

Klimaschutz: Das Man on the Moon Projekt – eine Standortbestimmung

Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard F. Hüttl

Vizepräsident *acatech*
Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

Wissenschaftlicher Vorstand und Vorstandsvorsitzender
Helmholtz-Zentrum Potsdam Deutsches GeoForschungsZentrum - GFZ

Man on the Moon



25. Mai 1961



20. Juli 1969

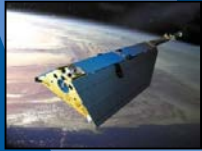


Bilder: NARA , Neil Armstrong, NASA

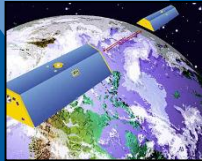
Satellitenmissionen mit GFZ-Beteiligung



GFZ 1
(1995-
1999)



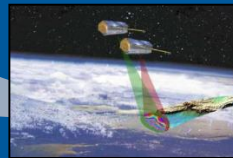
CHAMP
(2000-2010)



GRACE
(2002-2017)



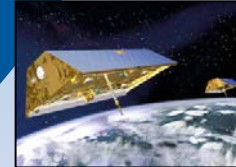
GOCE
(2009-2013)



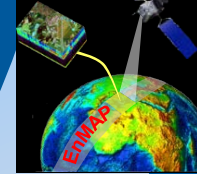
**TerraSAR-X (2007),
TanDEM-X (2010)**



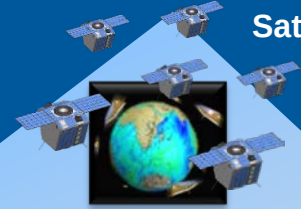
Swarm
(2013)



GRACE-FO
(2018)

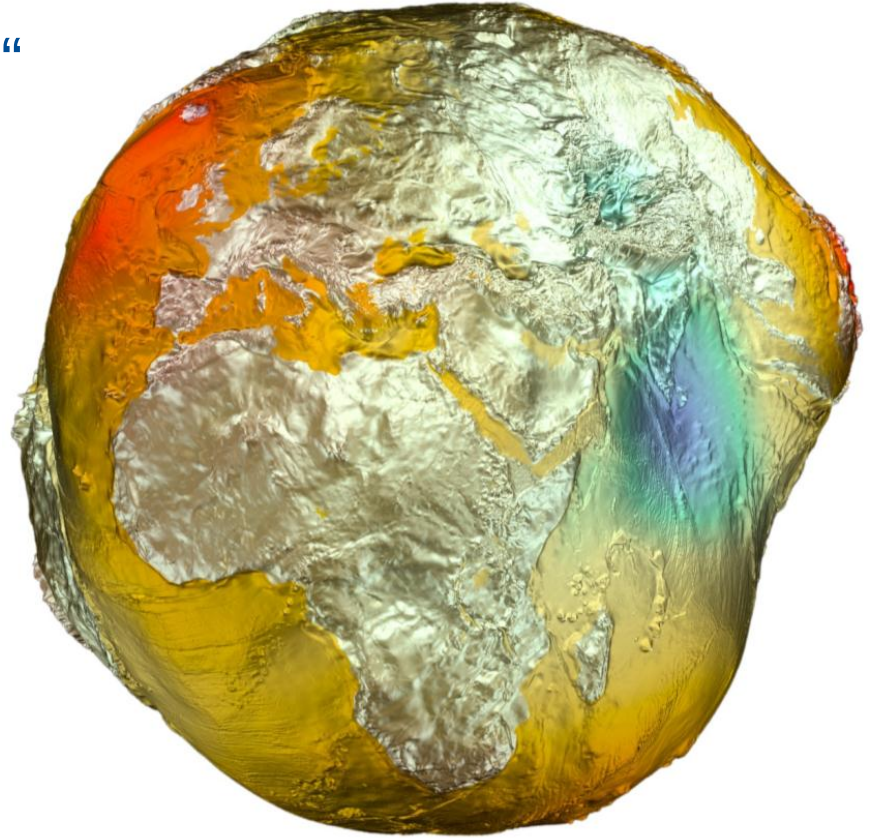


EnMAP
(2021)

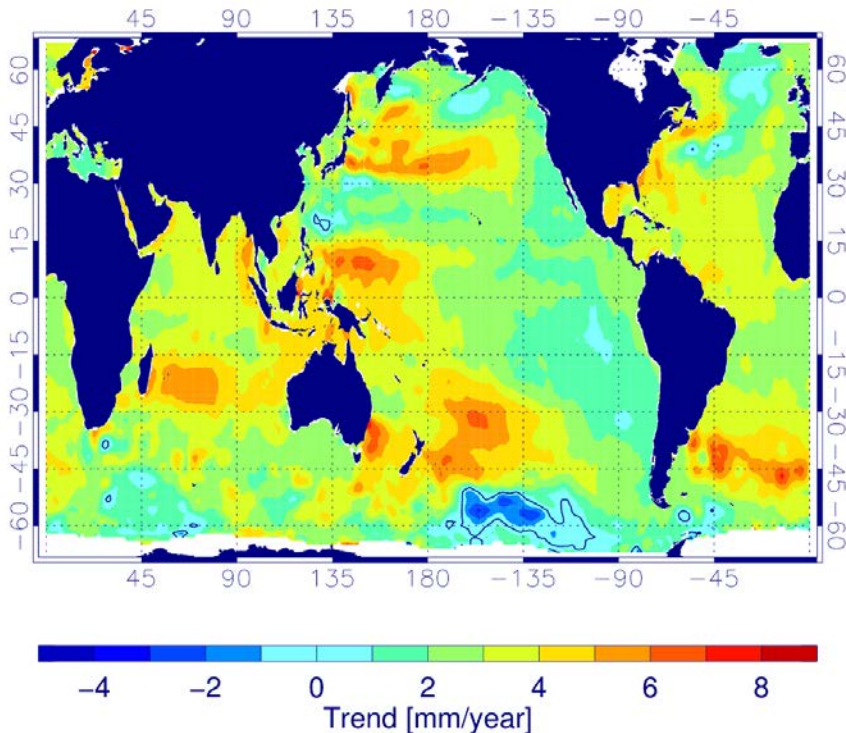


**Mini-
Satelliten**

„Potsdamer Schwerekartoffel“

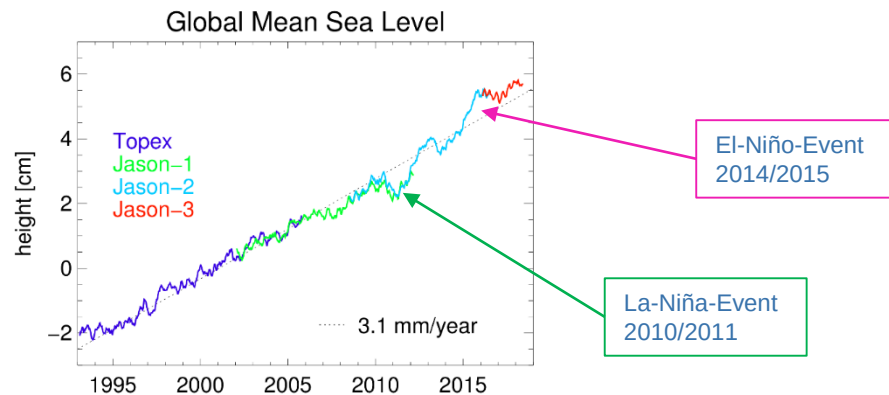


Globale Meeresspiegeländerungen (03/1993 bis 05/2018) von Topex-, Jason-1- und Jason-2-Satellitenaltimetrie

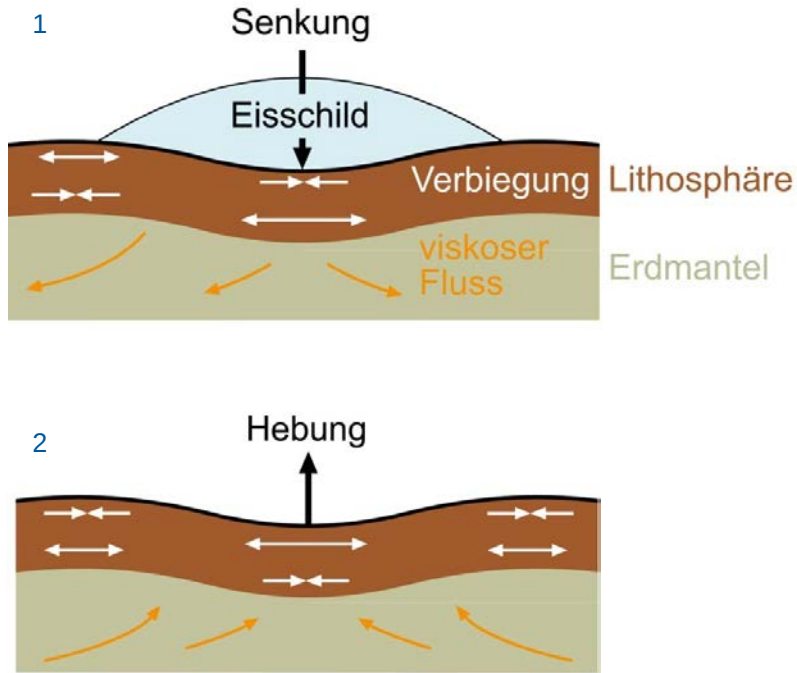


Globaler Trend (von 60°S bis 60°N):

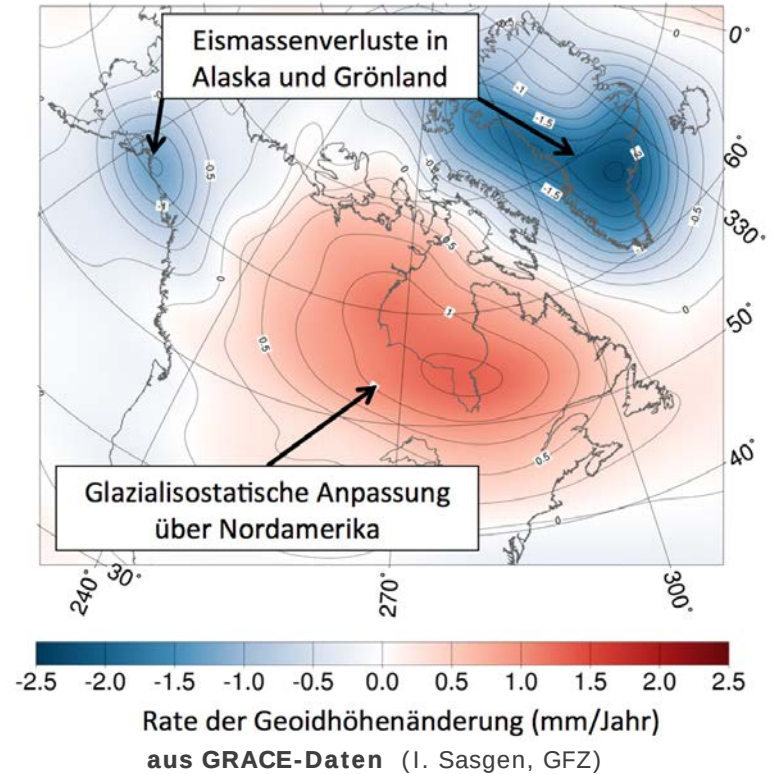
3,1 mm/Jahr $\pm 0,4$ mm



Glaziale Isostasie



(V. Klemann, GFZ)

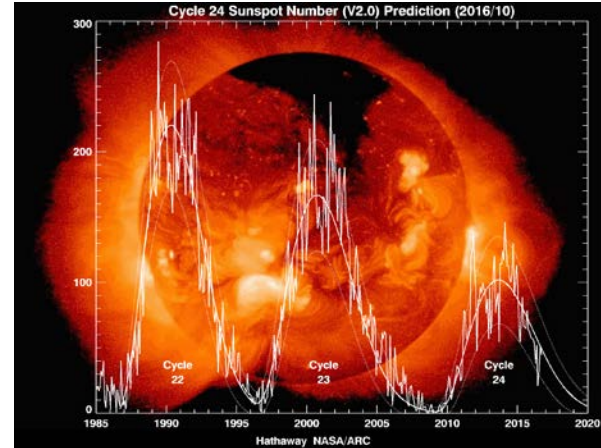


Klimadynamik

Anthropogene Faktoren

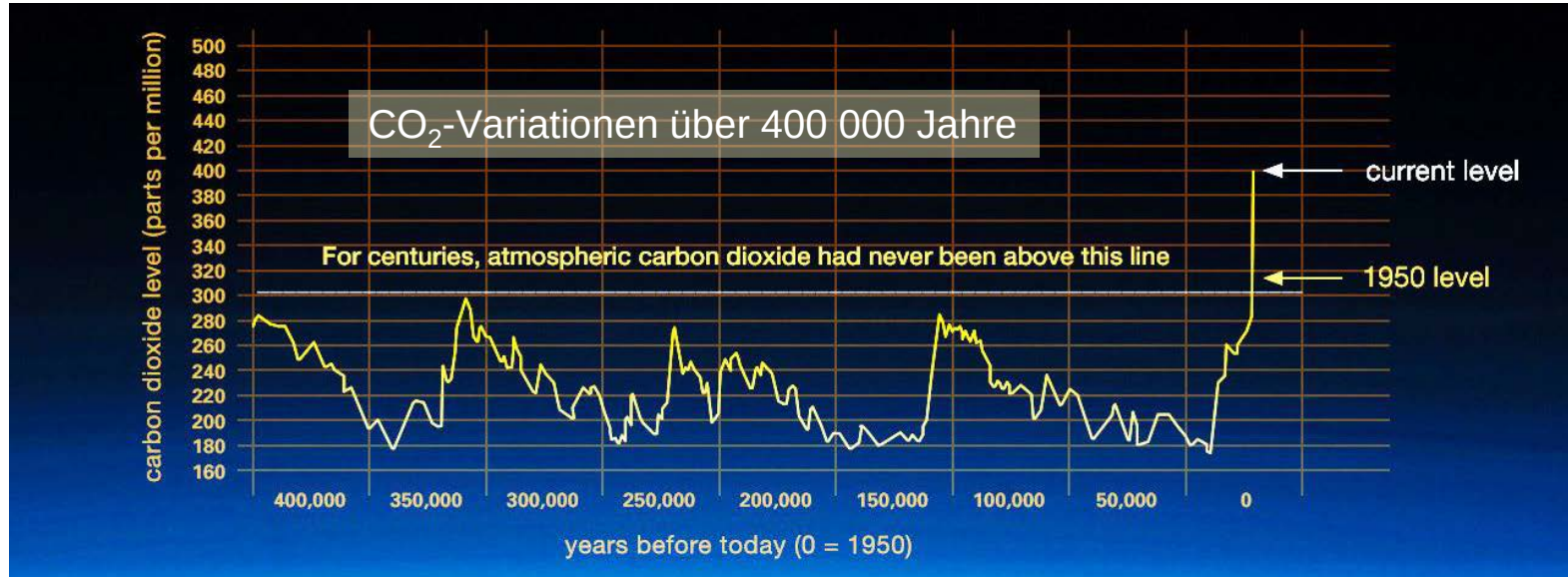


Natürliche Faktoren



Klimawandel heute und in Zukunft

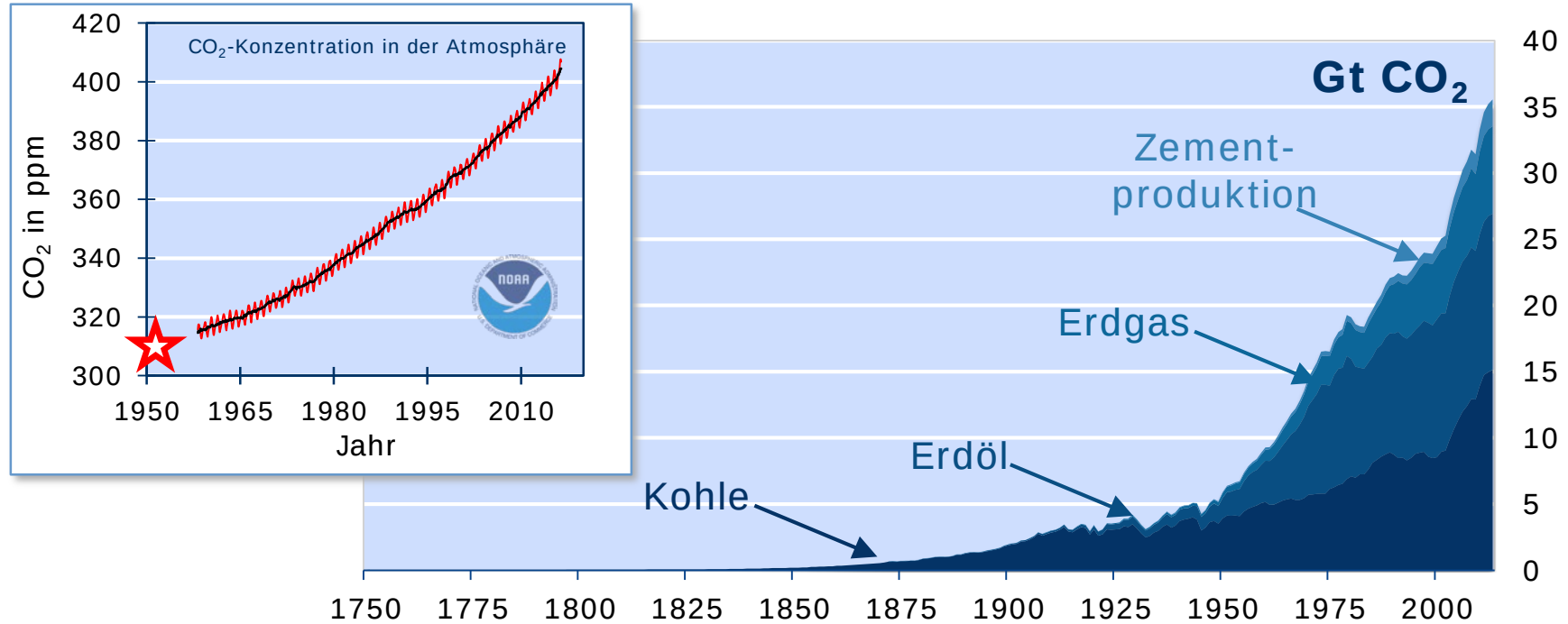
Klimafaktor Mensch



(Abb. NASA; Credit: Vostok ice core data/J.R. Petit et al.; NOAA Mauna Loa CO₂ record)



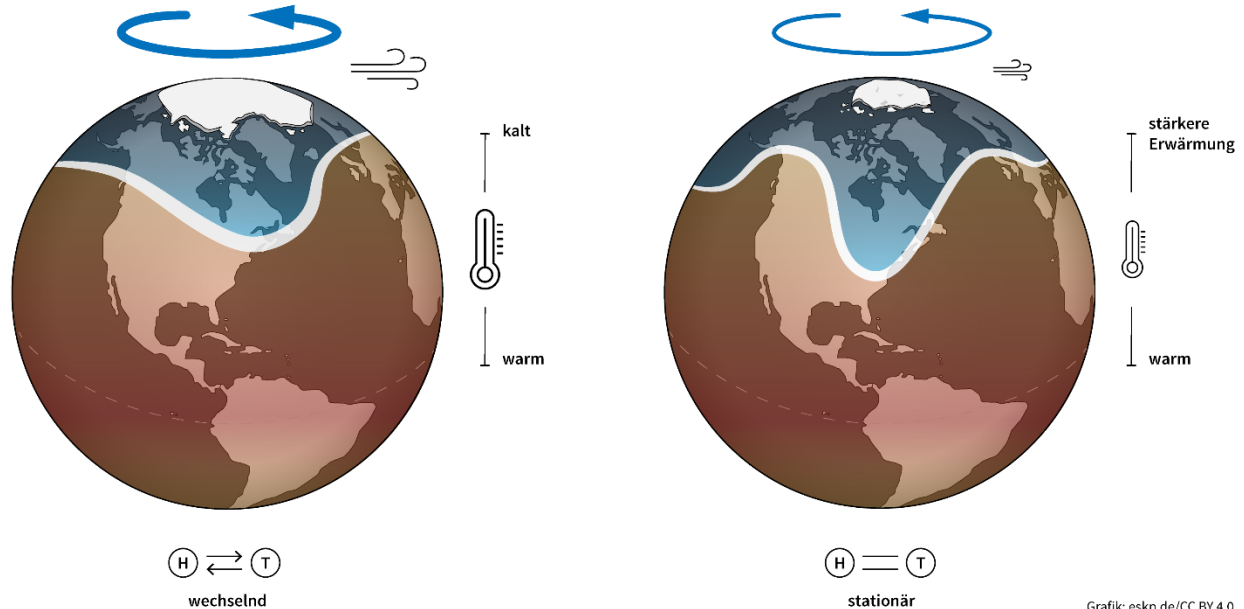
CO₂-Emissionen aus fossiler Energienutzung und Zementproduktion



Daten: Boden et al.(2016); Carbon Dioxide Information Analysis Center, U.S. Department of Energy

Klimawandel beeinflusst Jetstream

- durch Klimawandel erwärmt sich Arktis schneller als andere Regionen
- Folge: Temperaturunterschied nimmt ab
- Jetstream wird schwächer und beginnt stärker zu mäandrieren



Grafik: eskp.de/CC BY 4.0

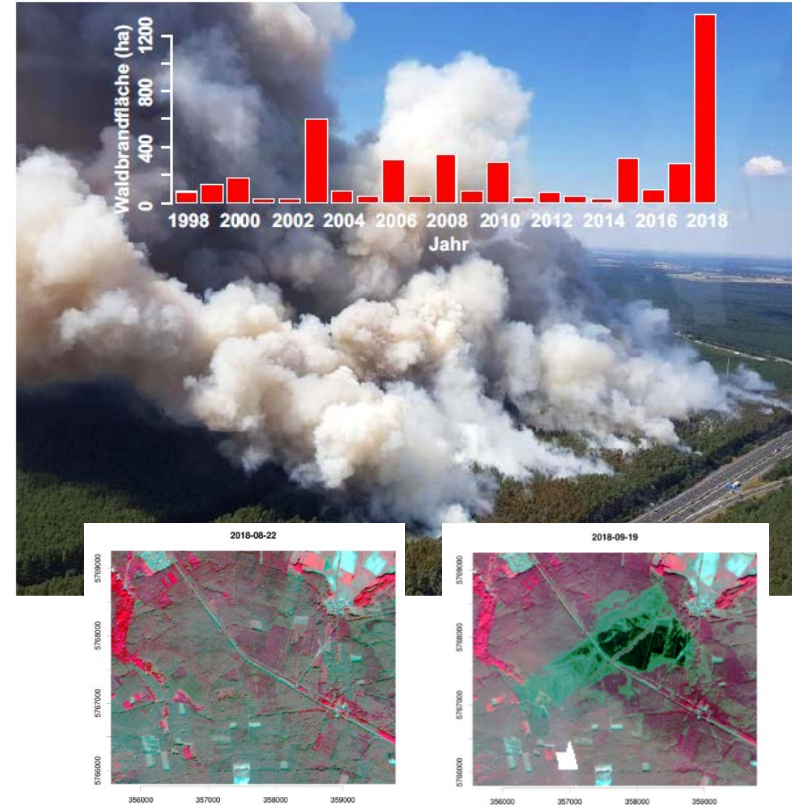
Hitze- und Trockenjahr 2018

2018 in Deutschland: Ein Jahr der Extreme

- **heißestes** Jahr seit Beginn der Wetteraufzeichnungen (1881)
- sonnigstes Jahr seit Beginn flächendeckender Aufzeichnungen (1951)
- eines der drei trockensten Jahre seit 1881 (586,3 mm)
- acht der neun wärmsten Jahre seit 1881 fallen ins 21. Jahrhundert

Auch in Brandenburg Rekorde

- **heißestes** Jahr seit Aufzeichnungsbeginn
- **trockenstes** Jahr seit Aufzeichnungsbeginn (390,4 mm)
- mehr als 400 Waldbrände (>1300 ha Waldbrandfläche)
- Ernteeinbußen (z. B. schlechteste Kartoffelernte seit der Wende)



Weltweite Folgen des Klimawandels



Erwärmung



Eismassenänderung

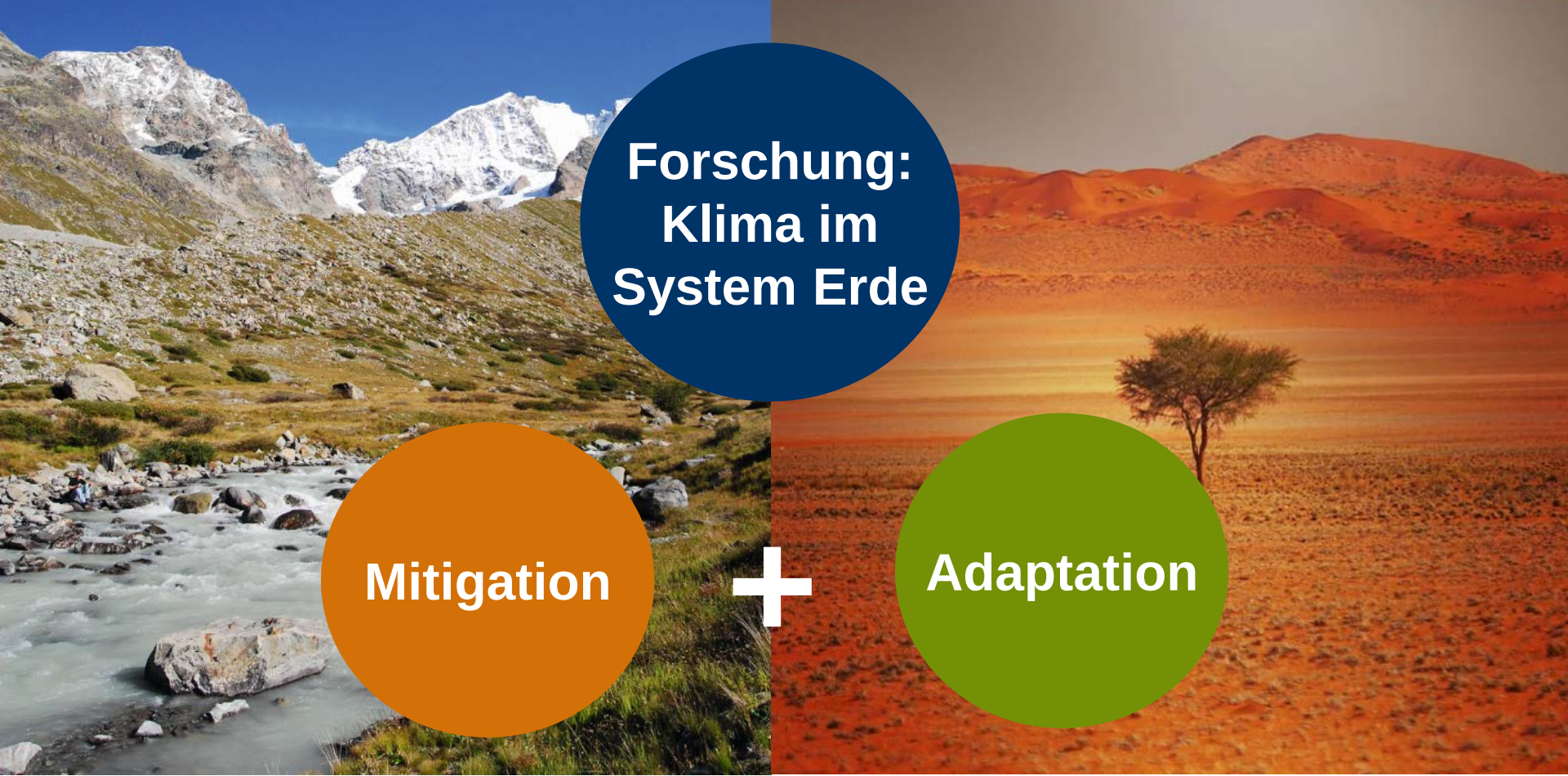


Meeresspiegelanstieg



Extremereignisse

(?)



**Forschung:
Klima im
System Erde**

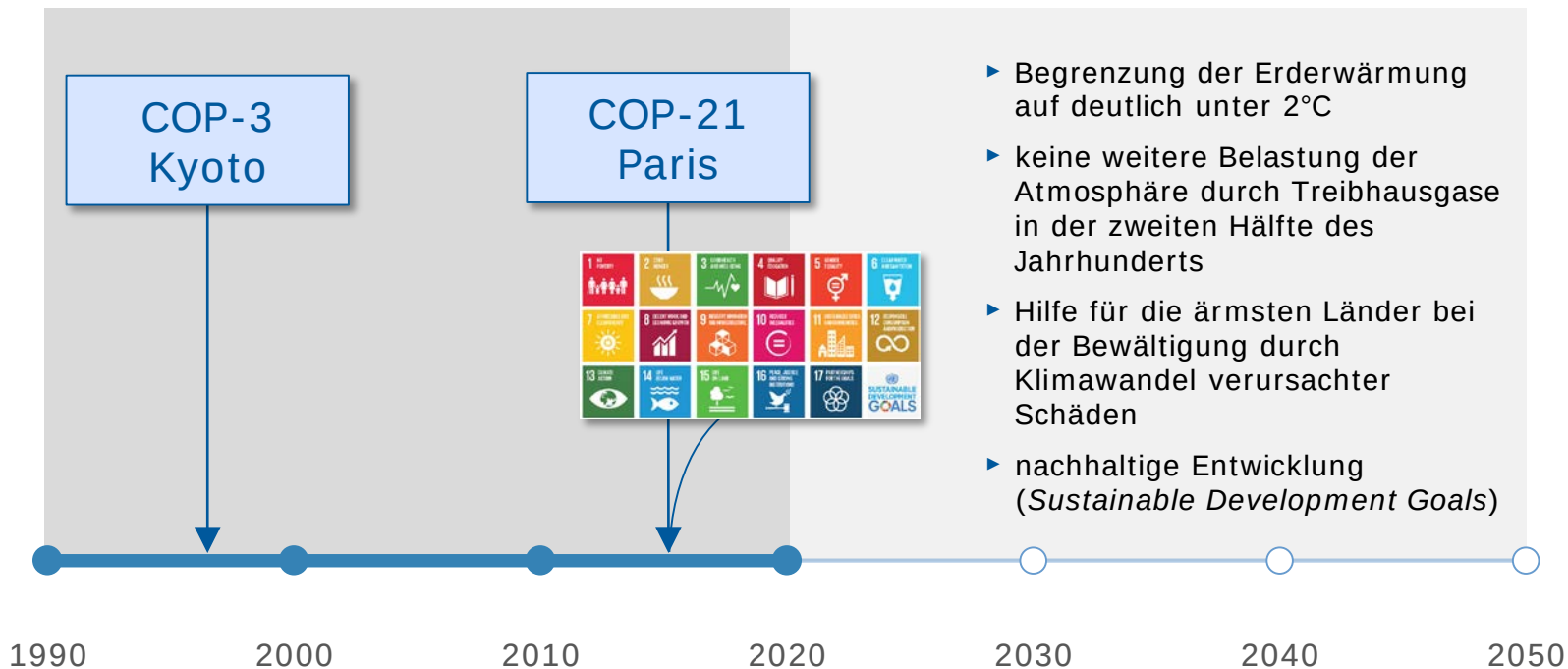
Mitigation

+

Adaptation

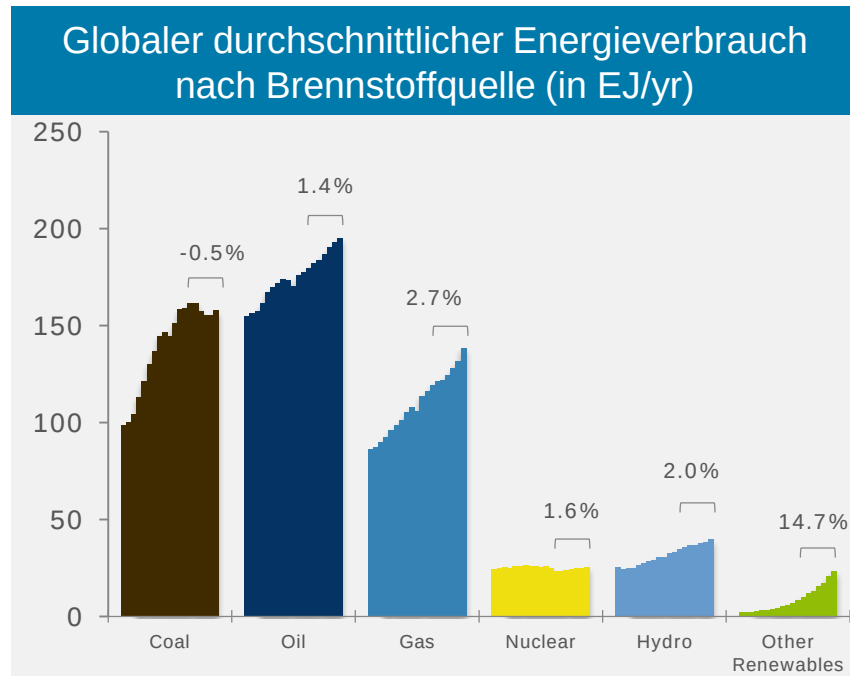
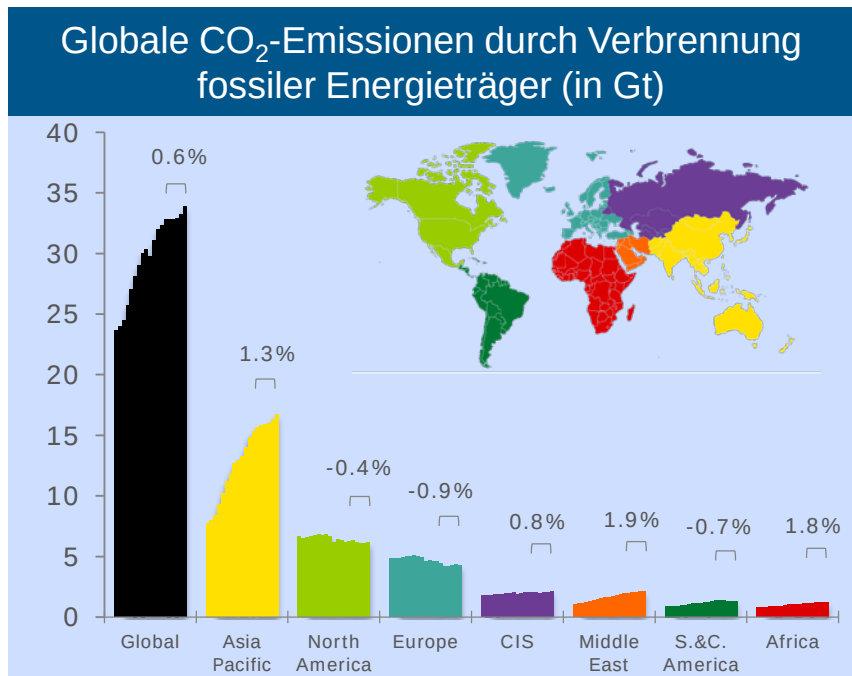
Globaler energie- und klimapolitischer Rahmen

Klimarahmenkonvention und Agenda 2030 der Vereinten Nationen



Das globale Energiewachstum übertrifft die Dekarbonisierung

Trends von 2000-2018 und Wachstumsraten (CAGR) zwischen 2013-2018

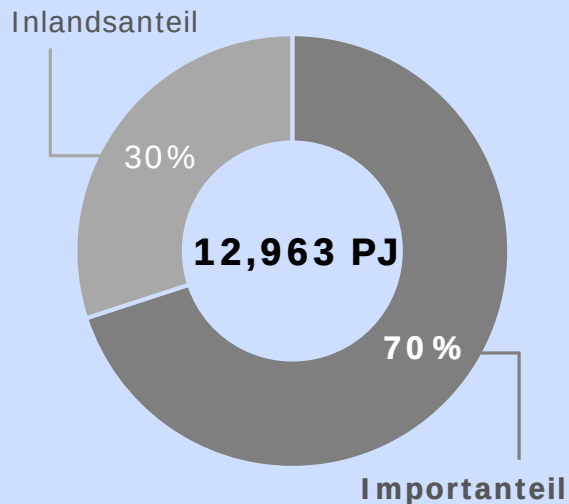


Daten: BP Statistical Review of World Energy 2019

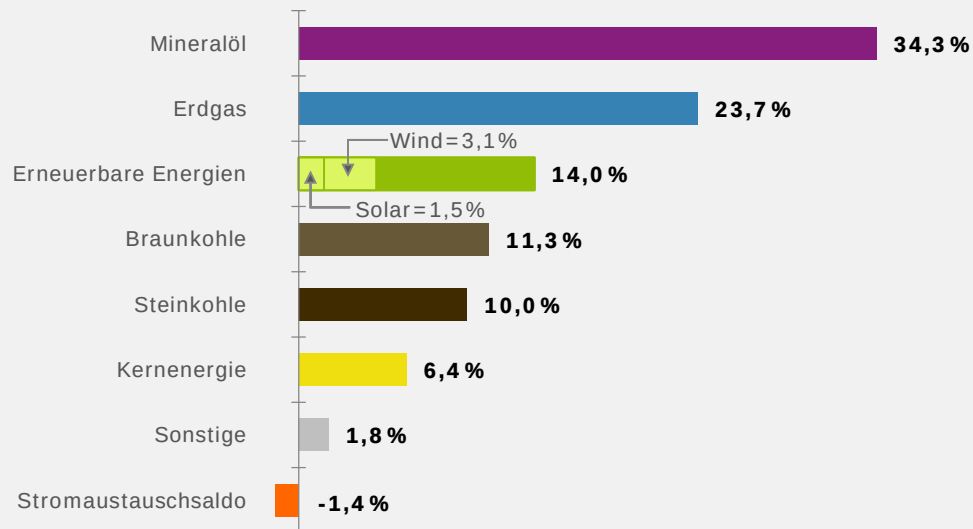
Importabhängigkeit der deutschen Energieversorgung

Primärenergieverbrauch 2018

Deckung Energiebedarf

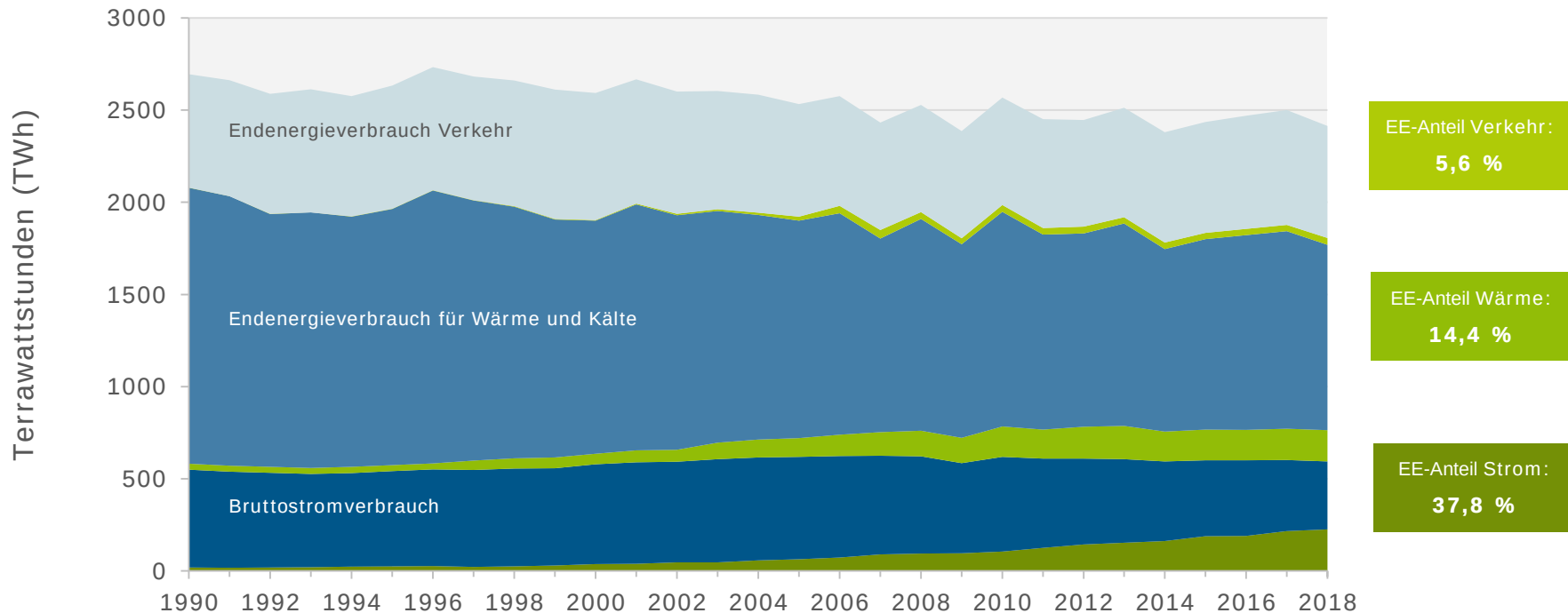


Anteile Primärenergieträger am Gesamtverbrauch



Daten: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018, AGEB

Anteile erneuerbarer Energien (EE) am Endenergieverbrauch in Deutschland (1990-2018)

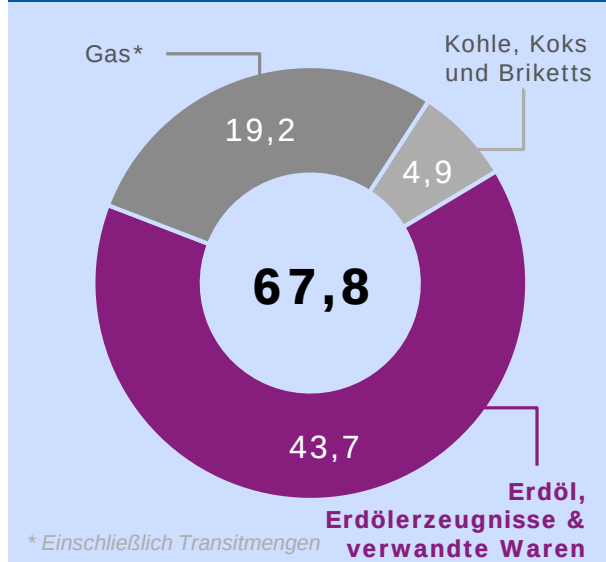


Daten: AGEE-Stat, Dezember 2019

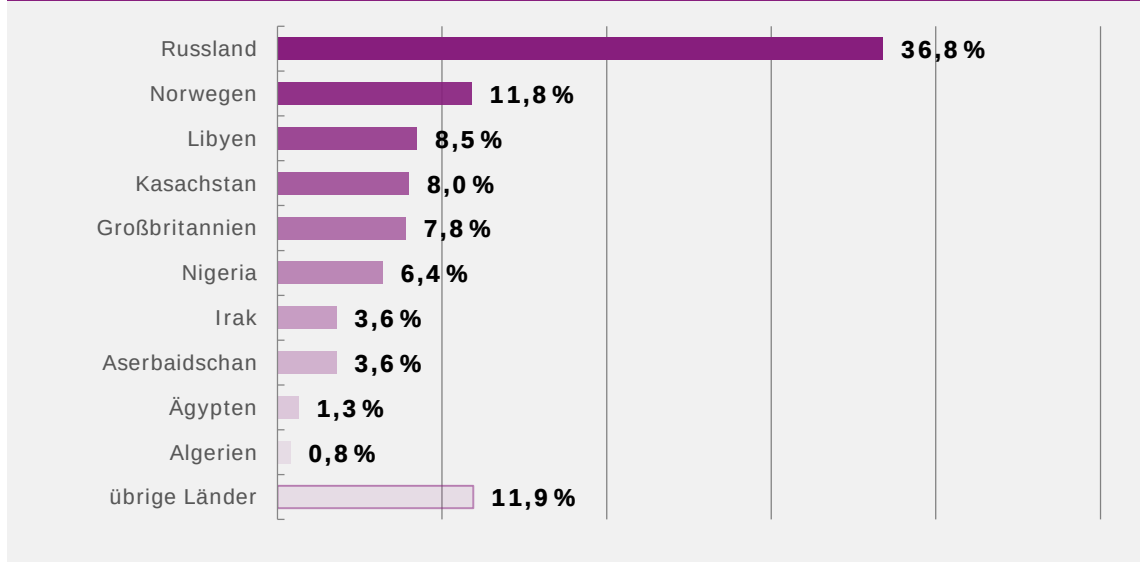
Außenhandelsbilanz Deutschland

Fossile Energieträger 2018

Außenhandelssaldo in Mrd. Euro (Importe ./ Exporte)



Rohölimporte Deutschlands nach Ursprungsländern ($\Sigma = 85,2$ Mio. t)

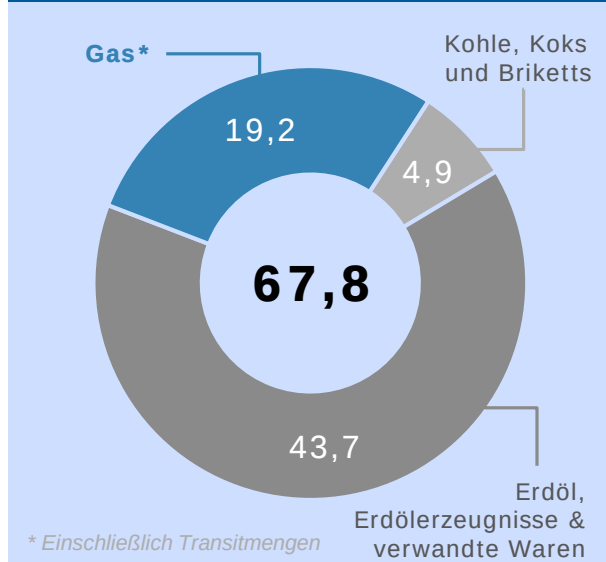


Daten: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018, AGE B

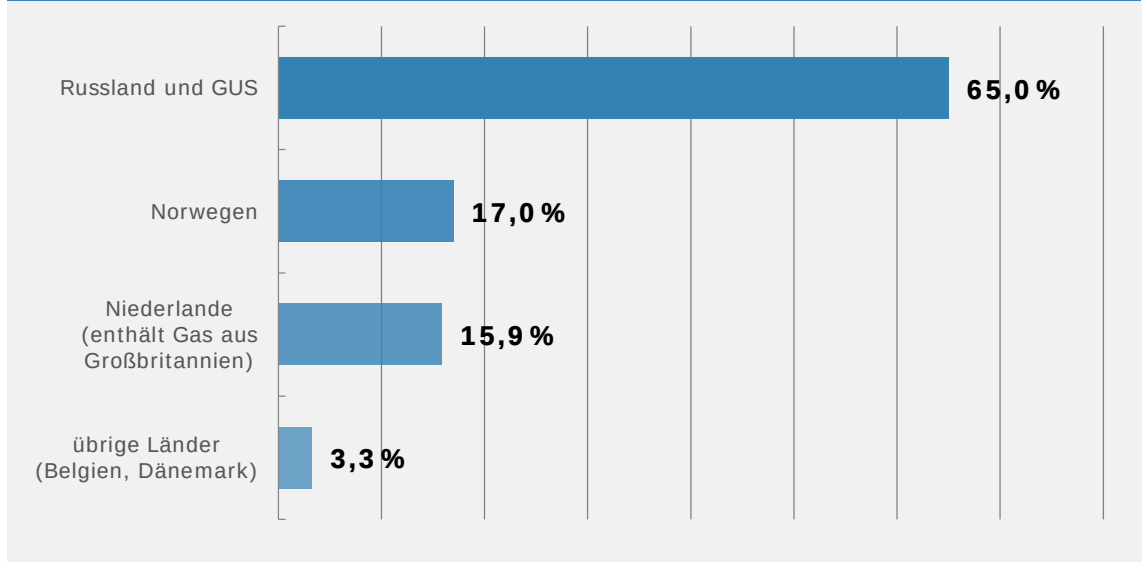
Außenhandelsbilanz Deutschland

Fossile Energieträger 2018

Außenhandelssaldo in Mrd. Euro (Importe ./ Exporte)



Gasimporte Deutschlands nach Ursprungsländern ($\Sigma = 1.773,2$ Mrd. kWh)

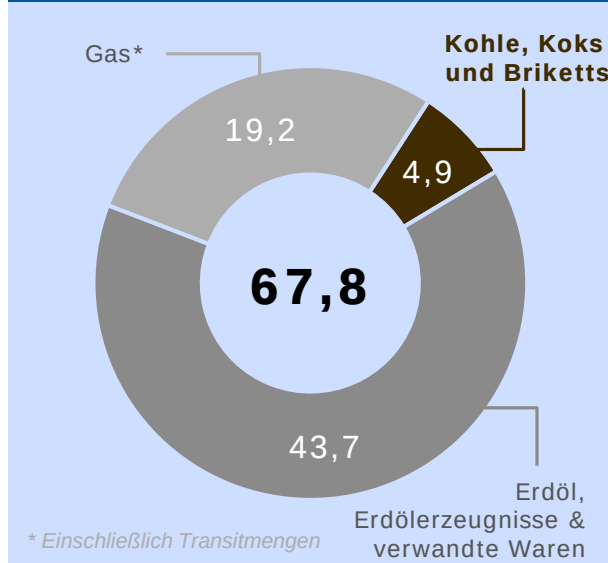


Daten: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018, AGEB; Bundesnetzagentur

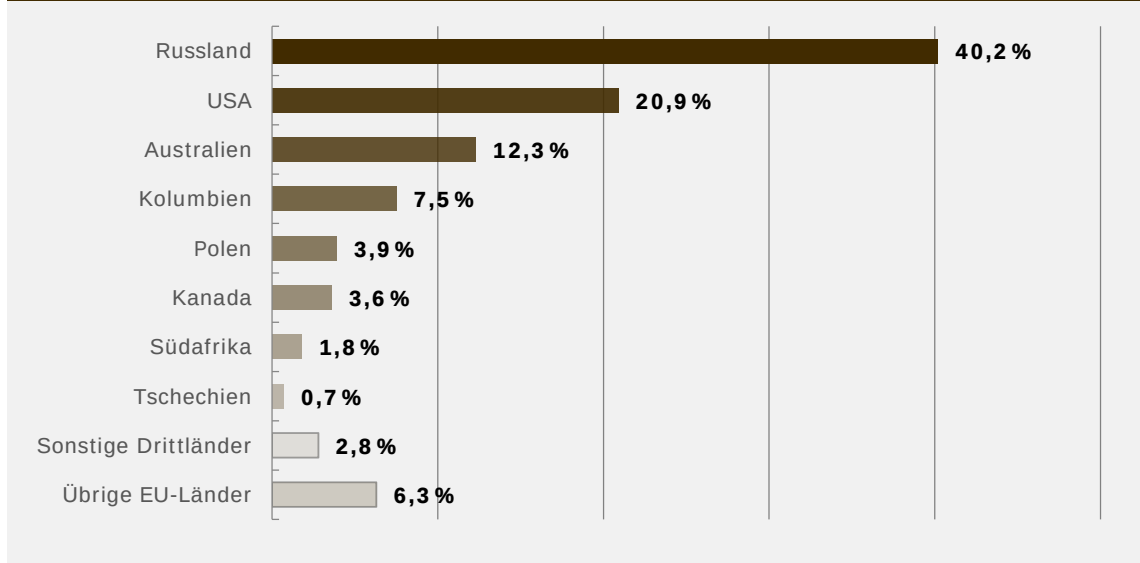
Außenhandelsbilanz Deutschland

Fossile Energieträger 2018

Außenhandelssaldo in Mrd. Euro (Importe ./ Exporte)



Deutsche Steinkohleneinfuhren nach Lieferländern ($\Sigma = 39,9$ Mio. t)

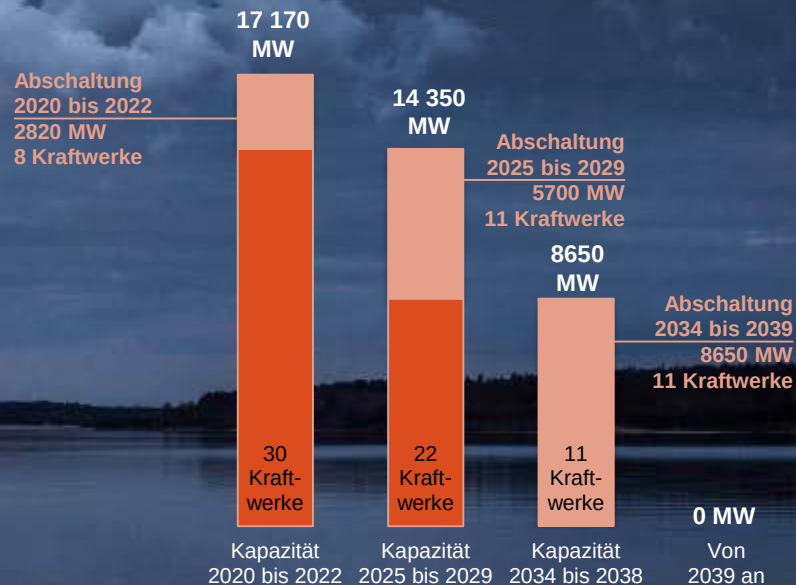


Daten: Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2018, AGEB

Ausstieg aus der Kohle bis 2038

Summe der Leistungen aus allen Gesetzen:
50 Mrd. €

Installierte Kraftwerkskapazitäten in Megawatt
und Zahl der Braunkohlekraftwerke*



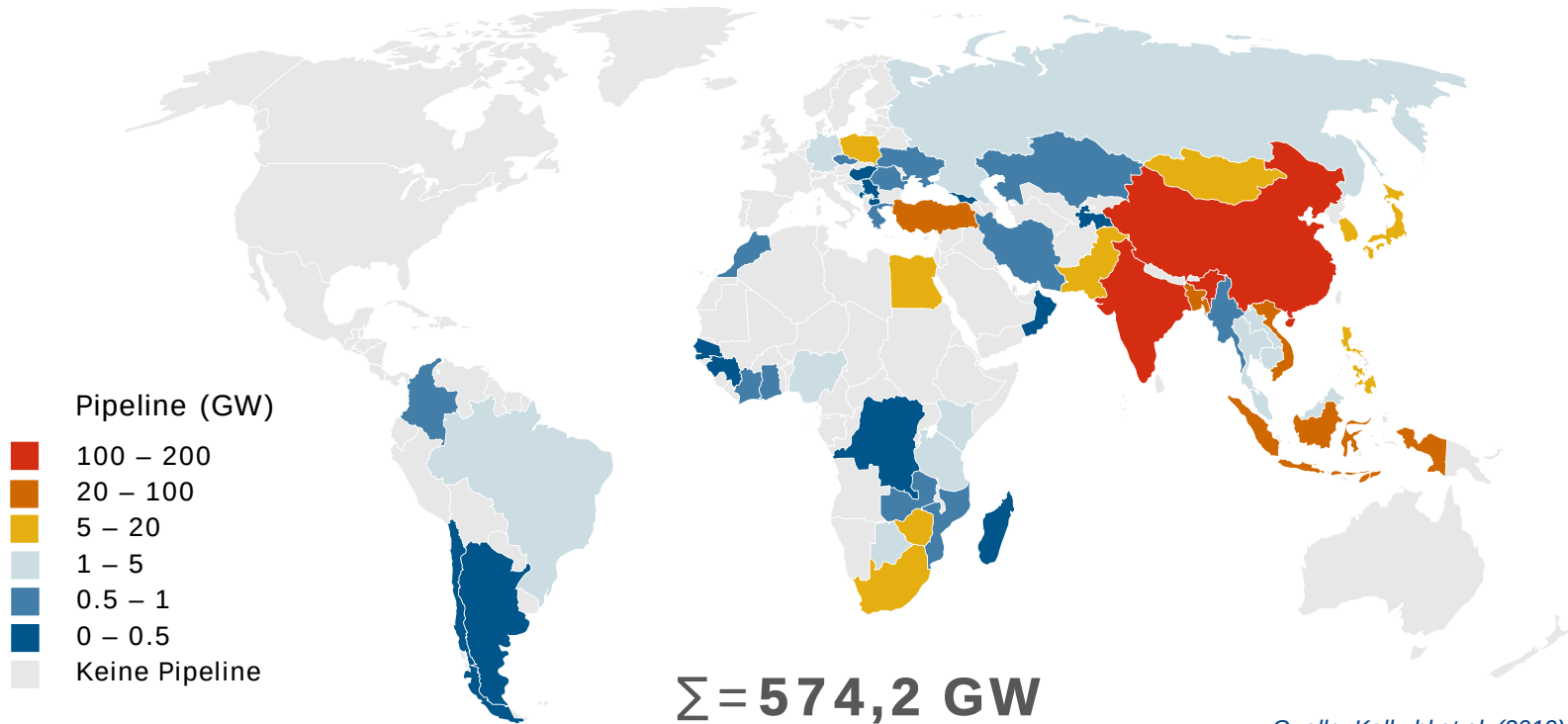
* 2026 und 2029 soll bezüglich des Stilllegungsplans geprüft werden, ob der Stilllegungszeitpunkt für die Kraftwerke nach dem Jahr 2030 jeweils drei Jahre vorgezogen und damit das Abschlussdatum 2035 erreicht werden kann

Quellen: Bundesregierung; Foto Imago/F.A.Z.-Grafik Walter (vom 17. Januar 2020)

Das Braunkohlekraftwerk Boxberg in der Lausitz

Weltweite Expansion von Kohlekraftwerken

Kapazitäten in der Pipeline (angekündigt, genehmigt und im Bau befindlich)



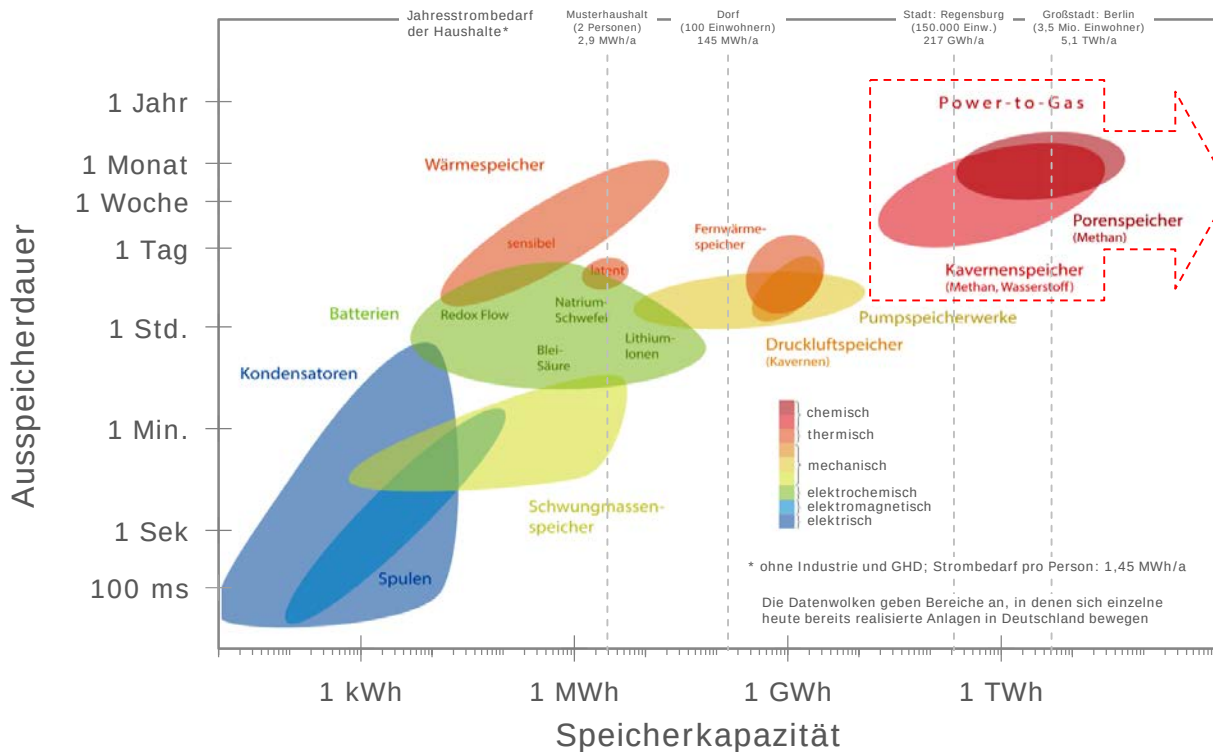
Quelle: Kalkuhl et al. (2019); Nature energy 4

Energieträger im künftigen Energiesystem

Stellungnahme des Akademienprojekts “Energiesysteme der Zukunft“

- ▶ Ein systemübergreifender Ansatz und eine viel stärkere **Kopplung der Sektoren** sind notwendig, um die Klimaziele zu erreichen (integriertes Energiesystem)
- ▶ **Strom** wird zum dominierenden Energieträger. Durch neue Anwendungen in den Wärme- und Verkehrssektoren wird der **Strombedarf** zukünftig voraussichtlich stark ansteigen (bis zu 1.000 TWh; aktuell 598 TWh)
- ▶ **Wind- und Photovoltaikanlagen** müssen stark ausgebaut werden, um diesen Bedarf klimaneutral zu decken. Die fünf- bis siebenfache Kapazität von heute könnte dafür notwendig sein (500 – 600 GW)
- ▶ Der **gezielte Einsatz von Biomasse** sowie ein **Ausbau der Geo- und Solarthermie** können beitragen, den Ausbau an EE zu begrenzen und die gesellschaftliche Akzeptanz der Energiewende zu sichern
- ▶ **Synthetische Brenn- und Kraftstoffe** werden voraussichtlich **unverzichtbar** sein (Langzeitspeicher, Einsatz im Schiff- und Flugverkehr, auch Automobilität (insbes. LKW) und in speziellen Industrieprozessen)
- ▶ **Wasserstoff** kommt aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten (Verkehr, Wärmeversorgung, Stromspeicher) eine **zentrale Rolle** zu
- ▶ Zentrales Steuerungselement ist ein **sektorübergreifender, einheitlicher und wirksamer CO₂-Preis**

Power-to-Gas einziger nationaler Langzeitspeicher

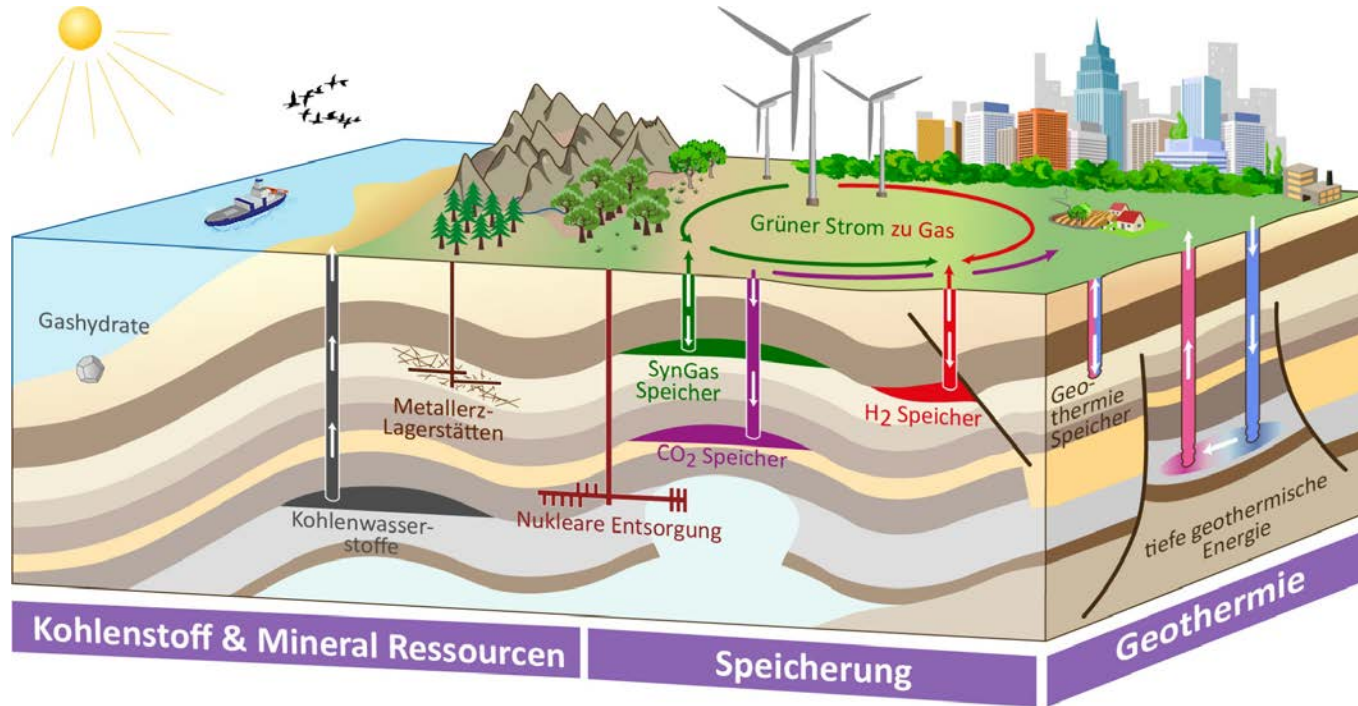


Untergrundspeicher

- Einzige Einzelspeicher im TWh-Bereich
- Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Saisonale Speicherung (CH_4 , CO_2 , H_2)
- Speicherung chemischer Energie wird auch im zukünftigen Energiesystem eine entscheidende Rolle spielen

Modifiziert nach Sterner (2015)

Geologische Speicherung als Teil der Energiewende



Geothermische Technologien in Ballungsräumen

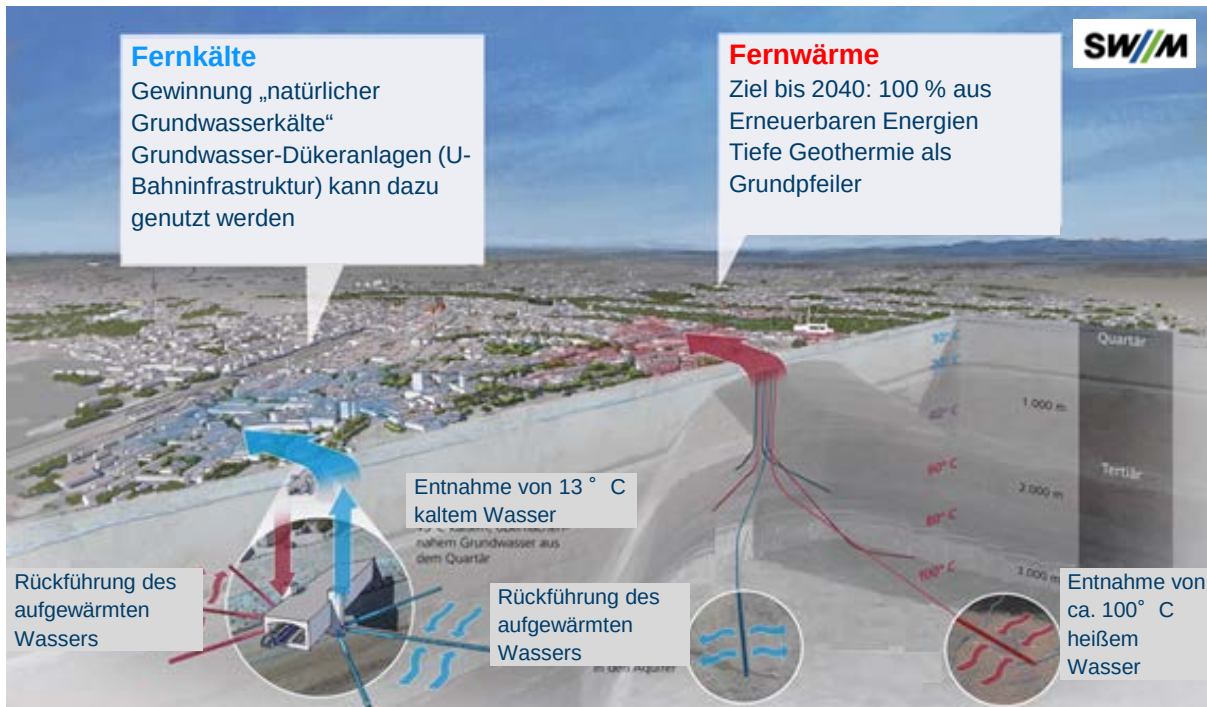
Ein Beitrag zur Wärmewende und zum Klimaschutz

Ziel der Stadtwerke München:

- ▶ Energiewende im Wärmemarkt mit Geothermie als klimaneutrale Grundlast für Fernwärme
- ▶ Bis 2040 erste deutsche Großstadt mit Fernwärmeversorgung zu 100 Prozent aus regenerativen Energiequellen

Technische Herausforderungen:

- ▶ Entwicklung von Erkundungsmethoden in urbanen Gebieten
- ▶ Umstellung des Fernwärmenetzes (800 km) für die Einspeisung geothermischer Wärme



Rolle der Elektromobilität

Die Rolle der Elektromobilität im Energiesystem wird zunehmen

- ▶ Gründe: hohe Effizienz beim Energieeinsatz;
 direkte Verwendung des Stroms aus EE
- ▶ Risiken:
 - Aufbau und Betrieb eines Verteilnetzes:
 „Ladenetz“/Ladesäulen/Ladeinfrastrukturen
 - Verfügbarkeit mineralischer Rohstoffe für Batterieproduktion
 - hoher CO₂-Footprint bei der Batterieproduktion
 - CO₂-freier/-armer Strommix notwendig
 - schadstofflastiges Batterie-Recycling
 - Konkurrenz alternativer Antriebstechnologien



Rolle synthetischer Kraftstoffe

- ▶ Nicht in allen Anwendungen sind rein elektrische Lösungen absehbar (Schwerlast-, Schiffs- und Flugverkehr).
 - synthetische Kraftstoffe (Wasserstoff, Methan, Designer-Kraftstoffe) aus klimaneutraler Produktion

Contra: Produktion auf Basis von Strom aus erneuerbaren Energien mit Effizienzverlust verbunden

Pro: Nutzung synthetischer Kraftstoffe einschl. Wasserstoff fügt sich nahtlos in bestehende Wertschöpfungs- bzw. Infrastrukturketten ein; blauer Wasserstoff, grüner Wasserstoff



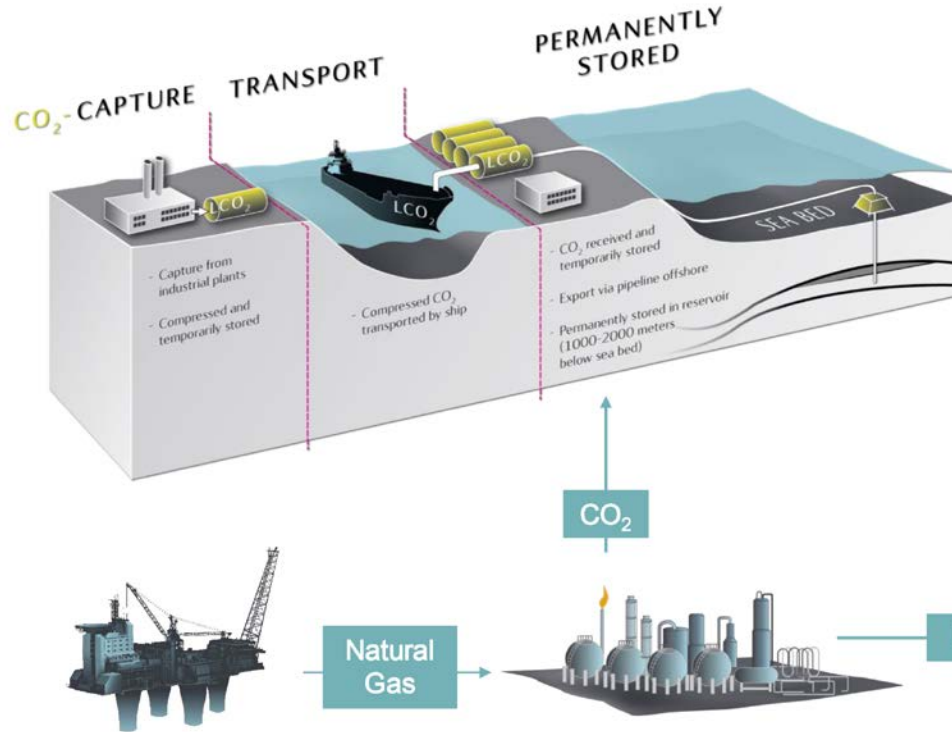
Potenzielle Herkunftsländer für grünen Wasserstoff

Exportpotenzial 2050 von Nicht-EU-Ländern



Daten: dena, GIZ, Navigant, adelphi - Oktober 2019

Wasserstoffproduktion aus Erdgas mit CCS



- **Sleipner West** (in Betrieb seit 1996)
Abtrennung und Speicherung (offshore) von ca. 1 Million Tonnen CO₂ jährlich aus Erdgasgewinnung in der norwegischen Nordsee

Blauer Wasserstoff

Quelle: Equinor 2019

Wasserstoffspeicherung

- ▶ **Interkontinentale Wasserstoff-Wertschöpfungsketten** erfordern **längerfristige** und **große Speicher** zur
 - Überbrückung saisonaler Veränderungen bei der Stromversorgung oder der Wärmenachfrage
 - Gewährleistung der Systemstabilität
- ▶ **Geologische Speicherung** ist die **beste Option** für eine groß angelegte und langfristige Lagerung

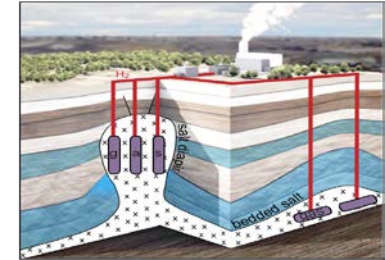
Quelle: IEA (2019): *The Future of Hydrogen*

Potentialabschätzung **Salzkavernenspeicherung*** in Deutschland:

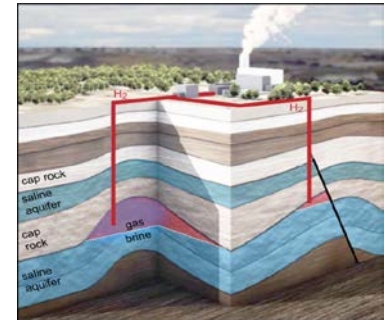
➡ **1,5 PWh** für die Speicherung von **Wasserstoff** (Heizwert)

* InSpEE Sachbericht, BGR, 2016

Kavernenspeicher



Porenspeicher



CCS-Technologie und CO₂-Kreislaufwirtschaft (CCU)



Minderung von Emissionen im Industriebereich ist technisch und wirtschaftlich anspruchsvoll

Priorisierung:

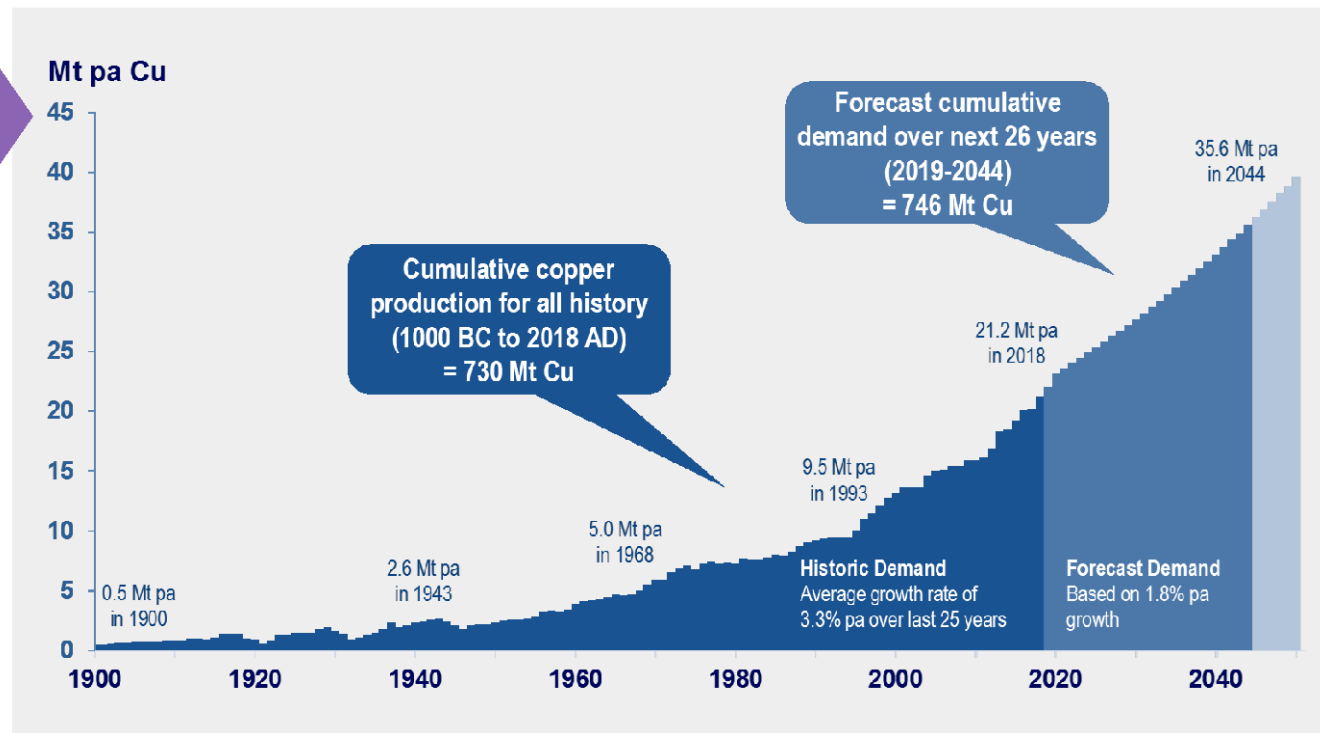
- 1. Vermeidung** (Effizienz, Elektrifizierung, Material- & Prozesssubstitution)
 - 2. CCU** (Verlängern der stofflichen Nutzung)
 - 3. CCS** (dauerhafte Speicherung restlicher, anderweitig nicht vermeidbarer CO₂-Mengen)
- ❖ Chancen, Risiken und Grenzen von CCU und CCS jetzt prüfen und bewerten
 - ❖ Breite gesellschaftliche Debatte führen; Einsatz von CCU und/oder CCS für maßgebliche CO₂-Mengen erfordert Befürwortung durch große Teile der Zivilgesellschaft, Industrie, Politik und Verbände

Hochtechnologiemetalle für die Energiewende

Nachfrage wird nicht durch Recycling gedeckt

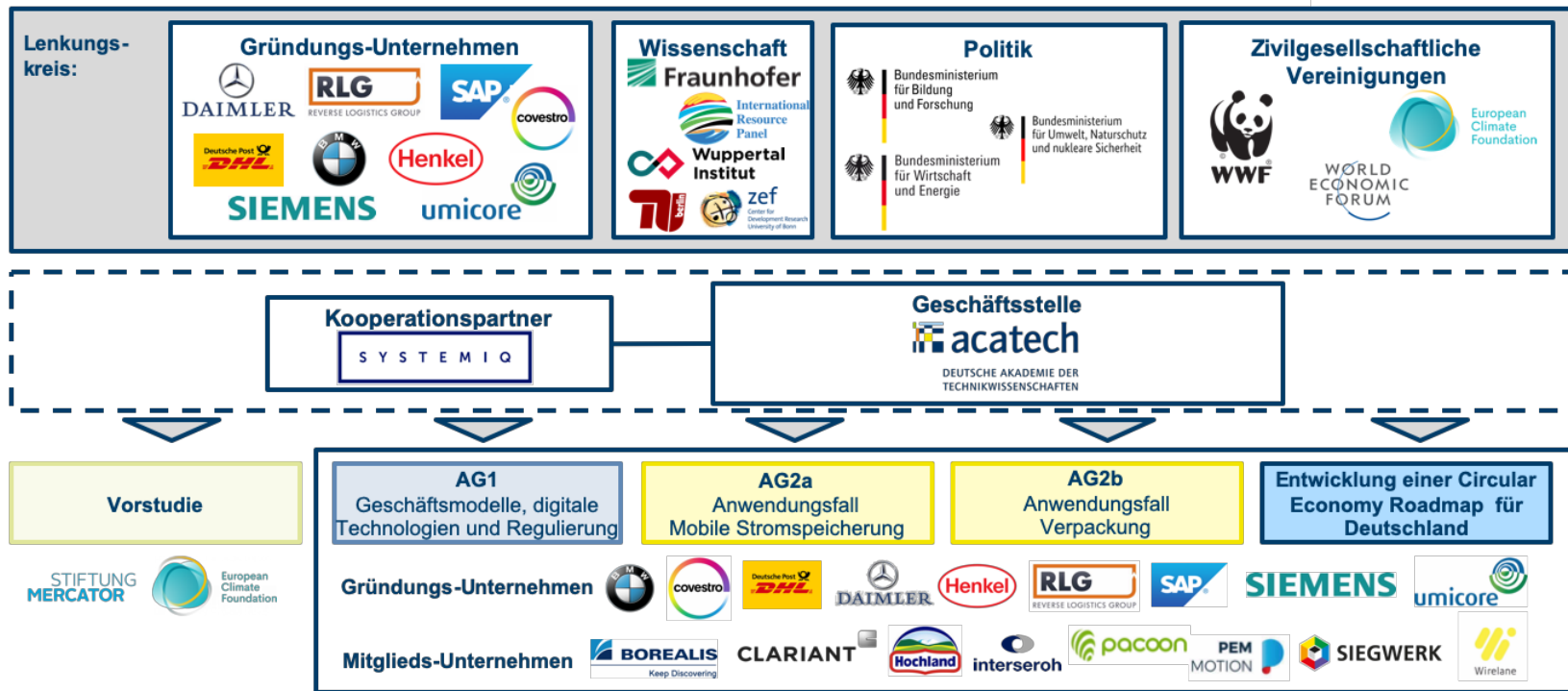
1.5°C scenario
requires 100%
renewable electricity

- 3x more copper in electric cars
- Demand for other metals e.g. Co, Li and Ag will far exceed known reserves



Circular Economy Initiative Deutschland

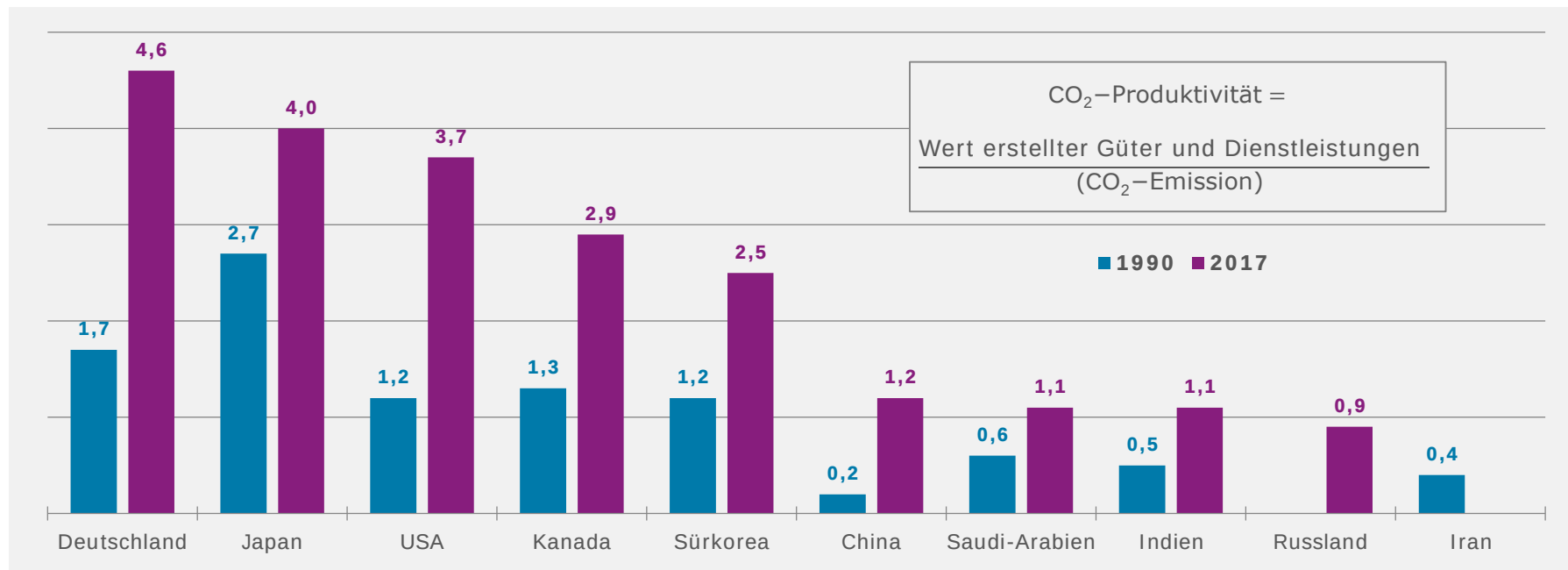
Mitglieder der Initiative und Zuordnung



Weitere Ansprachen erfolgt.

CO₂-Produktivität der zehn größten CO₂-Emittenten

Stand 1990 und 2017 im Vergleich (in US\$/CO₂-kg)



Deutschland ist internationaler Benchmark

Quelle: Nachhaltiges Produktivitätsmanagement, ifaa (2019)

Fazit

- ➡ **Rolle der Wissenschaft:** Eröffnet evidenzbasierte Handlungsoptionen als Beitrag in gesellschafts-/ unternehmenspolitischen Entscheidungsprozessen
- ➡ **„Science is global – Akzeptanz ist lokal“**
z. B. *Carbon Capture & Storage* (CCS) oder Fracking
- ➡ **Klimaschutz:** Mitigation vs. Adaptation
Mitigation und Anpassung
- ➡ **Klimaneutralität:** Robuste Definition realisiert?
- ➡ **Energie:** - systemischer Ansatz notwendig (z.B. Sektorenkopplung)
- jeweils Betrachtung des gesamten CO₂-Fußabdrucks (z.B. *Circular Economy*)
- Deutschland ist auch in Zukunft auf Energieimporte angewiesen

*Herzlichen Dank für
Ihre Aufmerksamkeit!*



Die
Bundesregierung

Deutschlands Energiewende –

Ein Gemeinschaftswerk
für die Zukunft