

Alwin Burgholte

Scheitert die Energiewende?

Fakten und technische Argumente



tredition®

Alwin Burgholte
Scheitert die Energiewende?
Fakten und technische Argumente

Alwin Burgholte

Scheitert die Energiewende?

Fakten und technische Argumente

© 2021 Alwin Burgholte

Autor: Alwin Burgholte

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

ISBN

Paperback: 978-3-347-33344-4

Hardvover: 978-3-347-33345-1

e.Book: 978-3-347-33346-8

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.

Fußnoten verweisen auf Internetquellen, die zum Zeitpunkt der Drucklegung erreichbar waren.

Es wird keine Haftung für den zitierten Inhalt der Quellen übernommen.

Das Copyright haben die Verfasser der Quelle.

Autor und Verlag haben alle Texte und Abbildungen mit großer Sorgfalt erarbeitet bzw. überprüft. Dennoch können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Weder Autor noch Verlag übernehmen irgendwelche Garantien für die in diesem Buch gegebenen Informationen. In keinem Fall haften Autor oder Verlag für irgendwelche direkte oder indirekte Schäden, die aus der Anwendung dieser Informationen folgen könnten.

Vorwort

Die Energiewende soll unser Klima retten; deshalb die politischen Aktivitäten ohne Rücksicht auf die Konsequenzen:

Ausstieg aus der Kohleverstromung, Umstieg auf die Elektromobilität, CO2-Bepreisung, Verbot von Öl- und Erdgasheizungen bis zu Flugscham und Essvorschriften. Unsere Politiker sind da sehr erfindungsreich; denn das Thema Klimarettung ist allgegenwärtig und bringt sogar tausende Kinder und Jugendliche auf die Straße. Schließlich sind das ja zukünftige Wähler, für die gehandelt werden soll. Doch wie sieht unser Energiealltag aus?

Unsere Abhängigkeit von einer gesicherten Stromversorgung wird uns immer erst dann bewusst, wenn kein Strom mehr geliefert wird, ob für Sekunden, Minuten, Stunden, Tage oder länger. Zuerst ist es nur ein wenig störend. Das Licht flackert oder der Rechner stürzt ab. Ärgerlicher ist dann schon die Verstellung aller Uhren, die synchron am Netz betrieben werden, weil keine konstante Frequenz mehr geliefert wird und wir deshalb zu spät zur Arbeit kommen.

Bleibt es dunkel, greifen wir spätestens nach einigen Stunden zum Telefon (sofern es noch geht) und rufen unseren Netzbetreiber an. Ist der Stromaussfall großflächig, oder ist die Haussicherung ausgefallen? Doch das sind schon spezielle Fragen für den Fachmann. Die ganz große Mehrheit der Bevölkerung kann das Problem nur zur Kenntnis nehmen, jedoch nichts daran ändern.

Ist überhaupt Gefahr in Verzug?

Richtig ist auf jeden Fall die Zielvorgabe, Ressourcen zu schonen und langfristig auf fossile Energiequellen zu verzichten.

Noch hat Deutschland weltweit das sicherste Stromversorgungsnetz. 2017 betrug die durchschnittliche Unterbrechungsdauer nur 15,4 Minuten, 2018 nur 13,91 Minuten und 2019 nur 12,2 Minuten¹ von 52 560 Minuten eines

Jahres. Aber Miniblackouts unter drei Minuten sind dabei nicht berücksichtigt.

Doch fragen wir zuerst, woher der Strom kommt und wie er verteilt wird. Da gibt es nicht nur technische Fragen. Zunehmend wirken sich auch wirtschaftliche Faktoren oder sogar spekulative Manipulationen auf die Stromversorgungssicherheit aus. So kommt es nahezu alle 15 Minuten zu Stabilitätsproblemen im Netz, weil alle 15 Minuten ein neuer Strompreis an der Strombörse veröffentlicht wird und dies zu Netzumschaltungen bei den Verbrauchern führt.

Spannend wird es auch, wenn wir an den zukünftigen Bedarf elektrischer Leistung denken, wie er aus den Maßnahmen zur Sektorkopplung im Verkehr und in der Wärmeversorgung entstehen wird.

Technische Argumente werden in der politischen Argumentation nicht genannt. Voraussetzungen, die eine gesicherte Stromversorgung garantieren, werden verschwiegen, bewusst oder tatsächlich aus Unkenntnis? Wind- und Solaranlagen können nur in ein vorhandenes stabiles Stromversorgungsnetz einspeisen und kein eigenes Netz aufbauen. Auch die vorhandene Sicherheitstechnik gegen Kurzschlussströme versagt, weil die Anlagen nur geregelte Nennströme liefern können. Deshalb ist ein Strategiewechsel erforderlich, um eine »Energiewende« realisieren zu können.

Die Themen werden nicht wissenschaftlich und lehrbuchmäßig behandelt. Leicht verständlich, mit vielen Beispielen, können die Leser eine neue, auch kritische Einstellung zu diesem wichtigen Thema entwickeln und belegte wissenschaftliche Fakten hinterfragen.

Beachtet werden sollte dabei auch die Verhältnismäßigkeit der Forderungen und Beschlüsse.

Eine ergebnisoffene breite Diskussion ist lange überfällig.

Vielleicht finden sich auch Anregungen, wie eine individuelle Vorsorge getroffen werden kann.

Alwin Burgholte

Wilhelmshaven, Mai 2021

¹ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2020/20201022_SAIDIStrom.html

1. Stromerzeugung

- 1.1 Kraftwerke als Leistungserzeuger
- 1.2 Prinzipielle Wirkungsweise konventioneller Kraftwerke
- 1.3 Prinzipielle Wirkungsweise von Blockheizkraftwerken
- 1.4 Regenerative Energieerzeugungsanlagen
 - 1.4.1 Biogas Kraftwerke
 - 1.4.2 Wasserkraftwerke
 - 1.4.3 Prinzipielle Wirkungsweise der Pumpspeicherkraftwerke
 - 1.4.4 Solaranlagen
 - 1.4.5 Windenergieanlagen
 - 1.4.6 Brennstoffzelle
 - 1.4.7 Geothermie

2. Stromspeicher

- 2.1 Akkumulatoren
- 2.2 Wärmespeicher
- 2.3 Power to Gas Umwandlung

3. Derzeitige Energieversorgung

- 3.1 Primärenergieverbrauch in Deutschland
- 3.2 Elektrische Energieerzeugung
- 3.3 Anteile der einzelnen Erzeugeranlagen
- 3.4 Verfügbarkeit elektrischer Leistung

4. Stromversorgung - heute

- 4.1 Leistungserzeugung und -bedarf im Jahresverlauf
- 4.2 Überschussleistung führt zu negativen Strompreisen
- 4.3 Strompreisbildung
- 4.4 Kraftwerksstilllegungsplanung
- 4.5 Netzentwicklungsplanung der BNetzA
- 4.6 Erneuerbare Energieanteile an der Energieversorgung
- 4.7 Kapazitätsmarkt und Versorgungssicherheit
- 4.8 Deutschland droht Versorgungsengpass
- 4.9 Der Irrweg zur Dekarbonisierung unserer Energieversorgung
- 4.10 Störungen der Netzqualität werden ignoriert

5. Zukünftige Stromversorgung

- 5.1 Smart Grid
- 5.2 Sektorkopplung
- 5.3 Verantwortung der Bundesnetzagentur (BNetzA)
- 5.4 Wird die Stromversorgungssicherheit gefährdet?
- 5.5 Blackout Gefahr
- 5.6 Kosten eines Blackouts
- 5.7 Krisenvorsorge
- 5.8 Wärmeversorgung
 - 5.8.1 Wärmepumpen
 - 5.8.2 Solarthermie im Einfamilienhaus
 - 5.8.3 Energieeinsparverordnung
- 5.9 Verkehr
 - 5.9.1 Elektromobilität
 - 5.9.2 Der Weg in die Wasserstoff-Gesellschaft
 - 5.9.3 Kann Wasserstoff die Energiewende noch retten?

6. Politische Verantwortung für Fehlinvestitionen

- 6.1 Kernkraftwerk Mülheim-Kärlich
- 6.2 Steinkohlekraftwerk Datteln
- 6.3 Vorschläge von Expertenkommissionen
- 6.4 Atomausstiegs-Gesetz
- 6.5 Klimagesetze

7. Ausbau der Förderprogramme

- 7.1 Förderung Kohleausstieg
- 7.2 Förderung von Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen
- 7.3 Fördersätze für Biomasseanlagen
- 7.4 Förderung von Windenergieanlagen
- 7.5 Förderung von Solaranlagen
- 7.6 Förderung der Elektromobilität
- 7.7 Förderung der Ladeinfrastruktur

8. Privatwirtschaftliche Verluste

- 8.1 Niedergang der Solarwirtschaft
- 8.2 Niedergang der Windenergiebranche

8.3 Neue Arbeitsplätze durch Rückbau alter Windanlagen

9. Viele Forschungsinstitute leben nicht schlecht davon

9.1 *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*

9.2 Agora Energiewende

9.3 Agora Verkehrswende

10. Umsetzung der politisch vorgegebenen Ziele

10.1 Klare Vorgabe

10.2 Aufbau - Entwicklung der wissenschaftlichen Institutionen

10.3 Und die Wissenschaft macht auch mit

10.4 Die Medien verstärken und profitieren

11. Manipulierte Informationen täuschen die Öffentlichkeit

11.1 Neue Studie »Windanlagen auf See liefern jeden Tag Strom«

11.2 Einhundert Prozent regenerative Energien für Strom und Wärme

11.3 Exportieren wir massiv PV-Strom ins europäische Ausland?

11.4 Medien unterstützen den Zubau von Windenergieanlagen

11.5 Meeresspiegel-Anstieg

11.6 Gefahr durch Kohlekraftwerke

12. Fazit

13. Literaturverzeichnis

1. Stromerzeugung

Was ist Elektrizität, woraus besteht der elektrische Strom, und wie unterscheiden sich Leistung und Energie? Dabei spielen die beiden Größen elektrische Spannung und elektrischer Strom eine besondere Rolle.

Gleichspannungen treiben Gleichströme, Wechselspannungen Wechselströme, und in Drehspannungssystemen fließen Drehströme. Das Produkt aus Spannung mal Strom bildet zu gleicher Zeit die elektrische Leistung. Das Produkt der Leistung mit der Zeit, während sie fließt, ist dann die Energie. Per Definition kann die Energie Arbeit leisten. Elektrische Energie wird üblicherweise in kWh (Kilowattstunden) und Arbeit in J (Joule) gemessen. Dabei gilt der Zusammenhang $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$. Die Leistung wird in Watt oder in größeren Einheiten, Kilowatt (kW), Megawatt (MW) oder Gigawatt (GW) angegeben. Diese Zusammenhänge sollen noch an einigen praktischen Beispielen erläutert werden. Stellen Sie sich als Hausbesitzer vor, der eine neue Terrasse anlegen will und dafür einen Lastwagen mit Sand angeliefert bekommt. Da, wo der Sand jetzt liegt, soll aber nicht die Terrasse gepflastert werden. Der Sand muss also weiter mit der Schubkarre transportiert werden. Das bedeutet **Arbeit** und erfordert einen entsprechenden **Energieaufwand**. Schaffen Sie den Transport in einigen Stunden, ist das eine große **Leistung** gegenüber einer Zeitspanne von einigen Tagen.

Leistung P ist per Definition Energie [W] = Arbeit pro Zeit, $P = W/t$

Das kennen wir doch alle aus der Schule. Zur Findung der erforderlichen Zeugnisnoten mussten **Klassenarbeiten** geschrieben werden, die dann benotet wurden. Oft haben sich Schülerinnen und Schüler danach beklagt, dass die Bearbeitungszeit viel zu kurz war. Doch benotet wurden nicht nur die gelieferten Lösungen, sondern das Produkt daraus mit der Bearbeitungszeit. Denn mit der Note erhalten Schülerinnen und Schüler einen Leistungsnachweis, und Leistung errechnet sich aus Arbeit

(Lösungsergebnisse) pro Bearbeitungszeit. Bei einer längeren Bearbeitungszeit, beispielsweise über eine Woche, hätten viele Schülerinnen und Schüler sicherlich alle Aufgaben lösen können. Ein Beispiel für die Wichtigkeit einer erforderlichen Leistung zeigt Bild 1. Stellen wir uns vor, dass ein Kleinwagen mit dem Leergewicht von ca. 1 t = 1000 kg um 1 m auf eine Arbeitsbühne gehoben werden soll. Um diese **Arbeit** zu leisten, ist **Energie** von ca. 10 kWs erforderlich!

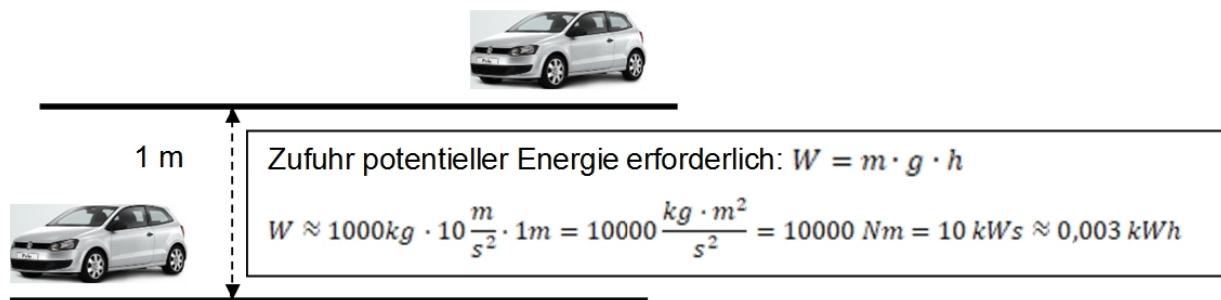


Bild 1. Durch Zufuhr potentieller Energie / Arbeit leisten

Mit einer Leistung von 10 kW wird die Arbeit in 1 Sekunde geliefert, mit einer Leistung von 1 kW werden 10 s und mit 100 W werden 100 s benötigt. Eine Person kann gut 100 W leisten, zwei Personen mit 200 W liefern die Energie in 50 s, heben aber nicht den Wagen, dafür müssten zehn Personen anfassen!!

Fazit:

Die verfügbare Energie muss die maximal erforderliche Leistung liefern, um die Arbeit leisten zu können!

Mehr dazu im Kapitel 1.4 über die regenerativen Energieanteile.

Elektrische Energie ist die edelste, hochwertigste Energieform. Auch Wärme ist Energie, allerdings mit dem niedrigsten Nutzungsfaktor. Die potentielle Energie, auch Lageenergie, nutzt die Schwerkraft der Erde zur Umsetzung in Arbeitsleistung. Das ist jedem sicherlich auch schon passiert, wenn einem etwas auf den Kopf oder Fuß fällt und man dann den Schmerz

verspürt, der durch die potentielle Energie hervorgerufen wurde. Wasserkraftwerke formen die potentielle Energie der höher gelegenen Seen in elektrische Energie um, in dem das Wasser über eine Turbine, die einen Generator antreibt, nach unten fließt.

Die Bewegungsenergie, kinetische Energie, spielt im Straßenverkehr eine besondere Rolle. Im Fahrschulunterricht lernt man die Regel: Bei doppelter Geschwindigkeit den vierfachen Bremsabstand halten. Die Geschwindigkeit v geht nämlich quadratisch in die Berechnung der kinetischen Energie W ein. $W = 1/2 \cdot m \cdot v^2$.

Dass kinetische Energie die Fähigkeit hat, Arbeit leisten zu können, sieht man eindrucksvoll nach einem Unfall. Fährt ein Auto gegen einen Baum, wird Verformungsarbeit geleistet, das Auto ist zerbeult.

Energie kann nicht einfach verschwinden oder in der Menge schlagartig verändert werden. Es ist immer nur die Umwandlung von einer Energieform in eine andere möglich. Im letzten Zustand der Energieform, wenn sich beispielsweise ein warmer Körper abgekühlt hat und die Wärme an die Umgebung abgegeben wurde, ist diese Energie zur Entropie geworden. Das Wasser eines Gebirgssees besitzt potentielle Energie. Fließt das Wasser ohne Kraftwerksnutzung bis ins Meer, wurde die gesamte potentielle Energie zur Entropie. Entropie ist ein Kunstwort und beschreibt die extensive Zustandsgröße eines physikalischen Systems, das in der Thermodynamik benutzt wird.

Festzuhalten ist, dass die industrielle Entwicklung und damit unser Wohlstand erst begann, als Energie preiswert, großflächig und für jeden nutzbar wurde.

Nach der Erfindung der Dampfmaschine entwickelte sich eine neue Antriebstechnik. Mit der Elektrizität lösten Elektromotoren die alten Transmissionsswellen ab und führten zu einer dezentralen Einzelanwendung. Die Elektronik veränderte die Kommunikationstechnik fundamental, und die neuesten zu erwartenden Entwicklungen werden unter den Schlagworten Digitalisierung und künstliche Intelligenz

kommentiert. All das wird nur mit der elektrischen Energie zu realisieren sein. So benötigen heute schon große Rechenzentren Kraftwerksleistungen im MW (Megawatt) Bereich für Infrastruktur, Server, Speicher, Netzwerke, Klimatisierung und unterbrechungsfreie Stromversorgungen. Der Bedarf an Kraftwerksleistungen für zukünftige Rechenzentren der vierten Generation steigt. Zwar bleibt der Bedarf unter 10 kW pro Rack der Standard, aber in Hyperscale-Einrichtungen sind inzwischen 15 kW keine Seltenheit mehr bzw. sie nähern sich bei einigen sogar 25 kW an².

In einer Studie des Fraunhofer Institutes IZM im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wird prognostiziert, dass der Energiebedarf der Rechenzentren bis zum Jahr 2025 auf 45 Mrd. kWh ansteigen wird³, das sind 45 Terawattstunden (TWh). Ein durchschnittlicher Vierpersonen-Haushalt benötigt im Jahr etwa 3500 kWh; die Bundesrepublik benötigte 2020 knapp 500 TWh. Absehbar ist auch, dass der Bedarf an elektrischer Energie künftig erheblich steigen wird. Immer mehr elektrisch betriebene Geräte werden eingesetzt. Es soll zukünftig elektrisch gefahren und auch geheizt werden. Woher dann der ganze Strom kommen soll, wird uns noch ausführlich beschäftigen.

1.1 Kraftwerke als Leistungserzeuger

Im Prinzip kann jede Energieform in eine andere umgewandelt werden. Wirtschaftlich wird die Umwandlung aber erst, wenn die eingesetzte Primärenergieform preisgünstig und in großer Menge verfügbar ist. Bild 2 zeigt die möglichen Wandlungsarten, um elektrische Energie zu erzeugen⁴.

Kraftwerke zur Erzeugung elektrischer Leistung	mechanisch	Windkraftwerk	onshore offshore
		Wasserkraftwerk	Laufwasser, Pumpspeicher
	ohne Generator	Brennstoffzelle	
		Photovoltaik	
	Wärmekraftprinzip	nuklear	
		geothermisch	
		solarthermisch	
		fossil	Dampfturbine
			Gas- und Dampfturbine
			Stirlingmotor

Bild 2. Wandlungsarten für die Erzeugung elektrischer Energie

Die vermehrte Anwendung der Elektrizität führte im letzten Jahrhundert zum Aufbau vieler Kraftwerke, vorzugsweise in der Nähe der großen Stromverbraucher. Als Primärenergieträger wurden bevorzugt Uran, Braunkohle und Steinkohle eingesetzt; Rohstoffe, die in Deutschland oder auch weltweit in großen Mengen verfügbar sind. So sind auch heute noch die Kern- und Kohlekraftwerke die wichtigsten Erzeugerquellen für die **elektrische Leistung**.

In den 1960er Jahren begann eine Diskussion über die Verknappung von Rohstoffen und die schädliche Wirkung von Kohlendioxid. Verstärkt wurde dann Anfang der 70er Jahre in Großbritannien die negative Stimmung gegen den Einsatz von Kohle zur Stromerzeugung durch den Bergarbeiterstreik. Die damalige Premierministerin Thatcher wollte deshalb Kohlekraftwerke durch Kernkraftwerke ersetzen.

In Deutschland trat am 1. Januar 1960 das *Gesetz über die friedliche Verwendung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren* (kurz Atomgesetz)⁵ in Kraft. RWE baute in Gundremmingen 1967 mit 237 MW, PreußenElektra (heute UNIPER) 1967 in Würgassen und 1968 in Stade je mit 640 MW die ersten Atomkraftwerke. Seit der *Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den Energieversorgungsunternehmen vom 15. Juni 2000* (dem sogenannten Atomkonsens)⁶ ist die Nutzung der vorhandenen Kernkraftwerke nur noch zeitlich begrenzt, und es gilt ein Neubauverbot (keine Genehmigungen für den Bau neuer Kernkraftwerke).

Aufgrund des Nuklearunfalles von Fukushima erteilte die Bundeskanzlerin Merkel am 15. März 2011 ein »Atom-Moratorium^{7,8}«. Danach sollten die sieben ältesten deutschen Kernkraftwerke sofort während des Moratoriums sowie das Kernkraftwerk Krümmel und alle weiteren Kernkraftwerke bis 2022 abgeschaltet werden.

Deutschland hatte sich 1968 unter der Kanzlerschaft von Willy Brandt für den schnelleren Aufbau von Kernkraftwerken entschieden. Die Kernkraftwerke sollten langfristig die Kohlekraftwerke ersetzen, um so die Kohlendioxydmissionen zu reduzieren. Das hat aber heute keine Gültigkeit mehr. Das Ende der Kernkraftwerke ist aufgrund der derzeitigen Klimadiskussion beschlossen, auch wenn inzwischen Kernkraftwerke der vierten Generation, wie die **Thorium Reaktoren⁹** mit Flüssigsalzkühlung entwickelt wurden, die sogar Atommüll verbrennen können. Politisch wird vorgegeben, dass die **gesamte Energieversorgung** zukünftig aus regenerativen Quellen erfolgen soll.

Die verlustarme Leistungs-/Energieübertragung auf großen Strecken erfolgt heute dreiphasig mit Höchstspannungen von 380 kV, 220 kV oder 110 kV. Neuerdings findet auch die Gleichstromübertragung vermehrt Anwendung. Für den Transport sehr großer Leistungen über weite Entfernung hat sich die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) und neuerdings auf den »Stromautobahnen« die HVDC-Technik bewährt. Das Herz der HVDC Umrichterstationen ist ein mehrstufiger leistungselektronischer Wandler,

der die Konvertierung von der Drehstrom-(AC-) zur Gleichstromübertragung (DC) und umgekehrt realisiert^{10,11}.

1.2 Prinzipielle Wirkungsweise konventioneller Kraftwerke

Dazu gehören alle Kraftwerke, die aus einer Wärmequelle Wasser erhitzen und mit dem Wasserdampf eine Turbine antreiben. Die Wärme kann aus dem Verbrennen von Braun- oder Steinkohle, aus dem radioaktiven Zerfall von Uranisotopen oder aus Biogasanlagen kommen. Auch die Sonne kann direkt in den solarthermischen Anlagen Wärme und somit auch Dampf erzeugen. Der Dampfkraftprozess ist ein thermischer Kreisprozess, der die Phasenumwandlung flüssig-gasförmig zur Energieaufnahme und -abgabe nutzt. Arbeitsmedium ist in aller Regel Wasser. Es werden zwei Wasserkreisläufe ausgeführt. Ein innerer, der aus der Temperatur des Brennkessels oder Reaktors den Wasserdampf erzeugt, und ein äußerer Kühlkreislauf, der den Dampf kondensieren lässt und das Wasser dem inneren Wasserkreislauf wieder zuführt.

Ein ähnlicher Prozess findet sich auch in einem Kompressor-Kühlschrank. Dort wird ein gasförmiges Kältemittel durch einen Kompressor adiabatisch verdichtet, wodurch sich das Kältemittel erwärmt. Im Verflüssiger, der aus schwarzen, an der Rückseite des Geräts angebrachten Kühlschlangen besteht, wird die Wärme an die Umgebung abgegeben, das Medium kondensiert. So wird die Wärme aus dem Kühlschrank nach außen abgeführt, und im Kühlschrank wird es kälter.

Für den Betrieb von Dampfkraftwerken wird Wasser für den geschlossenen Kreisprozess und das Kühlwasser benötigt. Das Kühlwasser gibt die Wärme über Kühltürme an die Luft oder an Fluss- oder Meerwasser ab. Die intensiven weißen Dampfschwaden über den Kühltürmen zeigen den Kühlbetrieb an. Umwelttechnisch ergibt sich eine Einschränkung für die zulässige Leistungsabgabe der Kraftwerke bei dem Kühlwasser aus Flüssen und dem Meer. So dürfen die beiden Kohlekraftwerke in Wilhelmshaven die Leistung reduzieren, damit sich die Wassertemperatur des Jadebusens nicht über 3 Kelvin erhöht und es zu keiner Erhöhung der

Planktonproduktion kommt. Besonders oft eingeschränkt in ihrer Leistungsabgabe werden Kraftwerke, die über das Flusswasser kühlen. In Frankreich führen diese Leistungseinschränkungen bei den Kernkraftwerken regelmäßig im Hochsommer zu einer Leistungsbegrenzung und damit zu Strommangel, so dass Frankreich Strom importieren muss.

Moderne Kohlekraftwerke erreichen Wirkungsgrade im Bereich von 46%, GuD-Kraftwerke über 60%. **GuD-Kraftwerke**¹² sind große Kraftwerke, die mindestens eine Gasturbine und eine Dampfturbine haben. In der Regel wird die Gasturbine mit Erdgas befeuert, und das noch heiße Abgas dient über einen Abhitzekessel zum Betrieb einer nachgeschalteten Dampfturbine. Idealerweise erfolgt die Dampferzeugung in mehreren Druckstufen; Stand der Technik ist der Drei-Druck-Prozess.

Von **besonderer Bedeutung** ist dabei, dass die Turbine eine konstante Drehzahl hat, um die konstante Netzfrequenz zu garantieren.

1.3 Prinzipielle Wirkungsweise von Blockheizkraftwerken

Block**heiz**kraftwerke (BHKW)¹³ liefern Wärme und gleichzeitig elektrischen Strom; es findet eine gekoppelte Energieproduktion statt. In einem BHKW sind verschiedene Komponenten in einem einzigen Block (Modul) zusammengefasst. Außerdem ist die Funktionsweise eines BHKW darauf ausgelegt, Leitungsverluste möglichst zu vermeiden. Dies wird dadurch realisiert, dass BHKW's dort produzieren, wo in der Nähe sowohl Wärme als auch Strom benötigt wird. Während ein herkömmliches Kraftwerk Wirkungsgrade von 40 bis 60 Prozent erreicht, liegt der Wirkungsgrad eines BHKW zwischen 80 und 95 Prozent. Aber Blockheizkraftwerke sind alle temperaturgeführt; erzeugt wird die benötigte Wärme und parallel dazu die dabei anfallende elektrische Energie. Der gute Wirkungsgrad wird auch nur dann erreicht, wenn das BHKW unter Vollast gefahren und die Wärme benötigt wird.

Die Bundesregierung fördert mit dem Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (**KWK**)^{14,15} die Modernisierung und den Neubau von **KWK**-Anlagen, den

Neu- und Ausbau von Wärme- und Kältenetzen sowie den Neubau von Wärme- und Kältespeichern, in die Wärme oder Kälte aus **KWK**-Anlagen eingespeist werden (zur Förderung der KWK-Anlagen mehr im Kapitel 7.2).

1.4 Regenerative Energieerzeugungsanlagen

Regenerative Energieerzeugungsanlagen nutzen Energiequellen, die in der Natur frei verfügbar sind. Das sind Sonne und Wind sowie nachwachsende Pflanzen. Auch die Nutzung der Wasserkraft und die Geothermie wird den regenerativen Energiequellen zugeordnet.

1.4.1 Biogas Kraftwerke

Biogas Kraftwerke arbeiten wie die konventionellen Gaskraftwerke. Sie verbrennen keine Kohle, sondern erzeugen Biogas durch Vergärung von Biomasse. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen werden meist Energiepflanzen (Mais) und tierische Exkreme (Gülle, Festmist) als Substrat eingesetzt. In nichtlandwirtschaftlichen Anlagen wird Material aus der Biotonne verwendet oder Abfallprodukte aus der Lebensmittelproduktion. Als Nebenprodukt fällt ein Gärrest an, der als Dünger weiterverwendet wird. Bei den meisten Biogasanlagen wird das entstandene Gas vor Ort in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Strom- und Wärmeerzeugung genutzt. Andere Biogasanlagen bereiten das gewonnene Gas zu Biomethan auf und speisen es ins Erdgasnetz ein. Die Erzeugung wesentlich größerer Mengen von Biogas scheitert an dem dafür erforderlichen Flächenbedarf für den Anbau der Energiepflanzen. Es entsteht auch ein Konflikt innerhalb der Landwirtschaft, ob Lebensmittel oder Energie erzeugt werden soll.

Der Einsatz von nachwachsenden Energiepflanzen hat den Vorteil einer günstigen CO₂-Bilanz. Der CO₂-Anteil, der bei der Verbrennung des Biogases entsteht, wurde zuvor von der Pflanze aus der Luft aufgenommen. Die wesentliche zeitliche Verzögerung dieses Kreislaufprozesses wird dabei nicht berücksichtigt. Auf den Nachteil des enormen Flächenbedarfs für den Anbau von Energiepflanzen wurde schon hingewiesen. Mit der Förderung und Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen

befasst sich Kapitel 7.3 näher. In Deutschland waren 2019 ca. 12 001 Biogaskraftwerke in Betrieb¹⁶.

1.4.2 Wasserkraftwerke

Wasserkraftwerke sind wie Windmühlen die ältesten Energieerzeugungsanlagen. Wasserkraft erlebt derzeit einen globalen Aufschwung. Seit Jahrtausenden drehten sich Wasserräder im Fluss. 1767 entdeckte der englische Ingenieur John Smeaton, dass ein gusseisernes Wasserrad viel belastbarer und leistungsfähiger ist als sein Vorgänger aus Holz: Die industrielle Revolution kam in Schwung. Wurde zunächst nur mechanische Leistung (Drehmoment mal Drehzahl) als Einzelantrieb genutzt wie Wassermühlen oder Wasserpumpen, konnte später mit dem von Werner von Siemens erfundenen elektrodynamischen Generator auch Strom aus Wasserkraft erzeugt werden. Bild 3 zeigt die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten der Wasserkraft¹⁷.



Bild 3. Möglichkeiten, Wasserkraft in CO2-freien Strom umzuwandeln

Wasserkraftanlagen können sowohl bei Talsperren oder in fließenden Gewässern nach Bild 4, als Laufwasserkraftwerke¹⁸ ausgeführt werden. Auch sind Gezeitenkraftwerke oder auch Pumpspeicherkraftwerke technisch realisiert.



Bild 4. Rheinkraftwerk Iffezheim (Foto: EnBW/Daniel Meier-Gerber)

Genutzt wird die kinetische Energie im Wasser, die mit Hilfe von Turbine und Generator in elektrische Energie gewandelt wird. Für die Erhöhung des nutzbaren Energieinhalts werden bei Laufwasserkraftwerken auch Staustufen, wie zum Beispiel bei Talsperren, ausgeführt. Eine Leistungssteuerung wird mit unterschiedlichen technischen Ausführungen der Wasserturbinen^{19,20} möglich. Realisiert sind Leistungen im Bereich 200 Watt bis zu tausenden Megawatt für die unterschiedlichen technischen Ausführungen der Wasserturbinen. Die Drehzahl der Turbine muss dabei über die Durchflussmenge konstant geregelt werden, damit der Generator eine konstante Frequenz erzeugt. Die erforderliche Generatorleistung kann auch über die Durchflussmenge eingestellt werden.

Das Drei-Schluchten-Projekt ist das größte Infrastrukturprojekt Chinas. Dabei wird der Jangtsekiang als dritt längster Fluss der Welt auf 660 km Länge aufgestaut. Die dort installierten Wasserkraftwerke liefern 18,2 GW Leistung und pro Jahr 84,7 Mrd. kWh (84,7 TWh). In 2020 nimmt China ein weiteres sehr großes Wasserkraftwerk mit 10,2 GW in Betrieb²¹.

Die Stromproduktion aus Wasserkraft schwankte in den letzten Jahren in Deutschland je nach Niederschlagsmengen und aufgrund der Vorgaben zur Leistungsreduktion nach EEG netto zwischen 17 Terawattstunden (TWh) und 20 TWh. 2018 lag die Produktion bei 16,9 TWh, 2019 bei 20,1 TWh und 2020 bei 18,3 TWh, das entsprach einem Anteil von 3,7% der gesamten erzeugten Energie²².

Wasserturbinen haben hohe Wirkungsgrade bis zu 95%. Die Bauarten unterscheiden sich nach ihrer Abhängigkeit vom Volumenstrom, Drehmoment und der Drehzahl²⁰. In Deutschland waren 2020 nach Bild 5 insgesamt 7300 Wasserkraftwerke mit 5,6 GW in Betrieb. Ein weiterer Zubau ist aus geografischen Gründen kaum vorstellbar²³. Die meisten Anlagen befinden sich in Süddeutschland.

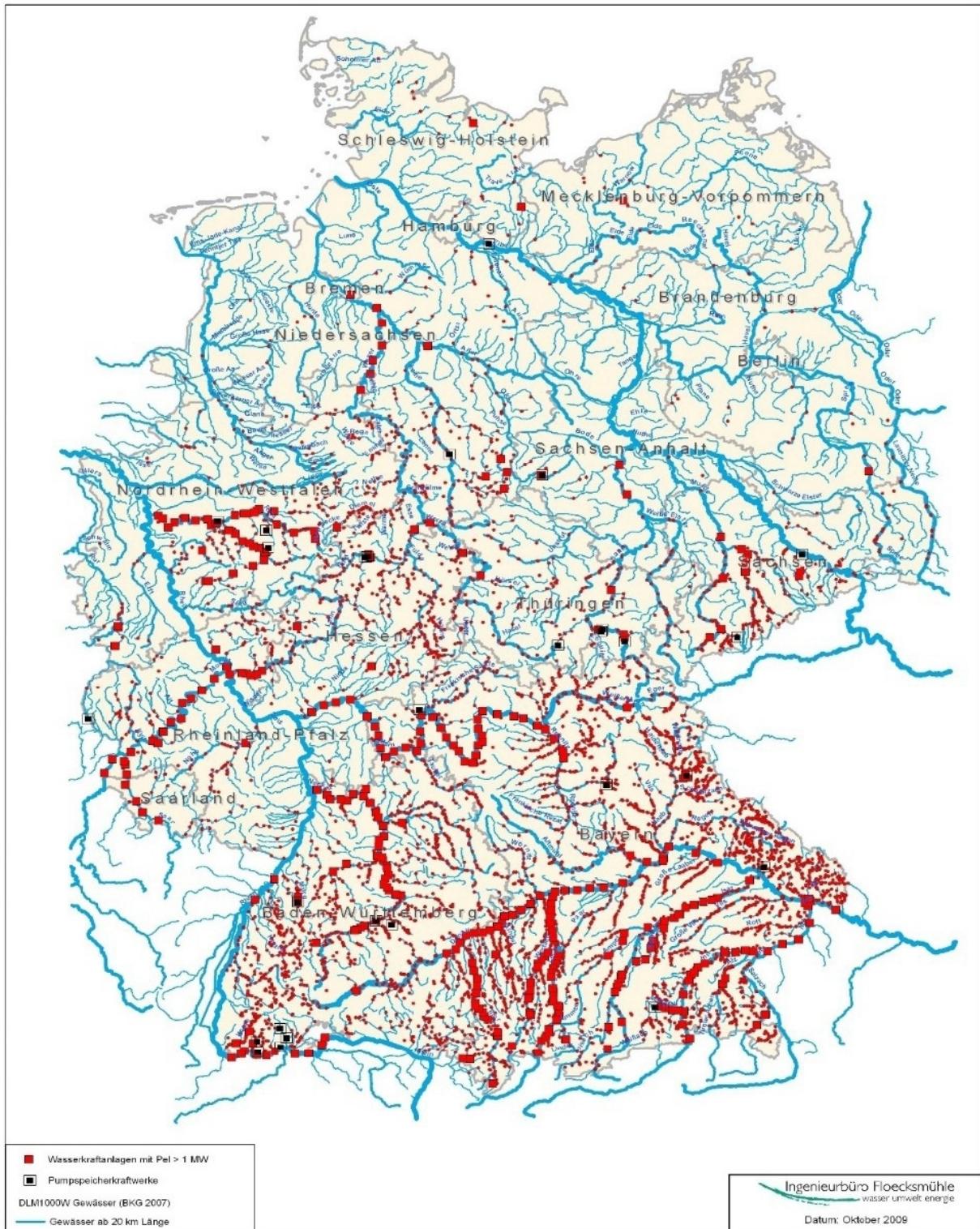


Bild 5. Bestand der Wasserkraftanlagen in Deutschland