

Information zur Vorlesung: Einführung in die Energiewirtschaft

- Lehrstuhl für Energiewirtschaft
Prof. Dr. W. Fichtner
Westhochschule
Gebäude 06.33
Tel.: 0721 608 44460
- Pflichtvorlesung BSc-Modul „Energiewirtschaft“
- 2 SWS Vorlesungen und 2 SWS Übungen
- Schriftliche Prüfung
- Folien werden im ILIAS bereitgestellt

Information zur Vorlesung: Einführung in die Energiewirtschaft

- Vorlesung: Einführung in die Energiewirtschaft
Prof. W. Fichtner
Di. 09.45-11.15
Nusselt-Hörsaal, Geb. 10.23

- Übung: Einführung in die Energiewirtschaft
PD Dr. P. Jochem, H. Schwarz, N. Lehmann
„Lernportfoliokonzept“
Di. 14.00-15.30
HS 93, Geb. 10.81
Beginn: 02.05.2017

- Vorlesungsunterlagen auf ILIAS

Das Institut

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre insb. Produktionswirtschaft und Logistik (Prof. Schultmann)

- Techno-ökonomische Analysen industrieller Wertschöpfungsketten

Lehrstuhl für Energiewirtschaft (Prof. Fichtner)

- Techno-ökonomische Analysen entlang der gesamten energetischen Wertschöpfungskette
(einzelwirtschaftliche – gesamtwirtschaftliche Analysen)

Deutsch-Französisches Institut für Umweltforschung (Dr. Rimbon)

- Analyse deutsch-französischer Fragestellungen im Umweltbereich in interdisziplinären Teams

Research Group *Transport and Energy*

Head

PD Dr. Patrick Jochem

Staff

Dipl.-Wi.-Ing. Axel Ensslen

Dipl.-Wi.-Ing. Thomas Dengiz

M.Sc. Jonathan Gomez Vilchez

Dipl.-Ing. Thomas Kaschub

Dipl.-Wi.-Ing. Sabrina Ried

Dipl.-Wi.-Ing. Johannes Schäuble

Dipl.-Wi.-Ing. Max Schücking*

Dipl.-Wi.-Ing. Katrin Seddig*

M.Sc. Zongfei Wang

Dipl.-Wi.-Ing. Christian Will*

Research focus:

The overriding objective of the research group is the analysis of electric vehicles' impacts on energy systems:

- User acceptance studies
- Market penetration scenarios of electric vehicles
- Impact on electricity generation (power plant portfolio and CO₂ emissions), electricity transport and distribution
- Integration into the smart energy world of tomorrow
- Economic applications of stationary batteries

□* external

Research
partners i.a.:



DAIMLER



Funding i.a.:



Research Group *Renewable Energy and Energy Efficiency*

Head

Dr. Russell McKenna

Staff

Dipl.-Ing. Fritz Braeuer

Dipl.-Wi.-Ing. Kai Mainzer

M.Sc. Jann Weinand

M.Sc. Phuong Minh Khuong

Dipl.-Phys. Javier Parrilla Martínez

Research focus:

- Economic evaluation and energy system analysis of urban and communal energy systems
 - Energy autonomy
- Cost-potential studies for energy efficiency and renewable energy
 - PV: Roof area, orientation and ridge line detection based on Open Street Map data
- Model-based analysis of the integration of renewable energies and cogeneration (CHP) technologies



Research
partners i.a.:



Funding i.a.:



Research Group *Energy Markets and Energy Systems Analysis*

Head

Dr. Dogan Keles

Staff

Dipl.-Wi.-Ing. Andreas Bublitx

Dipl.-Math. Joris Dehler

M.Sc. Daniel Fett

Dipl.-Ing. Rupert Hartel

Dipl.-Inform. Hasan Ümitcan Yilmaz

M.Sc. Florian Zimmermann

M.Sc. Christoph Fraunholz



Research
partners i.a.:



Research focus:

- Market design for future electricity systems and further development of the Energy-only-Market
- Market and system integration of new energy technologies and their impacts on the energy market
- Evaluation of new technologies in the context of the European energy system (under uncertainty)
- Adequacy and security of supply

Funding i.a.:



Research Group *Distributed Energy Systems and Networks*



Head

Dr. Armin Ardone

Staff

Dipl.-Wi.-Ing. Hans Schermeyer

M.Sc. Victor Slednev

Dipl.-Ing. Christoph Nolden

Dr. Qingxin Li

M.Sc. Max Kleinebrahm

Dipl.-Wi.-Ing. Manuel Ruppert

Dipl.-Wi.-Ing. Hannes Schwarz

M.Sc. Rafael Finck

M.Sc. Nico Lehmann

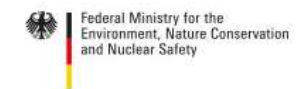
Research focus:

- Model-based energy systems analysis considering grid restrictions
- Design und analysis of distributed energy systems and smart markets/grids
- Evaluation of energy strategies, investment options and business models for political or entrepreneurial decision support

Research
partners i.a.:



Funding i.a.:



Cross-cutting methodology: Energy system analysis

- Modelling energy systems considering existing interdependencies
- Modelling
 - Optimizing System Models for the Energy Sector
 - “Optimal” development of the modelled energy system
 - Economic objective function
 - Techno-ecological restrictions
 - Simulation for the Energy Sector
 - Simulation of the development of the energy system
 - Modelling of each market participant as a software agent to simulate different strategies in energy markets
- System boundaries
 - Normative to microeconomic
 - Short-term versus long-term
 - Single company / building / community up to European electricity markets

Lehre am Lehrstuhl für Energiewirtschaft

- BSc-Modul „Energiewirtschaft“
 - Einführung in die Energiewirtschaft (SS)
 - Erneuerbare Energien – Technologien und Potenziale (WS)
 - Energiepolitik (SS)

- MSc-Modul „Energiewirtschaft und Energiemärkte “
 - Grundzüge liberalisierter Energiemärkte (WS)
 - Energiehandel und Risikomanagement (SS)
 - Erdgasmärkte (WS)
 - Energiepolitik (SS)
 - Planspiel Energiewirtschaft (SS)
 - Quantitative Methods in Energy Economics (WS)

Lehre am Lehrstuhl für Energiewirtschaft

- MSc-Modul „Energiewirtschaft und Technologie“
 - Strategische Aspekte der Energiewirtschaft (WS)
 - Technologischer Wandel in der Energiewirtschaft (WS)
 - Wärmewirtschaft (SS) inkl. Wärmepumpenversuch
 - Energiesystemanalyse (WS)
 - Energie und Umwelt (SS)
 - Efficient Energy Systems and Electric Mobility (SS)
- Studien-, Diplom-, Bachelor-, Masterarbeiten aus dem Bereich der Energiewirtschaft
- Weiterbildung im Bereich Energiewirtschaft

Literaturempfehlungen

Fachbücher		
Titel	Autor	ISBN
Energiewirtschaft	Pfaffenberger	3-486-24315-2
Umweltökonomie + Umweltpolitik	Eberhard Feess	3-8006-2187-8
Handbuch der Elektrizitätswirtschaft	L. Müller	3-540-67637-6
Power System Economics	Steven Stoft	0-471-15040-1
Energieökonomik	Erdmann	3-7281-2135-5

Fachzeitschriften	
Zeitschrift	Verlag
Energiewirtschaftliche Tagesfragen	ETV GmbH
Sonne, Wind und Wärme	Bielefelder Verlag GmbH & Co. KG
ew – Das Magazin für die Energiewirtschaft	VWEW Energieverlag GmbH
Neue Energie	Bundesverband Wind Energie (BWE e.V.)
Erneuerbare Energie	SunMedia Verlags- und Kongress GmbH

Wichtige Institutionen für die Energiewirtschaft

- BGR: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe:
Verfügbarkeit von Energierohstoffen weltweit
- BMWI: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie:
Energiepolitik, wettbewerblicher Rahmen, Energiestatistiken
- BDEW: Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft:
Data on German energy market

Grundlegende Informationen zur Energiewirtschaft

- **ENTSO-E:** European Network of TSOs for Electricity:
Stromerzeugung, -verbrauch, -austausch & Erzeugungskapazitäten

- **IEA:** International Energy Agency
“World Energy Outlook”: www.worldenergyoutlook.org
Sonstiges (Statistiken, Markt Analysen, ...):

- **EIA:** U.S. Energy Information Administration:
Länder-spezifische Daten, Prognosen („International Energy Outlook“)

Einführung in die Energiewirtschaft

Inhaltsverzeichnis

1) Einleitung/Grundlagen

***“It is important to realize that in physics today,
we have no knowledge what energy is.”***

(Quelle: Feynman Lectures on Physics)

2) Der Energieträger Gas

„Schiefergas krempelt den Energiemarkt um“

Handelsblatt

3) Der Energieträger Öl

„Die neue Ölschwemme“

Handelsblatt

Einführung in die Energiewirtschaft

Inhaltsverzeichnis

4) Der Energieträger Steinkohle

***„Deutsche Klimaziele:
Kohleausstieg bis 2040 nötig“***

Handelsblatt

5) Der Energieträger Braunkohle

6) Regenerative Energieträger

„Mehr Öko-Strom gegen den Klimawandel“

Frankfurter Allgemeine Zeitung

Inhaltsverzeichnis

7) Der Energieträger Uran

„Klimabericht löst Streit über Atomkraft aus“

Handelsblatt

8) Der Endenergieträger Elektrizität

„Engpässe: Netzbetreiber unter Strom“

Handelsblatt

9) Der Endenergieträger Wärme

„Google investiert in Erdwärme“

Handelsblatt

Inhaltsverzeichnis

10) Die Endenergieträger Kälte,
Wasserstoff und Druckluft

***„Die ökologisch korrekte
Klimaanlage“***

Werbeslogan

„Aus Windkraft wird Druckluft“

Handelsblatt

Einführung in die Energiewirtschaft

1) Einleitung/Grundlagen

1.1. Energiewirtschaftliche Grundlagen und Begriffe

- Energie
- Elektrizität

1.2. Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

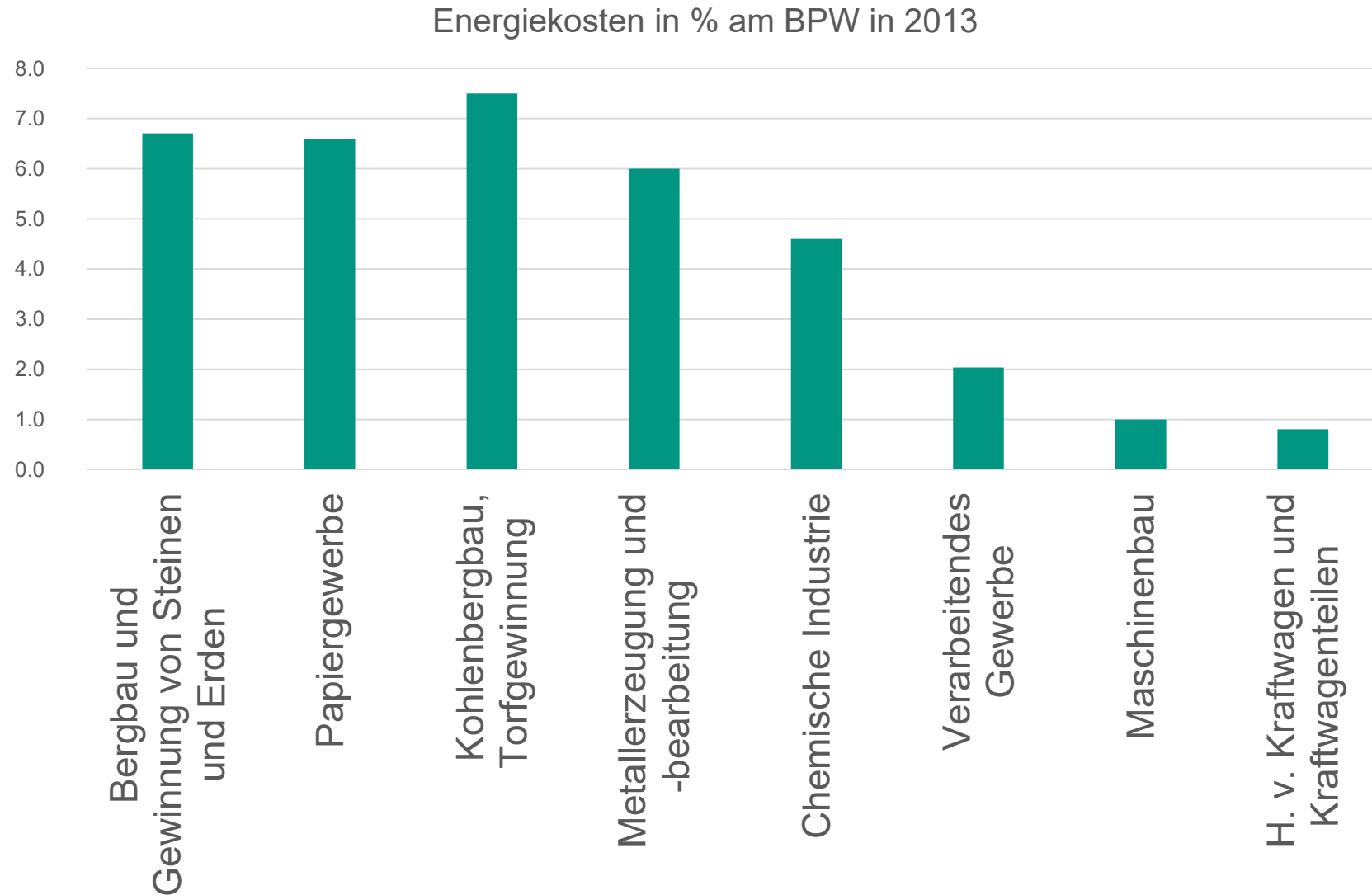
Energiewirtschaft

- ...ist der Teil der Wirtschaft, der sich dem Einsatz von Mitteln zur Deckung des Energiebedarfes widmet
 - ...umfasst die Bereiche der Energiegewinnung, Energieumwandlung, Energietransport, Energieverteilung und Energieanwendung...
- Effizienter Einsatz knapper Ressourcen/knapper Produktionsfaktoren für die bestmögliche Bedürfnisbefriedigung
 - Energie ist eine knappe Ressource/knapper Produktionsfaktor

Produktionsfaktoren

- Was ist ein Produktionsfaktor?
 - Produktionsfaktoren bezeichnen Wirtschaftsgüter, die zur Herstellung bestimmter Produkte notwendig sind.
 - Synonyme für den Begriff des Produktionsfaktors sind Einsatzgüter, Input-Güter und Produktoren.
- In der Volkswirtschaftslehre wird differenziert in die drei Faktoren Arbeit, Boden und Kapital.

Zur Bedeutung des Produktionsfaktors Energie



Quelle: Statistisches Bundesamt 2013

Was ist Energie?

- “Energie ist die Fähigkeit eines Systems, Arbeit zu verrichten.”
- “It is important to realize that in physics today, we have no knowledge what energy is.”
(Quelle: Feynman Lectures on Physics)

Ausgewählte Energieformen



Die dominierende Energiequelle



Energieformen

- Bewegungsenergie (Kinetische Energie)
- Lageenergie (Potentielle Energie)
- Elektrische Energie
- Thermische Energie
- Chemische Energie
- Strahlungsenergie
- Kernenergie
- (Materie)

Energieeinheiten

- SI-Einheit: Joule ($1\text{J} = 1\text{Ws} = 1\text{Nm}$)

Von \ Zu	Joule	Kilowatt- stunden	Steinkohle- einheiten	Rohöleinheiten	Kilokalorien	British Thermal Unit
	[J]	[kWh]	[kg SKE]	[kg RÖE]	[kcal]	[BtU]
1J	1	2,78E-07	3,41E-08	2,39E-08	2,39E-04	9,47E-04
1 kWh	3,60E+06	1	0,12	8,60E-02	860	3410
1 kg SKE	2,93E+07	8,14	1	0,70	6993	2,78E+04
1 kg RÖE	4,19E+07	11,63	1,43	1	1,00E+04	3,97E+04
1 kcal	4187	1,16E-03	1,43E-04	1,00E-04	1	3,97
1 BtU	1056	2,93E-04	3,60E-05	2,52E-05	0,25	1

Von\ Zu	J	kWh	Kg SKE	Kg RÖE	kcal	BtU
1 t Steinkohle	3,00E+10	8323	1022	716	7,16E+06	2,84E+07
1 t Braunkohle	9,04E+09	2511	308	216	2,16E+06	8,56E+06
1 t Erdöl	4,27E+10	1,19E+04	1458	1020	1,02E+07	4,05E+07
1 t Heizöl-L	4,28E+10	1,19E+04	1461	1023	1,02E+07	4,06E+07
1 m³ Erdgas	3,52E+07	9,77	1,20	0,84	8401	3,33E+04
1 m³ Holz	1,03E+10	2849	350	245	2,45E+06	9,71E+06

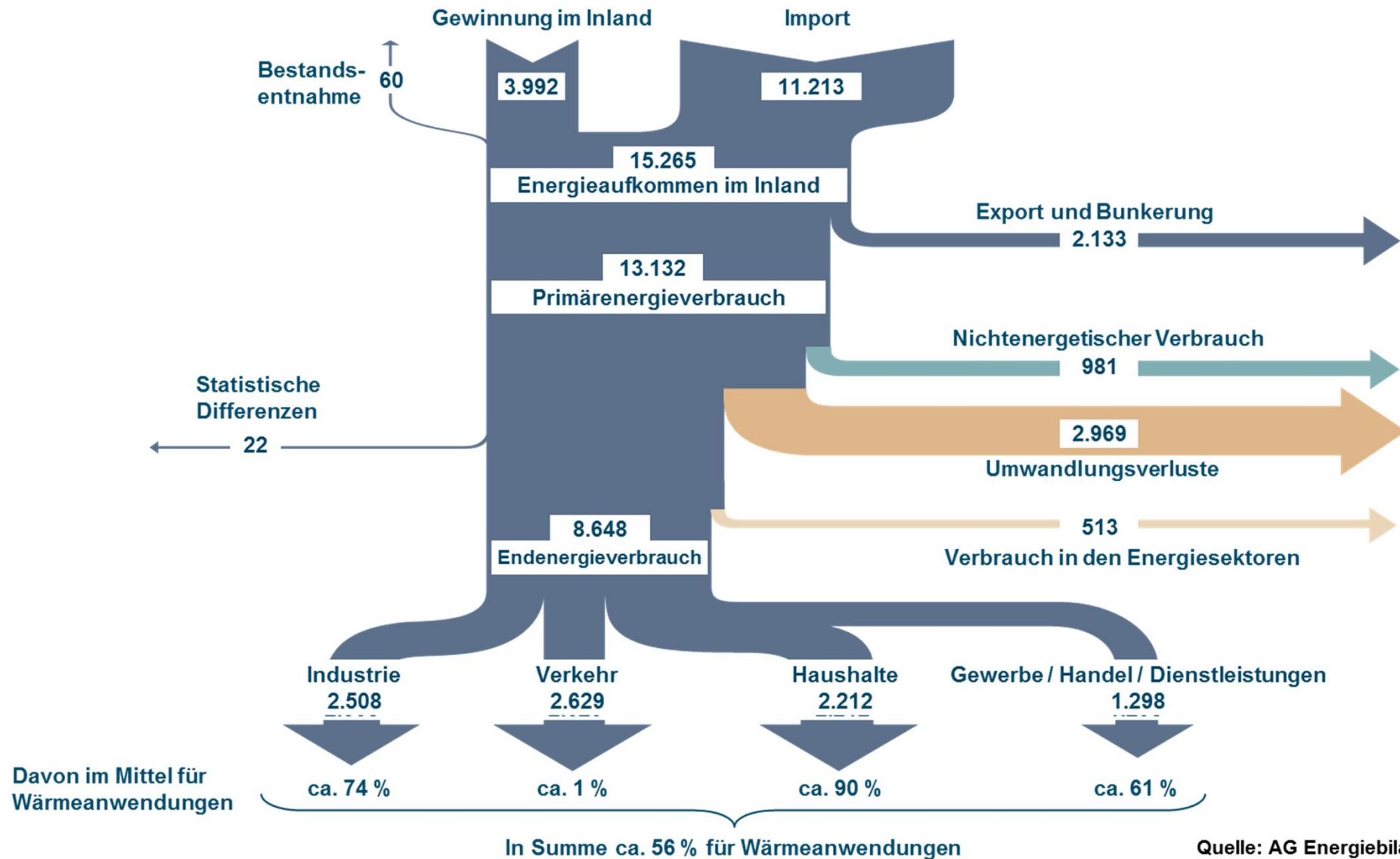
Vorsätze

10^1	deca (da)	10^{-1}	deci (d)
10^2	hecto (h)	10^{-2}	centi (c)
10^3	kilo (k)	10^{-3}	milli (m)
10^6	mega (M)	10^{-6}	micro (μ)
10^9	giga (G)	10^{-9}	nano (n)
10^{12}	tera (T)	10^{-12}	pico (p)
10^{15}	peta (P)	10^{-15}	femto (f)
10^{18}	exa (E)	10^{-18}	atto (a)

Brennwert und Heizwert

- Brennwert und Heizwert geben die Energieinhalte fossiler Brennstoffe an.
- Spezifischer Brennwert H_o (früher: oberer Heizwert)
- Spezifischer Heizwert H_u (früher: unterer Heizwert)
- Unterschied liegt in der Verdampfungsenthalpie des bei der Verbrennung entstehenden Wassers.
- Bei Verbrennungsprozessen ohne Brennwertnutzung geht die Verdampfungsenthalpie als latente Wärme mit den Abgasen verloren.

Energieflussdiagramm Deutschland 2014 [PJ]



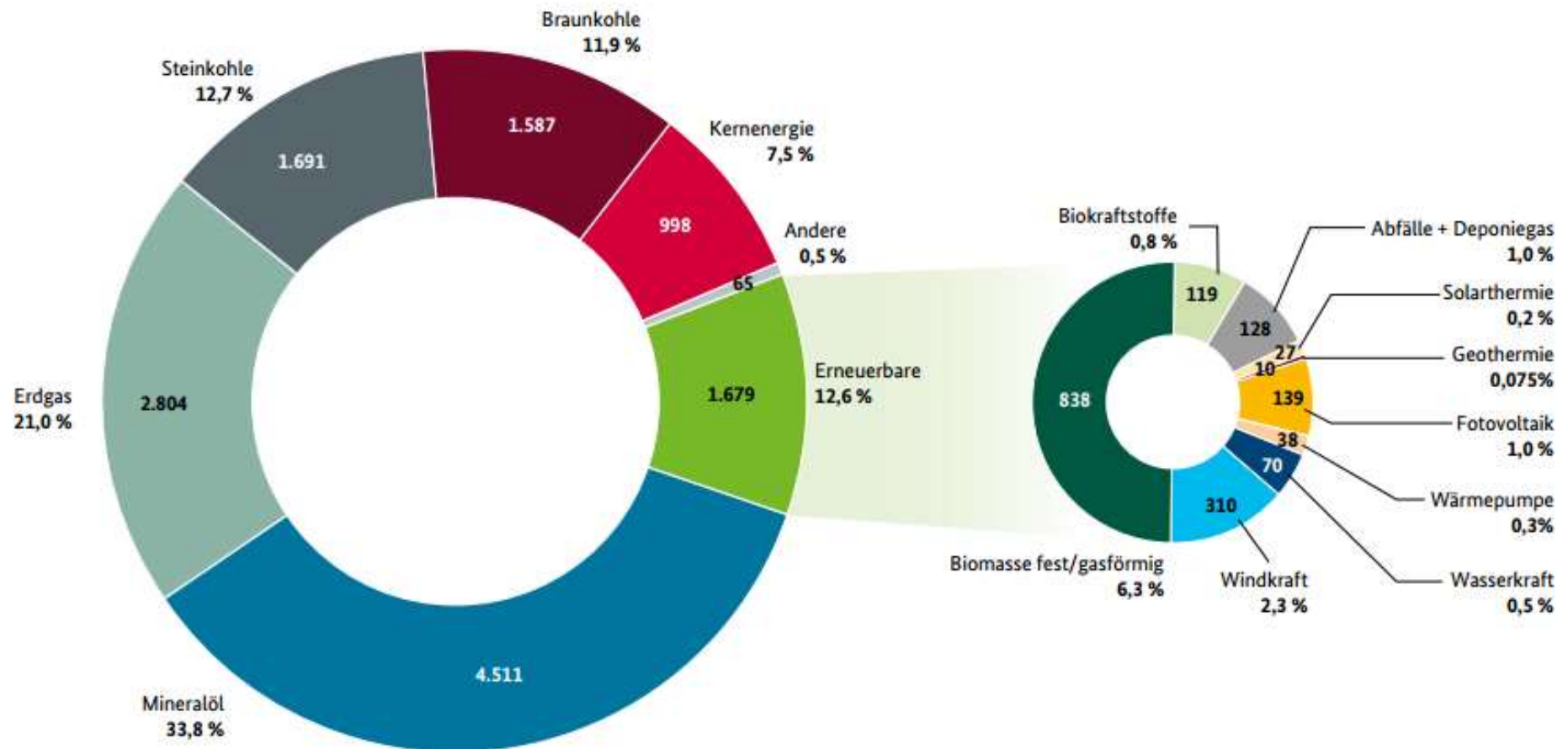
Quelle: AG Energiebilanzen 2015

Definition: Energieträger, Primär- und Endenergie

- **Energieträger** sind physikalische Erscheinungsformen und Stoffe, aus denen oder nach deren Umwandlung Energie „gewonnen“ werden kann.
- **Primärenergie** ist der rechnerisch nutzbare Energiegehalt all jener Primärenergieträger, die in der Natur vorkommen und noch keiner Umwandlung unterworfen sind (nicht-regenerative (konventionelle, fossile) und regenerative (erneuerbare, nachwachsende) Energieträger).
- **Endenergie** ist die dem Endverbraucher zur Verfügung stehende Energie.

Primärenergieverbrauch in Deutschland (2015)

3. Primärenergieverbrauch in Deutschland 2015 (13.335 PJ*)

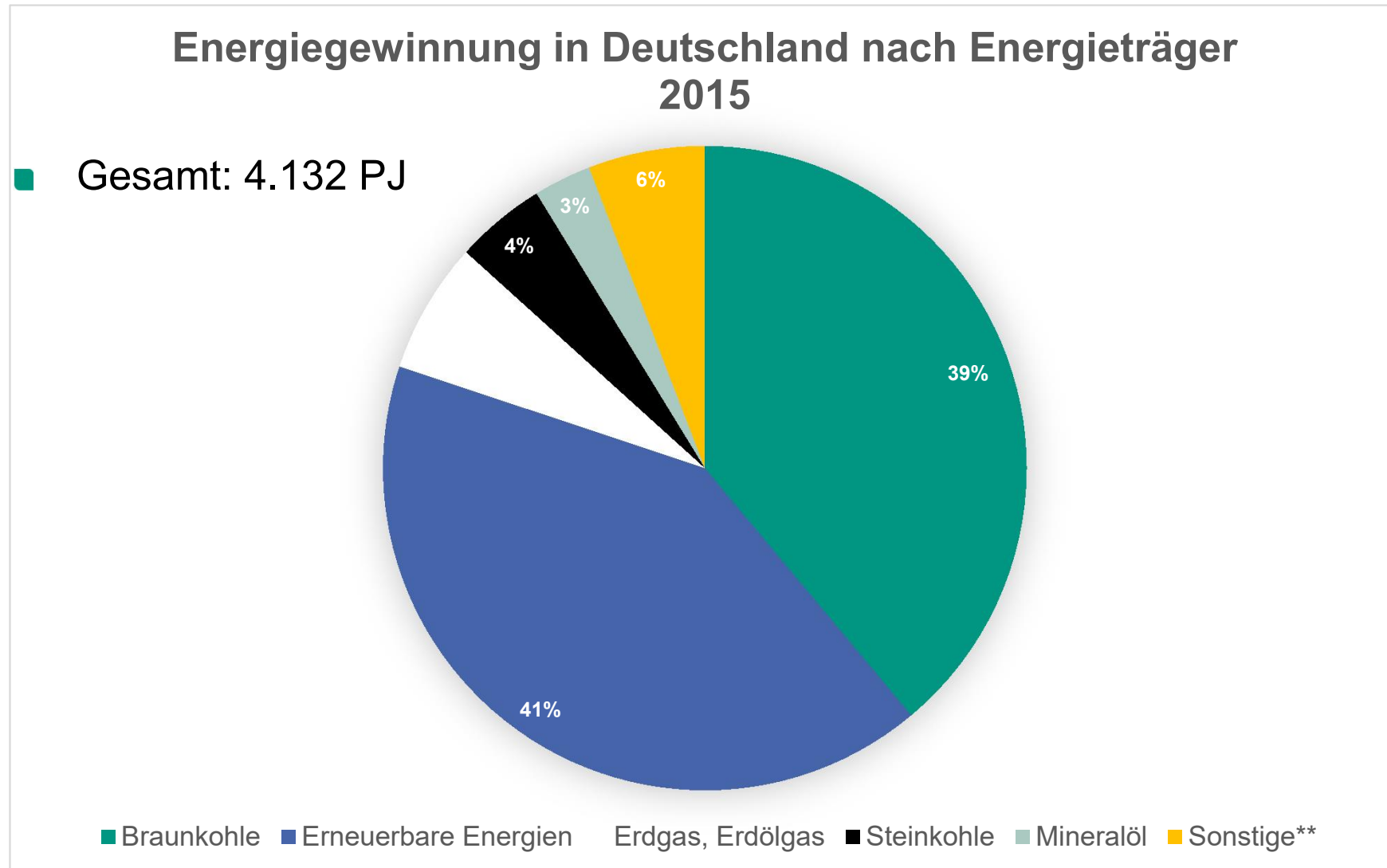


* Vorläufig

Quellen: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)

Quelle: BMWi

Energiegewinnung in Deutschland (2015)



Quelle: de.statista.com

„Energiegewinnung“ und „Energieverbrauch“?

- Energie ist eine Erhaltungsgröße!
 - Energie lässt sich weder „gewinnen“ noch „verbrauchen“

- 1. Hauptsatz der Thermodynamik (Energieerhaltungssatz)
 - Energie lässt sich weder erschaffen noch vernichten sondern nur ineinander umwandeln (transformieren).
 - Die Energie eines abgeschlossenen Systems ist konstant.
 - Demnach gibt es aus physikalischer Sicht keinen Energieverbrauch.

Die Begriffe Exergie und Anergie

- Energie = Exergie + Anergie
 - Exergie ist der Teil der Energie, der sich vollständig in Arbeit umwandeln lässt.
 - Der Rest ist Anergie.
 - Exergie ist keine Erhaltungsgröße
 - Exergie ist vom Umgebungszustand abhängig.
 - Gleiche Energiemengen können unterschiedliche Wertigkeit haben.
 - Elektrische Energie ist zu 100 % Exergie.
 - Thermische Energie auf Umgebungstemperaturniveau zu 100% Anergie.

- Exergiewirtschaft?

Exergieberechnung

- Die Exergie eines Stoffstroms kann bei gegebenen Umgebungsbedingungen U aus den thermodynamischen Größen
 - Enthalpie H
 - Entropie S und
 - Temperatur T berechnet werden
 - $E = H - H_U - T_U(S - S_U)$

Enthalpie und Entropie

■ Enthalpie

- Die Enthalpie ist ein Maß für die Energie eines thermodynamischen Systems.
- Die Reaktionsenthalpie gibt an, wie viel Wärme bei einer Reaktion frei wird oder zugeführt werden muss.

■ Entropie

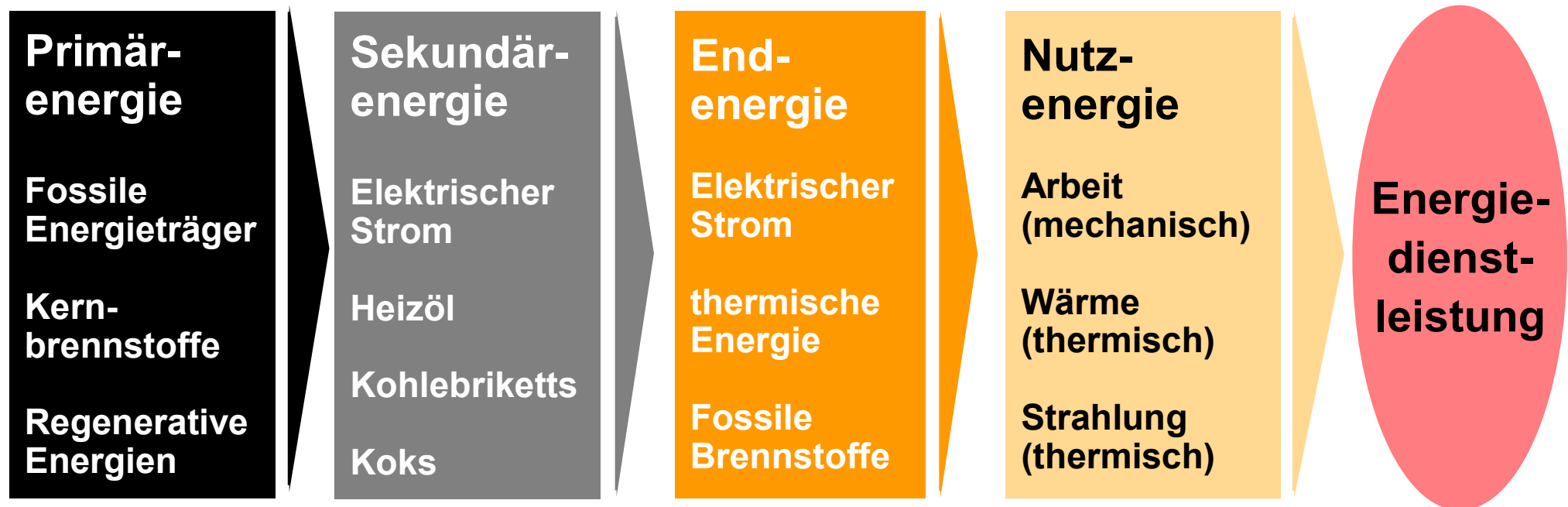
- Die Entropie ist ein Maß für die Unordnung eines Systems.
 - $N!$ Möglichkeiten für Unordnung



Energieverbrauch?

- 2. Hauptsatz der Thermodynamik
 - Energie geht von selbst immer von einem wärmeren auf einen kälteren Körper über.
 - In einem geschlossenen adiabaten System nimmt die Entropie nicht ab.
 - Mensch/Erde ist ein offenes System.
 - Alle Energieformen verlieren somit ihre Fähigkeit qualitativ hochwertige Arbeit zu verrichten.
 - In diesem Sinne gibt es aus ökonomisch-technischer Sicht doch einen Energieverbrauch.

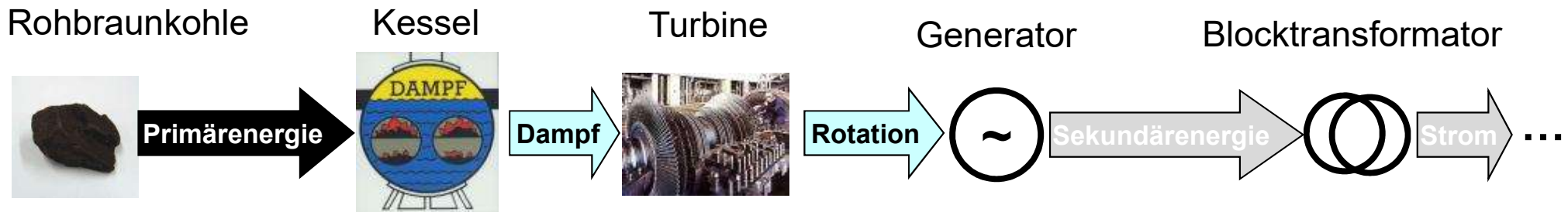
Definition: Energetische Reihe



Definition: Sekundär, Nutzenergie und Energiedienstleistungen

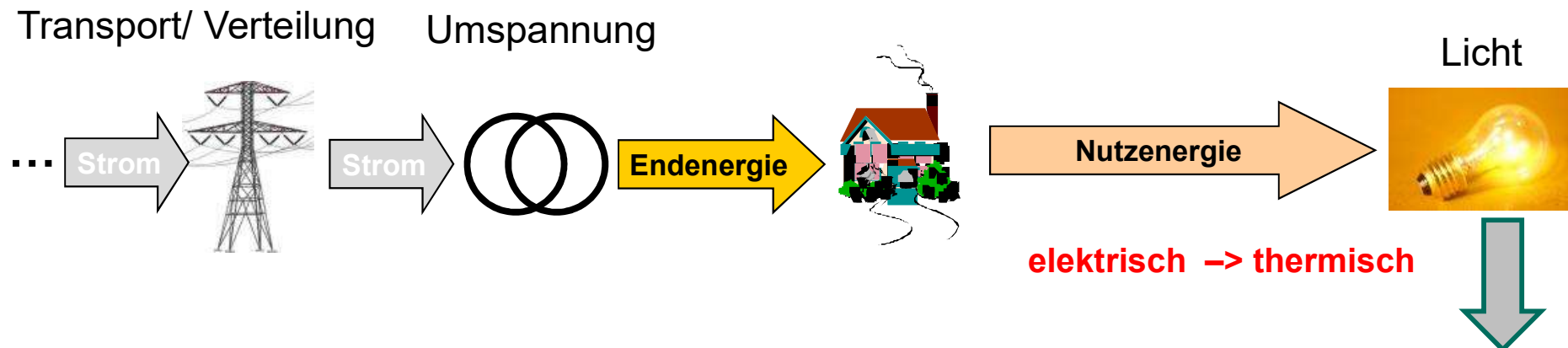
- **Sekundärenergie** ist der Energiegehalt der Energieträger, die als Ergebnis eines oder mehrerer Umwandlungsprozesse (z.B. Trocknung, Entschwefelung, Stromerzeugung) und unter Energieverlust aus der Primärenergie gewonnen wird.
- **Nutzenergie** ist die Energie, die nach der letzten Umsetzung in den Geräten des Verbrauchers zur Verfügung steht.
- **Energiedienstleistungen** sind die Leistungen die durch Einsatz der Nutzenergie beim Kunden erfüllt werden, bspw. Personentransport oder Raumausleuchtung.

Von der Primärenergie zur Energiedienstleistung



chemisch → thermisch → kinetisch

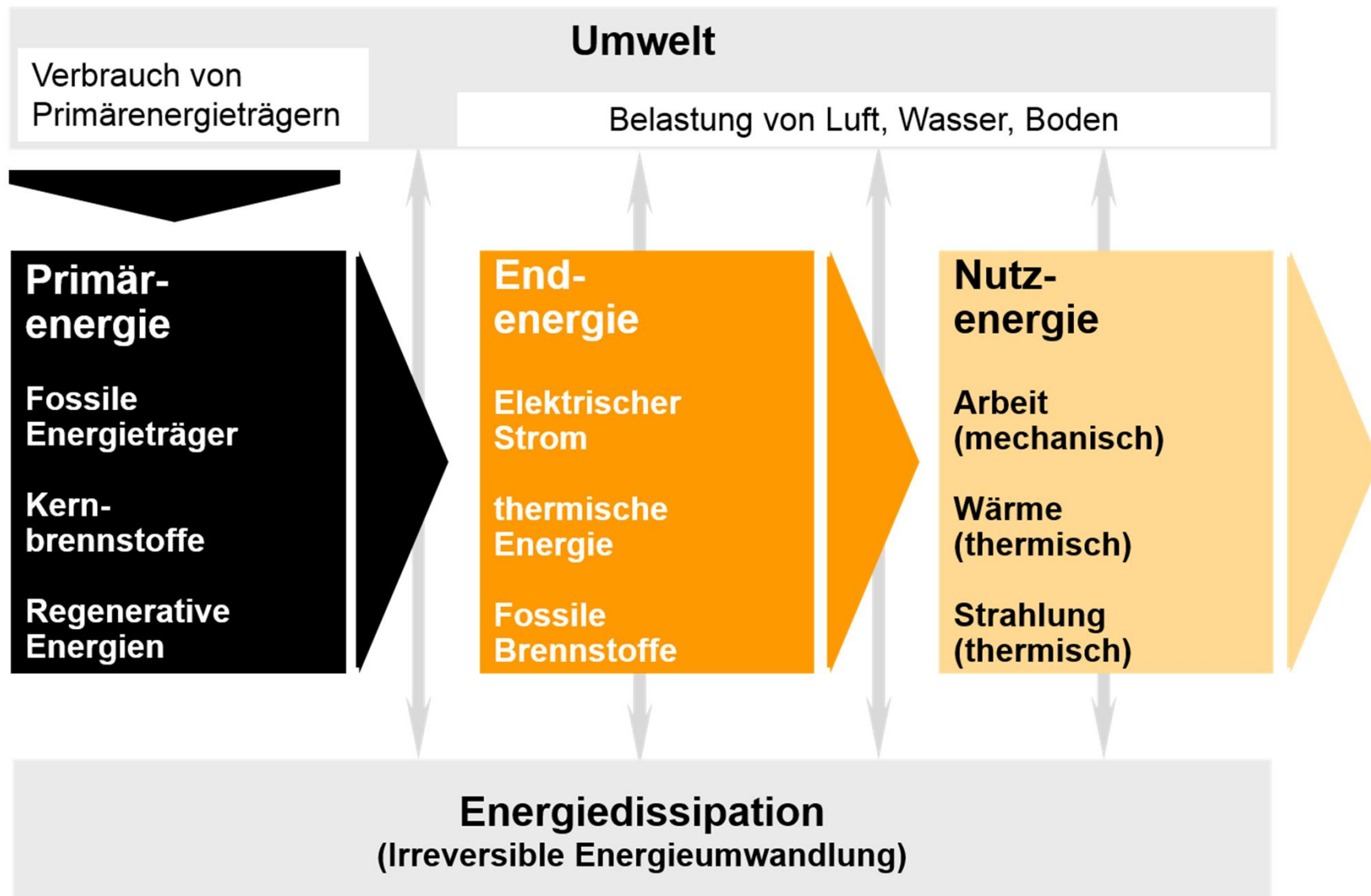
kinetisch → elektrisch



Energiedienstleistung: Beleuchteter Raum

Problem: Jede energetische Umwandlung ist mit Verlusten verbunden.

Auswirkungen des “Energieverbrauchs”



Umwelt: Stoffströme bei der Strombereitstellung

Primär- energieträger	Emissionen						
	SO ₂	NO _x	CO	VOC	Staub	CO ₂	Radio- aktivität
Kohle	X	X	X	X	X	X	(X)
Erdöl	X	X	X	X	X	X	
Erdgas		X	X	X		X	
Uran							X

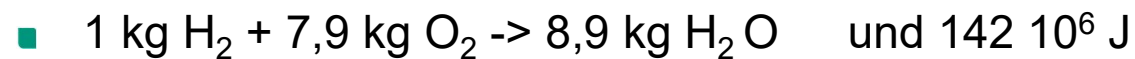
Emissionen durch Verbrennung

■ Oxidation

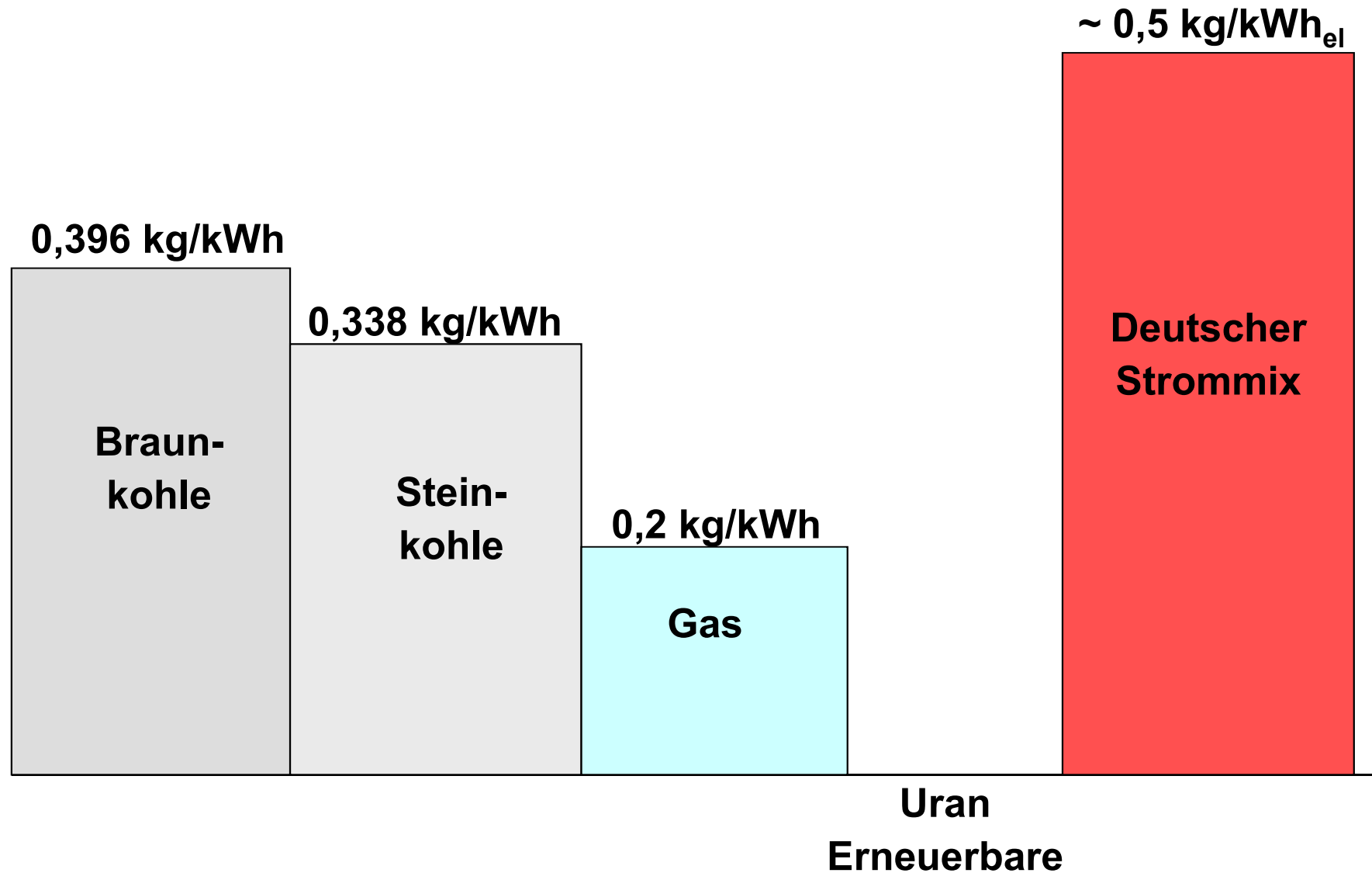
■ Verbrennung von Kohlenstoff



■ Verbrennung von Wasserstoff

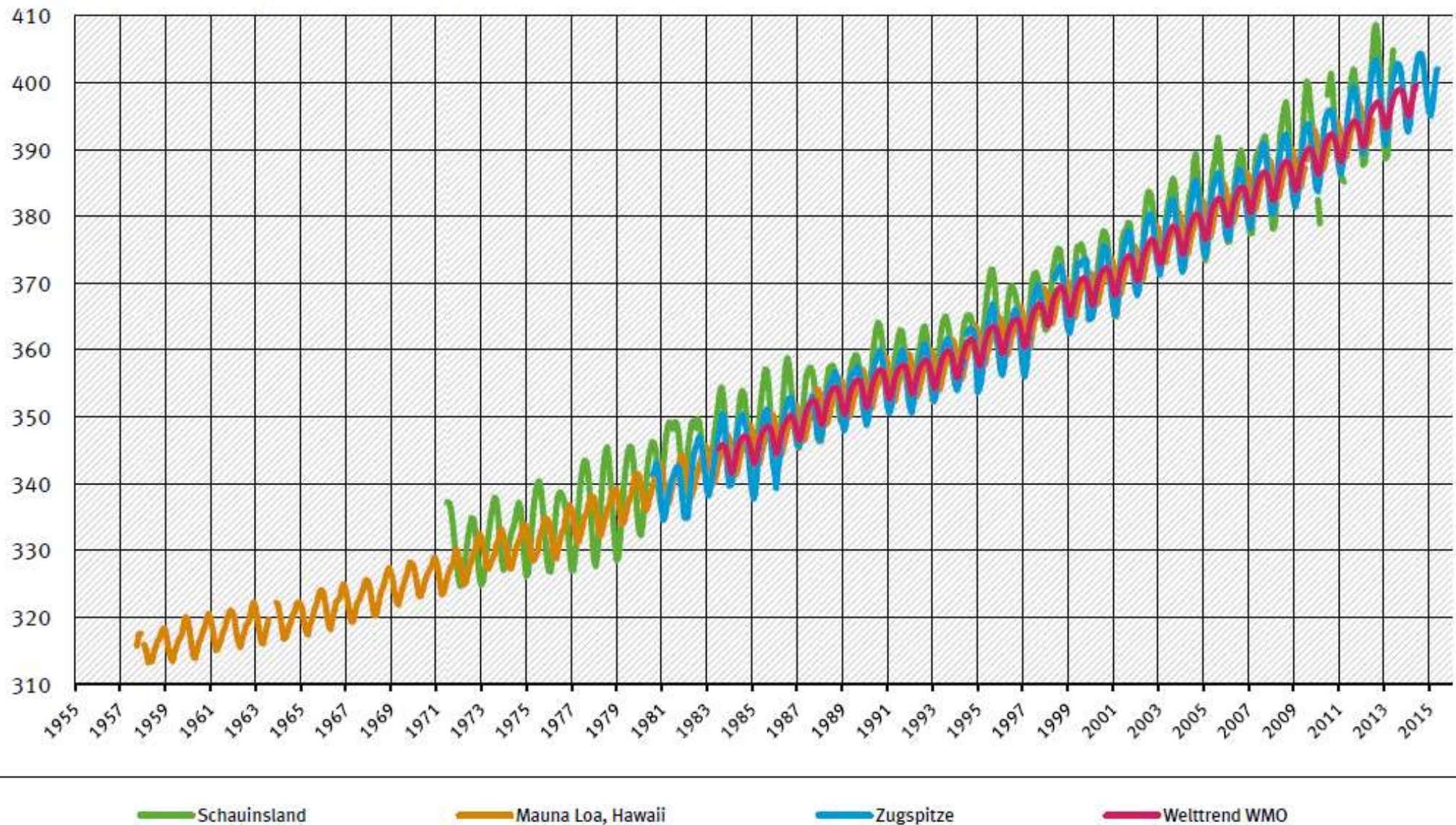


CO₂-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger



Kohlendioxid-Konzentration in der Atmosphäre (Monatsmittel)

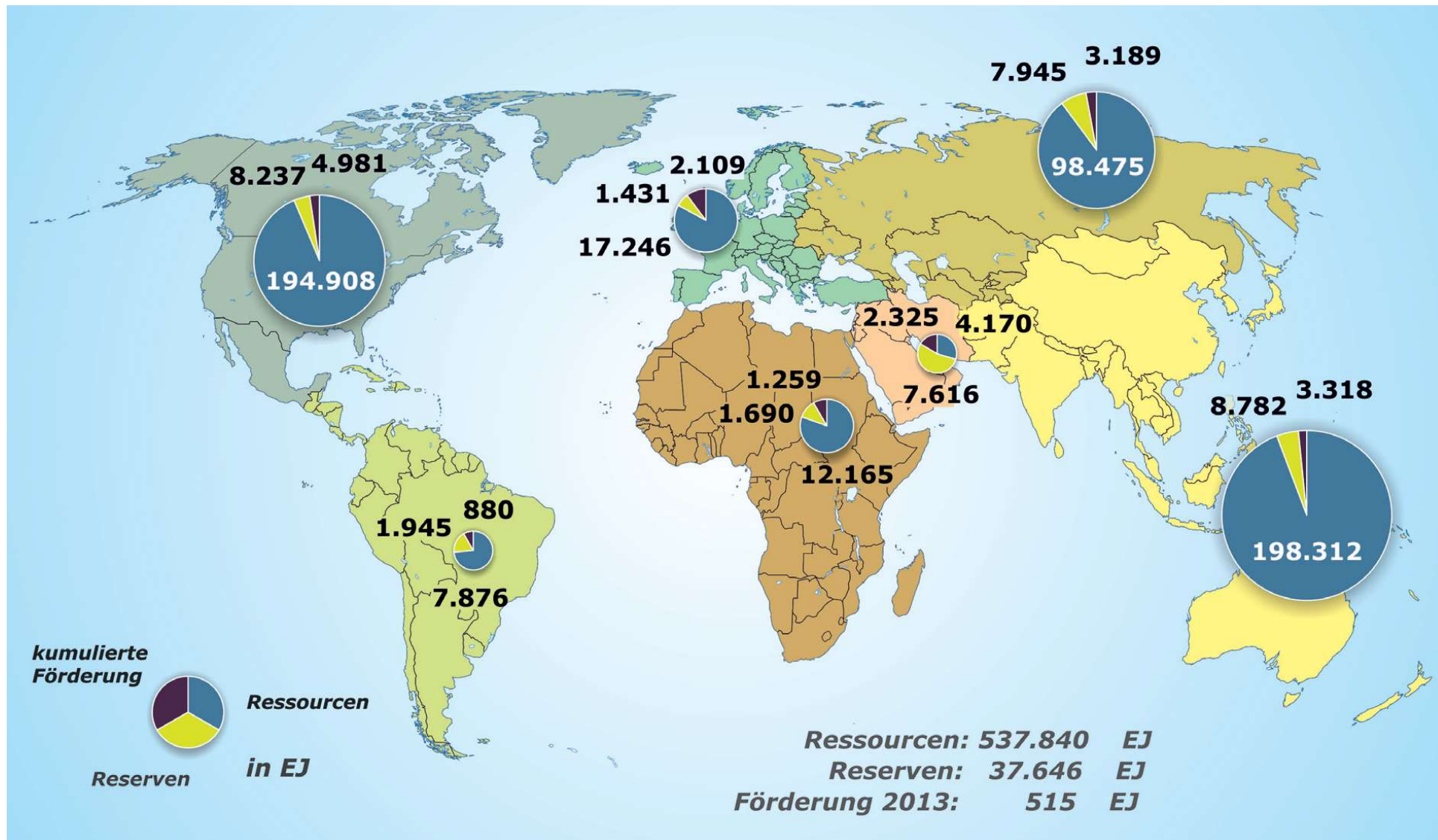
Kohlendioxid in parts per million* bezogen auf das Volumen (ppmV)



*1 ppm = 10⁻⁶ = 1 Teil pro Million = 0,0001 %, angegeben als Molenbruch

Quelle: Umweltbundesamt (Schauinsland, Zugspitze), NOAA Global Monitoring Division and Scripps Institution of Oceanography (Mauna Loa, Hawaii), World Meteorological Organization, WDCGG (World Trend)

Verbrauch: Gesamtpotenzial erschöpfbarer Energieträger (Kohle/Gas/Öl/Uran/Thorium)



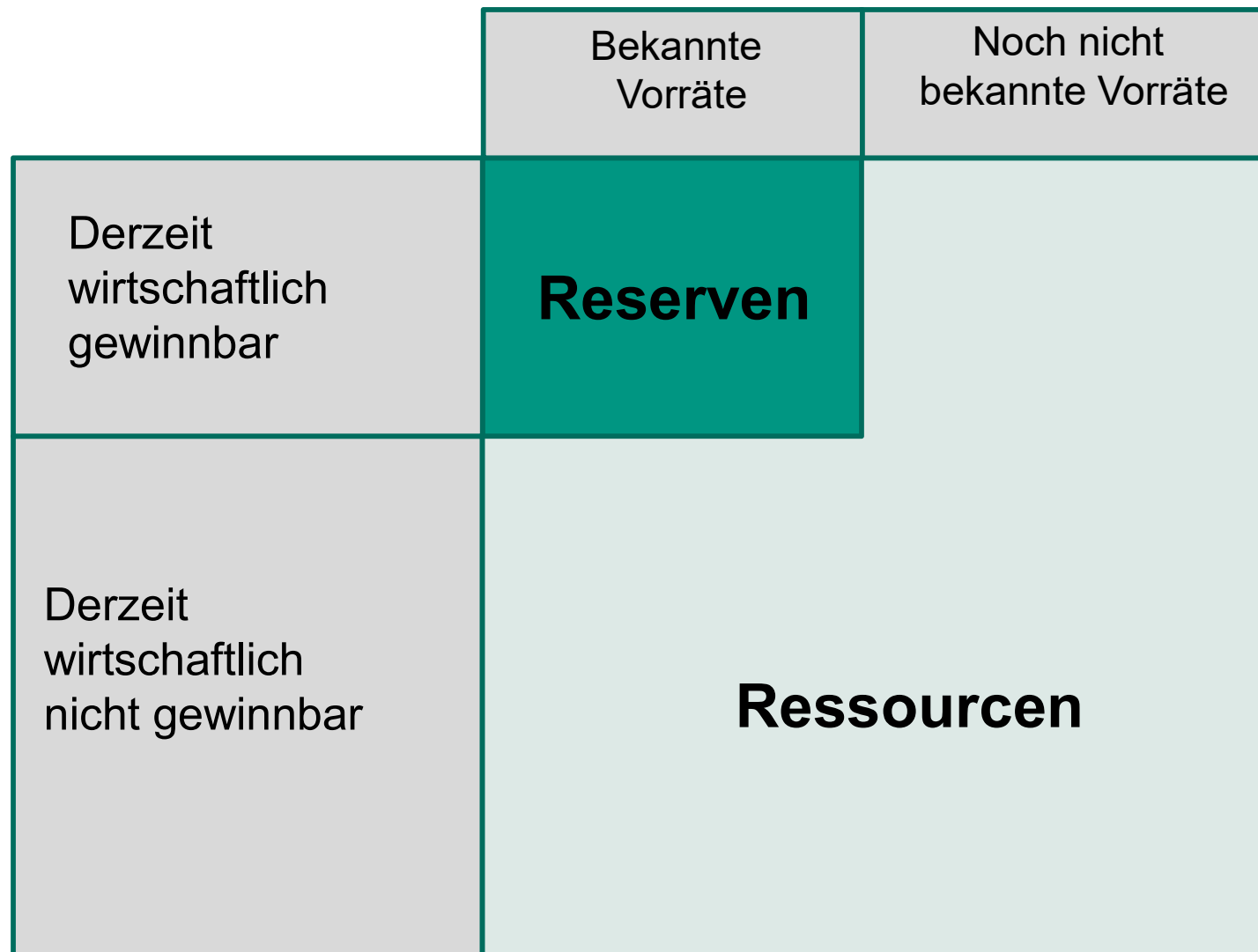
Quelle: BGR 2014

Definition: Ressourcen und Reserven

- Die **Reserven** sind die bekannten, mit heutiger Technik wirtschaftlich abbaubaren Vorkommen.
 - Synonym sind gebräuchlich: bauwürdig ausbringbare Reserven, sicher und wahrscheinlich gewinnbare Vorräte.

- Die **Ressourcen** sind
 - entweder nachgewiesene, aber derzeit nicht wirtschaftlich gewinnbare, oder
 - nicht nachgewiesene, aber geologisch mögliche, künftig gewinnbare Mengen an Energierohstoffen.

Ressourcen und Reserven im McKelvey-Diagramm



Potenzialbegriffe

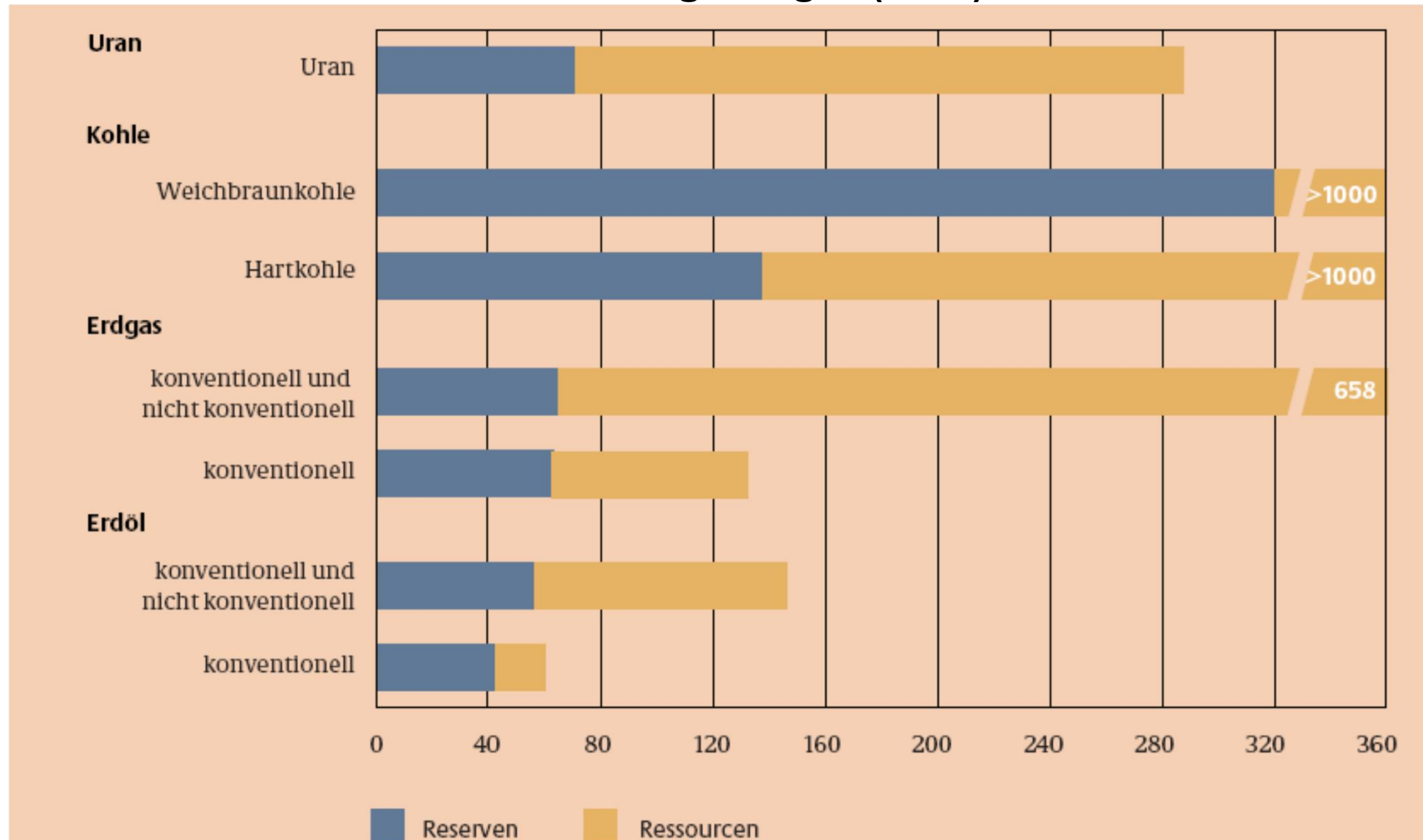
- Theoretisch → durch Naturgesetze begrenzt
- Technisch → Berücksichtigung realer Erschließungsmöglichkeiten
- Ökonomisch → wirtschaftlich nutzbar
 - 

Gesamtwirtschaftlich
 - Einzelwirtschaftlich
- Ausschöpfbar → ökonomisch nicht sofort nutzbar aufgrund von Hemmnissen

Zur Ressourcenverfügbarkeit

- Aussagen zu Reserven und Ressourcen zeigen noch nicht Knappheit an
- Kappheitsindikator
 - Abbaukosten
 - Ressourcenpreis
 - Reichweite
 - **Die statische Reichweite:** Quotient aus Reserven bzw. Ressourcen und der Jahresförderung
 - **Die dynamische Reichweite:** Quotient aus Reserven bzw. Ressourcen und der erwarteten zukünftigen Jahresförderung

Statische Reichweiten fossiler Energieträger (Welt)



Quelle: Berechnungen von EEFA nach OECD/NEA, BGR, siehe auch BMWi-Energiedaten, Tabellen 40 – 42

Quelle: BMWi 2008

Herleitung der optimalen Abbaurate für Ressourcenbesitzer

■ Voraussetzungen

- Vielzahl von atomistischen Anbietern/Nachfragern (vollständige Konkurrenz); Anbieter sind Preisnehmer
- Vollständige Eigentumstitel
 - Heutzutage ggf. Raubbau, da zeitliche Opportunitätskosten von Anbietern nicht berücksichtigt werden.
- Vollkommene Voraussicht: Ressourcenbestand und Nachfrage in allen Perioden bekannt; die Nachfrage (d.h. die Nachfragekurve) sei konstant
- Keine privaten Abbaugrenzkosten

Herleitung der optimalen Abbaurrate für Ressourcenbesitzer

- Maximierung des Gewinns des Anbieters

$$G = \sum_{t=0}^T \frac{p_t \cdot q_t}{(1+r)^t}$$

unter der Nebenbedingung

$$\sum_{t=0}^T q_t = R_0$$

- q_t = Abbaumenge zum Zeitpunkt t
- p_t = Preis zum Zeitpunkt t
- T = Entscheidungshorizont
- r = Diskontierungssatz
- R_0 = Bestand des Ressourcenbesitzers

Herleitung der optimalen Abbaurrate für Ressourcenbesitzer

- Lagrangesche Multiplikatormethode

$$L = \sum_{t=0}^T \frac{p_t \cdot q_t}{(1+r)^t} + \lambda \left(R_0 - \sum_{t=0}^T q_t \right)$$

- Notwendige Bedingungen für $t = 0, 1, \dots, T$

$$\frac{\partial L}{\partial q_t} = 0$$

- Lösung

$$p_0 = \frac{p_1}{(1+r)^1} = \dots = \frac{p_T}{(1+r)^T} = \lambda$$



Der Preis steigt im Zeitverlauf mit einer Rate, die dem Zins entspricht.
(Hotelling Regel)

Herleitung der optimalen Abbaurrate für Ressourcenbesitzer

- Würde der Preis mit einer geringeren Rate steigen, als es dem Zins entspricht, lohnte es sich sofort abzubauen.
 - Das Angebot heute steigt, das Angebot morgen sinkt. Der Preis heute sinkt, der Preis morgen steigt.
- Würde der Preis um mehr steigen, als es dem Zins entspricht, lohnte es sich, mit dem Abbau zu warten.
 - Das Angebot heute sinkt, Angebot morgen steigt. Preis heute steigt, Preis morgen sinkt.
- Nur wenn der Preis mit genau der Rate steigt, befinden wir uns in einem Gleichgewicht.

Einführung in die Energiewirtschaft

1) Einleitung/Grundlagen

1.1. Energiewirtschaftliche Grundlagen und Begriffe

- Energie
- Elektrizität

1.2. Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

- Das Produkt Strom aus **Systemsicht**
 - Essentielles aber immaterielles Gut
 - Permanentes Gleichgewicht zwischen Nachfrage und Bereitstellung
 - Umwandelbar in andere Energieträger
 - Exergetischer Wirkungsgrad beachten!
- Lediglich teilweise Möglichkeit zur Substitution von Elektrizität
 - Auslegung des Systems bislang auf Extrema
 - 1-in-10-Jahren Winter
 - n-1 Ausfall
- Versorgungssicherheit ist ein Allmendegut
 - Versorgungssicherheit bislang nicht vorab absicherbar (wie bei Hotelzimmer)

	Keine Rivalität	Rivalität
Nicht exklusiv	Öffentliches Gut	Allmendegut
Exklusiv	Klubgut	Privates Gut

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

- Leitungsgebundenheit: Natürliches Monopol, keine zentrale Einlastung der Kraftwerke (Dispatch) in Deutschland
 - Aktuell: Netzengpässe gewinnen an Bedeutung
- Signifikante Umwelt-Wirkungen
- Abgaben und Steuern überlagern eigentliche Produktionskosten (in Deutschland)
 - Problematik der Verteilungswirkung (Förderung Erneuerbare Energien)

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

- Das Produkt Strom aus **Verkäufern**sicht
 - Schlechte Speicherbarkeit aber ständige Versorgungsbereitschaft
 - Gleichgewicht zwischen Nachfrage und Bereitstellung bei großen Nachfrageschwankungen (bspw. Tag-Nacht)
 - Vorhaltung nicht-ausgelasteter Produktionskapazität, die systemsicherheitsbedingt im Markt bleiben muss
 - Hoher Fixkostenanteil
 - Insbesondere bei Transport und Verteilung
 - Aktuell: In steigendem Maße auch bei der Bereitstellung infolge Zubau an erneuerbaren Energien

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

- Anlagen zur Bereitstellung von Elektrizität
 - Bislang Investitionsgüter mit langen Nutzungsdauern
 - Aktuell: zunehmende Dezentralität; zunehmend Konsumgüter (PV-Anlage) mit kürzeren Nutzungsdauern
 - Vielzahl an staatlichen Eingriffen
 - Aktuell: Wenig Vertrauen auf stabiles Marktumfeld
- Ein Marktplatz und eine Markträumung (in Deutschland)

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

■ Das Produkt Strom aus **Käufersicht**

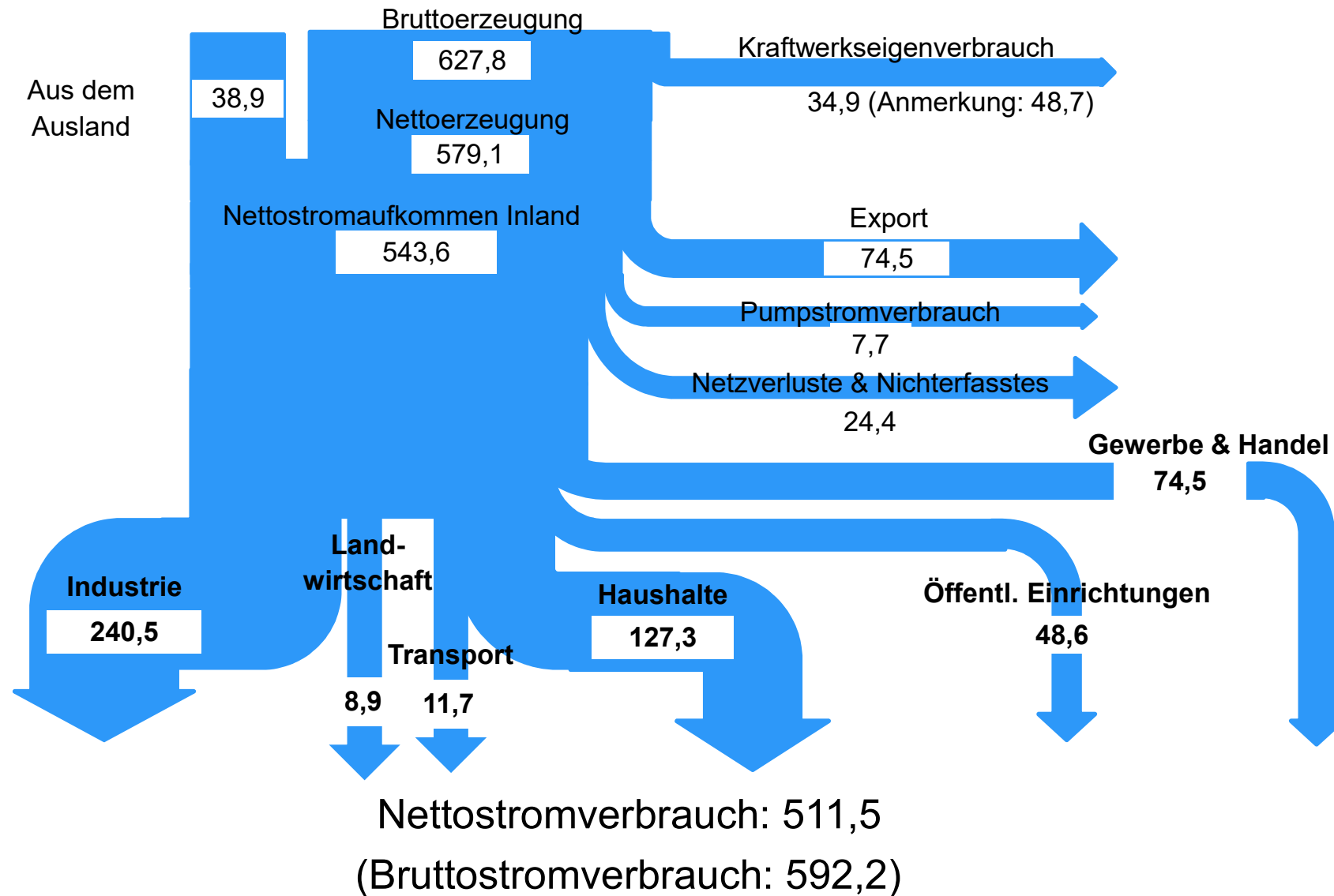
- Kuppelprodukt
 - Energie (kWh), privates Gut
 - Aktuell: Tarife nur pro kWh Fremdstrombezug bilden starken Anreiz zur Eigenerzeugung
 - Leistung (kW), kurzfristige Leistungsbereitstellung i.d.R. Allmendegut
 - Aktuell: Privatisierung der kurzfristige Leistungsbereitstellung durch smarte Welt umsetzbar
- Kundenwert (VoLL) i.d.R. höher als aktuelle Preise
- Teilweise regulatorische/technische Preisobergrenzen
- Homogenes Gut, keine Qualitätsunterschiede
- Emotionalisiertes Produkt (Kohle, Kernenergie)
- Für Großkunden wichtiger Standortfaktor

Besonderheiten der Elektrizitätswirtschaft

■ Das Produkt Strom aus **Käufersicht**

- Kleinkunden (waren lange) relativ uninteressiert (low-involvement) und mit wenig Wechselbereitschaft, inelastische Nachfrage
 - Herkunft (Generator) bislang kaum nachvollziehbar
 - Aktuell: Eigenerzeugung ermöglicht Eigenverbrauch
 - Neuer Bezug zum Produkt durch Eigenerzeugung inkl. Vermarktung
 - Mangelndes technisches Verständnis
 - Informationsdefizite
- Nicht direkt konsumierbar
- Nutzenfunktion unbekannt (bislang geringe Kosten)
 - Aktuell: Umwelt, Unabhängigkeit von EVU,...
- Bislang wenig Echtzeitinformationen
 - Aktuell: Veränderungen Kunden (und bei Netzbetreibern)

Stromfluss Deutschland 2014 (aus vorläufigen Angaben) [Mrd. kWh]



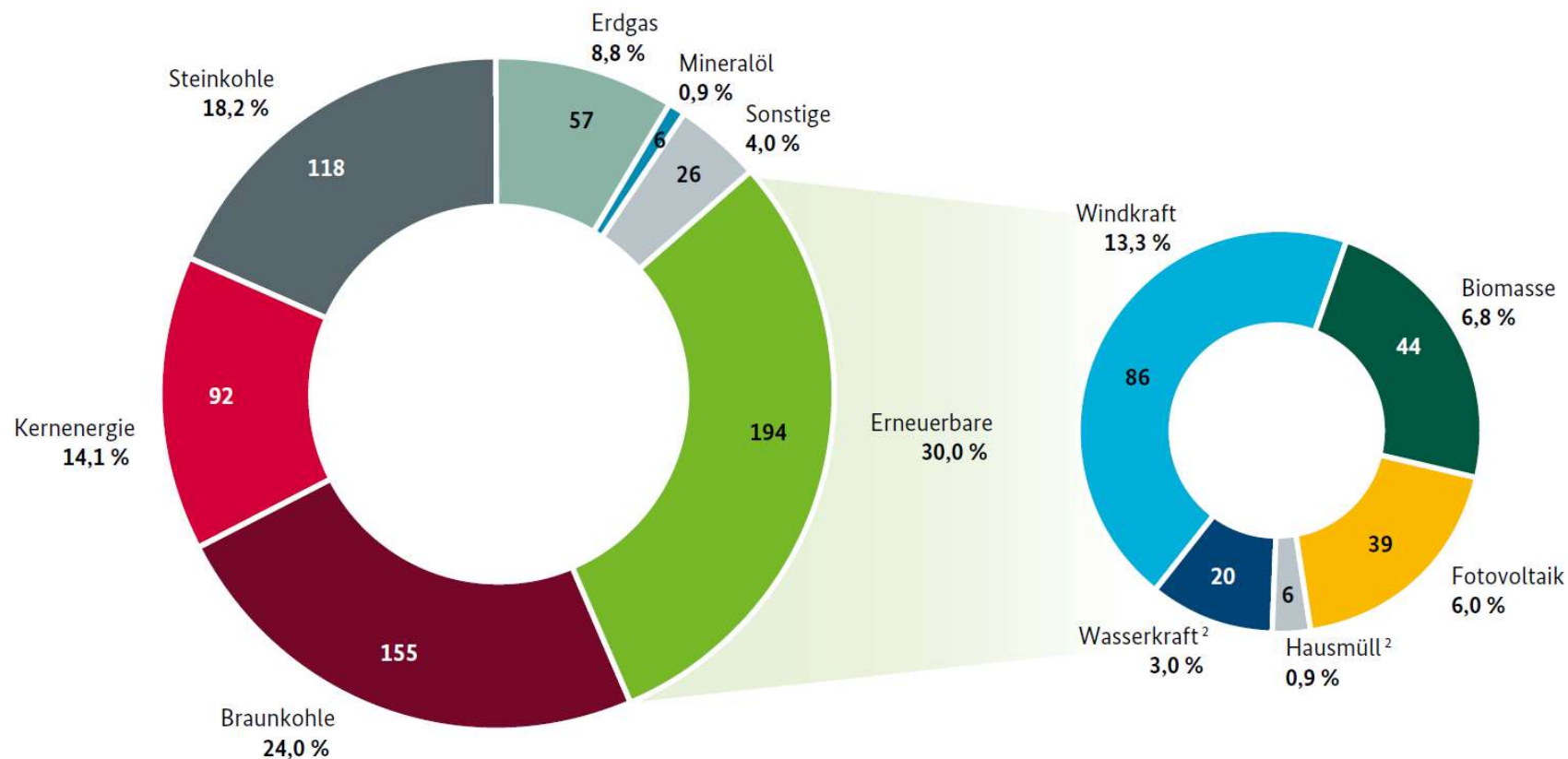
Quelle: bmwi

Brutto- und Nettoleistung

- Die Brutto-Leistung eines Kraftwerkblocks oder eines Kraftwerks ist die Leistung an den Generatorklemmen. Sie enthält die elektrische Eigenbedarfsleistung.
- Die Netto-Leistung ist die von einem Kraftwerksblock oder einem Kraftwerk abgegebene, für das Netz nutzbare Leistung. Sie ergibt sich aus der Brutto-Leistung nach Abzug der elektrischen Eigenbedarfsleistung.

Bruttostromerzeugung Deutschland 2015

28. Bruttostromerzeugung in Deutschland 2015¹: insgesamt: 647 TWh



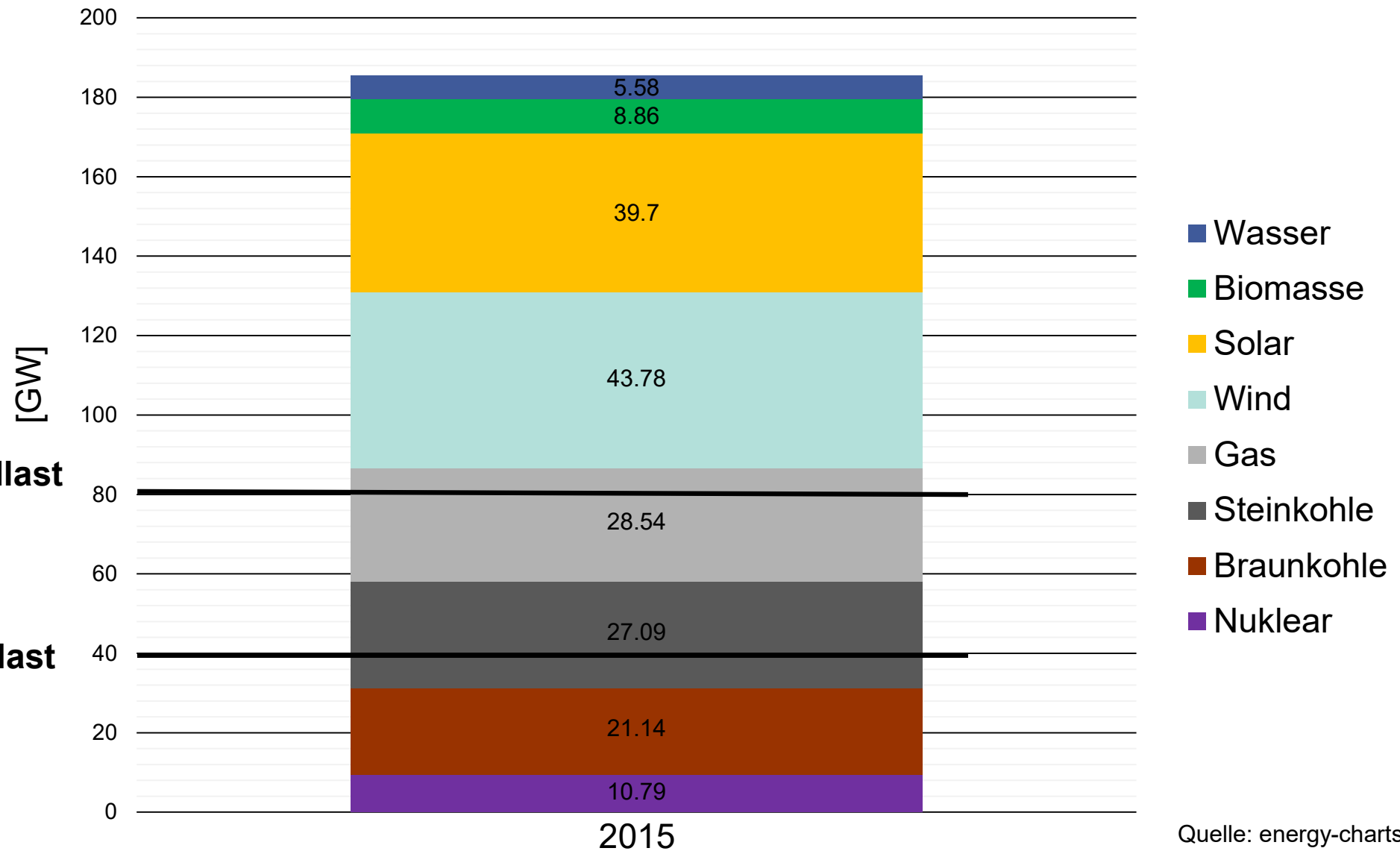
1 Vorläufig

2 Regenerativer Anteil

Geothermie aufgrund der geringen Menge nicht dargestellt

Quelle: AG Energiebilanzen, Stand Dezember 2015

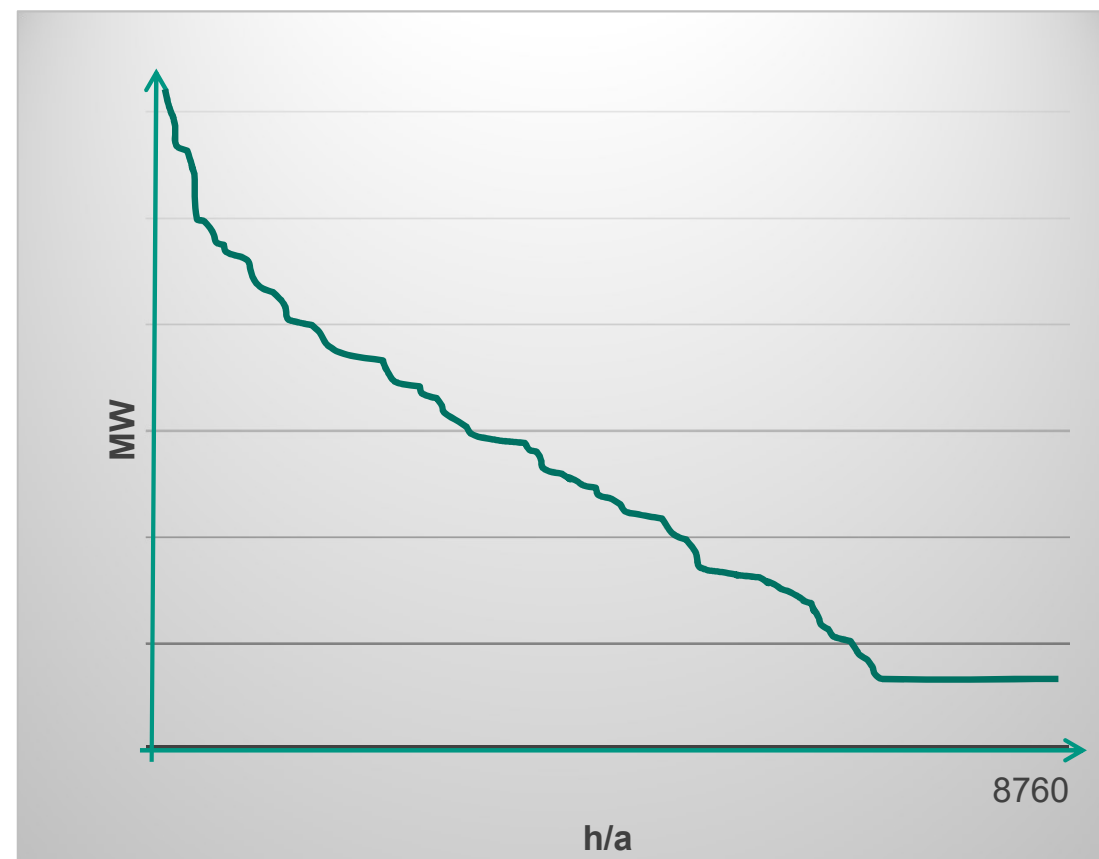
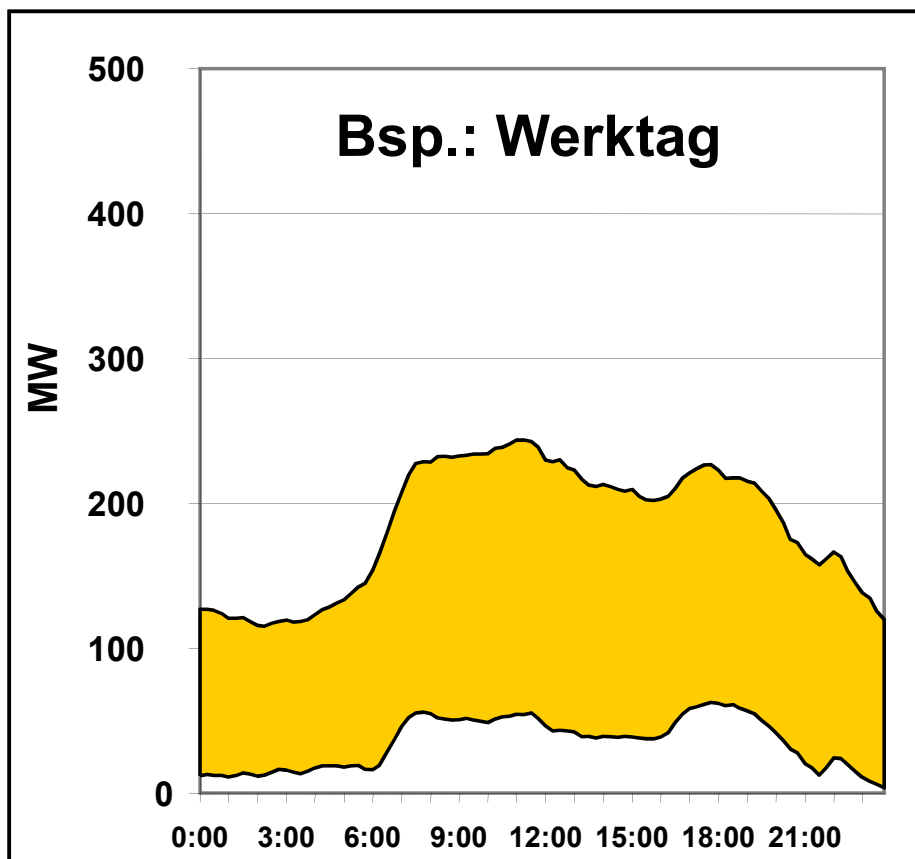
Das deutsche Elektrizitätssystem: Netto-Kapazität (2015)



Bewertungskennzahlen

- Wirkungsgrad
 - Nutzbare abgegebene Leistung dividiert durch zugeführte Leistung
 - Für stationären Betriebszustand
 - Maximaler Wirkungsgrad bei Wärmeumwandlung (Carnot):
 - $(T_1 - T_2) / T_1$ (in Kelvin)
- Nutzungsgrad
 - In bestimmten Zeitraum nutzbare abgegebene Energie dividiert durch die insgesamt zugeführte Energie
 - Berücksichtigung von An- und Abfahrzeiten, Teillastverhalten etc.
- Vollaststunden
 - (Jährlich) Bereitgestellte Energie dividiert durch die Leistung der Anlage.

Lastganglinie und Lastdauerlinie



Einführung in die Energiewirtschaft

1) Einleitung/Grundlagen

1.1. Energiewirtschaftliche Grundlagen und Begriffe

- Energie
- Elektrizität

1.2. Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

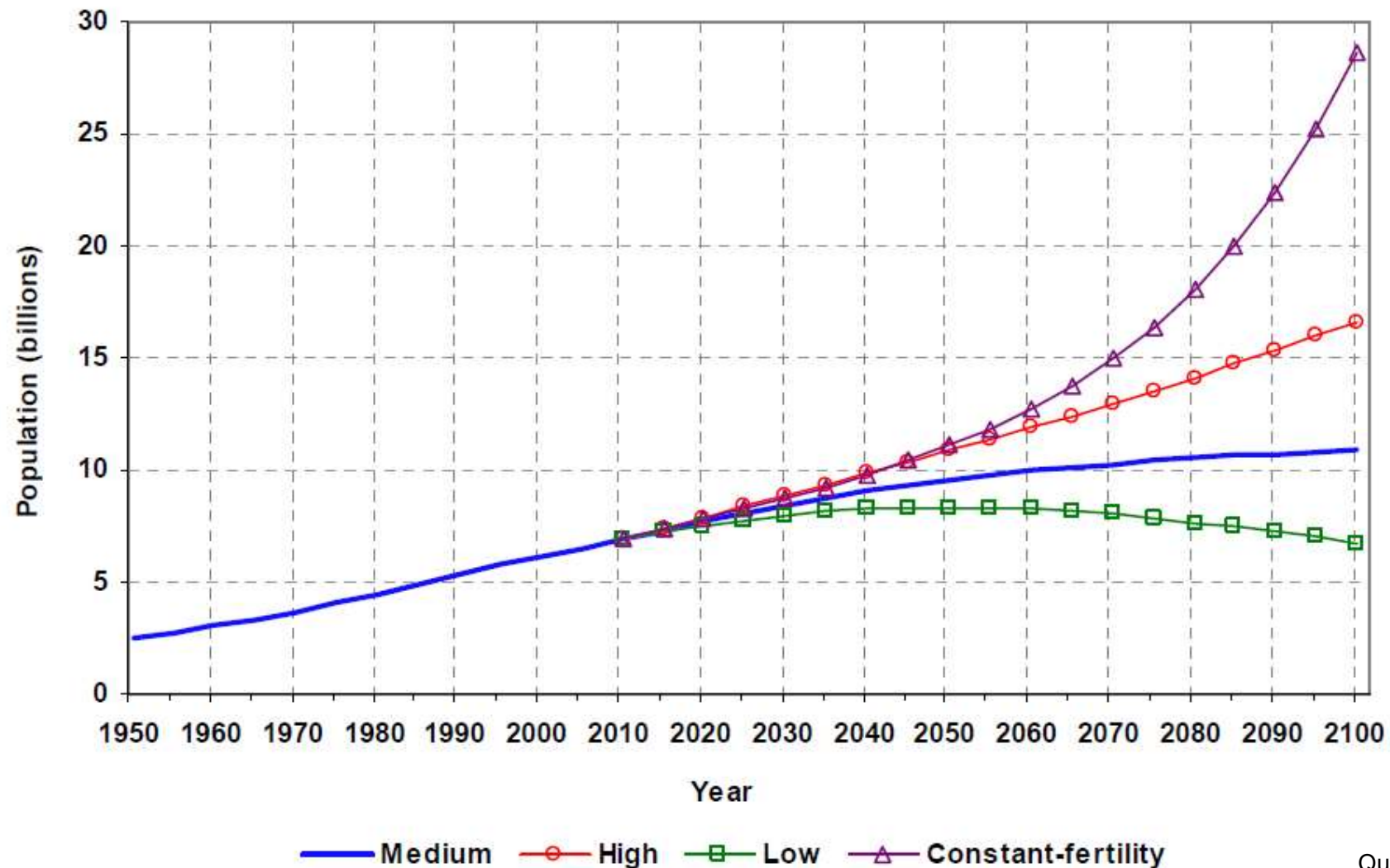
Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

Die Ausgangslage:

- Weltbevölkerung 2014: ca. 7,2 Mrd.
 - Prognose für 2030: ca. 8,5 Mrd.

Entwicklung Weltbevölkerung 1950 bis 2100

Figure 1. Population of the world, 1950-2100, according to different projections and variants



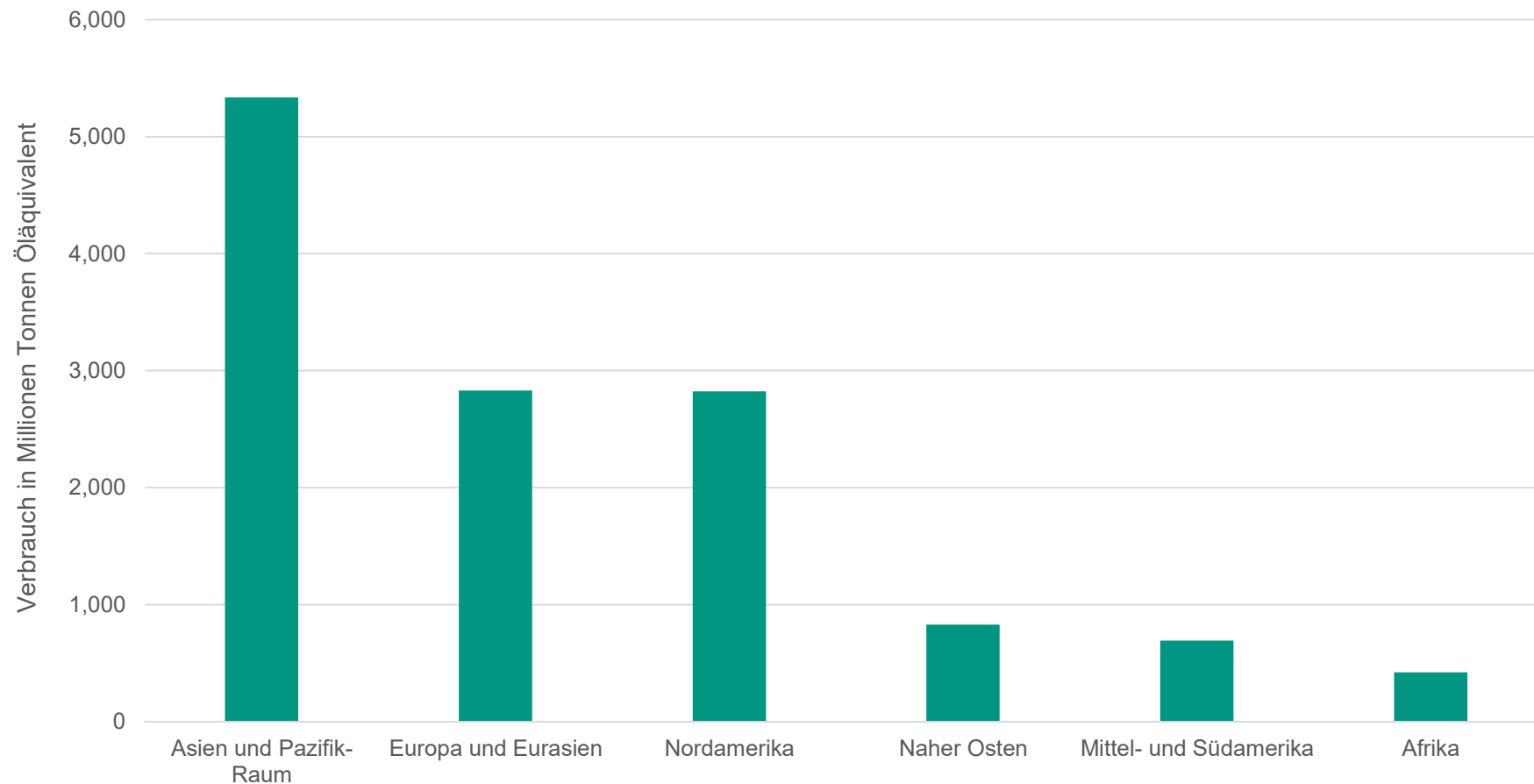
Quelle: un.org (2013)

Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

- **Die Ausgangslage:**
- Weltbevölkerung 2014: ca. 7,2 Mrd.
 - Prognose für 2030: ca. 8,5 Mrd.
- Anstieg Weltenergiebedarf bis 2030 ?
 - Anteil fossiler Energien ? (2015: ca. 81%)

Primärenergieverbrauch nach Weltregion 2014

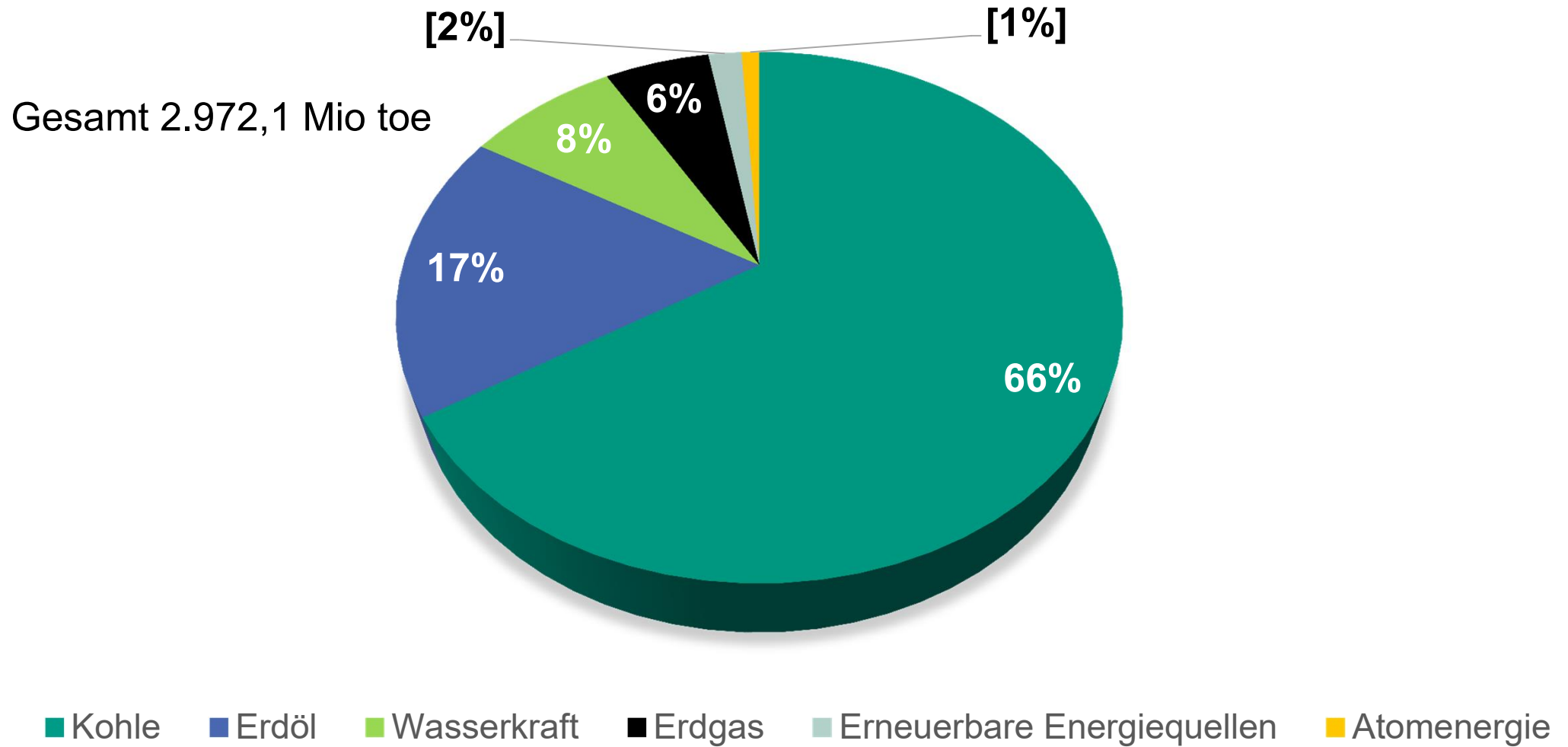
Primärenergieverbrauch nach Weltregion 2014



Quelle: de.statista.com

China - Primärenergieverbrauch 2014

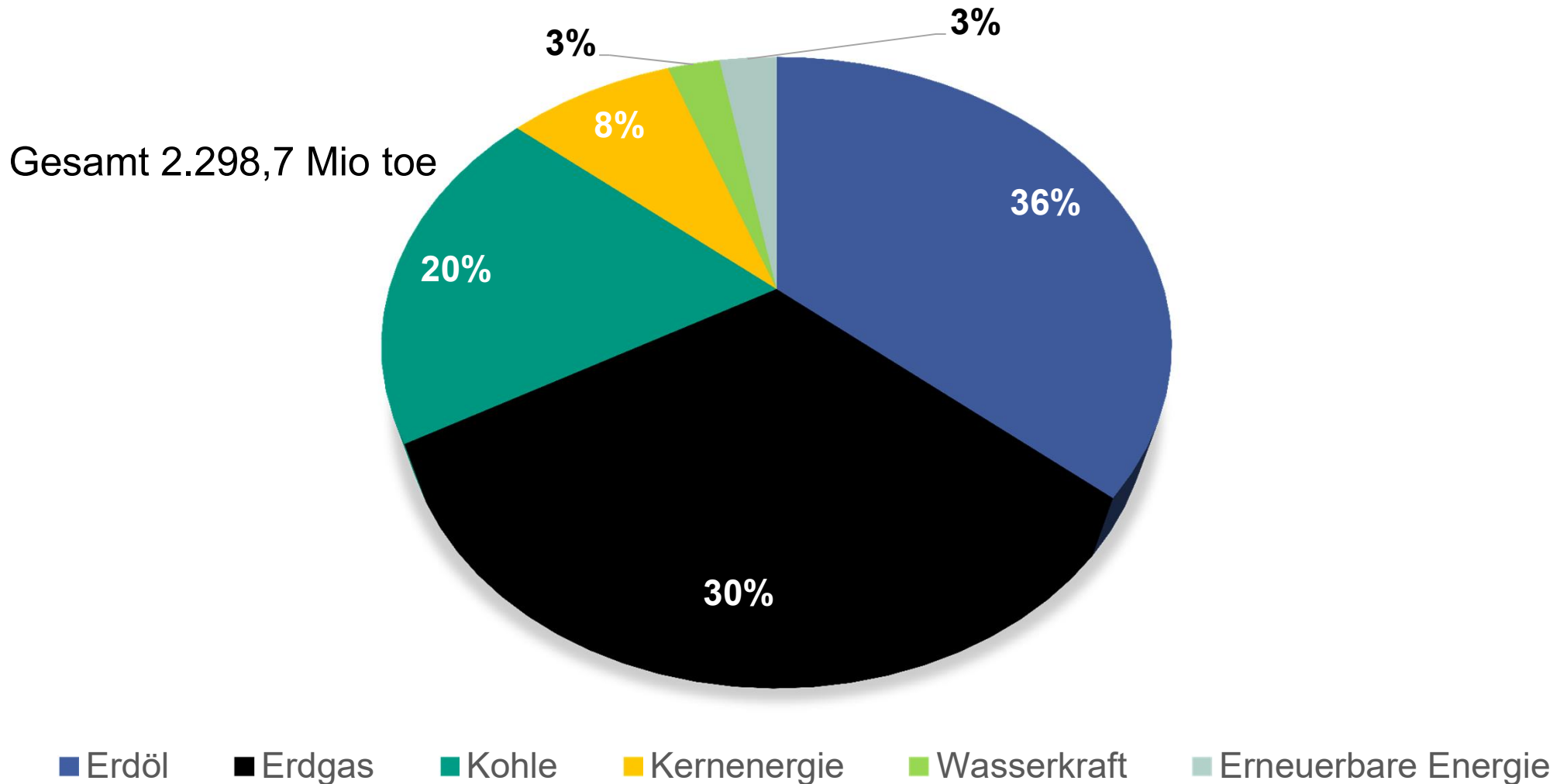
China - Primärenergieverbrauch nach Energieträger 2014



Quelle: de.statista.com

USA - Primärenergieverbrauch 2014

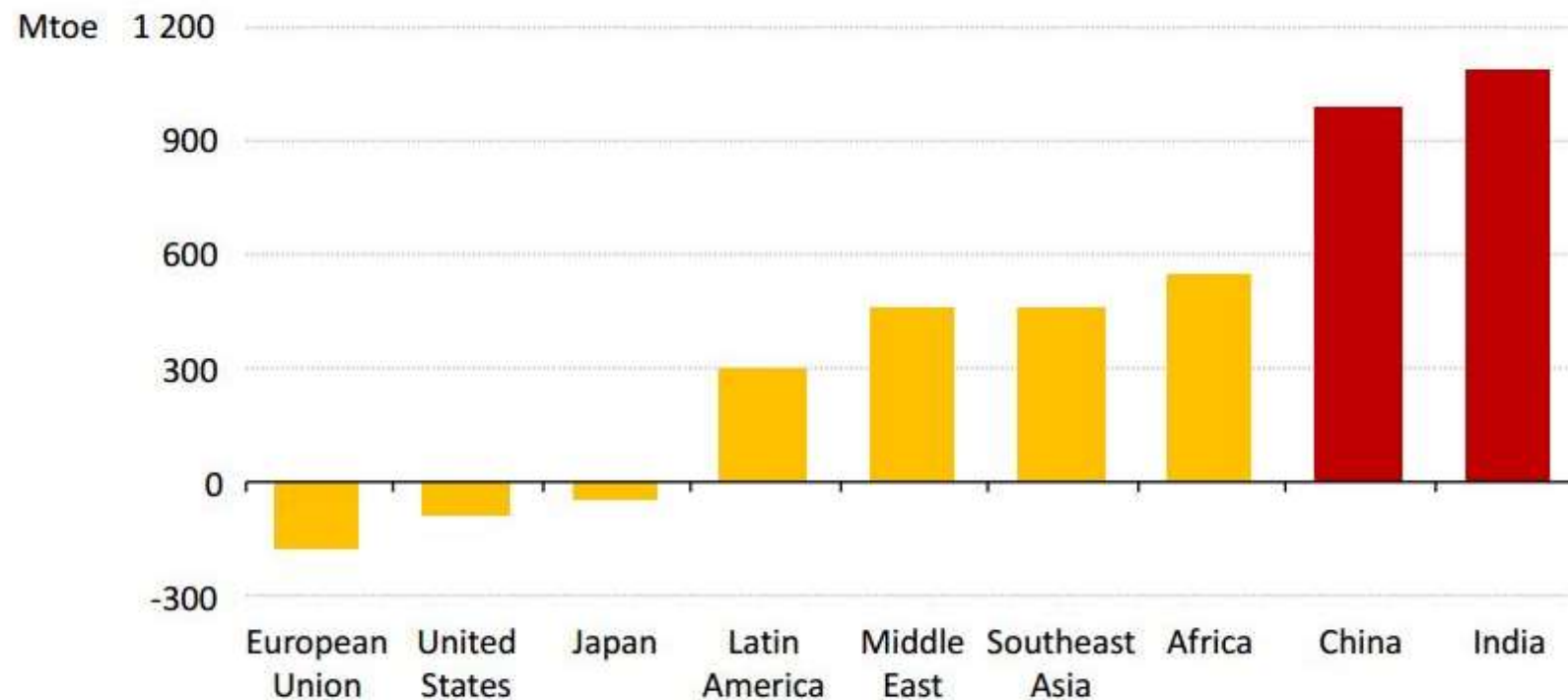
USA - Primärenergieverbrauch nach Energieträger 2014



Quelle: de.statista.com

Entwicklung der Energienachfrage

Change in energy demand in selected regions, 2014-2040



By 2040, India's energy demand closes in on that of the United States, even though demand per capita remains 40% below the world average

Quelle: world energy outlook 2015

Weltweiter Primärenergiebedarf nach Regionen 2035 [Mtoe]

Primary energy demand, 2035 (Mtoe)



Quelle: www.worldenergyoutlook.org

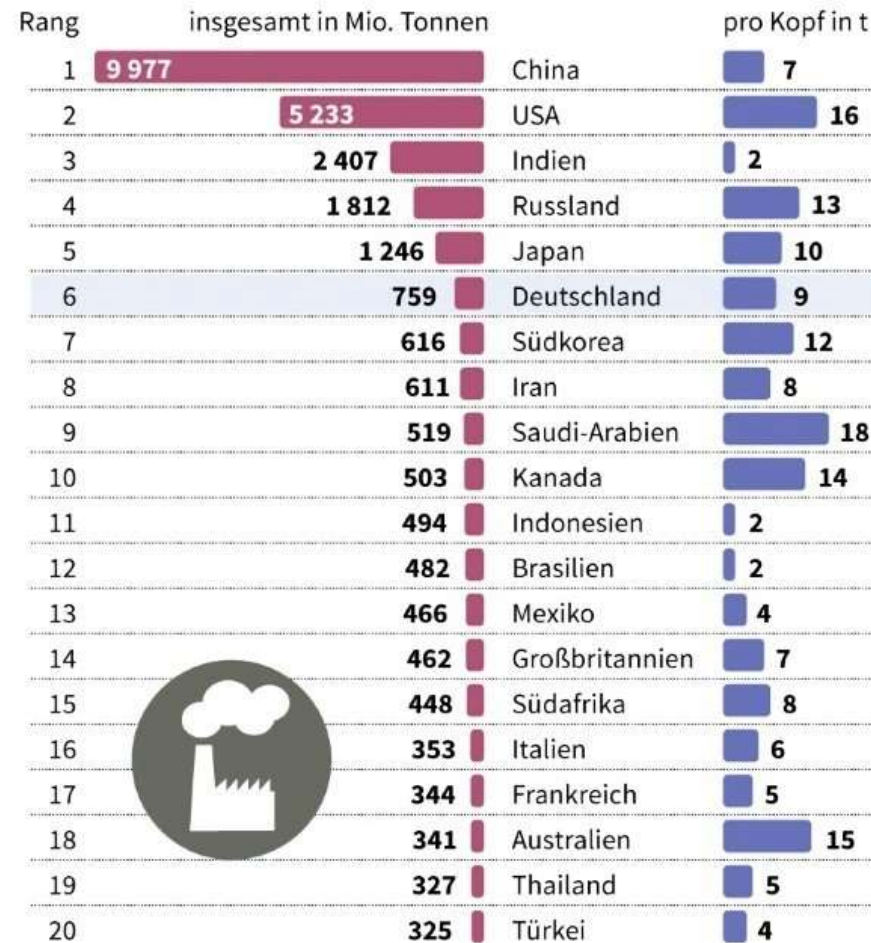
Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

- **Die Ausgangslage:**
- Weltbevölkerung 2014: ca. 7,2 Mrd.
 - Prognose für 2030: ca. 8,5 Mrd.
- Anstieg Weltenergiebedarf bis 2030 ?
 - Anteil fossiler Energien ? (2015: ca. 81%)
- Anstieg der Emissionen (u. a. CO₂) bis 2030 ? <-> Pariser Klimaabkommen

Weltweite CO₂-Emissionen 2013

Die 20 größten CO₂-Verursacher

CO₂-Emissionen 2013



Quelle: Global Carbon Project

AFP

Die Herausforderung in der Energiewirtschaft

- **Die Ausgangslage:**
- Weltbevölkerung 2014: ca. 7,2 Mrd.
 - Prognose für 2030: ca. 8,5 Mrd.
- Anstieg Weltenergiebedarf bis 2030 ?
 - Anteil fossiler Energien ? (2015: ca. 81%)
- Anstieg der Emissionen (u. a. CO₂) bis 2030 ?
- ***Die Forderungen:***
- Gesicherte, bezahlbare, umweltfreundliche, akzeptierte Energieversorgung („Energiewirtschaftliches Viereck“)