellen Erfolg“,*

heißt es in der Studie sehr richtig.

> *„Die individuelle Mobilität entspringt dem Wunsch, selbst zu entscheiden, wann, wie und wohin man sich bewegt. Das hat dafür gesorgt, dass Mobilität weltweit zum Ausdruck von Freiheit, Unabhängigkeit, Individualität und Selbstbestimmung geworden ist. Das wird auch im Jahr 2040 noch so sein. […] Auch im Jahr 2040 wird daher das Auto noch der Garant für räumliche und zeitliche Flexibilität sein. […]* ***Gut drei Viertel davon werden auch in Zukunft auf das Auto zurückgehen. Damit bleibt das Auto auf absehbare Zeit das Verkehrsmittel Nummer eins.“*** *(Hervorhebung durch den Autor)*

### Unabhängige Aspekte

Wenn wir *„Mobilität der Zukunft“* hören, verbinden wir damit fast automatisch *E-Mobilität*. Das ist aber viel zu kurz gedacht, denn E-Mobilität fokussiert das Antriebssystem.

Die *Mobilität der Zukunft* muss sich mit verschiedenen Aspekten beschäftigen:

### *Anforderungen an die Konzepte*

Anforderungen, die die Menschen aufgrund ihrer Lebenssituation haben (Arbeit, Lebensort, Alter etc.), sind wichtig. Diese sind eben nicht gleich und erfordern unterschiedliche Lösungen, sofern man diese Anforderungen erfüllen will und kann. Anforderungen werden auch aus Wünschen und Vergleichen geboren. Man vergleicht mit dem, was man von früher kannte, und dem, was in anderen Teilen der Welt möglich ist.

### *Merkmale*

Ein wichtiger Aspekt sind die Merkmale, die Verkehrskonzepte zur Verfügung stellen können. So kann man z.B. Wartezeiten bei dem Übergang von einem auf ein anderes Verkehrsmittel kurz halten, man kann z.B. die Anzahl der Umstiege klein halten oder man kann den Reisekomfort verbessern. Solche Merkmale können durch unterschiedliche Konzepte erfüllt oder auch nicht erfüllt werden. Das hat z.B. nichts damit zu tun, ob der Bus mit Batterie, Oberleitung oder einem Verbrennungsmotor angetrieben wird.

Wenn das persönliche Auto – unabhängig davon, wie der Antrieb gelöst ist – für viele Mobilitätsfälle ersetzt werden soll, so muss man sich einige spezifische Vorteile des eigenen Autos bewusst machen:

- zu jeder Zeit Zugriff auf das Fahrzeug und den Start der Reise zu haben
- den Inhalt des Pkws und seines Kofferraums bis zur nächsten Nutzung unverändert lassen zu können (nicht so bei einem Leihwagen)
- den Transport von größeren, schweren Gegenständen zwischen zwei beliebig gelegenen Orten ohne Fahrzeugwechsel durchführen zu können
- (fast) jeden beliebigen Punkt anfahren zu können, der auch zu Fuß erreichbar ist
- von Start bis Ankunft komplett wetterunabhängig zu sein

Öffentliche Verkehrsmittel können das nicht leisten und bilden in Zeiten von Seuchen und Pandemien ein Hochrisiko. Aber man kann funktionale Verbesserungen erreichen, die durch die Digitalisierung ermöglicht werden. Das persönliche Auto ist dort verzichtbar, wo man mit seinen Nachteilen zu kämpfen hat (Parkplatzmangel) und akzeptable Alternativangebote vorhanden sind (kurz getakteter ÖPNV, Ruf-Taxen oder Ähnliches).

Eine zukünftige Funktion der Autos wird das *autonome Fahren* sein. Es ermöglicht z.B. entspannte Fahrten über lange Strecken. Die Fahrzeit kann anderweitig genutzt werden. Alte, nicht mehr selbst fahrtüchtige Menschen behalten ihre individuelle Mobilität. Auch könnten einige Probleme des ÖPNV gelöst werden: die Kombination vom Verzicht auf das persönliche Auto und von den Vorteilen eines individuellen Transportes mit hohem Komfort.

#### *Antriebskonzepte*

Dann haben wir die Antriebskonzepte, die man sich genauer ansehen kann. Hier stehen die Merkmale der Nutzer wie: Energiebedarf, Tankdauer, Reichweite, akzeptable Infrastruktur (grenzübergreifend), Kosten der Anschaffung und des Betriebs, Komfort etc. im Fokus. *→K37.3* Allgemeine Anforderungen, z.B. an die Energieeffizienz, kommen hinzu.

#### *Schadstoffe, Lebensqualität in Städten*

Ob Schadstoffe noch weiter gesenkt werden müssen und welcher Preis dafür zu bezahlen ist, darüber kann man unterschiedlicher Meinung sein. Ob die Lebensqualität steigt, wenn man den Individualverkehr stark einschränkt, ist sicher auch eine Frage der Perspektive.

#### *$CO_2$-Einsparung*

Die $CO_2$-Einsparung ist natürlich auch eine Frage der Verkehrs- und der Antriebskonzepte. Ein Schadstoff ist $CO_2$ jedenfalls nicht. Mehr hierzu: *→K37.4*

## 37.2 Politische Aspekte

Es ist nur folgerichtig, wenn sich ein großer Verwaltungs- und Regierungsapparat für nunmehr 512 Mill. Menschen (EU) gebildet hat, dass dieser zentral alles steuern und bestimmen will. Normale Marktmechanismen, die sensibel erkennen, welche Produkte der Kunde haben will, sind nicht mehr gefragt, nein, sie stören die Selbstherrlichkeit, mit der die Technokraten sich anmaßen, für alle zu denken und zu entscheiden. Im Rahmen der Dekarbonisierungsziele hat man auch entschieden, dass die E-Mobilität das ist, was die Bürger zu wünschen haben. Demzufolge herrscht auch in der Mobilitätsfrage mittlerweile Planwirtschaft.

Die EU hat daher beschlossen, dass für Neuzulassungen die $CO_2$-Flottengrenzwerte der Automobilhersteller immer weiter sinken müssen.

| Neuzulassung ab | Gramm $CO_2$ pro km | Diesel-Äquivalent pro 100 km |
|---|---|---|
| 2015 | 135 | 5 Liter |
| 2020 | 95 | 3,5 Liter |
| 2030 | 59 | 2,2 Liter |

Tabelle 37-1: Diesel-Äquivalente

Dass das technisch nicht möglich ist, wissen die Bürokraten auch.[462] Der Gedanke ist einfach: Da E-Pkw mit null $CO_2$-Emissionen gerechnet werden und viele Kunden weiterhin leistungsstarke Fahrzeuge verlangen, müssen immer mehr E-Pkw verkauft werden.[A] Über diesen Umweg braucht man keine direkte Verkaufsquote für E-Pkw festzulegen, die man als dirigistisch kritisieren könnte.

Warum Hersteller wie Audi, BMW und andere derzeit Milliarden in die neue Technologie investieren, liege ganz wo anders, meint Prof. Wellnitz:[448]

> *„Zum einen lassen sich Milliarden an EU-Fördergeldern kassieren. Daneben bewahren E-Autos die großen Hersteller vor Strafzahlungen wegen Nichterreichens der europäischen Klimavorgaben, da sie mit angeblichen Zero-Emissionsmodellen den Flottenmix nach unten drücken. Es geht selbstredend auch um das Markenimage, um ein grünes Mäntelchen und um Technologiekontrolle. Man baue die E-Autos im Wissen, dass sie alles andere als die automobile Zukunft seien. ‚Es zu machen ist billiger, als es nicht zu machen', hat mir mal ein Automanager gesagt! ‚Es ist sinnlos, aber es kostet weniger.'"*

Für die Automobilindustrie bedeutet das disruptive Veränderungen. Die Konsequenzen sind im Gange: massiver Abbau von Arbeitsplätzen und Existenzbedrohung der Zulieferindustrie, die als Mittelständler nicht so problemlos ins Ausland ausweichen können wie die Großindustrie. Für Deutschland bedeutet es den Verlust einer Schlüsselindustrie.

In diesem Zusammenhang sind drei Aspekte von Interesse:

- Welche alternativen Antriebskonzepte gibt es?
- Wie sieht die $CO_2$-Bilanz tatsächlich aus?
- Welche Konsequenzen hat die weitgehende Umstellung auf E-Mobilität?

[A] Prof. Sinn nennt das eine „Schummel-Verordnung"

## 37.3 Antriebskonzepte

Die Sektorkopplung verlangt, dass die Energie für den Sektor Verkehr weitestgehend aus VEE-Strom kommen muss.

Wenn die Antriebsenergie nicht kontinuierlich zugeführt wird, wie bei Oberleitungen, muss es einen ***Energiespeicher*** im Fahrzeug geben. Weiterhin muss es mindestens einen ***Energiewandler*** in der Energiekette geben. Der letzte Energiewandler erzeugt die Traktion (mechanische Antriebskraft). Schließlich muss eine sinnvolle Lösung existieren, wie der ***Energietransport*** in den Energiespeicher vorgenommen wird und was der ***Energieursprung*** ist. Es gibt also eine ganze Reihe von Möglichkeiten und Kombinationen, wie man das lösen kann.

Die wichtigsten Alternativen sind in *Tabelle 37-2* dargestellt.

| Alternative | Energie-ursprung | Wandlung, gepeichert | Energie-transport | **Energie-speicher** | **Energie-wandler** | **η ≈** | **Abb.** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Diesel-Pkw | Rohöl | Diesel | Tankwagen, Tankstelle | Tank für Kraftstoff | Dieselmotor | 0,33 | - |
| 1. E-Pkw | VEE-strom Über-gangs-weise mit Strom-mix | (Speicher im Netz) | Stromnetz | Lithium-Batterie | Elektro-motor | 0,7[463] | *Abb. 37-1* |
| 2. $H_2$ | | $H_2$ Erzeugung, Speicherung | $H_2$ Tankwagen, Tankstelle | $H_2$-Tank, 700 bar | Brennstoff-zelle, (Batt.), E-Motor | 0,27 | *Abb. 37-2* |
| 3. $H_2$ | | | | | $H_2$-Motor | 0,18 | *Abb. 37-3* |
| 4. Methan | | $CH_4$ Erzeugung, Speicherung | Erdgasnetz, Gas-tankstelle | Gastank, 200 bar | Brennstoff-zelle, (Batt.), E-Motor | 0,23 | *Abb. 37-4* |
| 5. Methan | | | | | Gas-Motor | 0,13 | *Abb. 37-5* |
| 6. E-Fuel | | Diesel, Benzin | Tankwagen, Tankstelle | Tank für Kraftstoff | Verbren-nungsmotor | 0,13 | *Abb. 37-6* |
| 7. E-Fuel | | | | | Verbr.motor Generator, Batt. + E-Motor | 0,14 | *Abb. 37-7* |

Tabelle 37-2: Antriebsalternativen

Grundsätzlich muss man unterscheiden zwischen der heutigen (Zeile „Diesel-Pkw“) und der künftigen Lösung über VEE-Strom.

Der durchschnittliche Gesamtwirkungsgrad η bezieht sich auf die Ausgangsenergie: beim heutigen Verbrennungsmotor auf den Dieseltreibstoff und bei den übrigen auf den erzeugten VEE-Strom.[464] Der Wirkungsgrad bezogen auf den VEE-Strom ist eine wichtige Größe, da dieser unmittelbar den VEE-Ausbau bestimmt. So ist für die Variante „6. E-Fuel“ im Vergleich zu „1. E-Pkw“ das 5,4-Fache an VEE nötig.

Sicher ist die Tabelle nicht vollständig, aber sie gibt einen guten Überblick über die wichtigsten Möglichkeiten und die Größenordnungen der Energieeffizienz.

Alle folgenden Grafiken hinterlegen die Komponenten, die sich im Fahrzeug befinden, mit einer dunklen Fläche.

### *1. Batteriegestützte E-Mobilität*

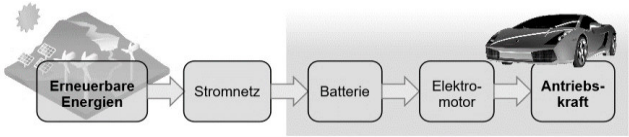



Abb. 37-1: Batteriegestützte E-Mobilität

Das ist die propagierte Lösung für die Zukunft, weil hiermit die Schadstoffbelastung in den Städten vermindert wird und angeblich die $CO_2$-Emissionen für das Klimaziel reduziert werden. Weitere Erläuterungen siehe: *„CO2-Einsparung“* →S365 und *„Umstellung auf E-Mobilität“.* →S368

### *2. Wasserstoff mit Brennstoffzelle*

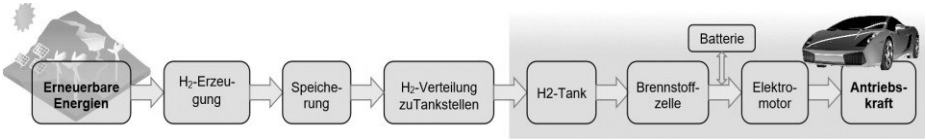



Abb. 37-2: Wasserstoff mit Brennstoffzelle

Über Elektrolyse wird Wasser in Wasserstoff ($H_2$) und Sauerstoff getrennt. Vergleichbar einer Raffinerie muss der Wasserstoff bevorratet, also gespeichert, werden. Das kann nur unter hohem Druck oder unter tiefen Temperaturen (-253°C mit dauernden Verlusten) geschehen. Verfechter der Wasserstoffwirtschaft schlagen ein Pipelinesystem für die Verteilung, ähnlich dem heutigen Erdgasnetz, vor.[465] Dies ermöglicht zwar den Transport großer Mengen an Wasserstoff unter mittlerem Druck (10-50 bar), bedeutet aber eine immense Investition und Kosten für den Betrieb, der zu dem Herstellungspreis des Wasserstoffs hinzuzurechnen ist. So nicht erschließbare Verbrauchsorte müssen über spezielle Fahrzeuge beliefert werden.

Auch dort besteht die gleiche Speicherproblematik. An der Wasserstofftankstelle nimmt das Fahrzeug den Energieträger ($H_2$) auf und speichert diesen unter sehr hohem Druck (bis 700 bar) in einem speziellen Druckbehälter. Über eine Brennstoffzelle kann der Wasserstoff unter Luftzufuhr in Wasser und Strom gewandelt werden. Um hohe, plötzliche Lastwechsel durch den E-Motor effizient abfangen zu können, kann eine kleine zusätzliche Batterie vorgesehen werden. Damit kann dann bei gutem Wirkungsgrad des E-Motors die ursprüngliche Energie (zum Teil) in Traktion gewandelt werden. Die Reichweite von Wasserstoffautos ist grundsätzlich größer als bei batteriebasierten Pkws.

### *3. Wasserstoffmotor*

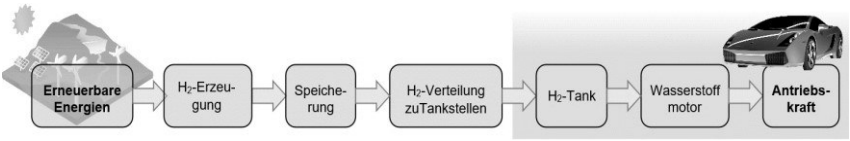



Abb. 37-3: Wasserstoffmotor

In dieser Variante geht man nicht über den Umweg, aus $H_2$ zunächst Strom zu machen und dann einen Elektroantrieb zu verwenden, vielmehr wird der Wasserstoff direkt in einem speziellen Verbrennungsmotor in Traktionsenergie gewandelt. Allerdings ist durch den schlechten Wirkungsgrad des $H_2$-Verbrennungsmotors (≈ 0,28) der Gesamtwirkungsgrad schlechter.

### *4. Methan mit Brennstoffzelle*

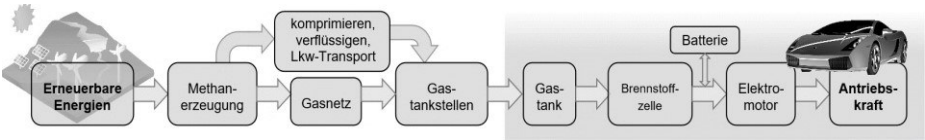



Abb. 37-4: Methan mit Brennstoffzelle

Grundsätzlich kann man das, was man mit Wasserstoff macht, auch mit Methan machen. Methan hat zwar den Nachteil, dass es höhere Verluste bei der Herstellung aus VEE-Strom aufweist, ist aber dafür leichter zu transportieren und zu handhaben. So kann Methan im Erdgasnetz transportiert werden, weil Methan der Hauptbestandteil von Erdgas ist. Außerdem sind die Drücke bei den Tanks nicht so hoch, und die Siedetemperatur ist nicht so niedrig wie bei Wasserstoff. Das Wandlungsprinzip im Pkw ist das gleiche wie zuvor.

### 5. Methan mit Gasmotor

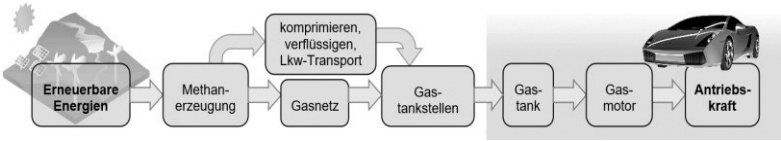



Abb. 37-5: Methan mit Gasmotor

Auch hier wird, wie in Variante 3, der Energieträger (hier Methan/Erdgas) direkt in einem Motor in Antriebsenergie umgesetzt.

### 6. E-Fuels mit Verbrennungsmotor

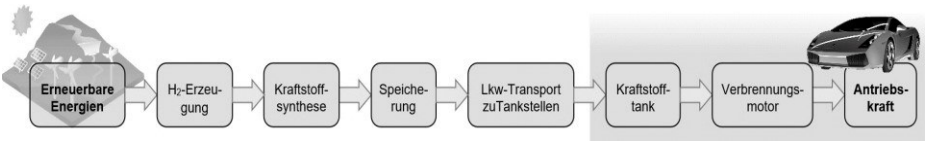



Abb. 37-6: E-Fuels mit Verbrennungsmotor

Die bestechende Idee dieses Konzepts ist, dass die gesamte Kette der Energienutzung die gleiche ist, sobald E-Fuel (aus VEE-Strom hergestellter Kraftstoff) vorliegt. Damit können die Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren und auch die Infrastruktur (Kraftstofftransport und Tankstellen) weiterverwendet werden. Der Pferdefuß dieser Variante liegt in dem schlechten Wirkungsgrad ab dem VEE-Strom und in den Herstellkosten für solchen Kraftstoff. →K30.2

### 7. E-Fuels mit E-Motor

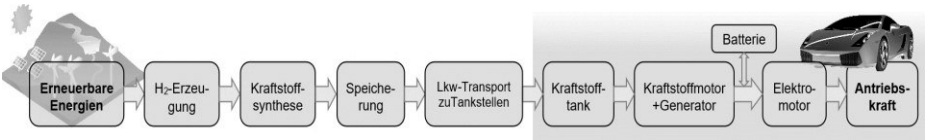



Abb. 37-7: E-Fuels mit E-Motor

Diese Variante versucht den Gesamtwirkungsgrad zu verbessern, indem der Verbrennungsmotor im Fahrzeug immer im optimalen Arbeitspunkt betrieben wird. Zur Pufferung wird eine (eher kleine) Batterie benötigt. Der Nachteil des zusätzlichen Wandlungsschrittes über Strom muss für einen verbesserten Wirkungsgrad akzeptiert werden. Der größere Aufwand führt aber zu höheren Fahrzeugkosten.

## 37.4 $CO_2$-Einsparung

Der Strom für das Laden der Batterie im E-Pkw kommt aus dem Stromnetz. Damit findet der $CO_2$-Ausstoß nicht am Pkw statt, sondern wird in die Kraftwerke verlagert. Meistens wird die geladene Kilowattstunde mit einem $CO_2$-Ausstoß gerechnet, wie er sich aus dem Strommix ergibt, also anteilig. Das ist aber falsch, weil der *zusätzliche* Strom aus *höherer Kraftwerksleistung* kommen muss, denn für den Mehrbedarf an Strom läuft kein Windrad schneller und keine PV-Anlage springt zusätzlich an. Da VEE ***Vorrangeinspeisung*** genießt, wird alles, was an EE-Strom erzeugt werden kann, ins Netz geleitet, unabhängig davon, wie viele E-Pkw gerade geladen werden. Insofern zählt eigentlich nur der $CO_2$-Wert des Kraftwerkmix[A], nicht der Strommix. Kommt der EE-Stromanteil allerdings nahe 100 %, stimmt diese Vereinfachung nicht mehr. Erst bei hohem EE-Stromanteil (etwa ab 60 %) sind die Überschussenergien so groß, dass ein Teil davon in die höhere Last fließt, also in die Autobatterien.

Auch wenn ein Elektroauto mit Strom aus einer eigenen Photovoltaikanlage geladen wird, führt die Anschaffung des Elektroautos nicht zu einer Verbesserung der $CO_2$-Bilanz.

Die $CO_2$-Minderung kommt durch die Photovoltaikanlage, **nicht durch den Verbraucher** (z.B. Elektroauto) zustande.

Eine schwedische Studie[466] hat ermittelt, dass für eine Batterie je Kilowattstunde Speicherkapazität durch die Produktionsprozesse zwischen 150 und 200 Kilogramm Kohlendioxid freigesetzt werden.[467] Wenn man den $CO_2$-Ausstoß für die Produktion des entscheidenden E-Pkw-Teils, der Batterie, einbezieht, so ist es nur recht und billig, dies auch für die Anteile bei der Herstellung des Kraftstoffes für Verbrennungsmotoren zu tun. Der Zuschlag von 15 % für die Vorkette der Kraftstoffherstellung ist in den nachfolgenden Berechnungen enthalten.

Um die Reichweite der E-Pkw zu steigern, wird vorrangig die Batteriekapazität erhöht. Wenn man künftig von einer Kapazität von 100 kWh ausgeht, so sind bereits 15.000 bis 20.000 kg $CO_2$ angefallen, ohne dass das E-Auto nur einen Kilometer gefahren ist.

Machen wir folgenden Vergleich:

1. ein Pkw mit Verbrennungsmotor mit 110 g/km[B] und

[A] Im Gegensatz zum *Strommix*, der alle Stromerzeuger berücksichtigt, bezieht sich der *Kraftwerkmix* nur auf die Stromerzeuger, die $CO_2$ freisetzen.

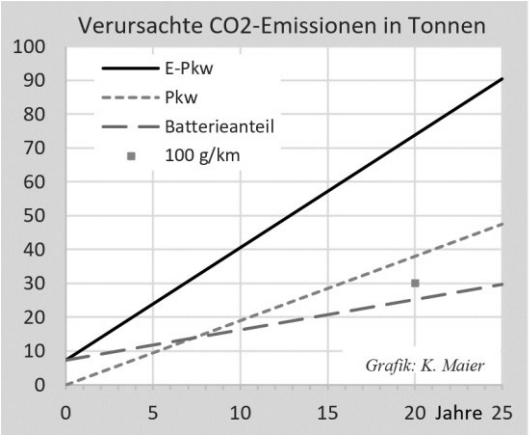
[B] Ab 2020 müssen die Flotten der Autohersteller einen durchschnittlichen $CO_2$-Wert von 95 g/km einhalten; das sind 109 g/km inklusive 15 % Zuschlag für die Vorkette.

2. ein **E-Pkw in Szenarien um 2030 und 2045**
   mit einer Stromversorgung mit 65 % und 85 % EE-Strom

*Anmerkung: Die $CO_2$-Emissionen bei der Herstellung der Pkws wurden als annähernd gleich angenommen und damit im Vergleich vernachlässigt.*

### *Szenario 1: 65 % EE-Strom – etwa 2030*

Wie oben erläutert, ist für die $CO_2$-Bilanz der Mix der fossil betriebenen Kraftwerke relevant, die den zusätzlichen Strom beisteuern müssen. 2023 sind die heute noch laufenden KKWs abgeschaltet. Es wird angenommen, dass die EE 65 % erreicht haben. Die übrigen 35 % werden aus Kohle- und Gas-KWs erzeugt. Aus den so gebildeten Parametern ergibt sich der dargestellte $CO_2$-Ausstoß über die Jahre der Nutzung eines Pkws.




| Parameter | |
|---|---|
| 0 | kg $CO_2$ PKW-Herstellung |
| 0 | kg $CO_2$ E-PKW-Herstellung |
| 15.000 | km/a Jahreslaufleistung |
| 60 | kWh Batteriekapazität |
| 120 | kg/kWh Batterieherstellung |
| 8 | Jahre Batterielebensdauer |
| 25 | kWh/100km Stromerzeugung |
| 0,805 | kg CO2/kWh foss. Kraftw.-Mix |
| 0,65 | Ökostromanteil |
| 110 | g/km Verbrennungsmotor |

Abb. 37-8: Pkw-Vergleich für Kaufjahr 2030

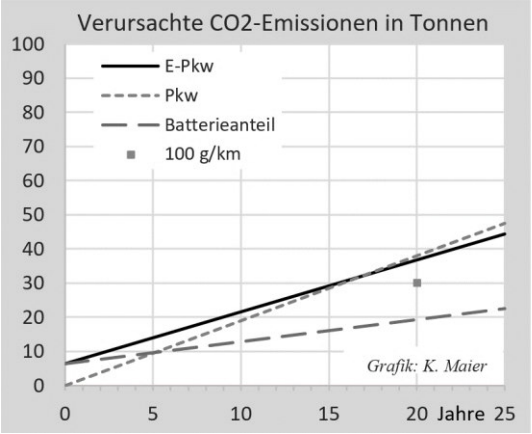
*Hinweis: Die Energieverbrauchsangaben der Hersteller sind unter günstigen Bedingungen ermittelt und repräsentieren nicht die Alltagsrealität. Beispiel Verbrauch Tesla S P85D: Angegeben: 18,1 kWh/100 km. Tatsächlich (ADAC): 24,2 kWh/100 km (je nach Fall: 21 bis 32 kWh/100 km) an Batterie gemessen.*[468]

Unter den gemachten Annahmen schneidet der E-Pkw über die gesamte Nutzungszeit deutlich schlechter ab als der Pkw mit Verbrennungsmotor (*Abb. 37-8*).

### *Szenario 2: 85 % EE-Strom – etwa 2045*

Der gesamte konventionelle Stromanteil (15 %), wird durch Gas-KWs gedeckt. Sollte es 2045 noch Pkw mit Verbrennungsmotoren geben, so werden diese hier weiterhin

mit 110 g $CO_2$/km angenommen (als Repräsentant eines Allzweckfahrzeugs). In Zukunft werden die Batteriekapazitäten größer sein als heute, da die E-Pkw spätestens dann universell einsetzbar sein müssen (Reichweite). Es wird unterstellt, dass dann auch der $CO_2$-Ausstoß für die Batterieproduktion deutlich reduziert sein wird.




**Parameter**

0 kg $CO_2$ PKW-Herstellung
0 kg $CO_2$ E-PKW-Herstellung
15.000 km/a Jahreslaufleistung
80 kWh Batteriekapazität
80 kg/kWh Batterieherstellung
10 Jahre Batterielebensdauer
25 kWh/100km Stromerzeugung
0,55 kg CO2/kWh foss. Kraftw.-Mix
0,85 Ökostromanteil
110 g/km Verbrennungsmotor

Abb. 37-9: Pkw-Vergleich für Kaufjahr 2045

In dieser Zukunftsvariante hat sich der Unterschied verkleinert, aber immer noch verursacht der E-Pkw in den ersten 15 Jahren mehr $CO_2$ als der Pkw. Erst danach schneiden sich die beiden Kurven und der E-Pkw wird etwas günstiger. Wie viel Prozent der Fahrzeuge werden überhaupt länger als 15 Jahre gefahren?

Die angesetzten Parameter sind letztlich ein Stück weit willkürlich, weil keiner so weit in die Zukunft schauen kann. Natürlich kommt man mit anderen Parametern zu anderen Werten. Grundsätzlich wird es für den E-Pkw günstiger, wenn:

- der $CO_2$-Ausstoß für die Batterieherstellung geringer ist
- die Batteriekapazität geringer ist
- die Batterieaustauschzykluszeit größer wird
- der $CO_2$-Ausstoß des fossilen KW-Mix geringer wird und wenn
- der $CO_2$-Ausstoß des Vergleichs-Pkw mit Verbrennungsmotor größer ist.

Zu bedenken ist, dass der E-Pkw z.B. bei kaltem Wetter deutlich mehr elektrische Energie pro Kilometer braucht.
Das bedeutet auch, dass der $CO_2$-Wert in gleichem Maße steigt.

Unterstellt man die angesetzten Parameter als realistisch, so haben die E-Pkw aus $CO_2$-Sicht bis etwa 85 % EE-Stromanteil deutliche Nachteile.

## 37.5 Umstellung auf E-Mobilität

Was im Fahrzeug mit dem Strom passiert, wurde beschrieben. Nun geht es darum, wo der Strom herkommt und wie er in die Fahrzeuge kommt. Natürlich geht es nicht um die Frage, ob E-Mobilität funktioniert, sondern wie realistisch eine *generelle Umstellung* auf E-Mobilität ist. Dazu möchte ich einige Fragen aufwerfen.

### Wie viel Strom brauchen wir zusätzlich?

Die für die Mobilität 2015 benötigte Endenergie lag bei 720 TWh. Da bei Kraftstoffen die Endenergie mit der thermischen gleichzusetzen ist, aber für die Antriebe die mechanische Energie des Motors entscheidend ist, liegt dazwischen der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors.

Die Annahme sei, dass der Individualverkehr mit etwas Straßengüterverkehr auf batteriebasierte E-Mobilität umgestellt werden soll. Bisher haben nur die Bahnen (DB, S- und U-Bahnen) Oberleitungen. Fahrzeuge mit Oberleitungen (Lkws und Busse mit Oberleitungen) sollen dazu kommen. Was sonst noch an Kraftstoffen benötigt würde, soll importiert werden, also unsere Stromversorgung nicht belasten.

Unter diesen Annahmen müssen pro Jahr rund 320 TWh mehr Strom erzeugt werden.[469] Dies bedeutet eine zusätzliche Durchschnittsleistung von rund 37 GW. Das entspricht rund 35 Großkraftwerken oder rechnerisch ca. 68.000 3 MW Windenergieanlagen (ohne Speicher, Verluste und Dimensionierungssicherheiten).

Für die weitgehende Umstellung auf E-Mobilität sind rund 50 % mehr Strom zu erzeugen als heute.

Die zusätzlich zu erbringende Spitzenleistung liegt bei 45 GW.

### Wie volatil darf der Strom sein?

Es dürfte wohl unstrittig sein, dass Mobilität nicht von Großwetterlagen abhängig sein darf. Das bedeutet, dass diese Energie von 320 TWh/a, die über VEE zu erzeugen sind, über zusätzlichen Speicher (auch saisonal) ausgeglichen werden muss.

Die weitgehende Umstellung auf E-Mobilität erfordert eine zusätzliche Speicherkapazität von rund 25 TWh (netto).
Das entspricht 5.000 großen PSKWs.

### Wird das Autofahren billiger?

Das hängt davon ab, aus welcher Perspektive man das betrachtet. Heute werden die Betriebskosten für E-Pkw nur durch die Brille der Stromkosten gesehen. Es gibt immer die Möglichkeit, durch Subventionen, Kostenverlagerungen oder Steuermaßnahmen die Kosten für ein Produkt wesentlich zu beeinflussen. Der Wegfall der Energiesteuer (vormals „Mineralölsteuer“) von rund 40 Mrd. €/a ist natürlich auch zu berücksichtigen. Diese Mindereinnahme hat dann die E-Mobilität verursacht und kann nicht vernachlässigt werden.

Für mich ist allein die volkswirtschaftliche Sicht entscheidend, nicht eine irgendwie beeinflusste persönliche Sicht. Aber auch da kommt es auf das unterstellte Szenario an. Nehmen wir das in diesem Buch berechnete und dokumentierte Szenario 7[A] als Repräsentant der fiktiven Zukunft.

Volkswirtschaftliche Mehrkosten[B] von über 400 Mrd. €/a, in denen die Mobilität ein nicht unwesentlicher Teil ist, können sicher nicht zu akzeptablen Mobilitätskosten führen.

Ein daraus resultierender Strompreis von 1,35 €/kWh führt bei 20 kWh/100 km zu 27 € auf 100 km. Zum Vergleich: Bei 6 Liter/100 km und 1,50 €/Liter wären die Benzinkosten 9 € auf 100 km. Nimmt man die Energiesteuer vom Benzinpreis, um es fairer vergleichen zu können, so sind die Verbrauchskosten mit Strom rund 5-fach höher.

Die E-Mobilität wird volkswirtschaftlich um ein Vielfaches teurer gegenüber heute.

[A] Das Szenario 7 ist gekennzeichnet durch: 90 % $CO_2$-Einsparung gegenüber 1990; Einsatz von P2H-Technik; starker Einsatz von Solarthermie (Gebäude); P2G-Technik ist großtechnisch verfügbar und erzeugt synthetisches Methan, das verwendet wird für Rückverstromung (Langzeitspeicher) und teilweise für Gas-Pkw, Heizungen; teilweise Import von synthetischem Methan; starker Einsatz von E-Mobilität; Einsatz von CCS. →K40.2

[B] Mehrkosten beziehen sich immer auf eine Energieversorgung die wir heute ohne Energiewende hätten.

### Wo „tanken“ wir den Strom fürs Fahren?

Die oben genannten 37 GW an zusätzlicher Leistung sind ein Mittelwert über das Jahr und das gesamte Land. Der Spitzenwert von geschätzten 45 GW ist zwar ein zeitlicher Spitzenwert, aber auch über das ganze Land gemittelt.

Spitzenwerte sind für Worst-Case-Betrachtungen von Bedeutung. Sie spielen bei der Dimensionierung von Leitungen die entscheidende Rolle. Jede Leitung muss die maximale Spitzenleistung aushalten. Welche Leistungen fallen an, wenn man an das Laden der Fahrzeugbatterien denkt?

Man muss unterscheiden zwischen den akzeptablen Langzeitladungen, z.B. 8 Stunden über Nacht oder während der Arbeit, und der Schnellladung, z.B. 30 bis 60 Minuten, wenn man auf Reisen ist. Gehen wir folgend von einer durchschnittlichen Batteriekapazität von 60 kWh (für 200 bis 300 km) aus, weil künftig der Wunsch nach einer größeren Reichweite befriedigt werden muss und die Batteriekosten vermutlich fallen[470] werden.

Die Leistung für eine Nachtladung ist dann 7,5 kW, gleichmäßig über 8 Stunden. Ein Hausanschluss wird heute meist mit 3 mal 63 Ampere abgesichert. Er kann mit bis zu 43 kW belastet werden. Dieser hohe Wert resultiert aus der Summe gleichzeitig eingeschalteter Verbraucher.[471] 7,5 kW zusätzlich bedingen, dass einige der angenommenen Verbraucher nicht eingeschaltet sind, was in der Nacht zutreffen dürfte. Das sollte also gehen. Die durchschnittliche Jahresleistung beträgt aber nur 0,5 bis 1 kW pro Haushalt. Der Ladevorgang benötigt somit rund 10-fach mehr Leistung als im Jahresdurchschnitt. Wird die Anschlussleistung weitgehend für das Laden ausgeschöpft, kommt man auf mehr als das 40-Fache.

Je mehr Verbraucher in einer Straße oder einem Ortsteil mit einer Leitung versorgt werden, umso mehr kann man mit durchschnittlichen Leistungen rechnen, weil Spitzenleistungen eben bei allen nie gleichzeitig vorkommen. Ist die weitgehende Umstellung auf E-Mobilität erreicht, laden aber sehr viele gleichzeitig. Damit kann die Dimensionierung mittels Durchschnittswerten (+ Sicherheitszuschlag) nicht mehr erfolgen. Die vorhandene Leitungsinfrastruktur ist damit völlig überfordert. Die Folge ist, dass das Leitungsnetz in allen Teilen grundsätzlich verstärkt werden muss. Dabei meint Verstärkung: neue Erdkabel, zusätzliche Verbindungsleitungen, Transformatoren austauschen, vorhandene Schaltanlagen auf mehr Leistung umrüsten und neue bauen. Das heißt, es bedarf einer grundsätzlichen Neuordnung des Netzes. Das verursacht erhebliche Kosten, die letztlich der Stromkunde tragen muss.

Für Mittelständler, die mehrere Fahrzeuge haben und die auch mal tagsüber spontan und schnell nachladen müssen, verschärft sich der Unterschied zwischen dem Durchschnitts- und dem Spitzenwert der Leistung.

Sehen wir uns die Autobahntankstellen an. In der Zukunft sind fast alle Fahrzeuge, die heute Kraftstoffe tanken, dann mit Strom zu laden (so der Plan). Nehmen wir einen Kraftstoffumsatz von 7.000 Liter/h in der Tagesspitze[472] an, so entspricht das rund 25.000 kWh/h, die für E-Fahrzeuge bereitzustellen sind. Der Elektroanschluss für eine solche BAB-Tankstelle wäre somit auf 25 MW auszulegen (mit Sicherheitszuschlag auch 30 bis 40 MW). Es handelt sich um einen Leistungsbedarf, der etwa einer 30.000-Einwohner-Stadt entspricht.

Eine Autobahntankstelle benötigt einen Anschluss an das Mittelspannungsnetz, so wie eine Mittelstadt.

Da Schnellladevorgänge die Batterielebensdauer reduzieren und der Füllstand auf meist 80 % beschränkt ist, dürften die Ladevorgänge an BAB-Tankstellen im Mittel wohl bei rund 1 Stunde liegen. Damit belegt ein E-Pkw die Ladesäule deutlich länger als der Pkw die Tanksäule. Es ist also erheblich mehr Platz nötig, um die lange stehenden Fahrzeuge zu versorgen. Es werden mindestens 25-fach mehr Ladesäulen als Tanksäulen benötigt.[473] Wo ist dieser Platz vorhanden?

Tankstellen, die sich auf Ladetechnik umstellen, werden mindestens 25-fach mehr Platz benötigen als heute. Das ist insbesondere für Tankstellen in Städten nicht machbar.

# 42 Anhang

## 42.1 Glossar

Zusätze zur Energie: th = thermisch, el = elektrisch, me = mechanisch; Beispiel: kWh(th)

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| ABF, Ausbaufaktor | Der Ausbaufaktor von 1 entspricht dem Umfang von WEA und PVA in 2013 bzw. 2019 (wird angegeben). Der Ausbaufaktor von z.B. 2 heißt doppelt so viel →*Nennleistung* von WEA und PVA. Das SVS-Modell weist auch die Nennleistungen aller VEE (Onshore, Offshore, PV) aus.<br>Der berechnete Ausbaufaktor für 2013 kann umgerechnet werden für den Bezug auf 2019 mit dem Faktor 0,637.<br>Der Ausbaufaktor ist eine relative Größe ähnlich den verwendeten Begriffen *Lastfaktor* und *Verbrauchsfaktor.*<br>Aus den maximalen Nennleistungen für Onshore, Offshore und PV ergeben sich Verhältniswerte, die beibehalten werden, wenn der Ausbaufaktor verändert wird. |
| Abregelung | Maßnahme, die bewirkt, dass ein bestimmter Teil der VEE-Leistung nicht eingespeist, abgeschaltet oder gedrosselt wird. |
| Abregelungsverluste, Ausfallarbeit | Die Erneuerbare Energie, die wegen Abregelung nicht eingespeist werden kann. Damit sind Kosten verbunden. |
| AGW | Anthropogenic Global Warming = menschengemachte globale Erwärmung |
| Ausbaugrenze, Ausbaupotenzial | Es ist der Umfang an VEE-Anlagen, die unter halbwegs realistischen Annahmen maximal auf deutschem Boden, bzw. in Nord- und Ostsee, errichtet werden können. Ist der →*Ausbaufaktor* bzw. die entsprechende →*Nennleistung* größer als die *Ausbaugrenze*, so ist der Ausbau nicht realisierbar. |
| Backup-KW | Auch *Schattenkraftwerk* oder *Reserve-KW* genannt. Sie müssen einspringen, wenn →*fehlende Energie* auftritt und durch Speicher nicht gedeckt werden kann. So kann die Stromversorgung bei VEE-Erzeugungsmangel sichergestellt werden. Solche KWs müssen weit unterhalb ihrer normalen Rentabilitätsgrenze betrieben werden und liefern daher teuren Strom. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| BHKW | Blockheizkraftwerk; ein BHKW nutzt die bei der Stromerzeugung anfallende Wärme und hat damit einen deutlich höheren Wirkungsgrad als Kraftwerke, die nur Wärme oder nur Strom abgeben. Das Problem ist, dass Wärme- und Stromerzeugung nicht unabhängig gesteuert werden können *(→KWK*). Wird die Anlage „stromgeführt“, ist Wärme das nicht steuerbare Abfallprodukt; wird sie „wärmegeführt“, ist Strom das nicht steuerbare Abfallprodukt. |
| Biomasse | Biomasse sind Energiepflanzen, Holz oder Reststoffe wie z.B. Stroh, Biomüll oder Gülle. Holz wird meist als $CO_2$-neutral bezeichnet, ist es aber nicht, da es unter Energieaufwand geerntet, transportiert und gegebenenfalls getrocknet und gepresst wird. |
| Blackout | Als Blackout bezeichnet man den großflächigen, ungeplanten Ausfall der Stromversorgung. Für länger anhaltende Blackouts gibt es Notfallpläne (Katastrophenfall). Um einen Blackout zu vermeiden können Großverbraucher (bis zu Stadtteilen) abgeschaltet werden, was auch mit dem Begriff →*Brownout* bezeichnet wird. |
| Brownout | Der kontrollierte Brownout ist eine gezielte Lastreduktion im Stromnetz. Die Übertragungsnetzbetreiber nehmen große Stromverbraucher oder ganze Stadtviertel vom Netz und verhindern so einen weitreichenden Systemzusammenbruch. |
| Carbon Leakage | Der Begriff *Carbon Leakage* bezeichnet eine Situation, die eintreten kann, wenn Unternehmen aufgrund der mit Klimamaßnahmen verbundenen Kosten ihre Produktion in andere Länder mit weniger strengen Emissionsauflagen verlagern. |
| CCS | *Carbon Capture and Storage*. Es geht um das Auffangen von $CO_2$ (z.B. aus großen Verbrennungsanlagen) und die Speicherung im Untergrund. Die Verpressung im Boden wird kritisch gesehen. Es ist fraglich, ob globale Klimaschutzziele international langfristig ohne CCS erreicht werden können. |
| CNG | *Compressed Natural Gas*; auf ca. 200 bis 250 bar verdichtetes Erdgas. Durch seine hohe Energiedichte und seine geringen Emissionswerte eignet es sich gut zum Betrieb von Fahrzeugen, die dafür mit einem entsprechenden Hochdrucktank ausgestattet sein müssen. Siehe auch →*LNG*. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Dekarbonisierung | Bezeichnet die Umstellung der Wirtschaftsweise, speziell der Energiewirtschaft, in Richtung eines niedrigeren Umsatzes von Kohlenstoff. Der Klimaschutzplan 2050 ist dazu das politische Umsetzungsinstrument. |
| Differenzkosten | Die Differenzkosten des →*EEG* ergeben sich aus den gezahlten Vergütungen der Übertragungsnetzbetreiber an die EE-Stromerzeuger abzüglich ihrer durch den Verkauf des EEG-Stroms erzielten Einnahmen. |
| EE | Erneuerbare Energien. Sie bestehen aus den →*Planbaren EE (PEE)* und den →*Volatilen EE (VEE).* |
| EEG | Erneuerbare-Energien-Gesetz. Das deutsche Erneuerbare-Energien-Gesetz regelt die bevorzugte Einspeisung von Strom aus erneuerbaren Quellen ins Stromnetz und garantiert deren Erzeugern feste Einspeisevergütungen. Darüber hinaus gibt es weitere Regelungen. |
| E-Fuels | →*synthetische Kraftstoffe* |
| Endenergie | Ist der nach Energiewandlungs- und Transportverlusten übrig gebliebene Teil der Primärenergie, der beim Verbraucher ankommt. |
| Entladeleistung | Leistung, die zum betrachteten Zeitpunkt aus dem als zentral modellierten Speicher in das Stromnetz fließt. Der Maximalwert ist der höchste, der jemals in einer Viertelstunde im simulierten Jahr auftrat. Siehe auch →*Ladeleistung.* |
| ESV1 | Energiebedarf an *gesichertem Strom* aus dem →*SVS* |
| ESV2 | Energiebedarf an *volatilem Strom* von den →*VEE-Erzeugern* für →*P2X-Anlagen* |
| EU-ETS | EU Emissions Trading System. Der EU-Emissionshandel ist ein Instrument der EU-Klimapolitik mit dem Ziel, die Treibhausgasemissionen (hauptsächlich $CO_2$) unter möglichst geringen volkswirtschaftlichen Kosten zu senken. |
| EW | Energiewende |
| fehlende Energie, fehlende Leistung | Die Energie/Leistung, die bei VEE-Flaute und leerem Speicher fehlt, um den Strombedarf zu decken. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Flexibilisierung | Konzept für die Annäherung von Angebot (VEE) und Stromnachfrage, indem Stromverbrauch (z.B. Waschmaschine, Kühlschrank) zeitlich verschoben wird, wenn der Strom günstig ist und im Überfluss zur Verfügung steht. Ziel ist unter anderem die Speicherproblematik zu entschärfen. |
| Genutzte VEE | Der Teil der VEE, der nach eventueller Abregelung Teil der gesicherten Stromversorgung ist. Sie ist eine Kostenkomponente der Stromgestehungskosten. |
| Gesicherte Leistung | Leistung aller Stromerzeuger, auf die man sich statistisch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu jedem Zeitpunkt verlassen kann. |
| Grenzkosten | Diejenigen Kosten, die zur Erzeugung einer weiteren Stromeinheit benötigt werden. |
| Große Transformation | Mit dem Paper „Welt im Wandel – Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“[510] begründet der WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen) diesen und führt im Einzelnen aus, wie der Umbau der gesamten Gesellschaft inklusive Wirtschaft für eine ökologische und $CO_2$-freie neue Welt aussieht. Daraus – auch beschrieben in „Eine Einführung in die Kunst gesellschaftlichen Wandels“ vom Wuppertal Institut – wird der Umbau durch die Bundesregierung über den Klimaschutzplan 2050 vorangetrieben. Es bedeutet auch eine grundlegende Umstellung der Verhaltensweisen der Menschen, letztlich einen „neuen Menschen“. |
| HGÜ | Hochspannung-Gleichstrom-Übertragung; verlustarme Stromübertragung, die erst ab mehreren Hundert Kilometern Anwendung findet und die Problematik von Blindleistung und Spannungshaltung bei Drehstromübertragung umgeht. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Internalisierung von Kosten | Sogenannte *externe Kosten* sind Kosten, die nicht in der betriebswirtschaftlichen Kostenkalkulation des Verursachers auftauchen, sondern von der Allgemeinheit getragen werden müssen (Umweltbundesamt). Mit der Internalisierung werden diese *externen* Kosten für eine Bewertung den Produktkosten hinzugerechnet. Die so bezeichneten Kosten werden den Mehrkosten der EW gegenübergestellt und müssen größer ausfallen, damit die EW als Gewinn dargestellt werden kann. Die Internalisierungskosten basieren auf Annahmen zu dem Umfang der Folgen und der Verhinderungskosten, die durch den ungebremsten Klimawandel auftreten werden. So werden z.B. die Folgekosten, die jede $CO_2$-Tonne verursacht, vom Umweltbundesamt mit 80 € bis 2030 und 100 € bis 2050 angegeben. |
| IPCC | Das IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurde im November 1988 vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) als zwischenstaatliche Institution ins Leben gerufen und ist damit keine wissenschaftliche, sondern eine politische Institution. |
| Iterationsmethode | Hier: Kurzbeschreibung der Art und Weise, wie die Tabellenkalkulation anzuwenden ist, um zum Ergebnis zu kommen. Dies ist wichtig, um später die Ergebnisse reproduzieren bzw. mit anderen Parametern neue Berechnungen durchführen zu können. |
| Kapazität (des Speichers) | Ist der maximale Energieinhalt → *Speicherkapazität* |
| KKW | Kernkraftwerk |
| Klimaschutzplan | Der Klimaschutzplan gibt für den Prozess zum Erreichen der nationalen Klimaschutzziele im Einklang mit dem Pariser Abkommen inhaltliche Orientierung für alle Handlungsfelder: In der Energieversorgung, im Gebäude- und Verkehrsbereich, in Industrie und Wirtschaft sowie in der Land- und Forstwirtschaft. (BMU) |
| Konventionelles Kraftwerk | Kraftwerk, das fossil befeuert wird oder ein Wasserkraftwerk ist. |
| Kurzzeitausgleich | Fähigkeit des Speichers über Stunden die →*fehlende Energie* für das Stromnetz bereitzustellen (wenn Flaute herrscht). →*KZS* Siehe auch →*Langzeitausgleich* |
| KW | Kraftwerk |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| KWK | Kraft-Wärme-Kopplung. In einem thermischen Kraftwerk wird die Wärme nach der Turbine noch für z.B. Fernheizung genutzt. →*BHKW* |
| KZS | Kurzzeitspeicher. Speicher für den →*Kurzzeitausgleich*. Siehe auch →*MZS*, →*LZS* |
| Ladeleistung | Die Leistung, die zum betrachteten Zeitpunkt in den als zentral modellierten Speicher fließt. Der Maximalwert ist der größte, der jemals in einer Viertelstunde im Jahr auftrat. Siehe auch →*Entladeleistung* |
| Langzeitausgleich | Fähigkeit des Speichers über wenigstens 1 Jahr die →*fehlende Energie* für das Stromnetz bereitzustellen. Siehe auch →*Kurzzeitausgleich* |
| Lastfaktor | →*Verbrauchsfaktor* |
| Leistungsgradient | Änderung der Leistung in einer Zeiteinheit. Die schwankende Last hat Leistungsgradienten, wie auch die VEE-Einspeisung. |
| LNG | *Liquefied natural gas*. Als Flüssigerdgas wird durch Abkühlung auf −161 bis −164 °C verflüssigtes, aufbereitetes Erdgas bezeichnet. Dabei wird das Volumen auf etwa ein Sechshundertstel reduziert. Besonders zu Transport- und Lagerungszwecken hat LNG große Vorteile. |
| LZS | Langzeitspeicher. Speicher für den →*Langzeitausgleich*. Siehe auch →*MZS*, →*KZS* |
| MA | Methanisierungsanlage; erzeugt aus VEE-Strom das Gas Methan, das als Ersatzgas in das Erdgasnetz geleitet und dort in den Gasspeichern gespeichert werden kann. Über Gaskraftwerke ist dieses Methan dann wieder verstrombar. |
| Mehrkosten | Kosten der Energieversorgungslösung, verglichen mit der Situation ohne Energiewende. Siehe auch →*Zusatzkosten* |
| Momentanreserve | Die rotierende Masse von Turbine und Generator eines konventionellen Kraftwerks bilden die sogenannte Momentanreserve. Findet ein plötzlicher Lastwechsel statt, so kann diese M. die nötige Energie im Millisekundenbereich liefern. Sie ist Teil des Regelsystems. EE-Anlagen haben diese Eigenschaft normal nicht. |
| MZS | Mittelzeitspeicher. Speicher für den →*Energieausgleich* im mittleren Zeitbereich. Siehe auch →*KZS*, →*LZS* |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| n+1 Redundanz | Es bedeutet, dass eine Komponente mehr vorhanden ist, als für den Betrieb nötig ist. Wenn eine Komponente ausfällt, ist der Betrieb weiterhin gesichert. Es entsteht dadurch die →*n-1 Sicherheit*. |
| n-1 Sicherheit | Ein →*SVS* muss eine hohe Verfügbarkeit aufweisen. In Deutschland beträgt diese ca. 99,998 %. Damit dies erreicht werden kann, wurde schon in der Vergangenheit das System so ausgelegt, dass auch bei Komponentenausfall die Verfügbarkeit gesichert ist (Redundanz).<br>In einem System mit **n** Komponenten darf **1** ausfallen, ohne dass die Funktion des Systems gestört ist. |
| Nennleistung | Ist die vom Hersteller angegebene Leistung, die unter zulässigen Betriebsbedingungen maximal erzeugt oder aufgenommen werden kann. |
| Nutzenergie | Ist der verbleibende Anteil der →*Endenergie*, die tatsächlich beim Endverbraucher zur Nutzung kommt. Bsp.: Kraftstoff = Endenergie, Traktion = Nutzenergie. |
| Nutzungsgrad | →*Volllaststunden* |
| Offshore-Nennleistungsanteil | Ist ein Parameter im Stromversorgungsmodell, der festlegt, wie viel von der gesamten Wind-Nennleistung durch Offshore gedeckt wird. |
| Ökostrom | Auch als Grünstrom bezeichnet. Es ist der gebräuchliche Begriff für Strom aus EE. Umweltschützer halten nichts vom „Öko“-Prädikat. |
| Planbare EE<br>PEE | Als *Planbare EE* werden EE bezeichnet, die nicht vom Wetter abhängig sind, wie Windenergie und Photovoltaik. Hierzu gehören: Biomasse, Biogas, Wasser, Geothermie etc. |
| Power-to-Gas (P2G) | Power-to-Gas wird ein chemischer Prozess bezeichnet, in dem mittels Wasserelektrolyse Wasserstoff ($H_2$) hergestellt wird. Es wird oft auch eine Methanisierung nachgeschaltet, sodass unter Einsatz von EE-Strom Methangas ($CH_4$) hergestellt wird. |
| Power-to-Gas-to Power (P2G2P) | Power-to-Gas-to Power bezeichnet das Prinzip des Langzeitspeichers, der durch die Methanspeicherung (hergestellt durch →*P2G*) und die Rückverstromung gekennzeichnet ist. |
| Power-to-Heat (P2H) | Power-to-Heat bezeichnet den Ansatz, mit →*Überschussstrom* Wärme zu erzeugen und zu speichern. Diese Wärme kann dann z.B. zeitweise eine gasbetriebene Fernheizung ergänzen und so Gas einsparen helfen. Für die Zeit der Wärmeerzeugung mit Strom entfällt die $CO_2$-Emission durch den Gasbetrieb. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Power-to-Heat-to-Power (P2H2P) | P2H2P Bezeichnet das Speicherkonzept, in dem ein Speichermedium mit →*Überschussstrom* auf hohe Temperaturen erhitzt wird. Diese gespeicherte Wärmeenergie kann dann in einer Dampfturbine wieder zu Strom gewandelt werden. |
| Power-to-Liquid (P2L) | Power-to-Liquid wird ein chemischer Prozess bezeichnet, der auf der Erzeugung von Methan ($CH_4$) mittels EE-Stroms beruht *(→P2G*). Durch nachgeschaltete Syntheseprozesse werden die langkettigen, flüssigen und festen Kohlenwasserstoffe (z.B. Benzin, Kerosin, Diesel und Wachse) hergestellt. |
| P2X | Power-to-X steht alternativ für: P2G, P2L, P2H. |
| Primärenergie | Der Begriff Primärenergie bezeichnet die Energieart und -menge, die natürlichen Quellen entnommen wird. Beispiele sind: Energieträger als Bodenschätze (z.B. Kohle oder Erdgas), aber auch Sonne, Wind oder Uran. Von der Primärenergie über die →*Endenergie* bis zur →*Nutzenergie* treten bis zu 60 % Energieverluste durch die Wandlungskette auf. |
| Prosumer | Ist ein Kunstwort aus Produzent und Konsument (Consumer). Das trifft z.B. für PV-Betreiber zu, die zeitweise Strom aus dem Netz nehmen und zeitweise Strom mit Vergütung einspeisen. |
| PSKW | Pumpspeicherkraftwerk |
| PV, PVA | Photovoltaik, PV-Anlage |
| Regelleistung | Die Regelleistung wird von geeigneten KWs bereitgestellt. Dazu können diese die Einspeiseleistung in das Netz kurzfristig so ändern, dass das Netz stabil gehalten und die Toleranzen (Spannung, Frequenz) eingehalten werden. |
| Repowering | Ist der Ersatz vorhandener, veralteter →*WEAs* durch neue, leistungsfähigere WEA-Typen. |
| Reserve-KW | →*Backup-KW* |
| Residualleistung | Leistung aus konventionellen Kraftwerken, die zusätzlich zu der VEE-Leistung erforderlich ist, um den Strombedarf zu decken, wenn die EE aktuell zu wenig Leistung liefern. |
| Schattenkraftwerk | →*Backup-KW* |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| schwarzstartfähig | Ist die Eigenschaft eines Kraftwerkes ohne externe Energie zu starten. Konventionelle KWs (z.B. Kohle) benötigen große Energiemengen, um zu starten (Eigenverbrauch: 5 bis 10 %). Nicht schwarzstartfähige KWs benötigen das Stromnetz zum Hochfahren. |
| Sicherheitszuschlag | Der Sicherheitszuschlag ist ein Faktor, mit dem der unter typischen Bedingungen ermittelte →*Ausbaufaktor* und die →*Speicherkapazität* zu vergrößern sind, um damit zu einer →*Worst-Case-Dimensionierung* zu kommen. |
| Smart Grid | Ist die Bezeichnung für ein intelligentes Stromnetz. Unter Verwendung von →*Smart Metern* sollen alle am Stromnetz angeschalteten Stromerzeuger und Verbraucher mit Hilfe kommunikativer Vernetzung und Steuerung der Komponenten so aufeinander abgestimmt werden, dass Nachfrage und Angebot besser zusammenpassen. |
| Smart Meter | Ein Smart Meter ist ein Zähler für Energie, der den tatsächlichen Energieverbrauch und die Nutzungszeit anzeigt und Daten mit dem Energieversorgungsunternehmen austauschen kann. Damit soll eine intelligente Netz- und Ressourcensteuerung ermöglicht werden. |
| Speicher, idealer | Ist ein Speicher mit einem Wirkungsgrad von 1 bzw. 100 % und der nötigen Kapazität, damit keine →*Überschussenergie* bzw. →*fehlende Energie* auftritt (idealisierte Betrachtung). |
| Speicherkapazität brutto / netto | Die Kapazität des Stromspeichers, so wie er von der Ladeseite gesehen wird (brutto). Auf der Entladeseite ist dann nur noch diese Kapazität mal →*Wirkungsgrad* zu entnehmen (netto). |
| Startwert | Ist die Energie, die der Speicher am 1. Januar hat, um von hieraus den Verlauf des Energiegehalts zu errechnen. |
| Stochastik | Bedeutet hier den zufälligen Charakter des Wetters und damit der →*VEE*, auch wenn sich dahinter eine gewisse Bandbreite einer Verteilungsfunktion verbirgt. Die VEE-Stromerzeugung von 2013 ist verschieden von der eines anderen Jahres, im Charakter aber ähnlich. |
| Stromgestehungskosten | Kosten für die reine Erzeugung des Stroms aus VEE und KWs inklusive umgelegter Speicherkosten, Verlustkosten (→*Überschussenergie*), Kosten für die nötigen konventionellen KWs (→*fehlende Energie*), aber ohne Gewinne, Netz- und Vertriebskosten, Umlagen, Konzessionsabgabe, Stromteuer und MwSt. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Stromversorgungs-modell | Die Gesamtheit der Tabellenkalkulation mit den Formeln, die aus der Stochastik der VEE, dem Strombedarf aus 2013 und den Parametern der Szenarien die abgeleiteten Werte errechnet. Dies sind insbesondere der Stand des Speicherinhalts sowie die →*Überschussenergie* bzw. die →*fehlende Energie*. |
| SVS | Stromversorgungssystem, bestehend aus allen energetisch relevanten Komponenten, wie alle Arten von Stromerzeugern, Speichern und Backup-KWs. |
| Synthetische Kraftstoffe | Darunter werden i.d.R. Kraftstoffe verstanden, die aus dem →*P2L*-Prozess stammen und auch →*E-Fuels* genannt werden. |
| Überschussenergie, Überschussleistung, Überschussstrom | Die Energie bzw. Leistung, die die VEE mehr produzieren, als für den Stromverbrauch nötig ist, und die im gesicherten Stromversorgungssystem nicht genutzt wird. |
| VEE, volatile EE | Volatile Erneuerbare Energien<br>(nur aus Wind und Photovoltaik; im Gegensatz zu →*EE*) |
| Verbrauchsfaktor | Legt im Stromversorgungsmodell als Faktor fest, wie groß die Last im Stromnetz sein soll.<br>Energiebedarf 2050 = Verbrauchsfaktor x Energiebedarf 2013. |
| Virtuelles Kraftwerk VK | Ein Virtuelles Kraftwerk ist ein Zusammenschluss von dezentralen Einheiten im Stromnetz, die über Kommunikationskanäle Informationen an eine Steuerzentrale leiten und von dort gesteuert werden. Es handelt sich um Einheiten wie: PV-Anlagen, Wasser-KWs, Biogas-KWs, WEAs, P2X-Anlagen und Mini- bzw. Mikro-Blockheizkraftwerken. Ziel ist eine gemeinsame Vermarktung und ein Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage. |
| Volllaststunden | Ist ein Maß für den →*Nutzungsgrad* der →*Nennleistung* einer Erzeugungseinheit über das Jahr gesehen. Beispiel: Wenn die mittlere Leistung über das Jahr nur 10 % der Nennleistung beträgt (wie PV-Anlagen), so ergibt das: 8760 h · 10 % = 876 Volllaststunden. Der Nutzungsgrad beträgt dann 10 %. |
| Wärmepumpe, WP | Die WP kann mit wenig elektrischer Energie Umweltwärme (aus Luft oder Grundwasser) in eine höhere Temperatur „pumpen“. Über die Leistungszahl kann die gelieferte Wärmeenergie berechnet werden, wenn die genutzte elektrische Energie bekannt ist. |
| Wind/PV-Parameter | Ist eine Kenngröße, die die Anteile von Wind und PV an der VEE festlegt. Mit = 1 liegt etwa das Verhältnis von 2013 vor; mit > 1 wächst der Windanteil. |

| Begriff, Abkürzung | Erläuterung |
|---|---|
| Wirkungsgrad | Der Wirkungsgrad einer energetischen Wandlung ist das Verhältnis zwischen erhaltener nutzbarer Energie zur aufgewendeten Energie. |
| WKA, WEA | Windkraftanlage bzw. Windenergieanlage |
| Worst-Case-Dimensionierung | Das ist die konzeptionelle und quantitative Zusammenstellung der Komponenten mit ihren Eigenschaften, damit für den ungünstigsten Betriebsfall alle Anforderungen erfüllt werden. Sofern dies in der Dimensionierung des SVS berücksichtigt werden kann, spricht man von der Worst-Case-Dimensionierung. |
| Zusatzkosten | Kosten, die durch einen bestimmten Umstand zusätzlich anfallen. Siehe auch →*Mehrkosten* |

# Der Energiewende-Check

Einerseits verfolgen Sie die Meldungen zur Energiewende, zur Reduktion von Kohlendioxid ($CO_2$) und lesen von vielen Erfolgen und dass wir auf einem guten Weg sind.

Auf der anderen Seite stellen Sie fest, dass vermehrt Artikel und Berichte erscheinen, die die Energiewende kritisieren. Trotz erheblicher Anstrengungen gehen die $CO_2$-Werte nicht so schnell zurück wie geplant. Gleichzeitig steigen die Kosten und die Schäden in der Natur durch Windenergieanlagen.

Sie sei schlecht gemacht, die Energiewende, sagen die Kritiker, weil sie zu teuer geworden ist und die Klimaschutzziele nicht erreicht werden.

**Wer hat denn nun Recht – die Kritiker oder die Optimisten?**

**Lesen Sie in diesem Buch die belegten Fakten und sehen Sie hinter die polierte Fassade.**

"Selten findet man eine so strukturierte, umfängliche und zugleich verständliche Darstellung energietechnischer wie auch wirtschaftlicher und politischer Zusammenhänge. Dieser Blick hinter den Vorhang von Energiewendepopulismus und Klimaangst ist dringend zur Lektüre und Meinungsbildung zu empfehlen."

Frank Hennig
Dipl.-Ing. für Kraftwerksanlagen
und Energieumwandlung

Verlag: tredition € 24,95 [D]
ISBN 978-3-347-06789-9
9783347067899

Mit 27 Tabellen und 169 Abbildungen davon 48 in Farbe.