



WIRTSCHAFTSBEIRAT
BAYERN

Zahlen und Fakten zur Stromversorgung in Deutschland 2016

Autor:

Maximilian Faltlhauser

stellv. Vorsitzender des Ausschusses für
Rohstoff- und Energiepolitik
des Wirtschaftsbeirats Bayern

München, im Juli 2016

Vorwort

Sehr geehrter Leser,

auch wenn die Energiepolitik gegenwärtig nicht die ganz großen Schlagzeilen schreibt, so ist sie unverändert ein Dauerthema, das im Interesse der Wirtschaft und der Gesellschaft auf keinen Fall vernachlässigt werden darf. Wir erleben grundlegende Veränderungen einer sich wandelnden Energiewelt. Die konzeptionellen Eckpunkte für ein neues Strommarktdesign wurden in einem aufwendigen Konsultationsverfahren Anfang 2016 parlamentarisch entschieden. In den nächsten Jahren wird sich zeigen, inwieweit dieses den großen Erwartungen gerecht werden wird oder die Systemdebatte erneut aufleben muss.

Zudem steigt das Bewusstsein, dass der Erfolg der Energiewende vor allem davon abhängen wird, inwieweit das deutsche Vorbild im Ausland auf Nachahmer treffen wird. Die Überzeugungskraft, den Weg der Energiewende zu beschreiten, wird ganz entscheidend davon abhängen, wie die selbst gesteckten Ziele zur Versorgungssicherheit, der Bezahlbarkeit und der Umweltverträglichkeit von uns selbst auch eingehalten werden. Um dies fortlaufend überprüfen zu können, kommt man nicht umhin sich mit nüchternen Kennzahlen auseinanderzusetzen.

Der Wirtschaftsbeirat Bayern - der Ausschuss für Energie- und Rohstoffpolitik - beweist Konstanz und führt seine 2012 begonnene Tradition fort. Unser gewohntes Credo „Lasst Zahlen sprechen.“ haben wir natürlich beibehalten. Im letzten Kapitel „Zukunft der Stromversorgung“ betrachten wir besonders die einsetzende Sektorenkoppelung sowie Speicherung und Wirkungsgrade der Energieumwandlung welche von besonderer Bedeutung in diesem Kontext sind.

Wir hoffen, die Zahlen unterstützen Sie in Ihrer Arbeit, in Gesprächen und Diskussionen.

Armin Geiß

Vorsitzender des Ausschusses für
Rohstoff- und Energiepolitik
des Wirtschaftsbeirats Bayern

Maximilian Faltlhauser

stellv. Vorsitzender des Ausschusses für
Rohstoff- und Energiepolitik
des Wirtschaftsbeirats Bayern

Einheiten und „Nullen“

- Energie wird in Wattsekunden (Ws) gemessen. $1 \text{ Ws} = 1 \text{ Joule (J)} = \text{Arbeit}$
- Leistung wird in Watt (W) gemessen
- Leistung (W) x Zeit (h) = Arbeit (Wh)

Symbol	Name	Wert	
k	Kilo	1.000	Tausend
M	Mega	1.000.000	Million
G	Giga	1.000.000.000	Milliarde
T	Tera	1.000.000.000.000	Billion
P	Peta	1.000.000.000.000.000	Billiarde

gängige Einheiten für:

- Leistung MW (Megawatt)
- Energieverbrauch kWh (Kilowattstunden)
- nationale Stromerzeugung TWh (Terawattstunden)

Inhalt

1.	Historie und Struktur	4 - 6
1.1	Acht Besonderheiten des Strommarktes	
1.2	Erläuterung zum energiewirtschaftlichen Dreieck	
1.3	Strommarktliberalisierung und Energiewende	
1.4	Struktur des Primärenergieverbrauchs	
1.5	Entwicklung des Primärenergieverbrauches nach Anwendungsbereichen	
2.	Kraftwerksleistung und Stromerzeugung	7 - 9
2.1	Installierte Leistung nach Erzeugungsarten	
2.2	Volllaststunden verschiedener Erzeugungsarten	
2.3	Installierte Leistung erneuerbarer Erzeugungsarten	
2.4	Leistung und Erzeugung in Deutschland 2015	
2.5	Leistung und Erzeugung in Bayern 2013	
3.	Wirtschaftlichkeit und Strompreis	10 - 13
3.1	Entwicklung der Strompreise für Haushalte	
3.2	Entwicklung der Strompreise für Industriekunden	
3.3	EEG-Umlage nach Erzeugungsarten	
3.4	Staatliche Belastungen auf den Strompreis	
3.5	Internationaler Preisvergleich Haushalte	
3.5	Internationaler Preisvergleich Industriekunden	
4.	Versorgungssicherheit und Stromqualität	14 - 15
4.1	Qualitätsfaktoren von Strom	
4.2	Stromausfallminuten SAIDI: Entwicklung und internationaler Vergleich	
4.3	Entwicklung von Redispatchmaßnahmen	
4.4	Stromtausch mit Nachbarländern	
5.	Umweltschutz und Energiemix	16 - 19
5.1	Bruttostromerzeugung in Deutschland	
5.2	Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland	
5.3	Bruttostromerzeugung in Bayern	
5.4	Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Bayern	
5.5	Kaya-Identität	
5.6	Entwicklung der Weltbevölkerung und Primärenergie	
5.7	Entwicklung des weltweiten CO ₂ -Ausstoßes	
5.8	CO ₂ Emissionen nach Anwendungsbereichen	
6.	Zukunft der Stromversorgung	20 - 23
6.1	Anteil erneuerbare Energie: Strom, Wärme, Mobilität	
6.2	Energiewende aus Sicht der Stromwirtschaft	
6.3	Energiewende aus Sicht des Energieverbrauchers	
6.4	Speichertechnologien im Vergleich	
6.5	Wirkungsgradkette Strom-Gas-Strom	
6.6	Wirkungsgrade verschiedener Energiemaschinen	
Impressum		24

1. Historie und Struktur

1.1 Acht Besonderheiten des Strommarktes

Der Strommarkt ist kein Markt wie jeder andere.

Acht Besonderheiten grenzen ihn von typischen Produktmärkten ab:

- 1 Es existiert noch keine Technik, um Strom in großen Mengen und über längere Zeit wirtschaftlich zu speichern. Trotz massiver Forschungsanstrengungen wird sich an diesem Umstand mittelfristig nichts ändern. Insbesondere hohe Umwandlungsverluste machen Stromspeicherung regelmäßig unwirtschaftlich.
- 2 Stromproduktion und Stromverbrauch finden aus diesem Grund zeitgleich statt und müssen fortwährend aufeinander abgestimmt werden.
- 3 In Konsequenz dieser physikalischen Besonderheit wird Strom ausnahmslos virtuell gehandelt. Die klassische Funktion des Handels, ein Produkt auch physisch zu speichern und zu bevorraten, gibt es beim Stromhandel nicht.
- 4 Ein Stromproduzent hat keinen Einfluss auf die Qualität seines Produktes Strom, wie es bei seinem Kunden ankommt. Alle Qualitätseigenschaften werden durch das Stromnetz egalisiert.
- 5 In einem Netzgebiet ist die technische Stromqualität somit für alle Stromkunden gleich. Eine bessere Stromqualität kann ein Kunde – selbst wenn er es wollte - über das Stromnetz nicht kaufen. Dies betrifft insbesondere die Versorgungssicherheit als dominantes Qualitätsmerkmal.
- 6 Das extrem homogene Produkt Strom kann durch extrem heterogene Techniken hergestellt werden. Da beim Kauf von Strom vor allem der Preis entscheidet, stehen die verschiedensten Produktionstechniken in einem äußerst harten Preiswettbewerb zueinander. Umweltaspekte der Erzeugungstechniken und wie sie im Marktgeschehen Berücksichtigung finden, sind daher besonders anspruchsvoll.
- 7 Die Eigentümlichkeit von Strom spiegelt sich auch im Recht wider. Im Gegensatz zu allen anderen Gütern ist Strom juristisch betrachtet keine Sache. Für Stromdiebstahl musste daher bereits im Jahr 1900 ein eigener Straftatbestand geschaffen werden.
- 8 Eine sichere Stromversorgung stellt wie kein anderer Markt die Achillesferse einer modernen Wirtschaft und Gesellschaft dar. Das gesellschaftliche Leben und Wirtschaften kann nahezu alle Produkte eine Zeit lang entbehren. Fehlt jedoch Strom, setzt sofort flächendeckender Stillstand ein. Man geht davon aus, dass ein großflächiger Stromausfall von mehr als einer Woche in einer modernen Industriegesellschaft zu bürgerkriegsähnlichen Zuständen führt. Ohne Strom droht Staat und Gesellschaft ein multiples Systemversagen.

1.2 Erläuterung zum energiewirtschaftlichen Dreieck

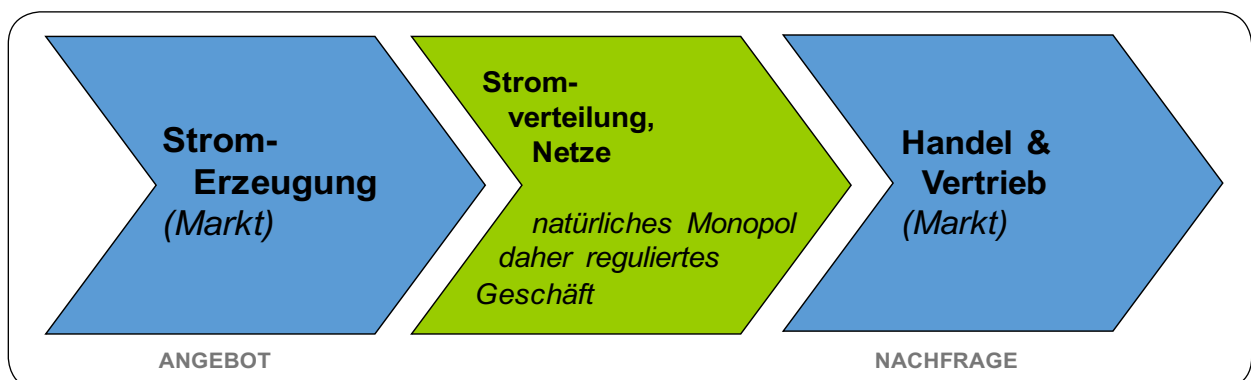
Die Gliederung dieser Broschüre orientiert sich an dem im Energiewirtschaftsgesetz verankerten Zieldreieck - dem energiepolitischen Dreieck - mit den Dimensionen: Umweltschutz, Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit. Ziel einer jeden Diskussion sollte immer ein Gesamtoptimum aller Aspekte der Stromversorgung sein. Diesem Gesamtoptimum kann man nur dadurch näher kommen, wenn man bei einer energiepolitischen Entscheidung innerhalb einer Dimension, sich der wechselseitigen Auswirkungen und Konsequenzen auf die jeweils anderen Dimensionen bewusst ist.



1.3 Strommarkliberalisierung und Energiewende

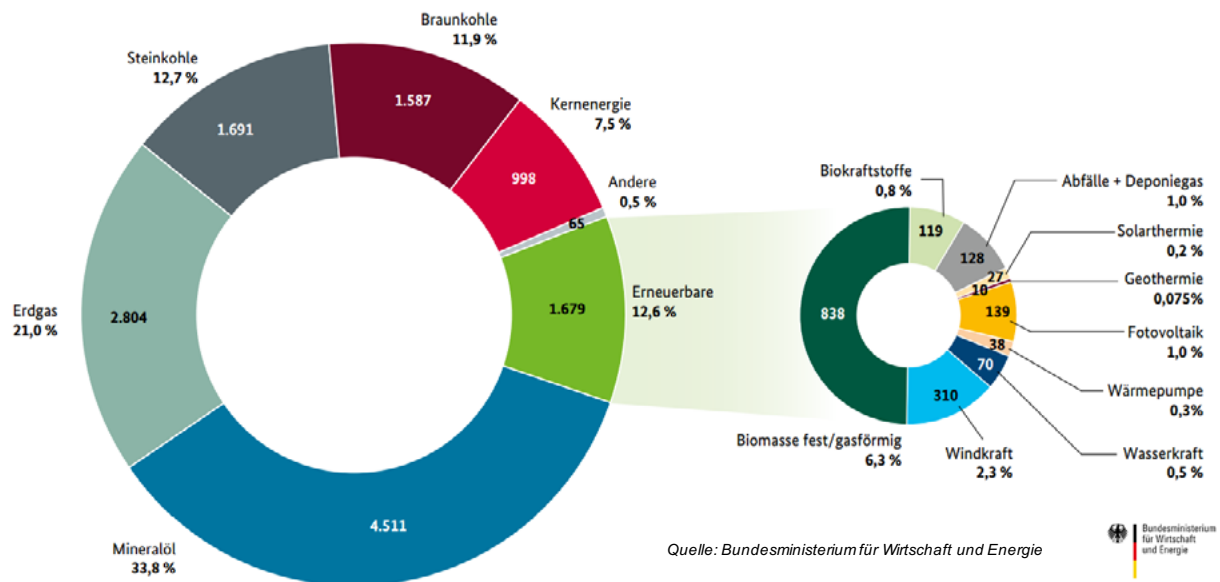
Die jüngere Geschichte der Stromversorgung beginnt 1998 mit der Strommarkliberalisierung. Aus unfreien monopolgebundenen Versorgungsnehmern wurden Stromkunden, die ihren Stromanbieter frei wählen können. Umgesetzt wurde diese Befreiung indem man die Stromversorgung in drei Teile aufteilte: Den beiden marktwirtschaftlich organisierten Bereichen der Stromerzeugung und des Stromvertriebes sowie dem sich zwischen diesen beiden Wertschöpfungsstufen befindenden, regulierten Stromnetzen (siehe Darstellung).

Der in der Energiewende zum Ausdruck kommende, politische Wille zum Umbau der Stromversorgung, brachte mit der Photovoltaik und der Windenergie zwei Technologien hervor, die zwar ohne variable Brennstoffkosten auskommen, dafür jedoch nur volatil und nicht bedarfsorientiert Strom erzeugen können. Für das Stromversorgungssystem bedeutete dies einen neuen Systemzustand: den des Stromüberangebots. Da mit diesen Techniken Energieverbraucher zusätzlich selbst dezentral Energie erzeugen können besteht das System gegenwärtig in einem vielschichtigen Wandlungsprozess. Volatilität verlangt Flexibilität. Dezentralität verlangt digitale Steuerung. Eigenerzeugung verlangt eine faire Netzintegration. Diese Veränderungen spiegeln sich im so genannten neuen Marktdesign wider und flossen 2016 unter anderem in eine Novellierung des Energiewirtschaftsgesetzes ein. Ein Ende der eingeleiteten Systemdebatte zeichnet sich damit jedoch noch nicht ab.



1.4 Struktur des Primärenergieverbrauchs

Primärenergieverbrauch in Deutschland 2015 (13.335 PJ)



1.5 Entwicklung des Primärenergieverbrauches nach Anwendungsbereichen

Entwicklung des Primärenergieverbrauches (in PJ)

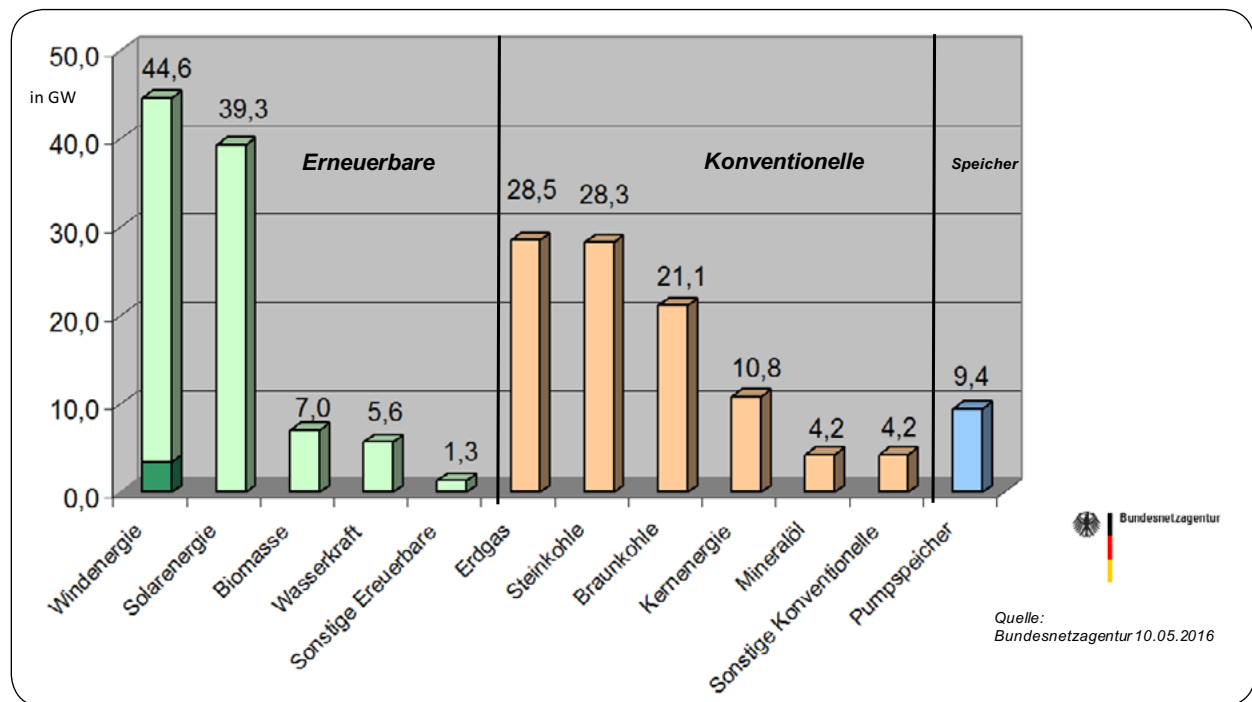
(in PJ)	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2015
Deutschland	14.905	14.269	14.401	14.558	14.217	13.822	13.307
Bayern	1.783	1.953	2.037	2.008	2.081	2.043	

Entwicklung nach Anwendungsbereichen in Deutschland (in TWh)

(in TWh)	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2015
Bruttostromverbrauch	551	542	580	614	615	600	617*
Wärmeverbrauch	1.524	1.543	1.470	1.496	1.470	1.470	1.176
Kraftstoffverbrauch	518	645	665	597	614	621	647
Endenergieverbrauch	2.631	2.590	2.565	2.535	2.586	2.580	2.440

2. Kraftwerksleistung und Stromerzeugung

2.1 Installierte Leistung nach Erzeugungsarten



2.2 Volllaststunden verschiedener Erzeugungsarten

Multipliziert man die installierte Leistung (in kW) mit der Zeit (in h), so ergibt sich hieraus die Arbeit (in kWh). Die Betriebsstunden konventioneller und nuklearer Kraftwerke werden - abgesehen von technischen Wartungs- und Reparaturzeiten - durch den Strombedarf geregelt. Die Kraftwerke, die

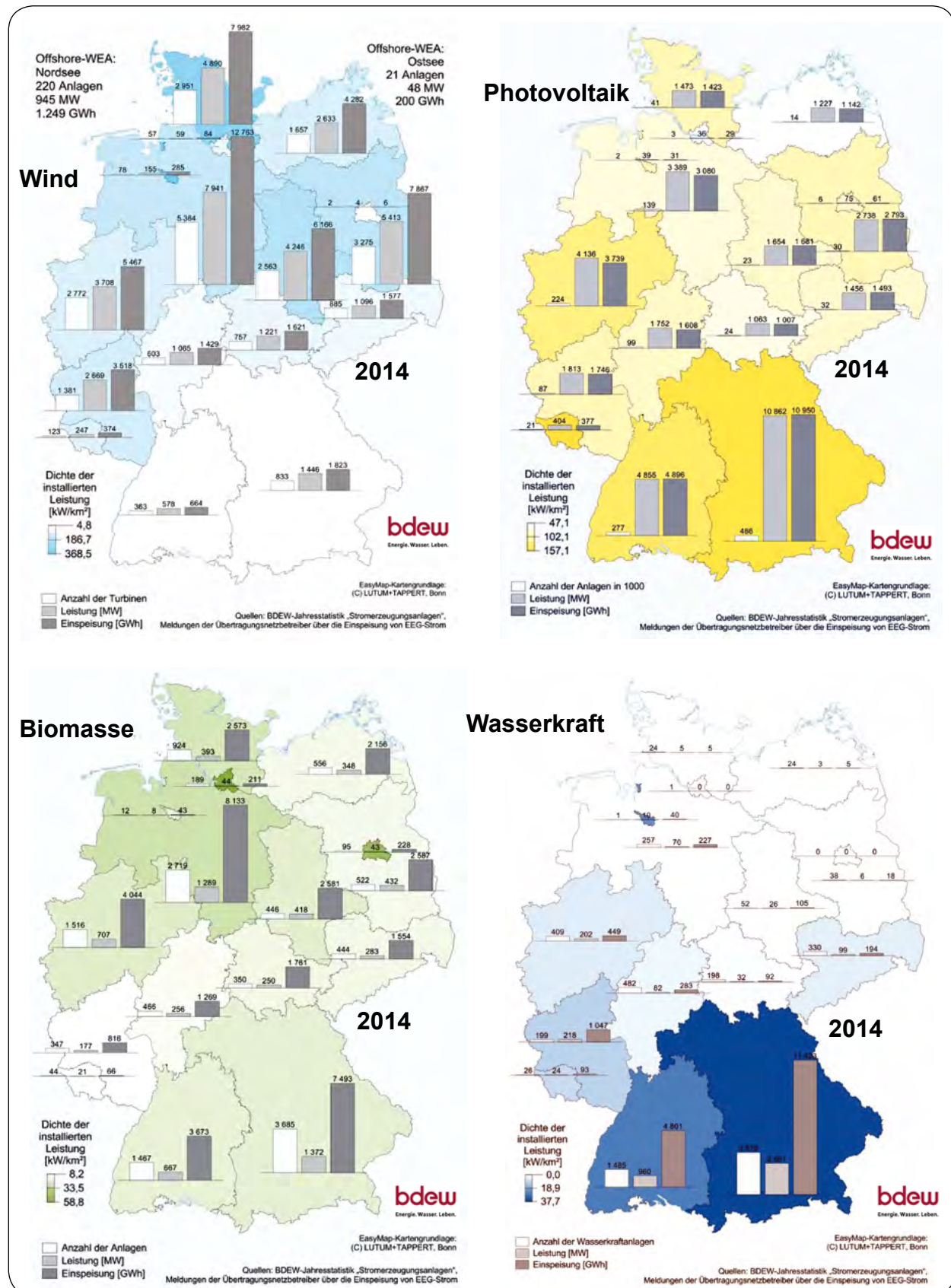
Strom am günstigsten produzieren können, werden hierbei bevorzugt (Merit-Order) eingesetzt. Die meisten erneuerbare Energien sind nicht bedarfsgeregelt. Ihre Betriebszeiten richten sich nach den natürlichen Gegebenheiten (ob Wind weht, die Sonne scheint, oder ein Fluss viel oder wenig Wasser führt). Die Einheit Volllaststunden zeigt an, wie viele Stunden ein Kraftwerk mit maximaler Leistung pro Jahr in Betrieb ist. Hierbei werden Teillastbetriebszeiten (wenn z.B. nur wenig Sonne scheint, oder nur schwacher Wind weht) in Volllastbetriebszeiten zusammengefasst. Bei konventionellen und nuklearen Kraftwerken werden die jahresüblichen Bedarfszeiten zur Ermittlung der Volllaststunden verwendet. Multipliziert man die Volllaststunden eines Kraftwerkes mit der installierten Leistung erhält man die in einem Jahr erzeugte Strommenge (Arbeit). Eine andere gängige Einheit ist der „load factor“ in %. Er gibt den Anteil an, zu wie vielen Stunden im Jahr ein Kraftwerk unter Volllast betrieben werden kann.

Die dargestellten Volllaststunden zeigen den Zustand ohne Funktionsstörung im Strommarkt im Jahr 2008.

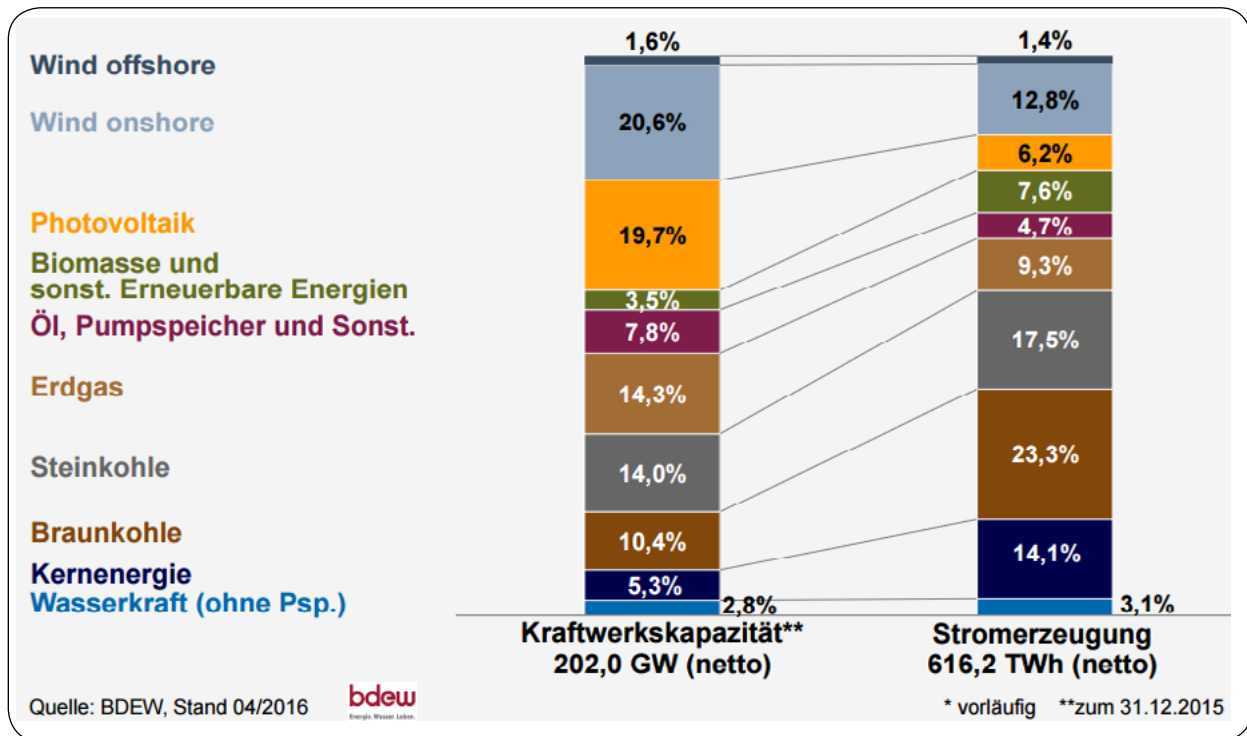
	Volllaststunden pro Jahr (1 Jahr = 8.760 h)
Geothermie	8.300
Kernenergie	7.700
Braunkohle	6.650
Biomasse	6.000
Steinkohle	3.550
Wasserkraftwerk	4.100
Erdgas	3.150
Mineralöl	1.650
Wind (onshore)	1.750
Wind (offshore)	4.400
Photovoltaik (Hamburg)	840
Photovoltaik (München)	1.010
Photovoltaik (Madrid)	1.390
Pumpspeicher	970

bedarfsgerecht regelbar
 volatil

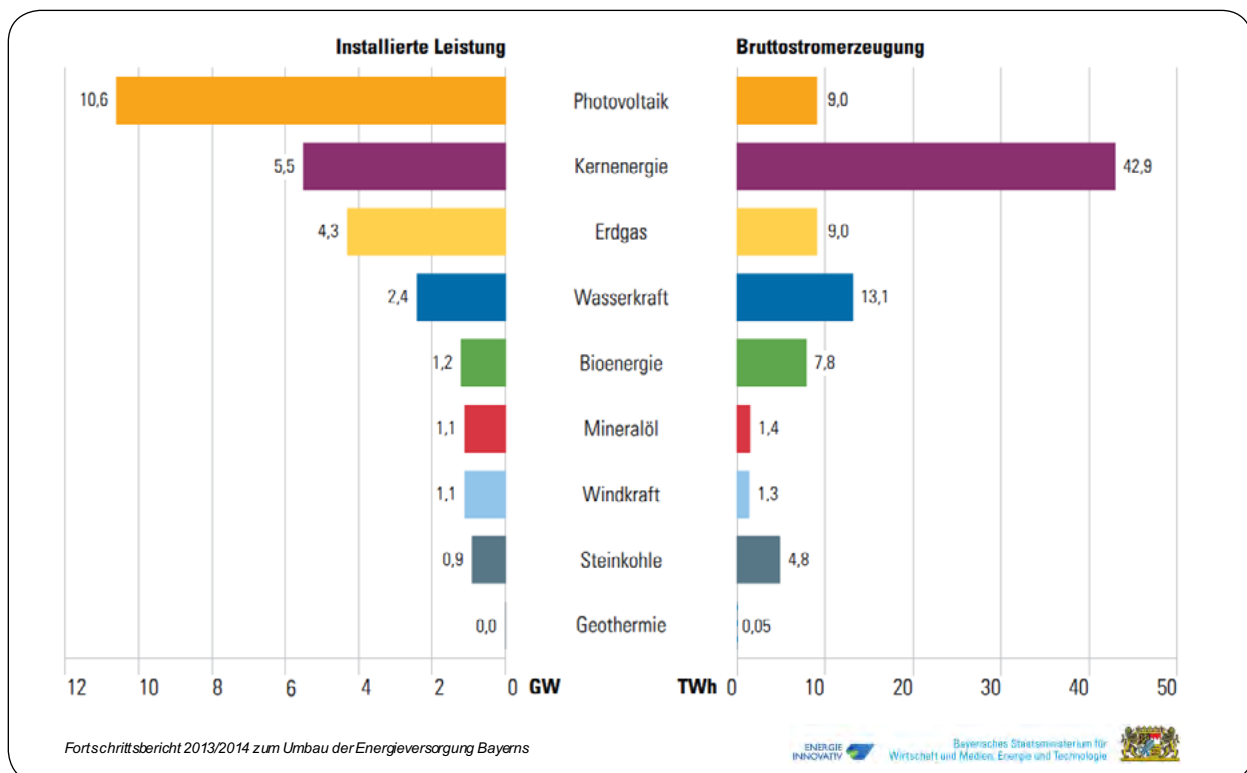
2.3 Installierte Leistung erneuerbarer Erzeugungsarten



2.4 Leistung und Erzeugung in Deutschland 2015

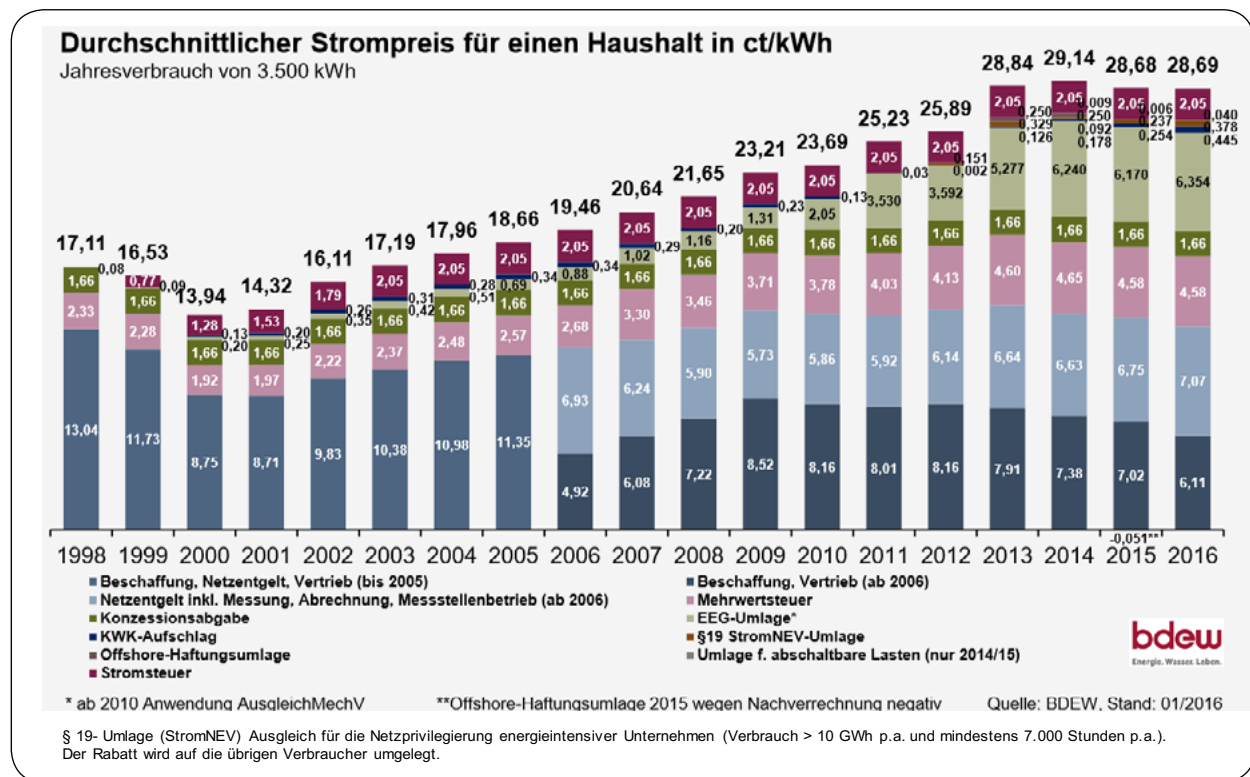


2.5 Leistung und Erzeugung in Bayern 2013

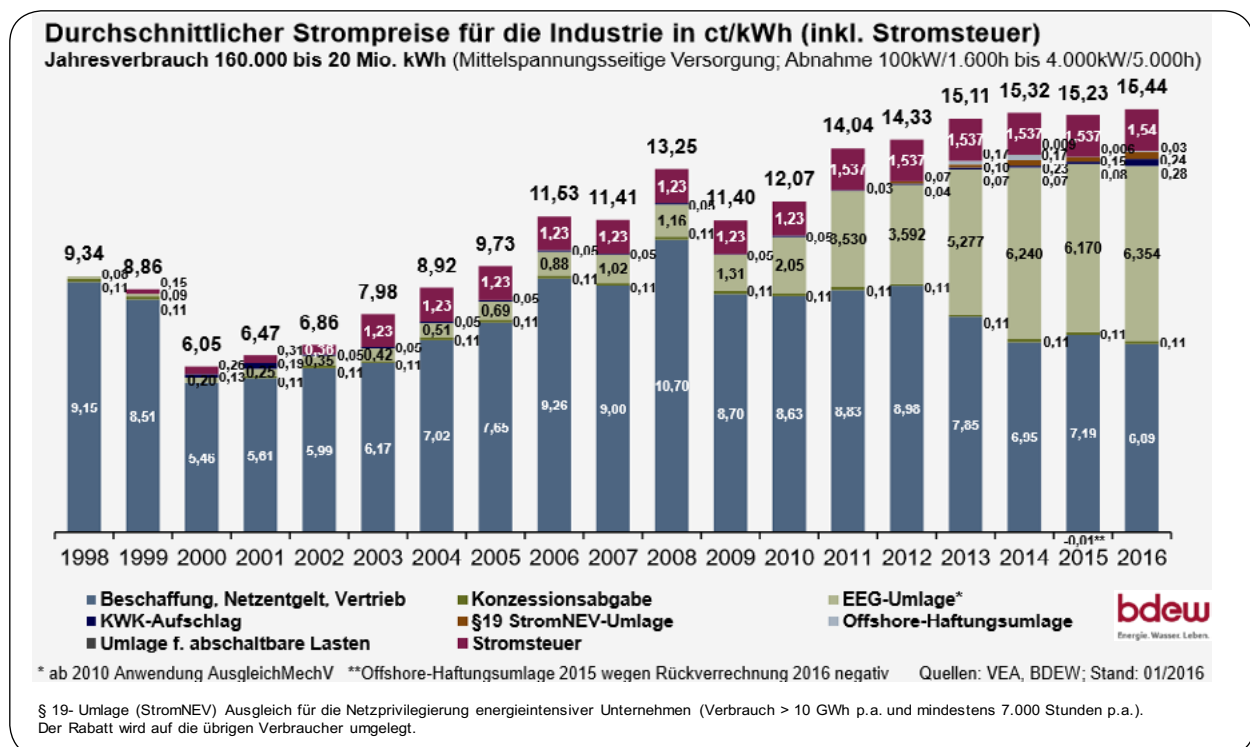


3. Wirtschaftlichkeit und Strompreis

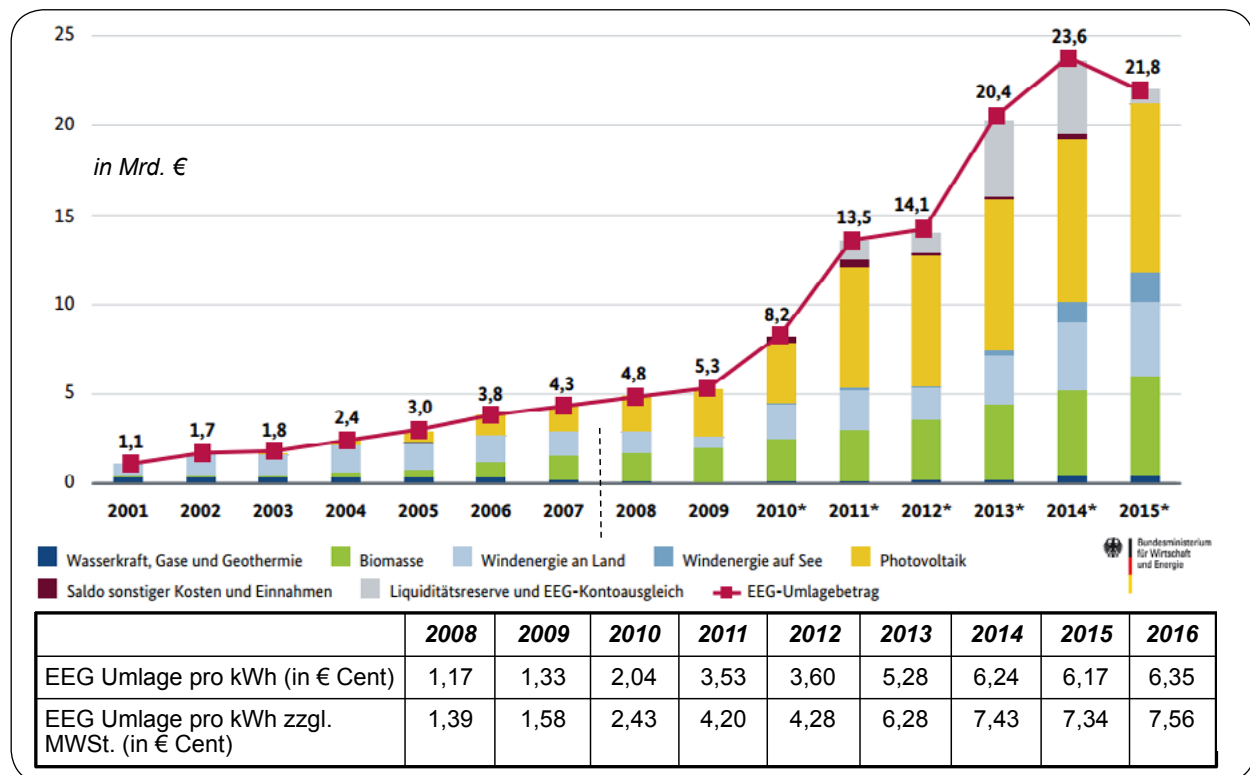
3.1 Entwicklung der Strompreise für Haushalte



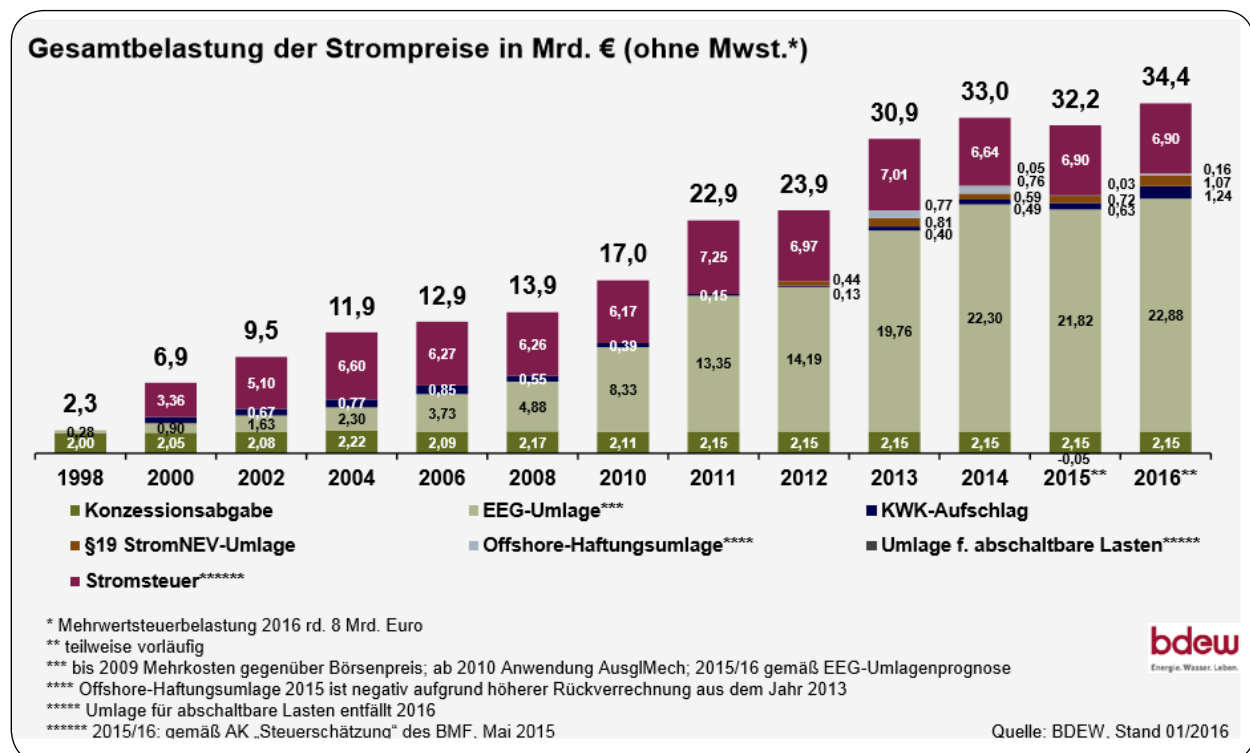
3.2 Entwicklung der Strompreise für Industriekunden



3.3 EEG-Umlage nach Erzeugungsarten

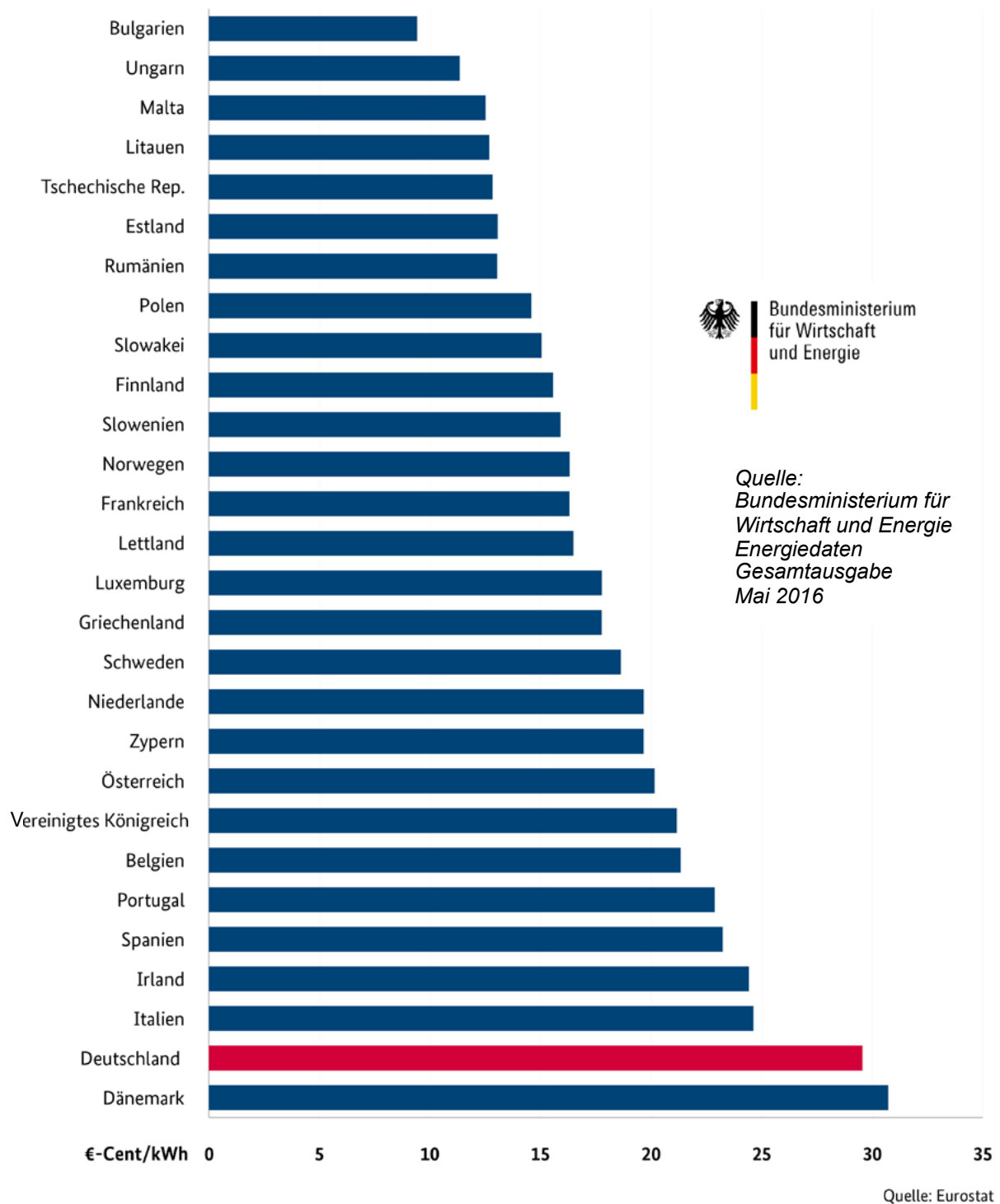


3.4 Staatliche Belastungen auf den Strompreis



3.5 Internationaler Preisvergleich Haushalte

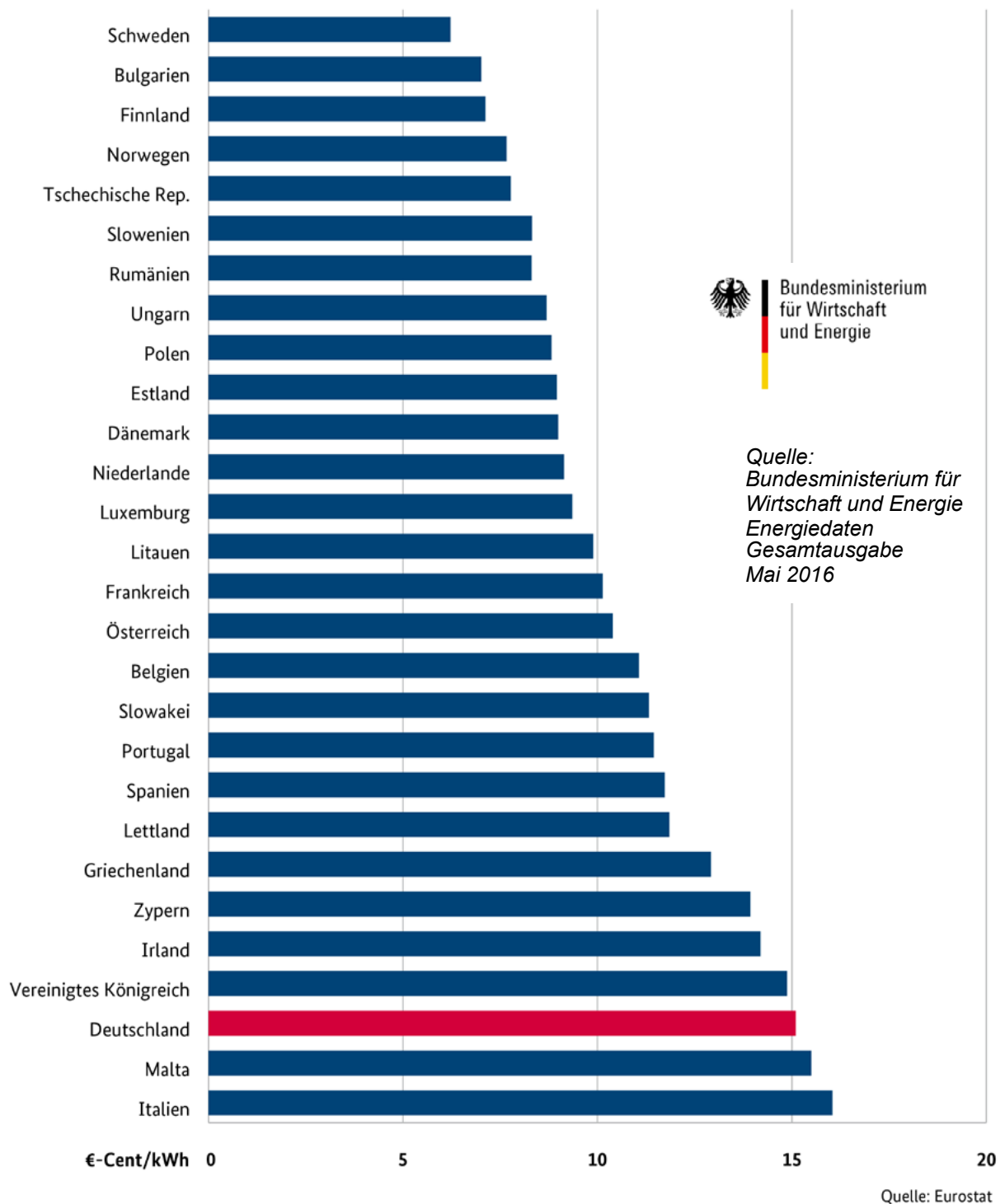
Vergleich der Elektrizitätspreise für private Haushalte 2015
Jahresverbrauch 2.500 kWh < 5.000 kWh



3.5 Internationaler Preisvergleich Industriekunden

Internationaler Strompreisvergleich (Industrie) 2015

Verbrauch: 500 MWh < 2.000 MWh



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

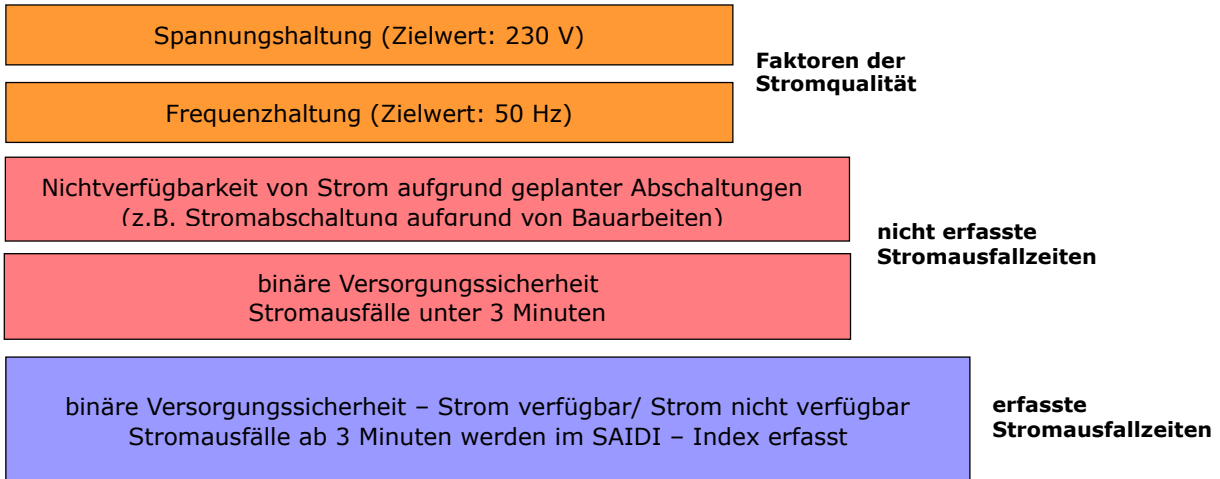
Quelle:
Bundesministerium für
Wirtschaft und Energie
Energiedaten
Gesamtausgabe
Mai 2016

4. Versorgungssicherheit und Stromqualität

4.1 Qualitätsfaktoren von Strom

steigende Ansprüche an die Stromqualität

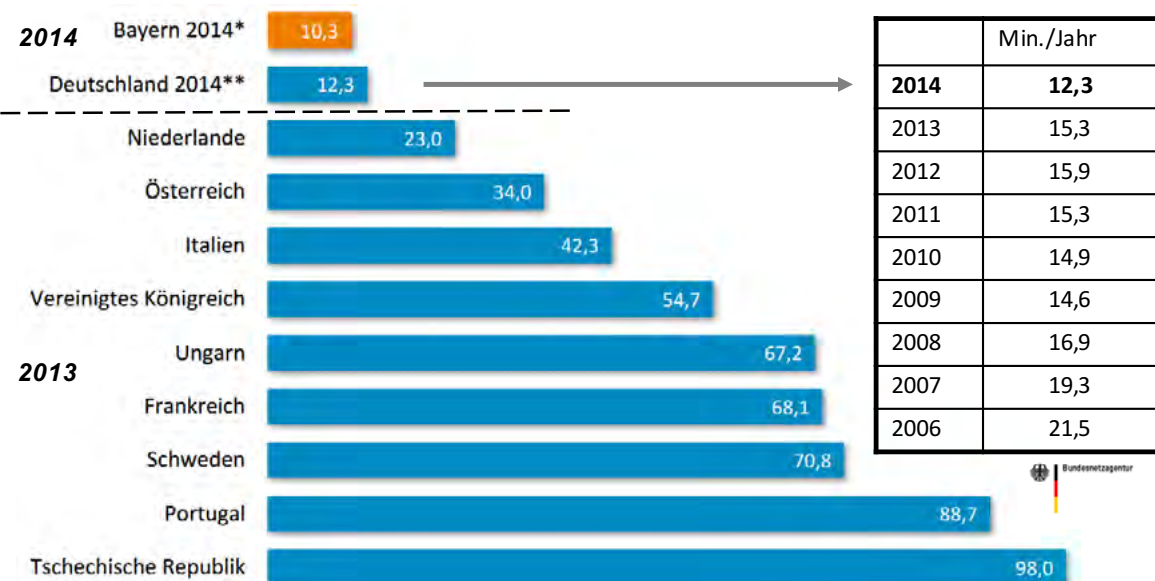
(EDV, Telekommunikation, elektrische Motoren in der Präzisionsproduktion)



4.2 Stromausfallminuten SAIDI: Entwicklung und internationaler Vergleich

Unterbrechungsdauer der Stromversorgung in Europa 2013

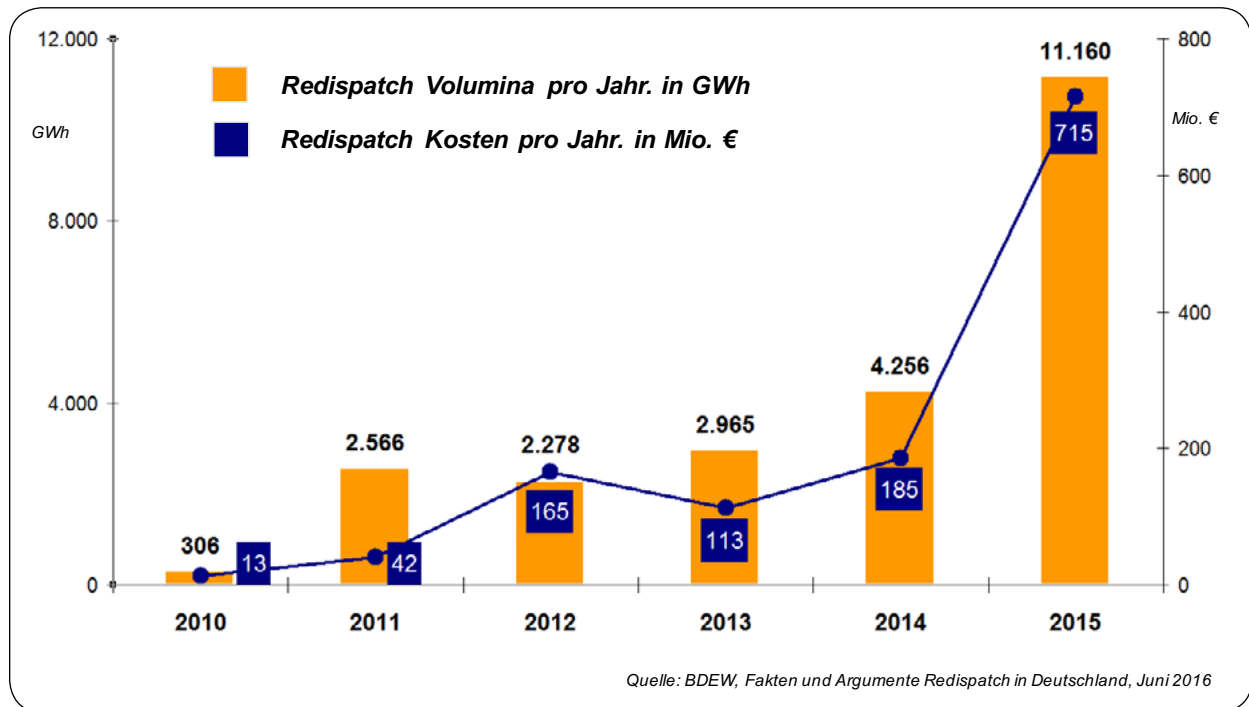
(Entwicklung SAIDI = System Average Interruption Duration Index)



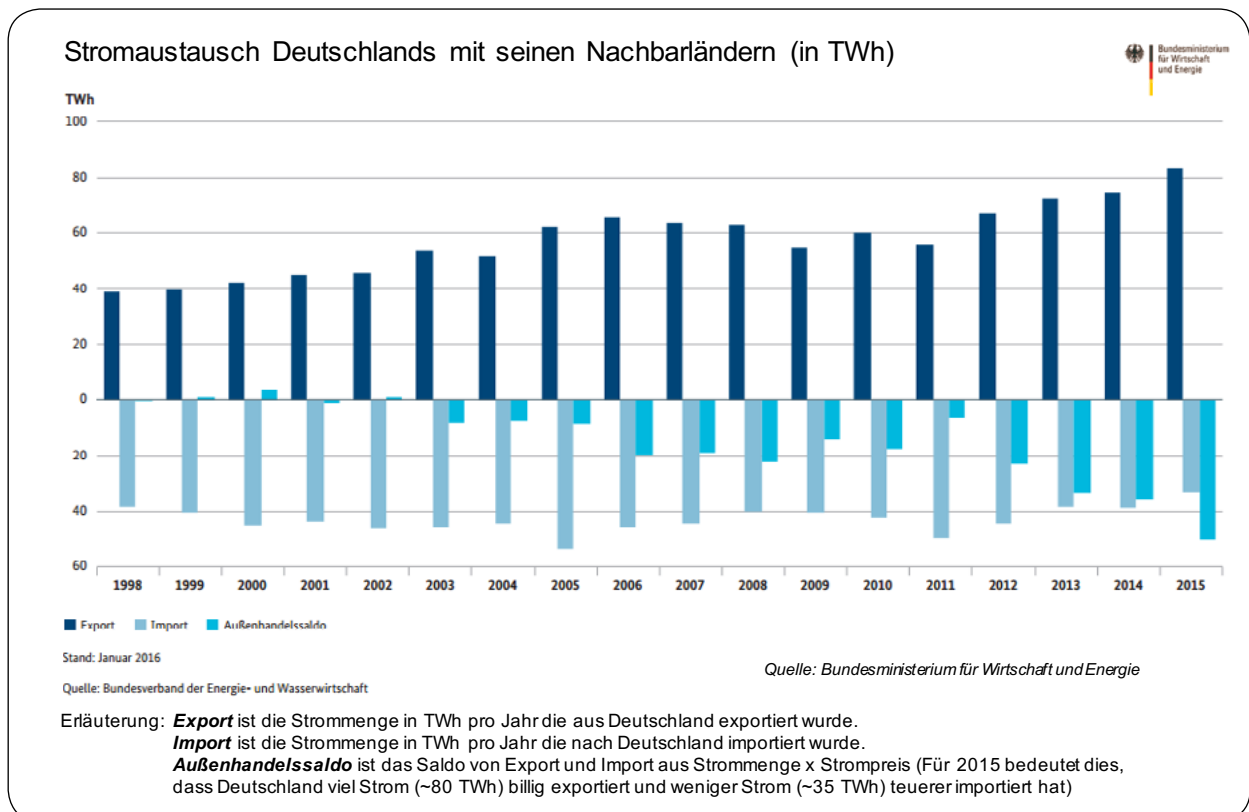
(Es werden nur ungeplante Unterbrechungen > 3 Minuten gezählt.)

VBEW
Energie. Wasser. Leben.

4.3 Entwicklung von Redispatchmaßnahmen



4.4 Stromaustausch mit Nachbarländern

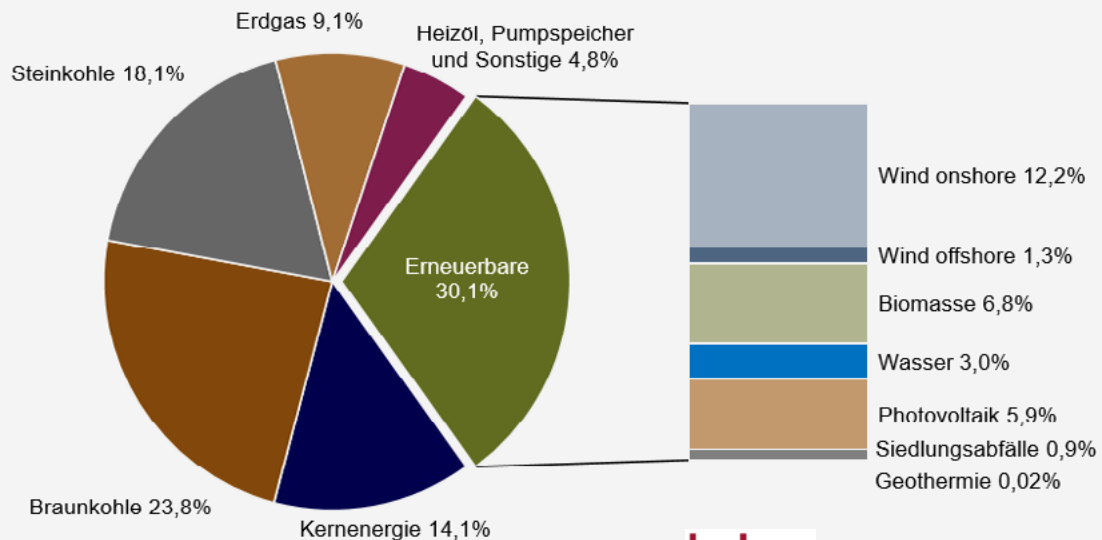


5. Umweltschutz und Energiemix

5.1 Bruttostromerzeugung in Deutschland

Brutto-Stromerzeugung 2015 in Deutschland: 651,8 Mrd. Kilowattstunden*

- Anteile an der Brutto-Stromerzeugung in Prozent -



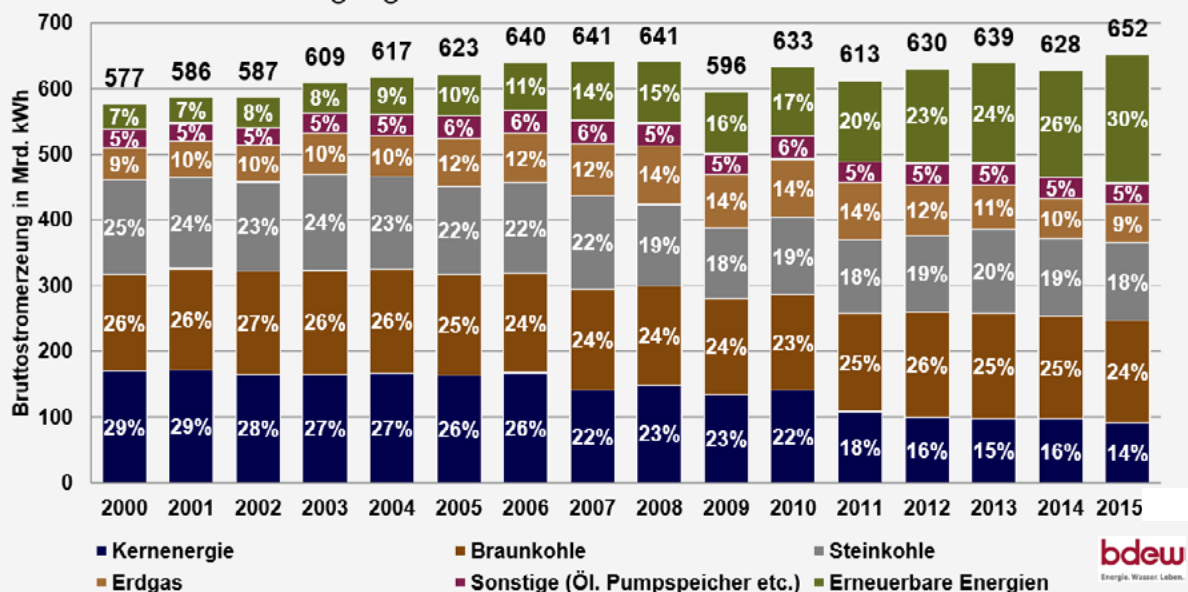
Quellen: BDEW, AG Energiebilanzen Stand: 01/2016

bdew
Energie. Wasser. Leben.

* vorläufig

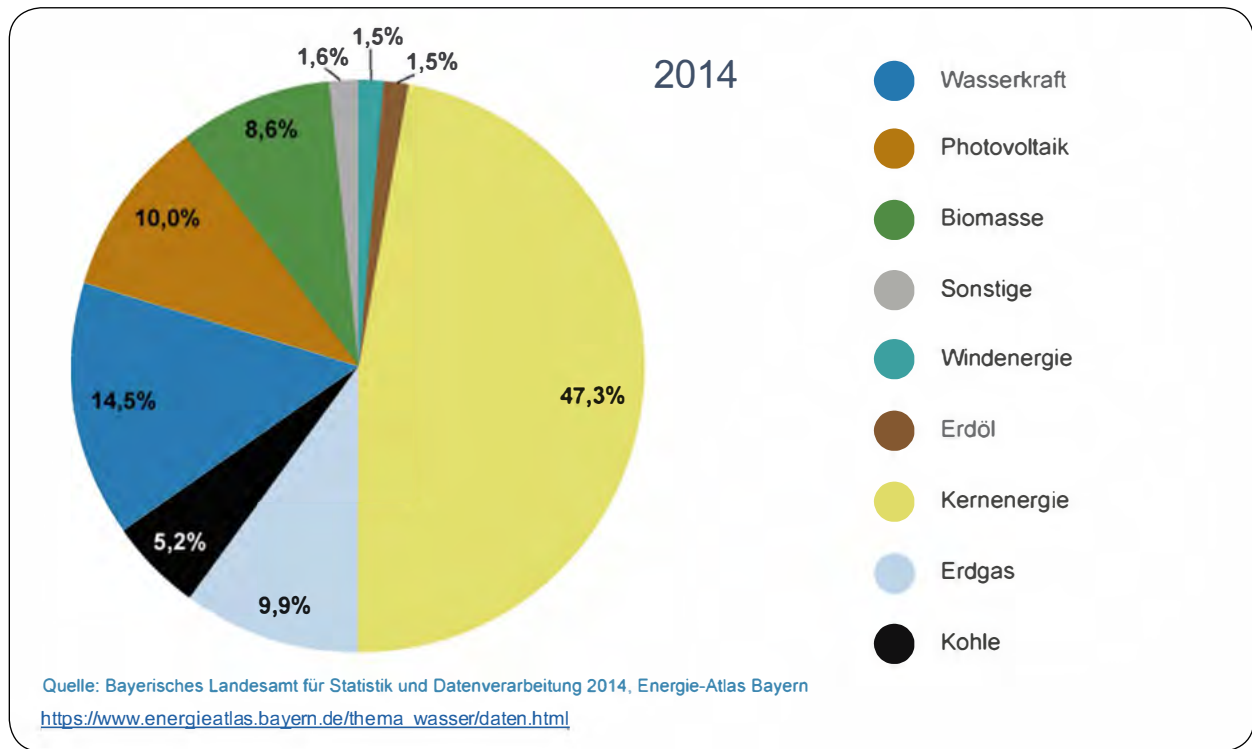
5.2 Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Deutschland

Bruttostromerzeugung in Mrd. kWh und Anteile in %*

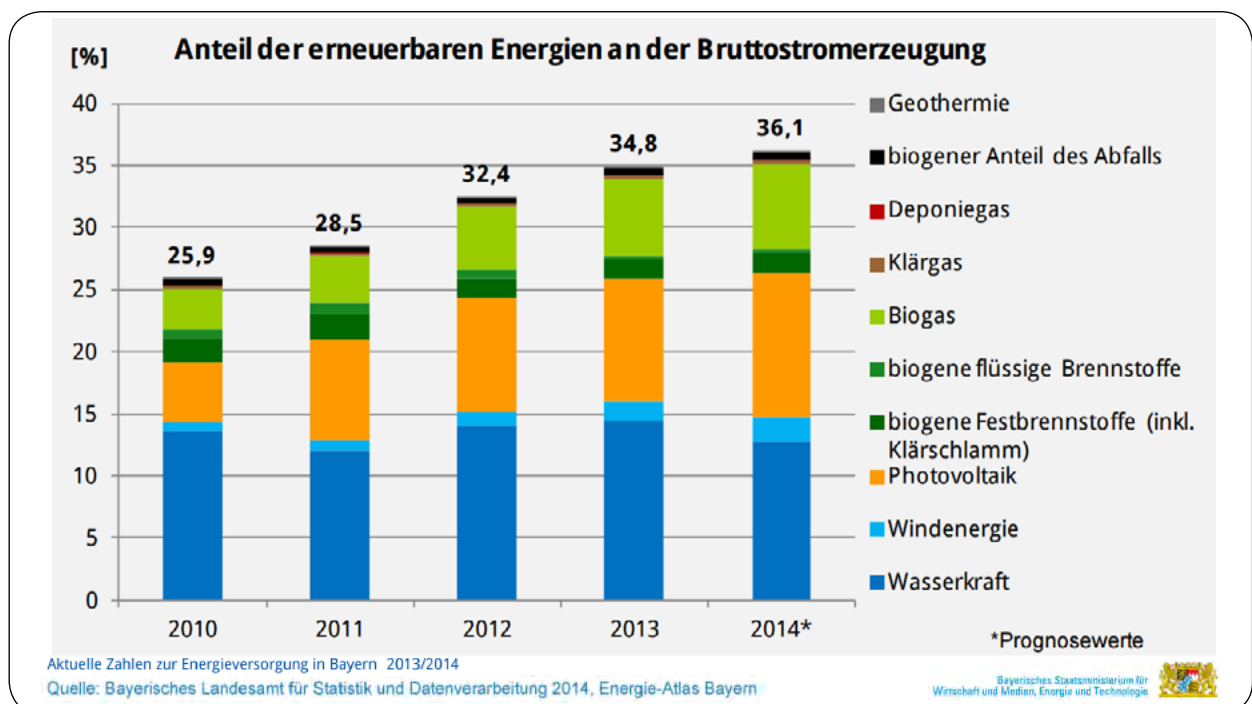


Quelle: BDEW, Stand 01/2016

5.3 Bruttostromerzeugung in Bayern



5.4 Entwicklung der Bruttostromerzeugung in Bayern



5.5 Kaya-Identität

$$C = P \times \frac{G}{P} \times \frac{E}{G} \times \frac{C}{E}$$

Yoichi Kaya, Tokio 1993

P = Bevölkerung

$\frac{G}{P}$ = Wirtschaftsleistung pro Kopf = Wohlstand

Mengeneffekte

$\frac{E}{G}$ = Energieeffizienz der Wirtschaftsleistung

$\frac{C}{E}$ = CO₂-Intensität beim Energieeinsatz

Qualitätseffekte
bzw. Technik

Die Kaya-Identität veranschaulicht die Stellschrauben, die Einfluss auf die globale CO₂-Emission haben. Dabei gilt:

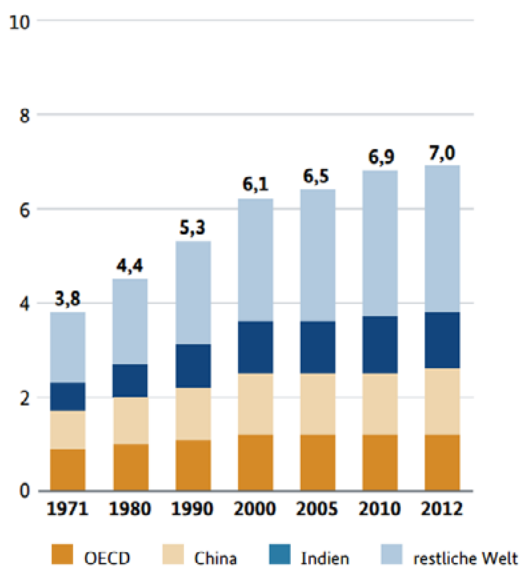
C = CO₂- Emission
P = Bevölkerung
G = Bruttoinlandsprodukt
E = Energieverbrauch

In der deutschen Energiepolitik stehen vor allem Energieeffizienz und CO₂-Intensität im Fokus.

Im globalen Kontext sind die Mengeneffekte durch Bevölkerungs- und Wohlstandswachstum Hauptursachen für einen ungebremsten Anstieg von CO₂-Emissionen.

5.6 Entwicklung der Weltbevölkerung und Primärenergie

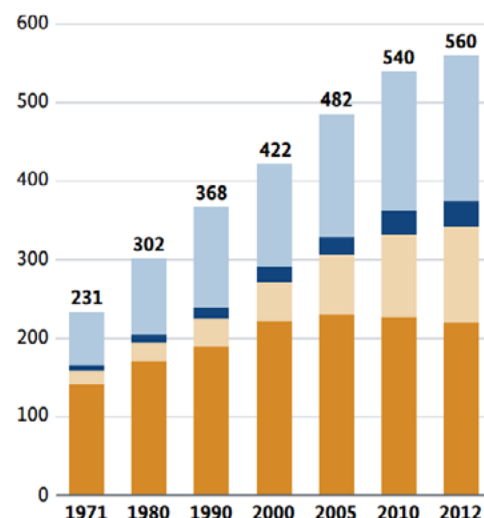
Weltbevölkerung (Mrd.)



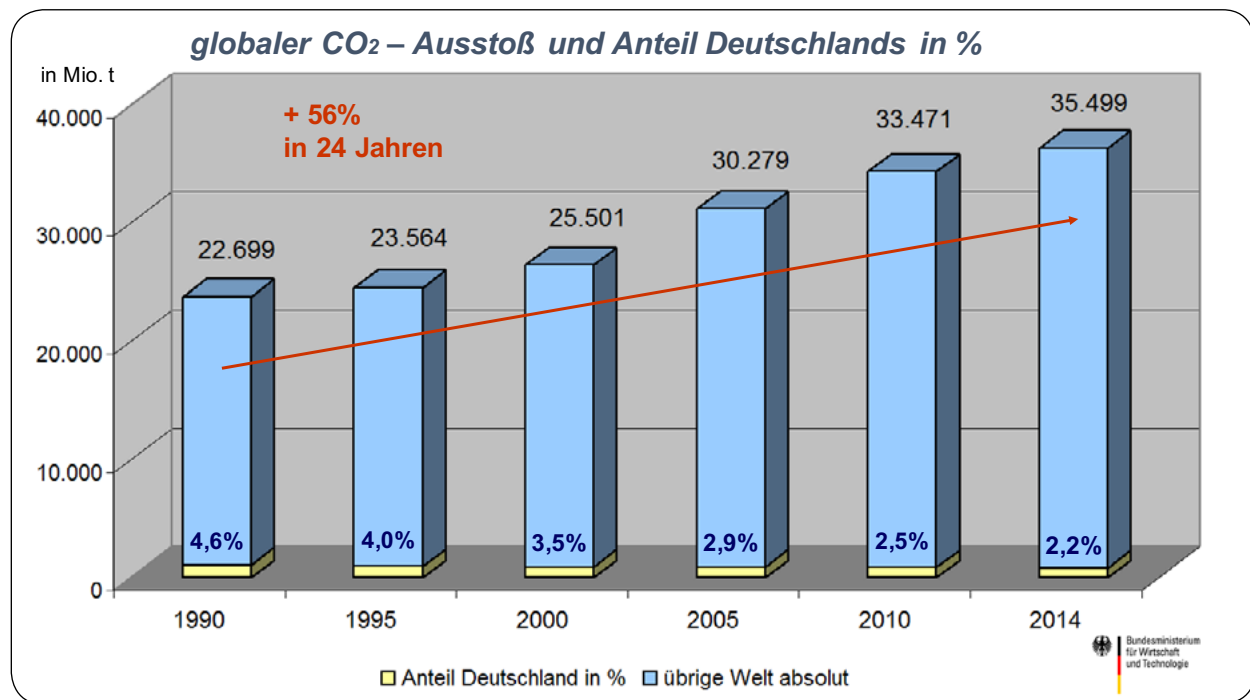
PEV berechnet nach Wirkungsgradmethode

Quelle: ZSW nach IEA [40]

globaler Primärenergieverbrauch (EJ)



5.7 Entwicklung des weltweiten CO₂-Ausstoß's



5.8 CO₂ Emissionen nach Anwendungsbereichen

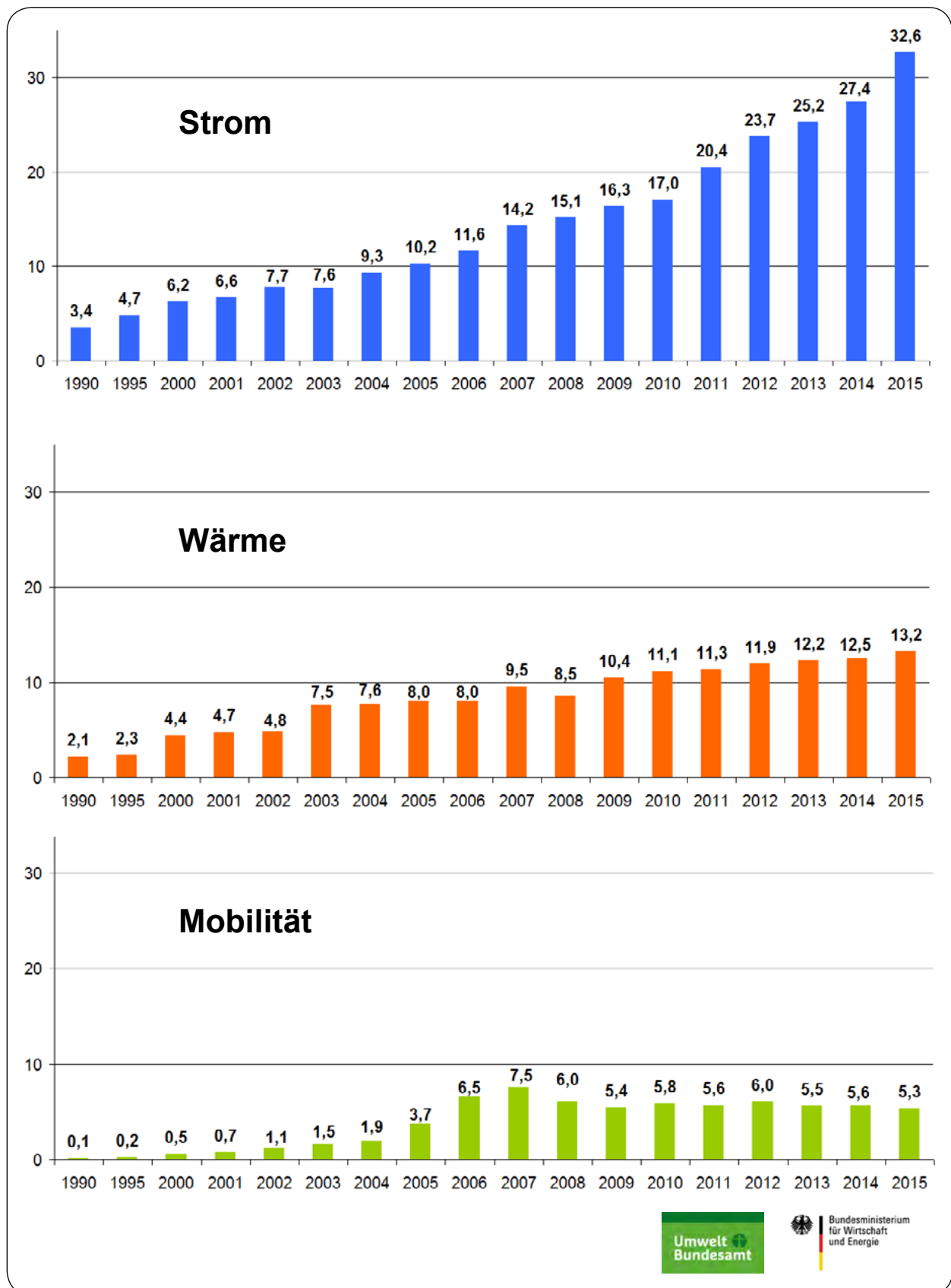
CO₂ - Emissionen nach Verursachern in Deutschland

Kohlendioxid CO ₂ (in Mio. t)	1990	1995	2000	2005	2010	2014
Verkehr	162	175	181	160	153	159
Haushalte	129	129	118	111	106	84
Industrie und Gewerbe	309	253	232	207	210	196
Energiewirtschaft	424	364	355	375	352	341
Übrige (inkl. Landnutzungsänderung)	-5	-18	-25	-1	-6	-5
Energiebdeingte Insegsamt	1.018	903	860	852	814	776

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Zahlen und Fakten Energiedaten 05.04.2016

6. Zukunft der Stromversorgung

6.1 Anteil erneuerbare Energie



6.2 Energiewende aus Sicht der Stromwirtschaft

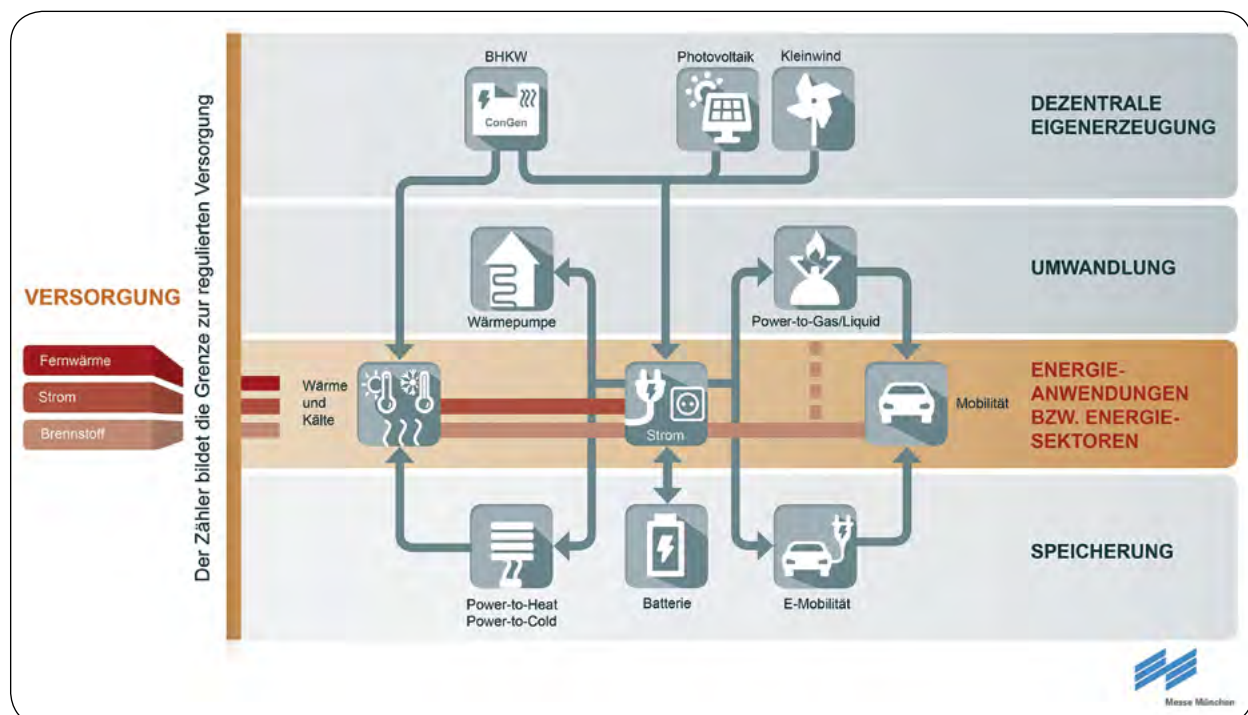
Stromerzeugung **VOR** der Energiewende

- Die installierte Leistung des Kraftwerksparks wird von Kohle-, Gas- und Kernkraftwerken dominiert.
- Alle diese Kraftwerke sind steuer- und regelbar. Sie können je nach Bedarf an- und ausgeschaltet werden. Kernkraftwerke stellen einen diskussionswürdigen Grenzfall dar. Sie sind nur sehr eingeschränkt regel- und steuerbar.
- Zielfokus des Strommarktdesigns war es, möglichst wenig und möglichst billigen Brennstoff einzusetzen.
- Die Netzsteuerung orientiert sich ausschließlich am Strombedarf.
- Kraftwerksstandorte wurden verbrauchsnahe geplant. Stromleitungen konnten vergleichsweise kurz sein.

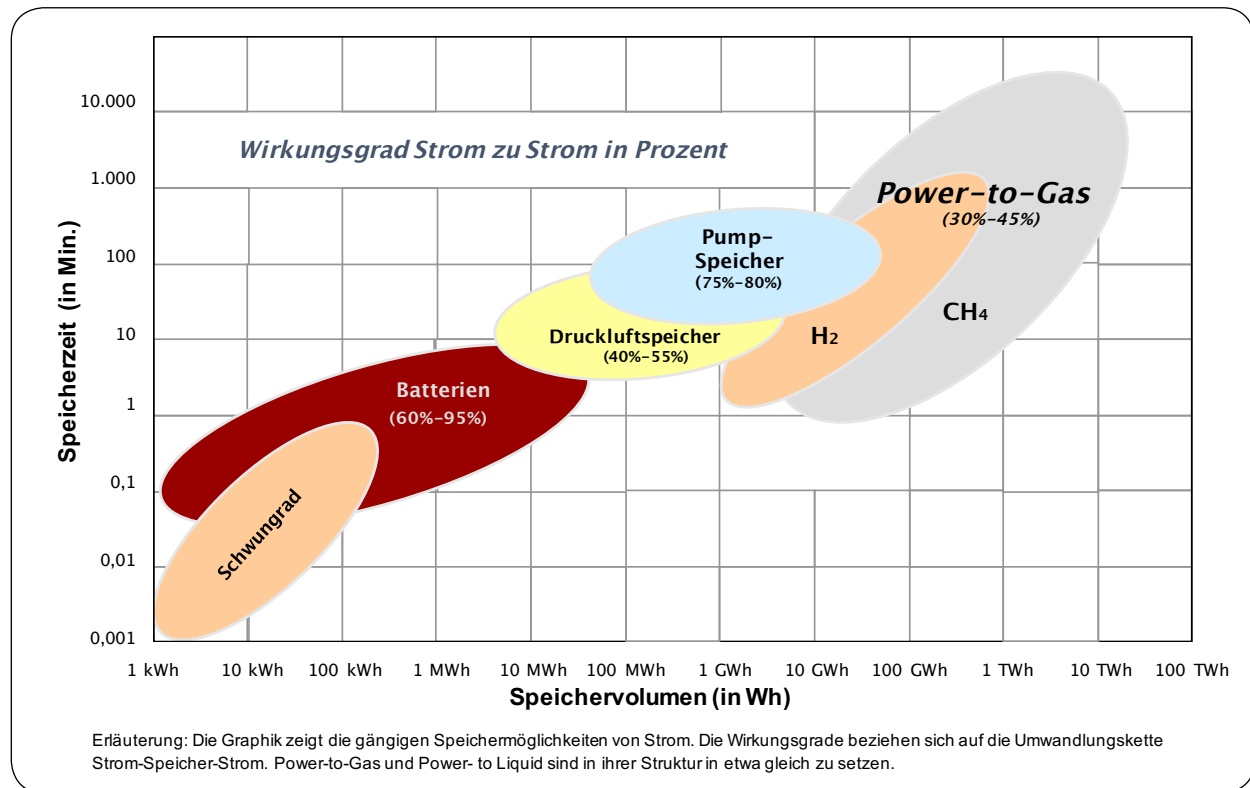
Stromerzeugung **NACH** der Energiewende

- Die installierte Leistung des Kraftwerksparks wird von Windenergie und Photovoltaik dominiert.
- Die dominierende Wind- und Photovoltaikerzeugung ist nicht regelbar. Sie richtet sich nach Wind und Sonne. Man spricht von volatiler und diskontinuierlicher Stromerzeugung.
- Variable Brennstoffkosten spielen bei Windenergie und Photovoltaik keine Rolle mehr.
- Die Netzsteuerung muss neben dem Strombedarf auch die „unkontrollierte“ Stromerzeugung durch Wind und Sonne regeln und wird deutlich komplexer.
- Erneuerbaren Kraftwerksstandorte richten sich nach Wind und Sonne. Erzeugung und Verbrauch sind räumlich entkoppelt. Längere Leitungen sind die Folge.
- Es besteht der Bedarf von Schattenkraftwerken.
- Es kann zu temporärem Stromüberangebot kommen.

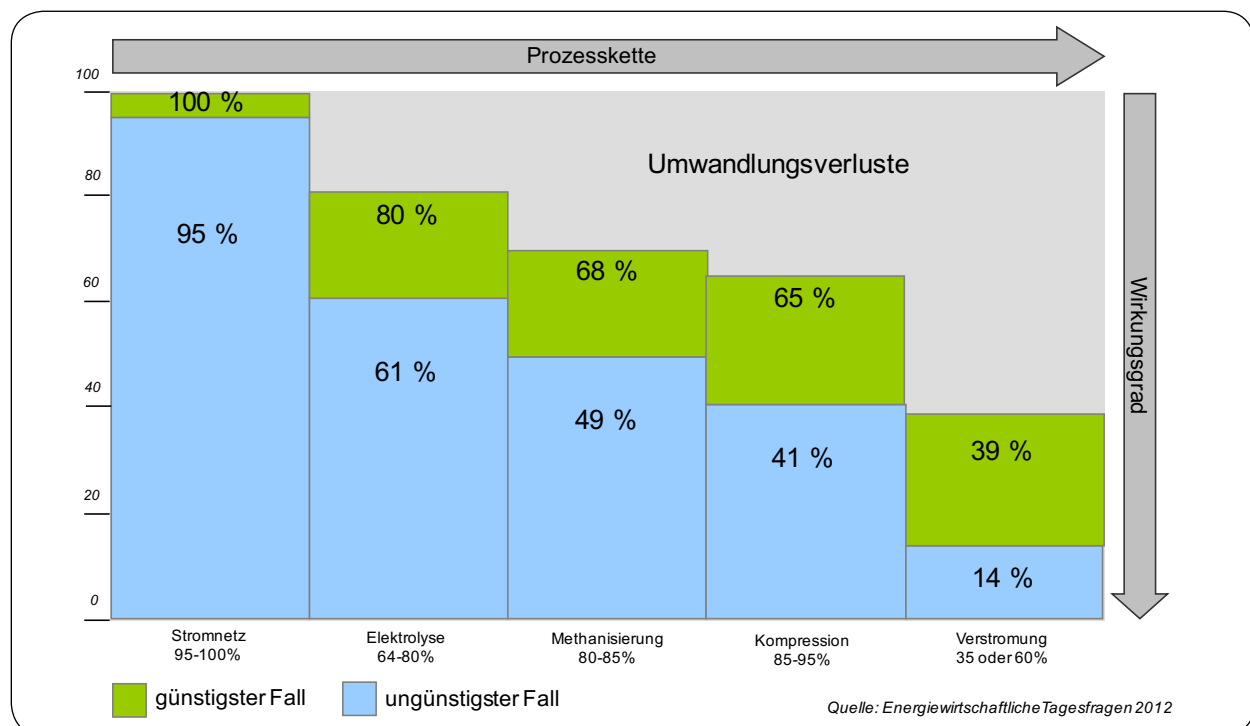
6.3 Energiewende aus Sicht des Energierverbrauchers



6.4 Speichertechnologien im Vergleich



6.5 Wirkungsgradkette Strom-Gas-Strom



6.6 Wirkungsgrade verschiedener Energemaschinen (Strom, Mobilität, Wärme)

Maschine oder Prozess	eingesetzte Energie	Nutzenergie	Wirkungsgrad (in %)
------------------------------	----------------------------	--------------------	----------------------------

Stromerzeugung

Kernkraftwerk	nuklear	elektrisch	~ 35
Wärmekraftwerk (Kohle)	chemisch	elektrisch	25 – 50
GuD-Kraftwerk (Erdgas)	chemisch	elektrisch	50 – 60
Solarzelle	Sonnenlicht	elektrisch	5 – 27
Wasserkraftwerk	mechanisch	elektrisch	80 – 90
Windkraftanlage	mechanisch	elektrisch	bis 50
Brennstoffzelle	chemisch	elektrisch	20 – 60
Blockheizkraftwerk (BHKW)	chemisch	elektrisch & thermisch	50 – 60

Mobilität

Dampfmaschine	chemisch	mechanisch	3 – 44
Ottomotor (im Bestpunkt)	chemisch	mechanisch	35 – 40
Dieselmotor	chemisch	mechanisch	bis 50
Elektromotor	elektrisch	mechanisch	94 – 99
Stirlingmotor	thermisch	mechanisch	10 – 66

Wärmeerzeugung

Gasheizung	chemisch	thermisch	80 – 90
Kohleofen (Industrie)	chemisch	thermisch	80 – 90
Offener Kamin	chemisch	thermisch	10 – 30
Sonnenkollektor	Sonnenlicht	thermisch	bis 85
Tauchsieder (Power-to-Heat)	elektrisch	thermisch	80 – 98

Lichterzeugung

klassische Glühlampe	elektrisch	Licht	3 – 5
Leuchtstoffröhre	elektrisch	Licht	10 – 20
LED	elektrisch	Licht	5 – 25

weitere Prozesse

Elektrolyse von Wasser (Power-to-Gas)	elektrisch	chemisch	64 – 80
Transformator	elektrisch	elektrisch	50 – 99,7
Generator	mechanisch	elektrisch	95 – 99
Wechselrichter	elektrisch	elektrisch	93 – 98

Quelle: Wikipedia



WIRTSCHAFTSBEIRAT
BAYERN

Impressum

Herausgeber:

Wirtschaftsbeirat der Union e.V.
Odeonsplatz 14
80539 München
Telefon: 089 - 2422860
Telefax: 089 - 291518
Internet: www.wbu.de

Gestaltung, Satz und Druck:

WELTBUCH Verlag GmbH
Enderstr. 59
01277 Dresden
Telefon: 0351 - 4794244
Telefax: 0351 - 4794245
Internet: www.weltbuch.com

Titelfoto:

Maximilian Faltlhauser

© Juli 2016