



Herbert Niederhausen
Andreas Burkert

Elektrischer Strom

Gestehung, Übertragung, Verteilung,
Speicherung und Nutzung elektrischer
Energie im Kontext der Energiewende

Vorwort

Dieses Sachbuch ist ein Glied zwischen dem oft allzu stark vereinfachenden Populär-Schrifttum und dem Fach- sowie dem Lehrbuch.

Der Inhalt dieses Buchs basiert auf der Zielsetzung, ein hochaktuelles Thema sowohl aus technischer und physikalischer als auch gesellschafts- und wirtschaftspolitischer Sicht vertieft gemeinverständlich zu behandeln. Art und Weise der Ausführungen genügen gewollt nicht der Stringenz, die an ein Fachbuch oder gar ein Lehrbuch gestellt wird.

Das Buch entstand, um mit der Faszination *Energie, Stromgestehung, Stromübertragung und Stromnutzung* zu elektrisieren.

Geschrieben ist es für diejenigen, die umfassender über Energiequellen bzw. Erscheinungsformen der Energie und deren mögliche technische Konvertierung in Elektro-Energie und den hiermit verbundenen positiven und negativen Effekten wissen wollen.

Es wurde angestrebt, die Inhalte der einzelnen Kapitel und Abschnitte sachlich richtig, aber vereinfacht darzulegen. Deshalb ist auf mathematische Ableitungen verzichtet, Formeln sind jedoch angegeben, wenn sie zum besseren Verständnis unterstützend beitragen. Weitgehend weggelassen sind zwar schöne, jedoch informationsarme Fotos. Deren Plätze haben verständnisfördernde Grafiken eingenommen.

Die thematischen Einheiten im Überblick behandelt ergeben eine hohe Informationsdichte und ein Buch in dem der Inhalt, nicht die Gestaltung im Vordergrund steht. Der ernsthaft Interessierte wird für die Lektüre die nötige Zeit und Konzentration aufbringen.

Für eine erfolgreiche Entwicklung der Stromgestehung, -übertragung und -verteilung aus den „Erneuerbaren“ ist die Anwendung der Ergebnisse aus technisch-naturwissenschaftlich logischem Denken wichtiger als hektische Geschäftigkeit, politisch motivierter Populismus und magisches Denken.

Meine Anerkennung, verbunden mit großem Dank, gilt Herrn Eckhard Kaiser für die Erstellung der selbst erklärenden Grafiken und Herrn Rolf Schuster für die akribische und zeitintensive Arbeit im Zusammenhang mit der Aufarbeitung der offiziellen Daten zur Darstellung der Lastganghistogramme der Stromeinspeisung aus Windenergie- und Photovoltaikanlagen sowie der Firma Fromm MediaDesign für die technische Realisierung.

Dem Verlag Springer Vieweg, hier vertreten durch den Cheflektor Herr Reinhard Dapper, Lektorat Elektrotechnik/IT/Informatik, danke ich, weil er mein Skript als inhaltlich passend ins Programm des renommierten Verlags einschätzte.

Den Herren Dr.-Ing. Detlef Ahlborn und Dipl.-Phys. Friedrich Keller danke ich für die Beistellung ihrer fundierten Sachbeiträge.

Für ihre direkte und indirekte fachliche Unterstützung danke ich den Herren Prof. Dr.-Ing. Helmut Alt, Prof. Dr. rer. nat. Christoph Buchal, Dr. rer. nat. Harald Elsner, Prof. Dr. rer. nat. habil. Gerhard Gerlich, Prof. Dr. rer. nat. habil. Sigismund Kobe, Dr. rer. nat. Giuseppe Modolo, Prof. Dr. rer. nat. Reinhard Odoj, Dr. rer. nat. Thomas Plenefisch, Prof. Dr. rer. pol. habil., Dr. h. c. mult. Günter Specht und Prof. Dr. rer. nat. habil. Bruno Thomauske sowie allen Personen, deren Anregungen und Fragestellungen in die entsprechenden Kapitel eingearbeitet sind.

Dank gilt auch den namentlich Ungenannten, deren aktivierte, spezifische Fähigkeiten und Möglichkeiten sehr hilfreich waren.

Mein ganz besonderer, weil herzlicher Dank gilt meiner Ehefrau, die mich seit mehr als viereinhalb Jahrzehnten unbeirrbar begleitet, stützt, auf Kurs hält und auch für die Erstellung dieses Buches über mehrere Jahre jegliches Verständnis aufbrachte, getreu der Lebensweisheit: „Es mag der Mann die großen Zeiten bauen, doch steht und fällt ein Volk mit seinen Frauen.“ (So oder in Abwandlung wird dieser Aphorismus *Friedrich Schiller* zugeschrieben.)

Unseren gemeinsamen Kindern – die Erzieherin Rita Eva, die Diplom-Ingenieure (Univ.) Stephan Donat und Tobias Aurel – sei dafür gedankt, dass sie mein zeitintensives Engagement für dieses Buch mitgetragen haben. (*Nh*)

Beiträge ohne Signatur (*Nh* oder *AB*) werden bezüglich Thema, Inhalt und Aussage von beiden Autoren einstimmig vertreten; Beiträge mit Signatur lediglich vom jeweilig Kennzeichnenden (*Nh* bzw. *AB*).

im August 2014

Herbert Niederhausen (*Nh*) | Andreas Burkert (*AB*)

Vorbetrachtungen

Zu den sachlichen Ausführungen gibt es, dort wo es geboten erscheint, Kritik äußernde Anmerkungen, denn vornehmlich um die sogenannten „erneuerbaren“ Energien ranken sich mythische Überhöhungen. Die Realität darf aber nicht von der Aura des magischen Denkens ummantelt werden.

Energie ist zu wertvoll, als dass sie im Gerangel von wirtschaftlichen bzw. unternehmerischen und politischen Interessen letztlich entwertet wird.

Der katastrophale Kernkraftwerke-Unfall in Fukushima/Japan machte es erforderlich, die Kernenergienutzung umfänglich zu thematisieren. Dieser verheerende Unfall war kein materialisiertes Restrisiko, sondern das Ergebnis einer Schlamperei der Anlagenhersteller und des Betreibers sowie der Genehmigungsbehörde, denn sie hat den zwingend notwendigen Schutz dieser Küstenkraftwerke gegen hohe Tsunami-Wellen nicht hinreichend gefordert und durchgesetzt. Dies war verantwortungslos, weil bekannt war, dass durchschnittlich alle 36 Jahre Tsunami-Wellen, bisher von 10 m bis 85 m Höhe, ausgelöst durch Erdbeben, die Küsten Japans überfluten; in den vergangenen 500 Jahren bereits 14-mal.

Die Tschernobyl-Katastrophe war auch kein unvermeidbares Restrisiko, sondern das Ergebnis des vorsätzlichen Auslotens eines reaktor-physikalischen Grenzzustandes. Menschlicher Leichtsinns im Verbund mit mangelhaften physiko-chemischen Kenntnissen führte zur Katastrophe.

Kollektiv wird vom *Zeitalter der „erneuerbaren“ Energien* geschwärmt.

Ist bewusst, dass auch diese Epoche – wie bisher jede – ein Ende haben wird? Egal wie der Einzelne zur ausgerufenen *Energiewende* steht, so müssen doch Vorhaben und zu erwartende Ergebnisse zuvor rational analysiert und bewertet werden. Logisches Denken muss Vorrang haben.

Physikalische Gesetze bleiben oft unberücksichtigt. „Experten“ stellen mithilfe der Medien ihre *Meinungen* als unumstößliche Fakten dar; eine prekäre Situation. So werden selbst obskure und skurrile Meinungen nicht nur mittels politischem Protektionismus überbordend gefördert, sondern sogar mit Klerikalismus und Apologetik dogmatisiert.

Die Verweise auf *Ethik* und *Schöpfungsbewahrung* sind hier die Steigbügel für *Naturwissenschaften- und Technik-Legasthenie*, die gesellschaftlich immer raumgreifender akzeptiert wird.

Hans Joachim Schellnhuber¹, Leiter des *Wissenschaftlichen Beirats der Bundesregierung für Globale Umweltveränderungen (WBGU)* schlägt einen „Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation“ vor. Die Vorschläge: Abschaffung des fossilen industriellen Metabolismus; einen starken Staat, der die De-karbonisierung der Weltwirtschaft vorantreibt; für die gesellschaftliche Problematisierung nicht nachhaltiger Lebensstile sorgt; die Überwindung von Interessengruppen und Vetospieler, die den Übergang zur nachhaltigen Gesellschaft erschweren. Auf dem Papier wird die ganze Welt umgestaltet.

Eine Umstellung der Elektro-Energiebereitstellung zuvorderst auf die Konvertierung der Primärenergieträger Sonnenstrahlung, Solarstrahlung (Aufwind) und Windströmung bedeutet letztlich eine Umstellung auf die Nutzung von Primärenergieträger, die von Natur aus eine geringe Leistungsdichte (Watt pro Quadrat- bzw. Kubikmeter) haben und dadurch einen großen Flächen- bzw. Volumenbedarf für ihre Technologien beanspruchen. Der in 2010 verstorbene Hermann Scheer², seinerzeit unter anderem Vorsitzender des *Weltrats für Erneuerbare Energien* sowie Präsident von *Europäische Vereinigung EUROSOLAR* verkündete unermüdlich, dass die „erneuerbaren“ Energien ihre Energien „aus der Luft holen“ würden. Kriege um Kohle, Erdöl und Erdgas gehörten dann zur Vergangenheit. Dies stimmt so nicht ganz; hier irrte er. Für unseren sauberen (?) Strom benötigen wir Stahl, Aluminium, Kupfer, Silber, Gold, Seltenerdmetalle etc., um Offshore- und Onshore- Windenergieanlagen, Photovoltaikzellen, Hochleistungselektronik, Kommunikations- und Informationstechnologie, Freileitungsseile und Erdkabel, Akkumulatoren für Elektroautos usw. sowohl für den Eigenbedarf als auch den Export herstellen können. Für diese Produkte setzen wir also nicht nur „Energie aus der Luft“ ein.

Ein Beispiel für unseren Ressourcenbedarf:

Die betriebsfertige Erstellung einer Windenergieanlage (WEA) der 5-Megawatt-Klasse benötigt die Materialmasse von bis zu 2.300 Tonnen; im bundesdeutschen Anlagen-durchschnitt etwa 1.600 Tonnen pro WEA.

Sämtliche im Jahr 2013 in Deutschland installierten ca. 24.000 WE-Anlagen haben demnach summarisch eine Gesamtmasse von 40 Millionen Tonnen. Grob entspricht dies der Masse von 35 Millionen Pkw und damit rund 83 % aller in Deutschland zugelassenen Pkw³.

¹ Schellnhuber, Prof. Dr. habil. Hans Joachim, *07.06.1950 in Ortenburg/Bayern, deutscher Klimaforscher, Direktor des Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK).

² Scheer, Dr. rer. pol. Hermann, *29.04.1944 in Wehrheim, †14.10.2010 in Berlin, Doktor der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Ehrendoktor der TU Varna (Bulgarien), bis zu seinem Tod Abgeordneter des Deutschen Bundestages.

³ Pkw: In Deutschland waren mit Stand vom 01.02.2011 genau 42.301.563 Pkw (und 2.441.377 Lkw) zugelassen (telefonische Auskunft vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg, erteilt am 20.05.2011).

Fragwürdiger Nutzen der WE-Anlagen: Die Rund-um-die-Uhr-Verfügbarkeit der **Leistung** (kW) aus „Wind“-Strom betrug im Jahr 2013 effektiv ca. 6,2 %, die der Photovoltaik (PV)⁴ etwa 0,01 %.

Die unverzichtbare Backup-Leistung aus herkömmlichen Kraftwerken betrug in 2010 etwa 91 %, in 2030 voraussichtlich 97 % der installierten WEA- und PV-Nennleistung, was dazu führt, dass die Backup-Kraftwerksleistung in Höhe von 130.000 MW (2012) auf 230.000 MW steigt.

Dies bedeutet, dass WEA- und PV-Leistung in praxi keine Installation herkömmlicher Kraftwerksleistung ersetzt.

„Je höher der Anteil der Erneuerbaren wird, desto mehr klafft die Stromproduktion im Zeitverlauf mit der Nachfrage auseinander“, so das Ergebnis einer Studie des Fraunhofer-Instituts für Windenergie und Energiesystemtechnik [IWES] im Auftrag der Stiftung „Agora Energiewende“^{5, 6}.

In Kenntnis dieser Fakten wäre es sowohl effektiver als auch effizienter ein Moratorium für den Zubau der Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen zu erlassen, um währenddessen die elektrische Netto-Leistung der konventionellen Kraftwerke durch Optimierung um zwei, drei Prozent zu steigern sowie deren jährliche Äquivalent-Vollleistungsbetriebsstunden zu erhöhen.

Hierdurch würde der derzeit enorme und ökonomisch schädliche Zeitdruck für die Stromnetz-Ertüchtigung gemindert, was einer besser durchdachten Netzplanung zugute kommen würde. Jetzige Ad-hoc-Entscheidungen könnten einer Überprüfung auf Sinnhaftigkeit und Erfordernis unterzogen werden, wodurch sich sehr wahrscheinlich Investitions- und Betriebskosten einsparen ließen, was sich letztlich positiv auf den Strompreis auswirkte.

Windenergie- sowie die derzeitigen PV-Anlagen sind bis etwa 2020 lediglich ein Interimsbeitrag.

Was aber hören und lesen wir alltäglich?

„Wir sind auf einem guten Weg in die richtige Richtung“. Nichts ist diesbezüglich gut, nichts ist richtig. Denn je mehr Kraftwerks**leistung** abgeschaltet wird, umso mehr Windenergieanlagenleistung muss im betreffenden Netzbereich ebenfalls abgeschaltet werden. Deshalb können die bisher installierten Windenergieanlagen – auch wenn der

⁴ PV-Strom: 0,01 % bezogen auf den 24-Stunden-Tag.

⁵ Agora Energiewende: Die „Studie“ ist eine Analyse, die auf Simulationen basiert. Sie trägt den Titel „Erneuerbare Energien und Stromnachfrage im Jahr 2022“, Juni 2012. „Bei der Annahme eines Nettostrombedarfs in Höhe von 535 TWh wird deutlich, dass es schon im Jahr 2022 rund 200 Stunden (entsprechend ca. 2,3 %) geben kann (bei 8760 Stunden pro Jahr), bei denen die Stromproduktion aus Erneuerbaren Energien den kompletten Strombedarf in Deutschland übersteigt (...)“, S. 03 der Analyse. Die „Agora Energiewende“ ist eine Initiative der Stiftung Mercator und der European Climate Foundation im Rahmen der Smart Energy for Europe Platform (SEFEP), 10178 Berlin. SEFEP wurde von den vorgenannten Stiftungen 2009 gegründet.

⁶ Quelle: „Analyse zur Energiewende“ (in: neue energie, Nr. 7, Juli 2012, H 11507, S. 10, ISSN 0949-8656).

Wind noch so stark bläst – die Leistung der vielgescholtenen „Dreckschleudern“ und „Strahler“ nicht ersetzen. Vereinfacht bedeutet dies: Je mehr z. B. Kraftwerksleistung vom Netz genommen wird, umso mehr muss Windenergieleistung abgeschaltet werden. Es bedeutet aber auch, dass je mehr WE-Anlagen installiert werden, umso mehr herkömmliche Kraftwerke in Betrieb genommen werden müssen. Die aktuell ca. 24.000 installierten Windenergieanlagen sind überwiegend elektro-maschinenbaulich veraltet. Der A-2-Typ von Windenergieanlagen darf keine Baugenehmigung mehr erhalten.

Eine sachliche, wissenschaftliche Bewertung von Für und Wider der vielfältigen Technologien zur Energiekonvertierung ist das Gebot. Ein Ethik-Beirat kann diesbezüglich dafür wohl kaum geeignet sein.

Die Ergebnisse logischen Denkens auf der Grundlage der für eine Elektroenergiebereitstellung relevanten physikalischen Gesetze anstelle von Emotionen, Vorurteilen und falschem Populismus müssen der Dreh- und Angelpunkt, die Erschließung und Nutzung einer nach menschlichem Zeitmaßstab unbegrenzten Energiequelle das dominierende Ziel sein. Hierfür hat uns der Schöpfer ein reichliches und vielfältiges Portfolio überlassen. Weil wir nicht im Paradies leben, dürfen, müssen wir jede Energiequelle nutzen.

Zur unbegrenzten Energiequelle zählt auch die Nuklearenergie in den Formen der Kern-Spaltung und Kern-Fusion. Gerade wegen der bisherigen ernsten, schweren und katastrophalen Kernkraftwerks-Unfälle sind wir mehr denn je gefordert, intrinsische, inhärente, automatisch sichere Kernkraftwerke zu ersinnen, zu bauen und zu betreiben. Auch dafür wurde uns freier Wille und Verstand gegeben.

Pro und Contra der Kernenergienutzung sind in Deutschland jedoch so stark polarisiert, dass sich für Alternativen in der Nuklearkraftwerkstechnologie hier auf absehbare Zeit niemand interessieren wird.

Welche Energiequellen jetzt noch additiv vorteilhaft nutzbar sind, muss vorurteilsfrei erforscht und erprobt werden. Dass sich im Später noch die eine oder andere, bisher als solche unentdeckte Energiequelle erschließt, davon kann ausgegangen werden. Eine neue Ressource wäre verfügbar. Bis dahin wird keine der jetzigen völlig aufgebraucht sein. Jedenfalls wird die Menschheit wegen Energiemangel nicht zugrunde gehen.

Dass eine intelligente Nutzung der „Erneuerbaren“ ganzheitlich betrachtet vorteilhaft und dabei für den Endnutzer von Strom nicht teurer als bisher sein muss, das hat Dr.-Ing. Gregor Czisch in seiner in 2005 vorgelegten fulminanten Dissertation⁷ – bisher unwiderlegt – dargestellt. Allerdings nicht im Stil von Klein – Klein und dezentral getreu dem Slogan „small is beautiful“, sondern Groß – Groß und zentral. Mit Minikraftwerken in Wohnhäusern und Photovoltaikanlagen statt Dachpfannen sowie zigtausend Windrädern in deutschen Landen wird sich Deutschland auch in Zukunft nicht autark und autonom versorgen können. Für den Bau unseres jetzigen Stromnetzes wurden mehr als 100 Jahre benötigt. Die wohl unumgängliche Netzerweiterung wird wahrscheinlich deutlich mehr als 50 Jahre erfordern, was auch der umfassender werdenden Bürgerbeteili-

⁷ Czisch, Gregor: „Szenarien zur zukünftigen Stromversorgung“, Februar 2005, Universität Kassel.

gung an Großprojekten geschuldet sein wird. Dennoch sind Großkraftwerke, betrieben als Grundleistungskraftwerke, unverzichtbar.

Deutschland braucht eine bundesweite, ehrlich und ernsthaft geführte Debatte über den Komplex „Energiewende“.

Folgende Anmerkung sei gestattet:

Denjenigen, die gegen fossilgefeuerte und/oder nuklearbetriebene Kraftwerke sind, sollte bewusst sein, dass es ohne die bisher allzeit und in beliebiger Menge verfügbare Elektroenergie aus eben diesen Kraftwerken nicht möglich gewesen wäre und ist, um Forschung, Entwicklung, Herstellung, Installation und auch Betrieb der entstandenen Verfahren, Technologien und Anlagen zur Nutzung der regenerativen Primärenergieträger zu realisieren. Dies wird auch in Jahrzehnten noch der Fall sein, unabhängig vom Anteil der „Erneuerbaren“ an der Gesamtstrommenge. In dieser Situation sind Ideologie und Fundamentalismus wenig hilfreich. Schafft man im Übereifer das Bewährte ab, dann hat auch das Neue keinen Bestand. Die „Erneuerbaren“ sind so noch keine Alternative, weil sie nicht gleichwertig sind.

Mit Bezugnahme auf Stromspeicher, Transport-, Verteilungsleitungen, Kabel, Smart Grids sowie virtuelle Kraftwerke, „Wüsten“-Strom und „Nordsee“-/„Ostsee“-Strom inklusive der unverzichtbaren Informations- und Kommunikationstechnologien (IuK) brauchen die „Erneuerbaren“ mehr Elektro-Energie für mehr Regenerativ-Energie sowie mehr stoffliche Ressourcen.

„*Euphorie, eine Stärke der Dilettanten*“, so hätte alternativ eines der Bücher von Friedrich Münzinger⁸ heißen können.

Bereits in seinem Buch „*Ingenieure*“⁹, erschienen 1941, hob er hervor, dass sich der kompetente und verantwortungsbewusste Ingenieur deutlich vom Hasardeur abgrenzen, gar abheben muss und es auch tut. Diesen seinen Standpunkt vertritt er auch in „*Atomkraft*“¹⁰, veröffentlicht 1955.

Man muss so virtuos sein, ein Risiko erkennen zu wollen. Nur Ignoranten wägen alles absolut sicher. Euphorie tötet die Vernunft, Angst ist ein schlechter Berater und Demoskopie kein verlässlicher Wegweiser. Aber die Poleposition zählt. Treibende Kraft ist die machtpolitische Spekulation. Es dominiert die Ignoranz gegenüber dem *mittleren* Weg.

Durch die *Zahlenakrobatik für den Jahresabschluss* wird ein Mythos um die „Erneuerbaren“ genährt. Sie führt zur Sinnestäuschung, weil suggeriert wird, dass die summarisch eingespeisten Energiemengen für jedermann allzeit in beliebiger Höhe verfügbar waren, was aber nicht stimmt. Die kumulierten Daten der Jahresbilanz geben keine Auskunft

⁸ Münzinger, Dr.-Ing. Friedrich, *25.03.1884 in Metzingen (Württemberg), †14.10.1962 in Berlin, Kraftwerksbauer [in: Neue Deutsche Biographie 18 (1997), S. 559 f. (Onlinefassung), <http://www.deutsche-biographie.de/pnd11873511X.html>, abgerufen am 24.05.2011].

⁹ Münzinger, Friedrich: „*Ingenieure, Baumeister einer besseren Welt*“ (eventuell im Antiquariat erwerbbar).

¹⁰ Münzinger, Friedrich „*Atomkraft – Der Bau von Atomkraftwerken und seine Folgen*“, 1. Auflage 1955, 2. Auflage 1957, Springer-Verlag, Berlin · Göttingen · Heidelberg.

darüber, wie viel von wem zu einem beliebigen Zeitpunkt bzw. in einem beliebigen Zeitraum real im Elektronetz vorhanden war.

Die Akteure der „Energiewende“ leiden an Dyskalkulie. Der Widerstand gegen das Innummeratentum¹¹ ist ein Widerstand gegen Windmühlen-Flügel. Es ist die Unvernunft, die der Vernunft keinen Raum gibt.

Die vorstehenden „streitbefangenen“ Einlassungen sind weder Plädoyer für den Erhalt von Status quo wie ehemals, noch gegen die Nutzung der „Erneuerbaren“, sondern der Aufruf dazu, den *mittleren Weg* zu beschreiten.

Wer glaubt den Stein der Weisen gefunden zu haben, ist nicht fähig, kritisch zu hinterfragen. Es gilt: Die Sache wichtig zu nehmen.

Unsere „Experten“-Hörigkeit beruht auf Gleichgültigkeit bzw. Bequemlichkeit, uns mit den zunehmend komplexer werdenden Sachverhalten selbst intensiv zu befassen.
(Nh)

¹¹ Innummeratentum: Erkennung, Abschätzung, Bewertung einer (zahlenmäßigen) Größenordnung, z. B. zur Risikoabschätzung, hier im Sinne von „was ist die Folge von, wenn ich es tue oder wenn ich es lasse“.