
DER WEG ZU EINER NACHHALTIGEN ENERGIEVERSORGUNG



Hans-Martin Henning

Fraunhofer-Institut für Solare
Energiesysteme ISE und
Professur Technische Energiesysteme am
Karlsruher Institut für Technologie KIT

Ringvorlesung zu Lehrer*innenbildung für
nachhaltige Entwicklung
Universität Freiburg

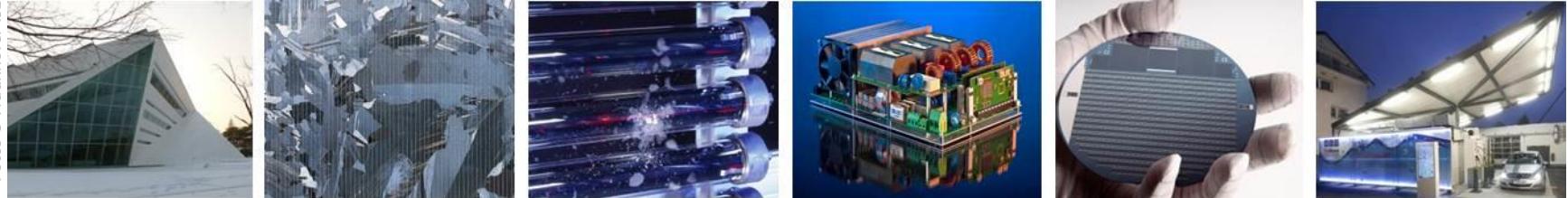
3. Mai 2016

www.ise.fraunhofer.de

Fraunhofer ISE

Unsere Geschäftsfelder

Fotos © Fraunhofer ISE



Photovoltaik

- Silicium-Photovoltaik
- III-V- und Konzentrator- Photovoltaik
- Emerging Photovoltaic Technologies
- Module und Kraftwerke

Solarthermie

Gebäudeenergietechnik

Wasserstofftechnologien

Energiesystemtechnik

Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen

- Eine ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen, z.B. hinsichtlich der verursachten Treibhausgas-Emissionen, erfordert eine Analyse aller Komponenten über den gesamten Lebenszyklus (LCA = life cycle analysis; „from cradle to grave“) mit den Hauptphasen
 - Errichtung
 - Betrieb
 - Rückbau, Entsorgung, Wiederverwertung
- Im heutigen Energiesystem dominiert bei weitem die Phase „Betrieb“, in der im Wesentlichen fossile (und nukleare) Brennstoffe irreversibel verwendet werden
- Bei Systemen, die im Betrieb nach menschlichem Ermessen unerschöpfliche Energien („erneuerbare Energien“) verwenden, dominieren dagegen die Phasen „Errichtung“ und „Rückbau/Entsorgung/Wiederverwertung“

Energetische Amortisation

- Die wichtigsten Komponenten eines erneuerbaren Energiesystems „erzeugen“ in ihrer Lebensdauer deutlich mehr Energie als für ihre Herstellung verwendet wird
- Die „Energieamortisationszeit“ ist derjenige Zeitraum, den eine erneuerbare Energieanlage betrieben werden muss, um die zur Herstellung in Summe aufgewendete Energie „erzeugt“ zu haben
 - Für Photovoltaikanlagen beträgt die Energieamortisationszeit an einem mittleren deutschen Standort (Strahlungssumme global, horizontal 1055 kWh/m²a) 2 Jahre, an einem Standort in Südspanien rund 1 Jahr; die Lebensdauer liegt bei 20 bis 30 Jahren, so dass je nach Standort 10 bis 30 mal mehr Energie geliefert wird, als zur Errichtung notwendig war
 - Für Windenergieanlagen liegt an einem mittleren deutschen Standort die Energieamortisationszeit bei rund 7 Monaten

Nachhaltigkeit und Energieversorgung

- Auf erneuerbaren Energien basierende Energiesysteme sind demnach hinsichtlich ihrer Energiebilanz nachhaltig – es wird deutlich mehr Energie während ihrer Lebensdauer geliefert, als sie im gesamten Lebenszyklus benötigen
- Eine umfassende Nachhaltigkeit eines Energieversorgungssystems erfordert allerdings mehr als eine energetische Nachhaltigkeit
 - Es sind alle Emissionen zu betrachten
 - Endliche Ressourcen (z.B. Materialien) müssen entweder in so großem Maße vorhanden sein, dass nach menschlichem Ermessen keine Mangelsituation entstehen kann (z.B. Silizium) oder es muss eine weitgehende oder vollständige Wiederverwertung von Materialien erfolgen
 - Letzteres ist insbesondere für seltene Erden, die für viele elektronische Komponenten von Relevanz sind, eine hohe Anforderung

Fokus dieser Vorlesung

- Der Fokus dieser Vorlesung liegt auf der Betrachtung der Phase „Betrieb“, die beim Übergang von einem durch fossile Energien dominierten Energiesystem auf ein Energiesystem, das durch Energieeffizienz und erneuerbare Energien geprägt ist, zunächst die größte Relevanz hat
- Die Aspekte der Ressourcen-Nachhaltigkeit wie auch einer umfassenden Betrachtung der Emissionen eines künftigen Energiesystems in allen Lebensphasen sind bei weitem noch nicht durchdrungen und Gegenstand vielfältiger Forschungsarbeiten
- Weitere Nachhaltigkeitsaspekte aus dem sozio-ökonomischen und gesellschaftlichen Bereich sind ebenfalls nicht Gegenstand der Vorlesung, können aber in der anschließenden Diskussion aufgegriffen werden

Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- **Anthropogener Klimawandel**
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Warum brauchen wir eine Energiewende?

Mittel- bis langfristig

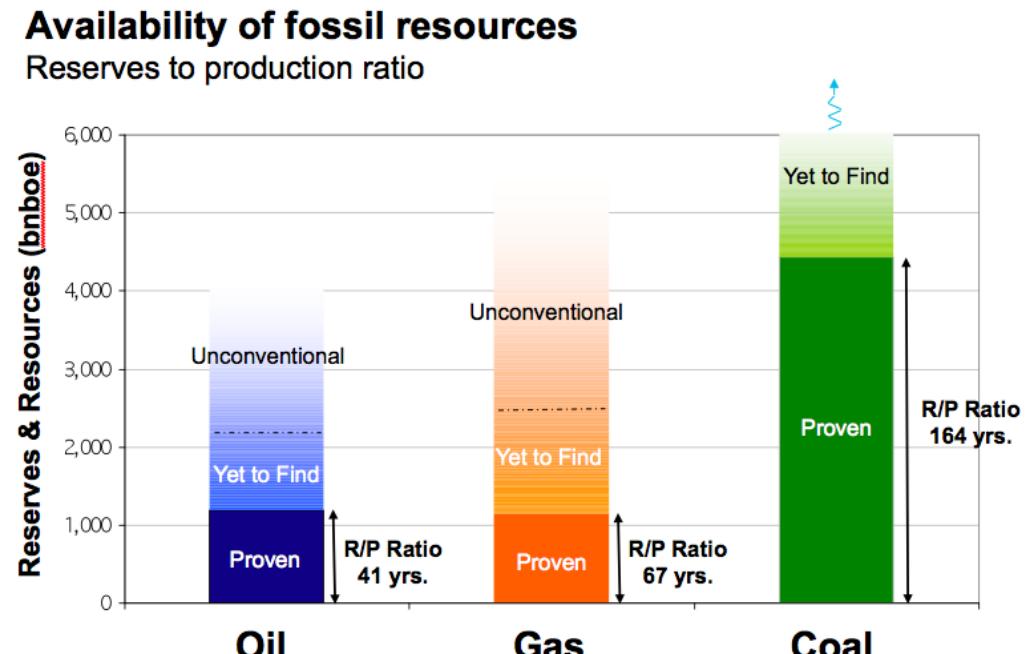
- Begrenztheit fossiler Energieträger

Kurzfristig

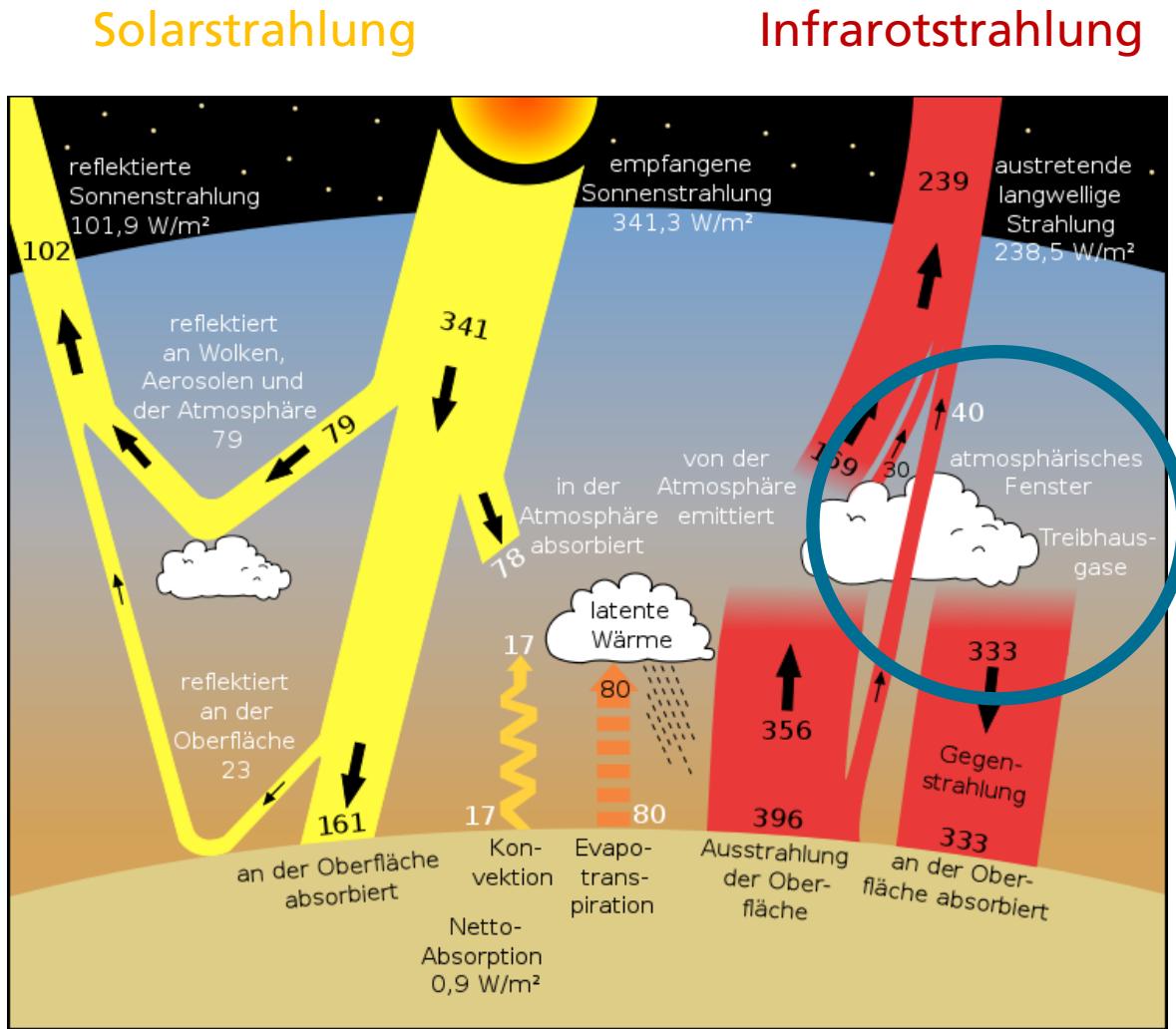
- Begrenzte Kapazität der Atmosphäre zur Aufnahme von Treibhausgasen ohne dramatische Folgen für Veränderung des globalen Klimas

Herausforderung

- Ein erheblicher Teil der in der Erdkruste vorhandenen (bekannten und noch nicht bekannten) fossilen Energieträger muss dort verbleiben



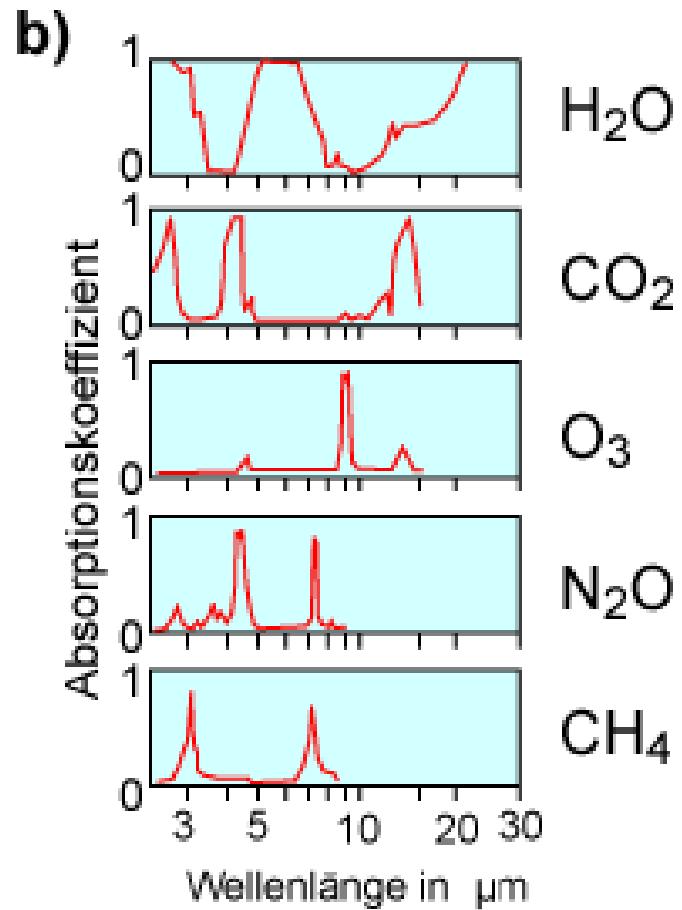
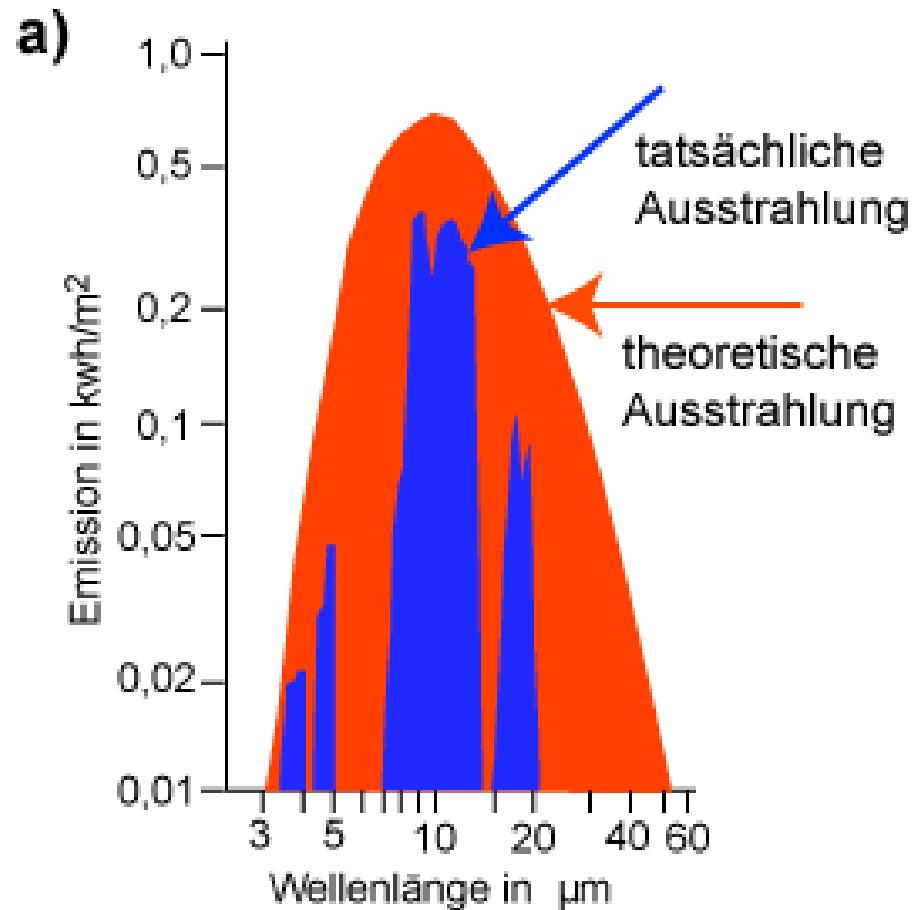
Energiebilanz der Atmosphäre



Erhöhte Absorption durch klimarelevante Spurgengase führt zu reduzierter Abstrahlung (Infrarot)

Quelle: wikipedia

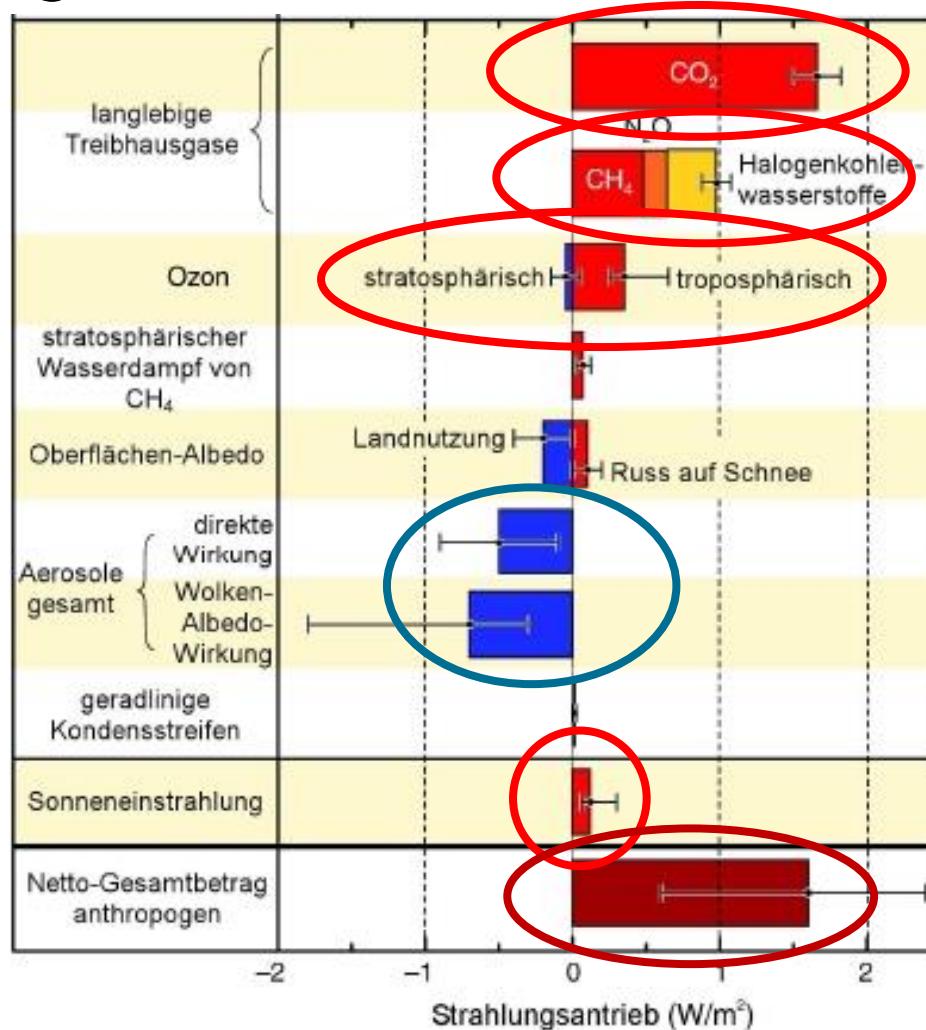
Infrarot-Absorption durch klimarelevante Spurengase



Quelle: Climate Service Center, Germany; Bildungsserver Klimawandel

Beiträge zum Klimawandel (ausgedrückt in Netto-Strahlungsfluss)

anthro-
pogen



CO₂

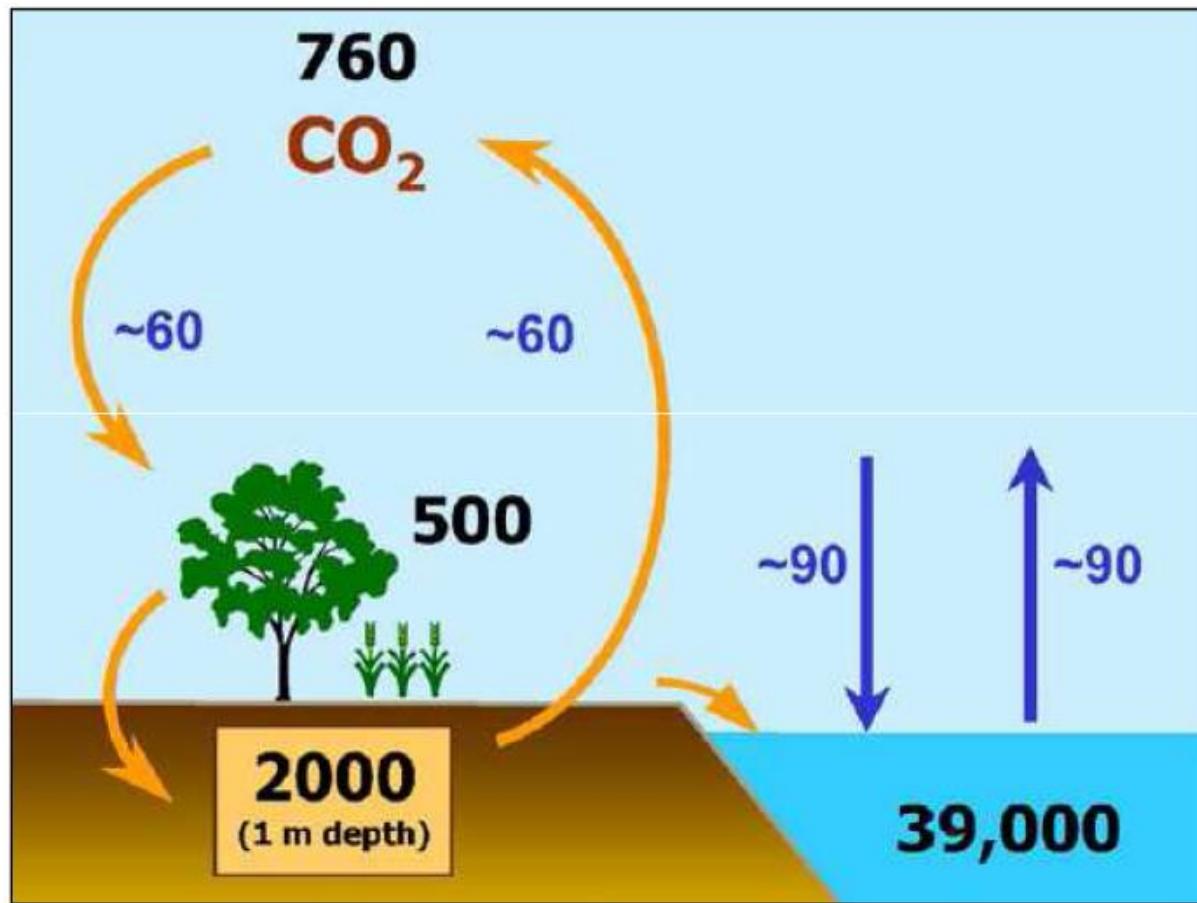
Sonstige klimarelevante Spurgengase

Ozon

Aerosole (verschiedene Wirkungen): wirken mindernd

Änderung
Sonneneinstrahlung
Netto-Gesamteffekt

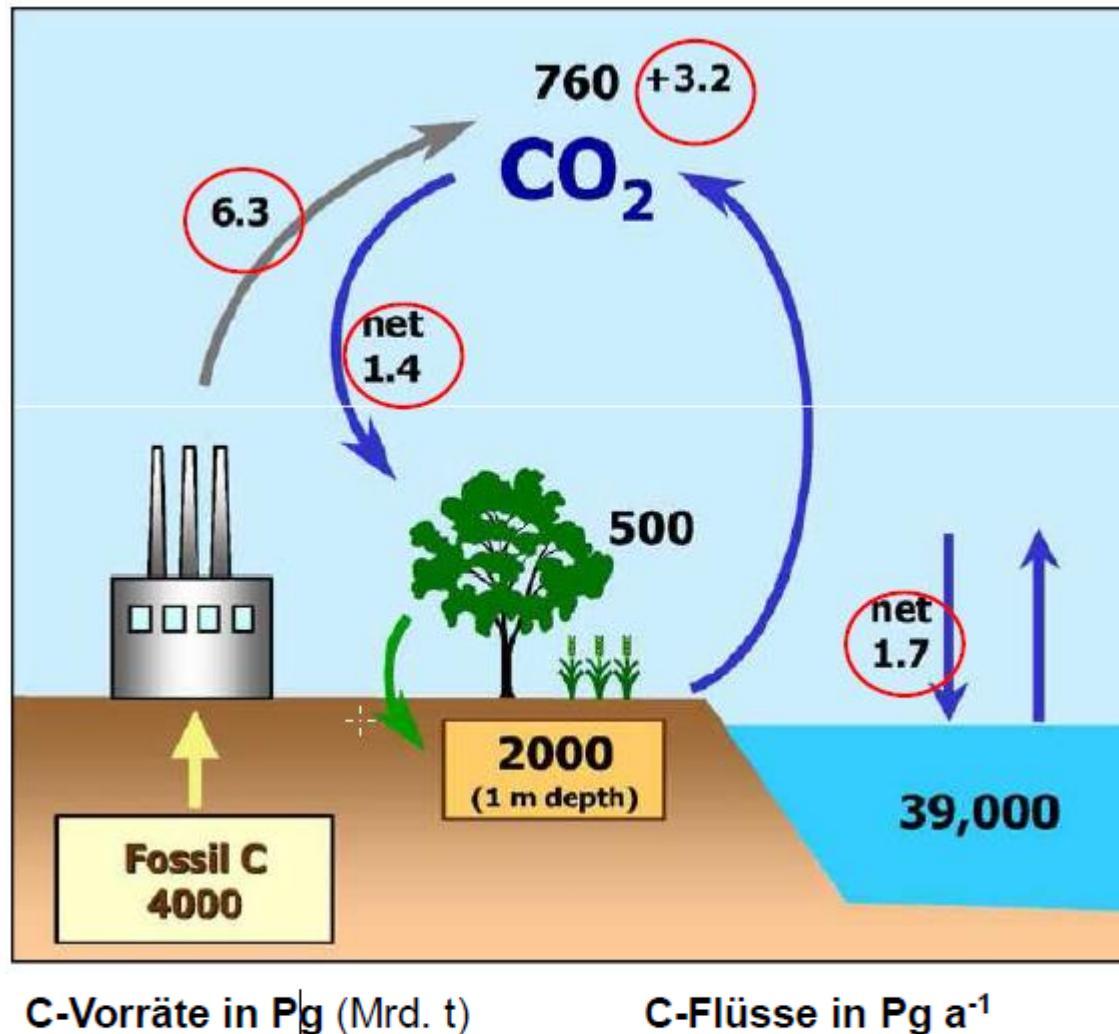
Globale Kohlenstoffbilanz ohne anthropogene Emissionen



C-Vorräte in Pg (Mrd. t)

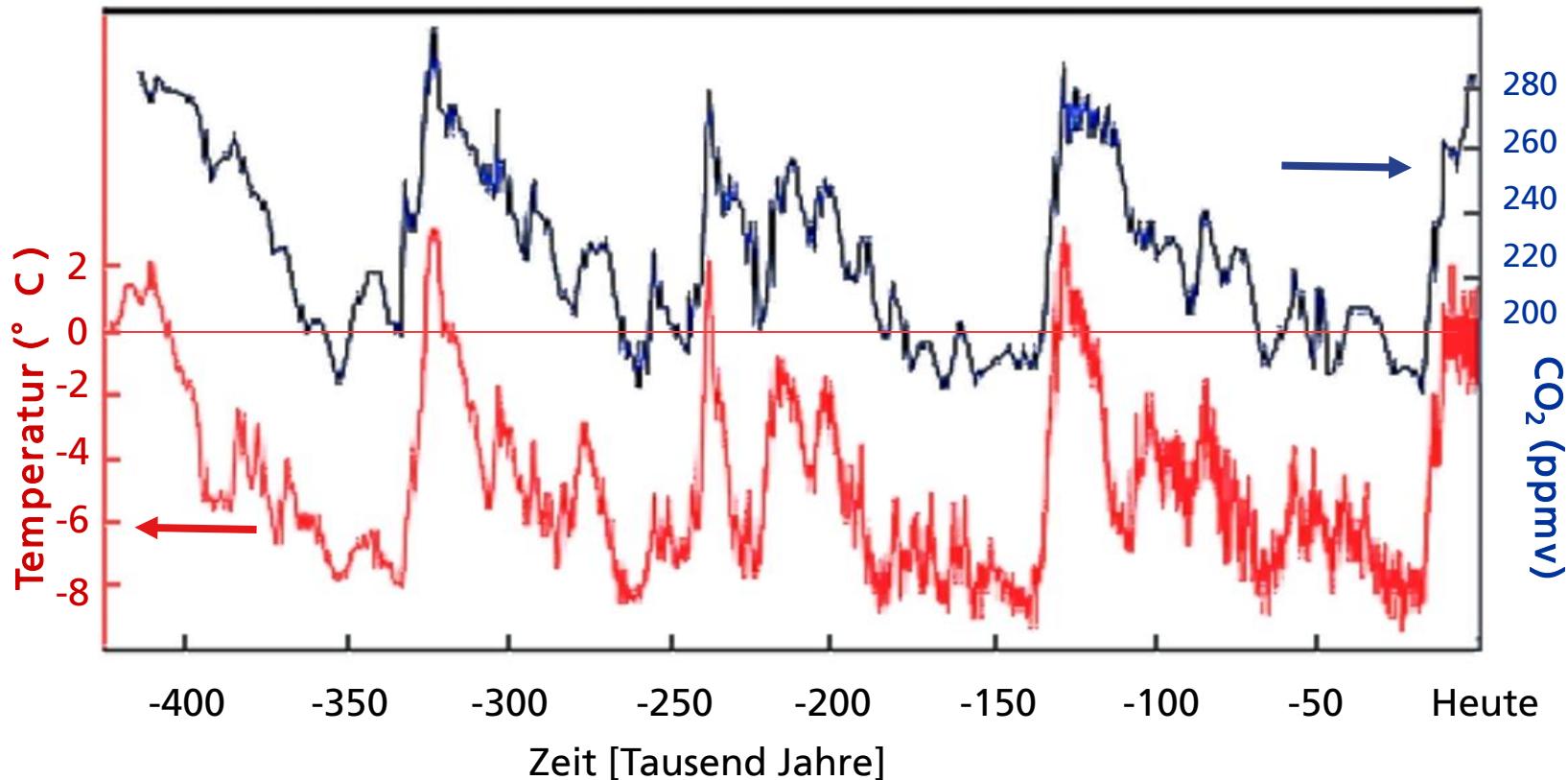
C-Flüsse in Pg a⁻¹

Globale Kohlenstoffbilanz mit anthropogenen Emissionen



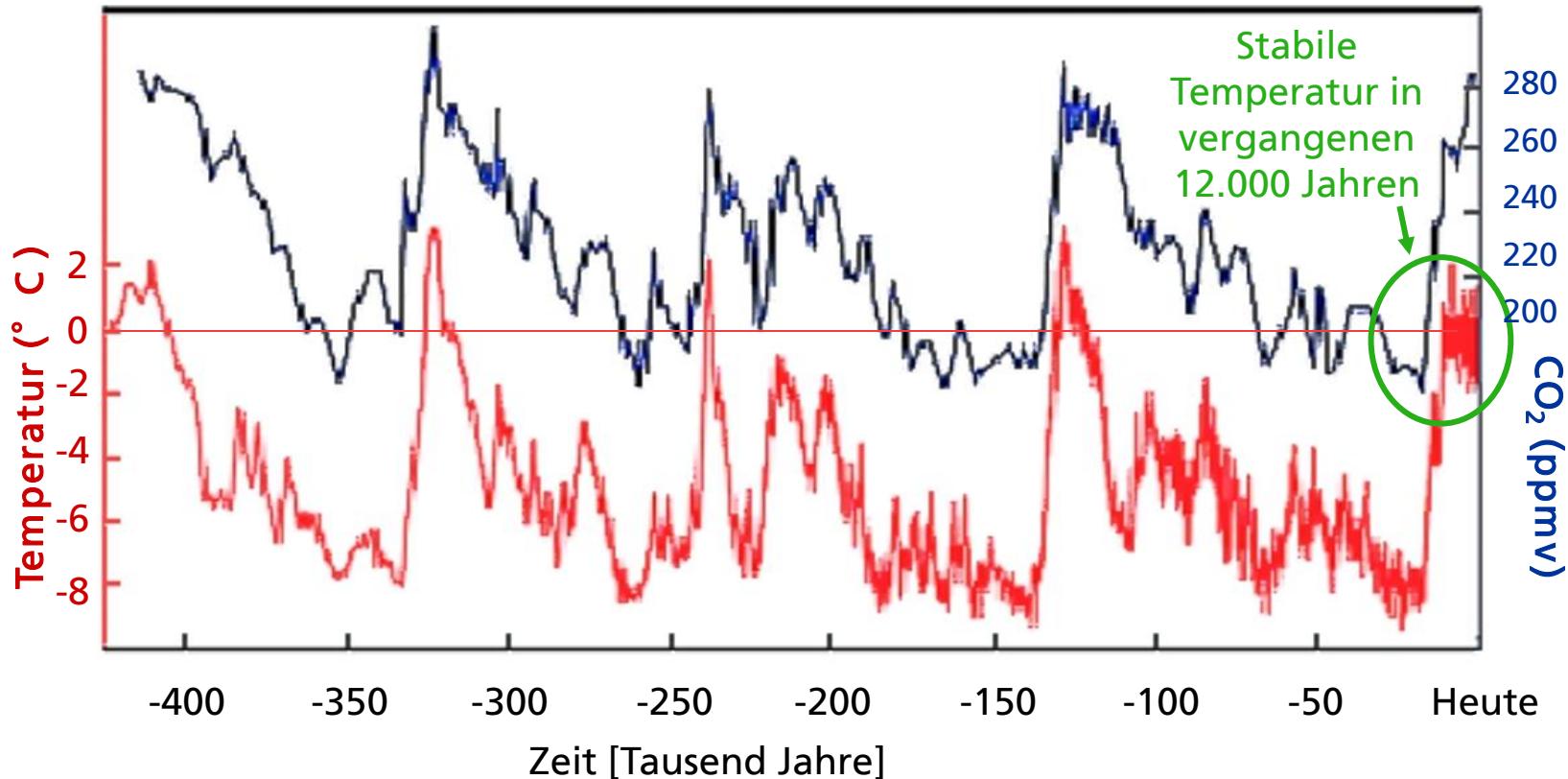
Netto-Zunahme des Kohlenstoffgehalts der Atmosphäre durch anthropogene Emissionen klimarelevanter Spurgengase

Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur



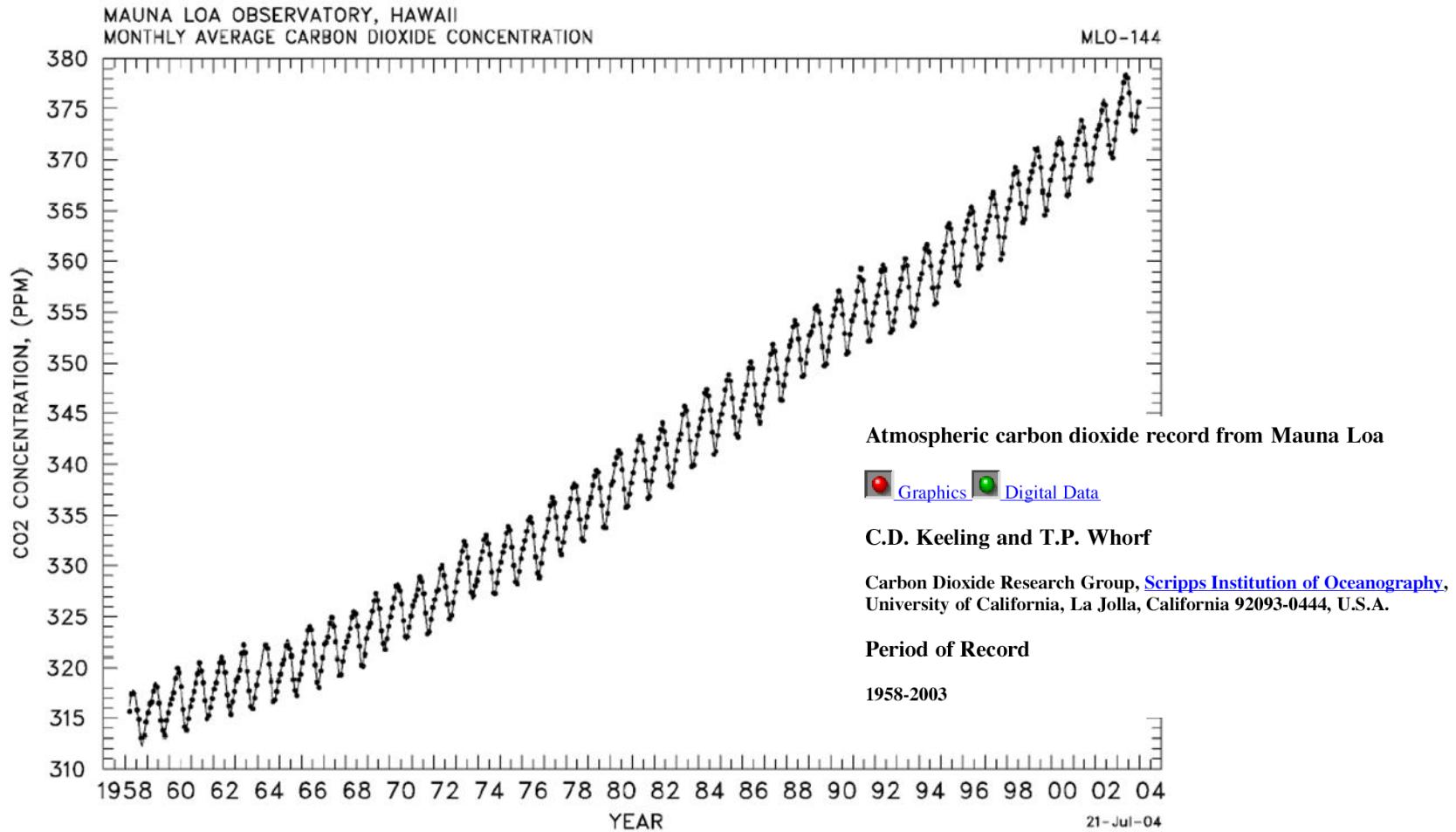
Source: J. Petit et al., 1999, Nature 399, 429-436

Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur

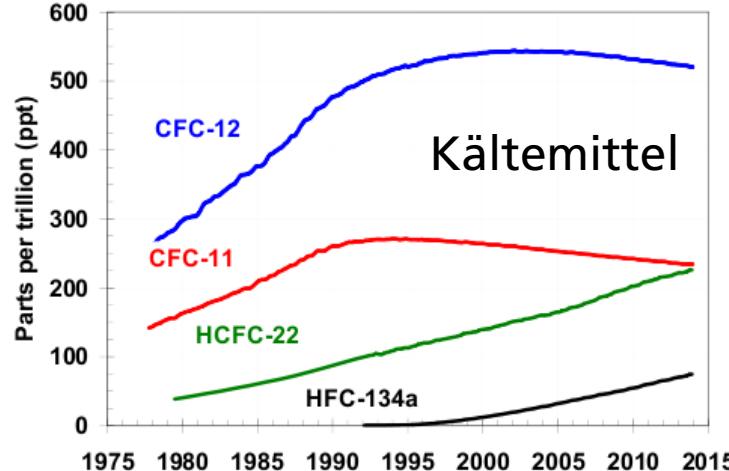
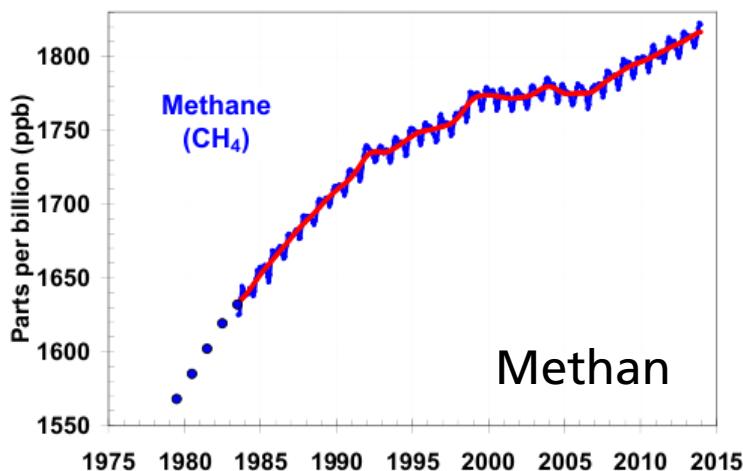
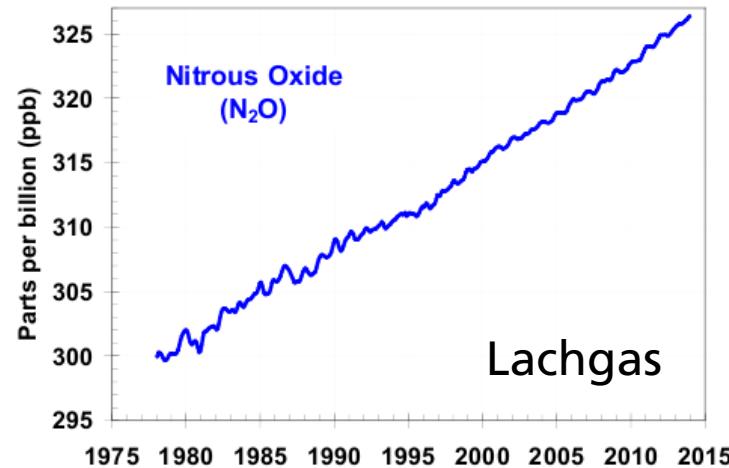
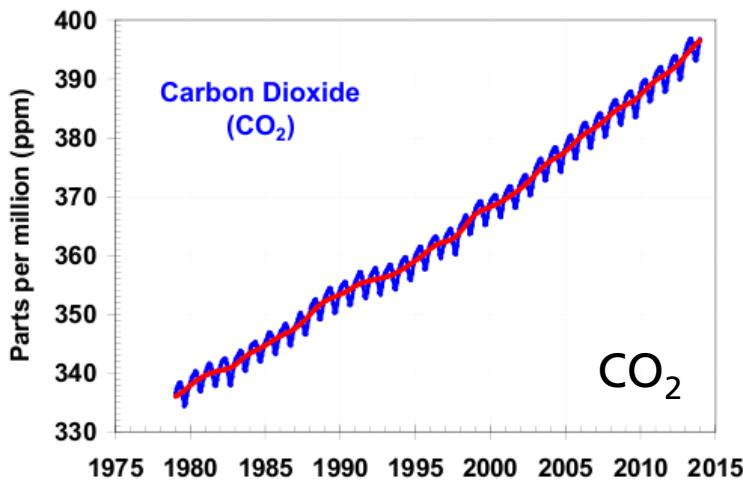


Source: J. Petit et al., 1999, Nature 399, 429-436

Entwicklung CO₂-Konzentration Mauna Loa 1958-2003



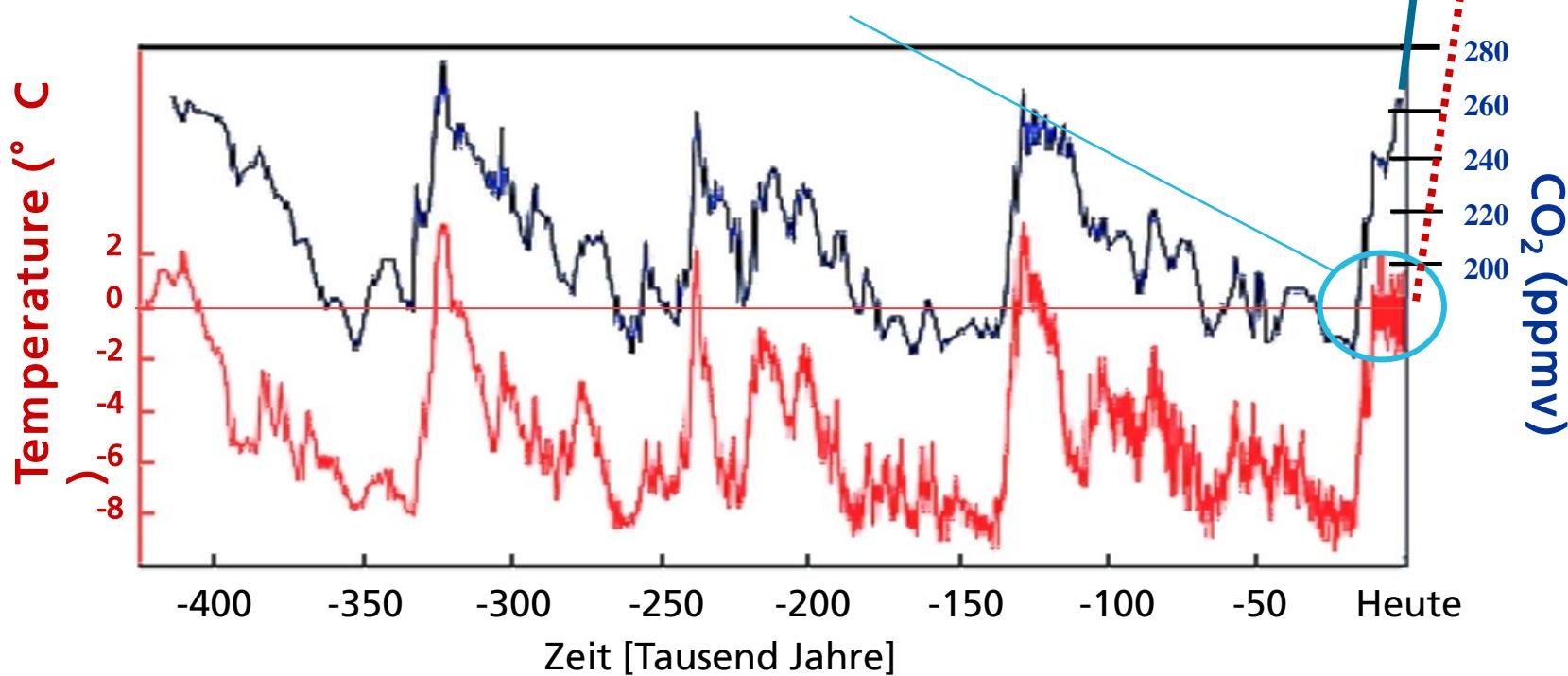
Entwicklung der atmosphärischen Konzentration klimarelevanter Spurengase 1975 - 2014



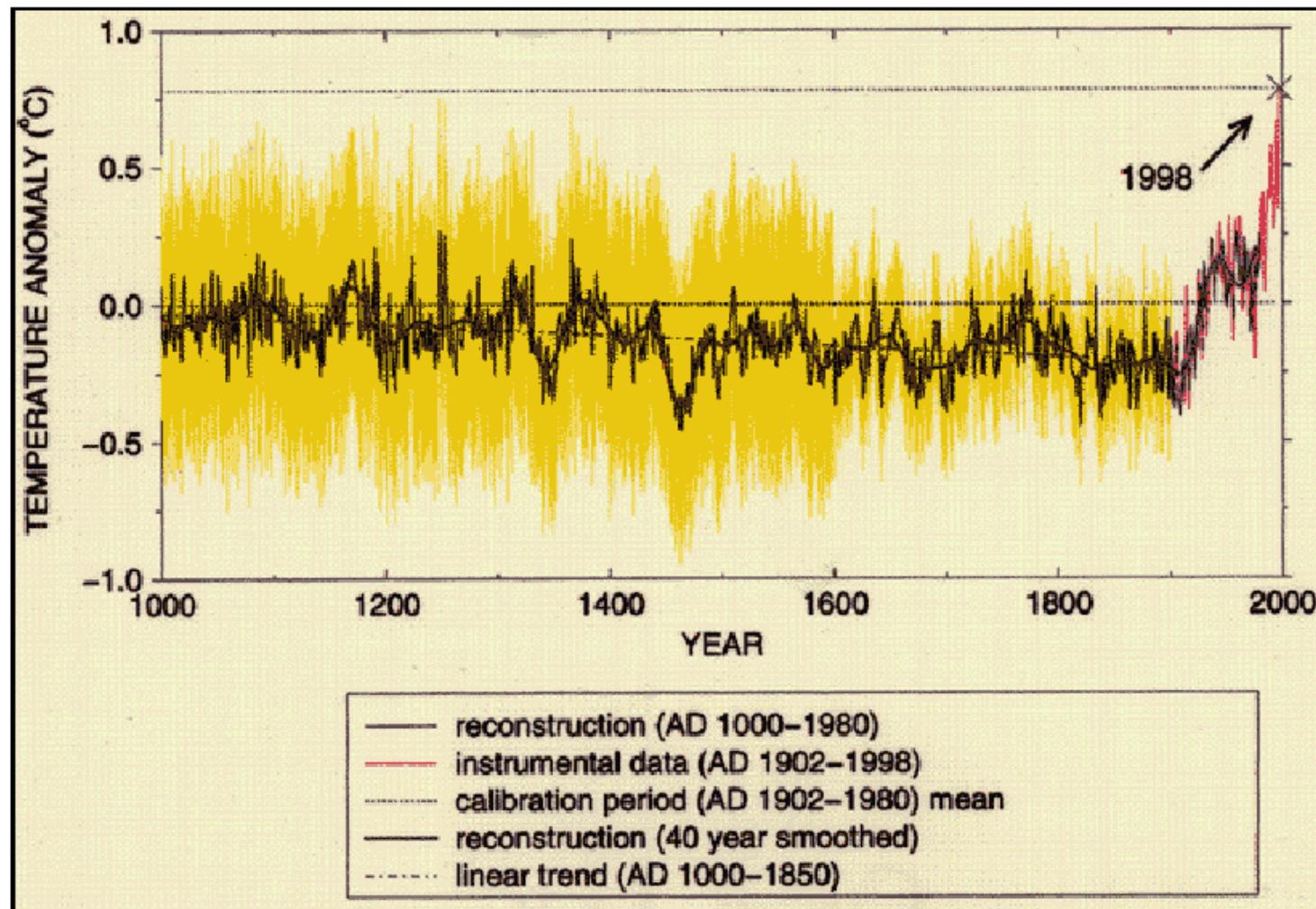
Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur

Wann folgen die Temperaturen dem CO₂-Trend?

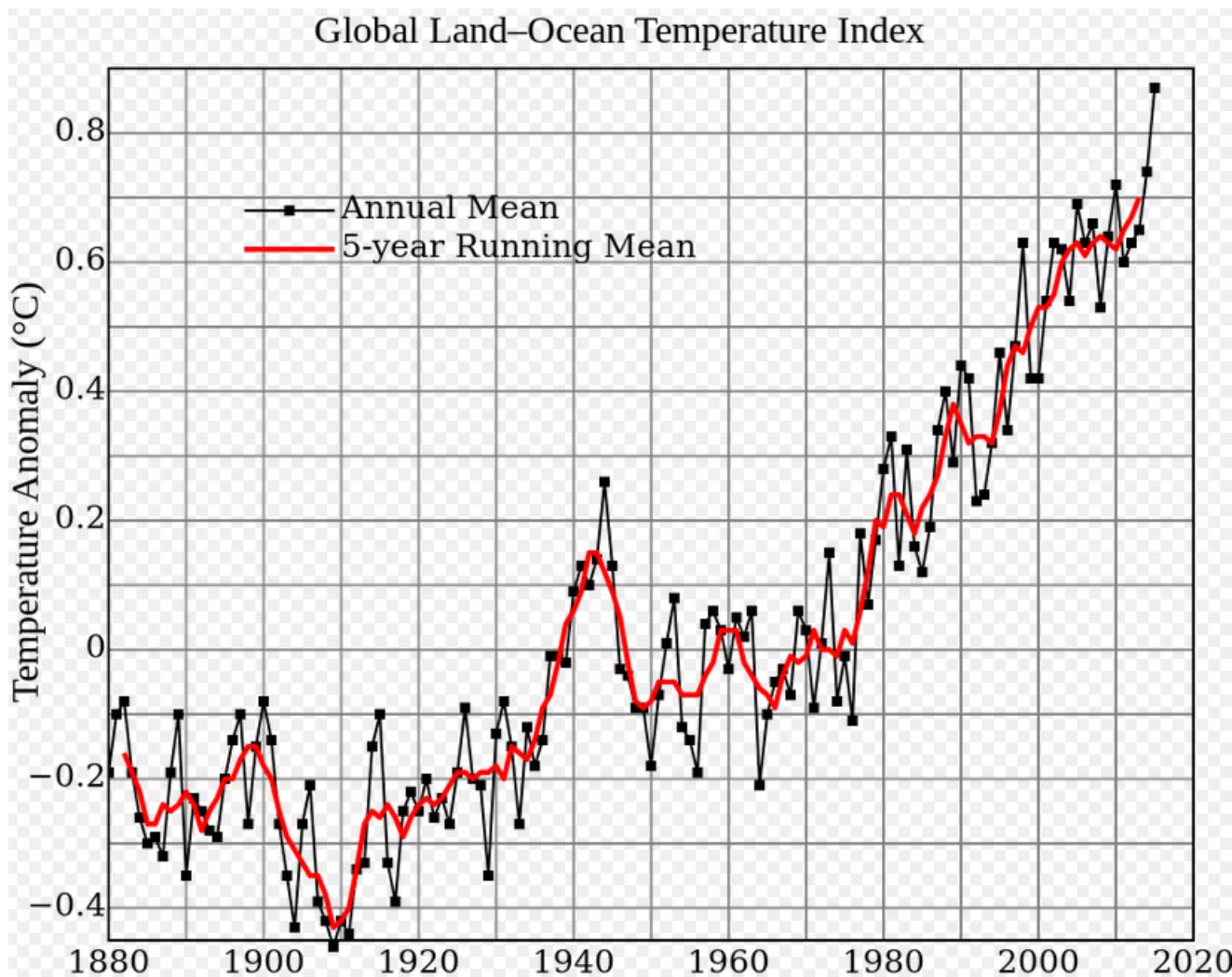
Beenden wir damit den Holozän, die Periode stabilen Klimas?



Temperaturgeschichte der letzten 1000 Jahre



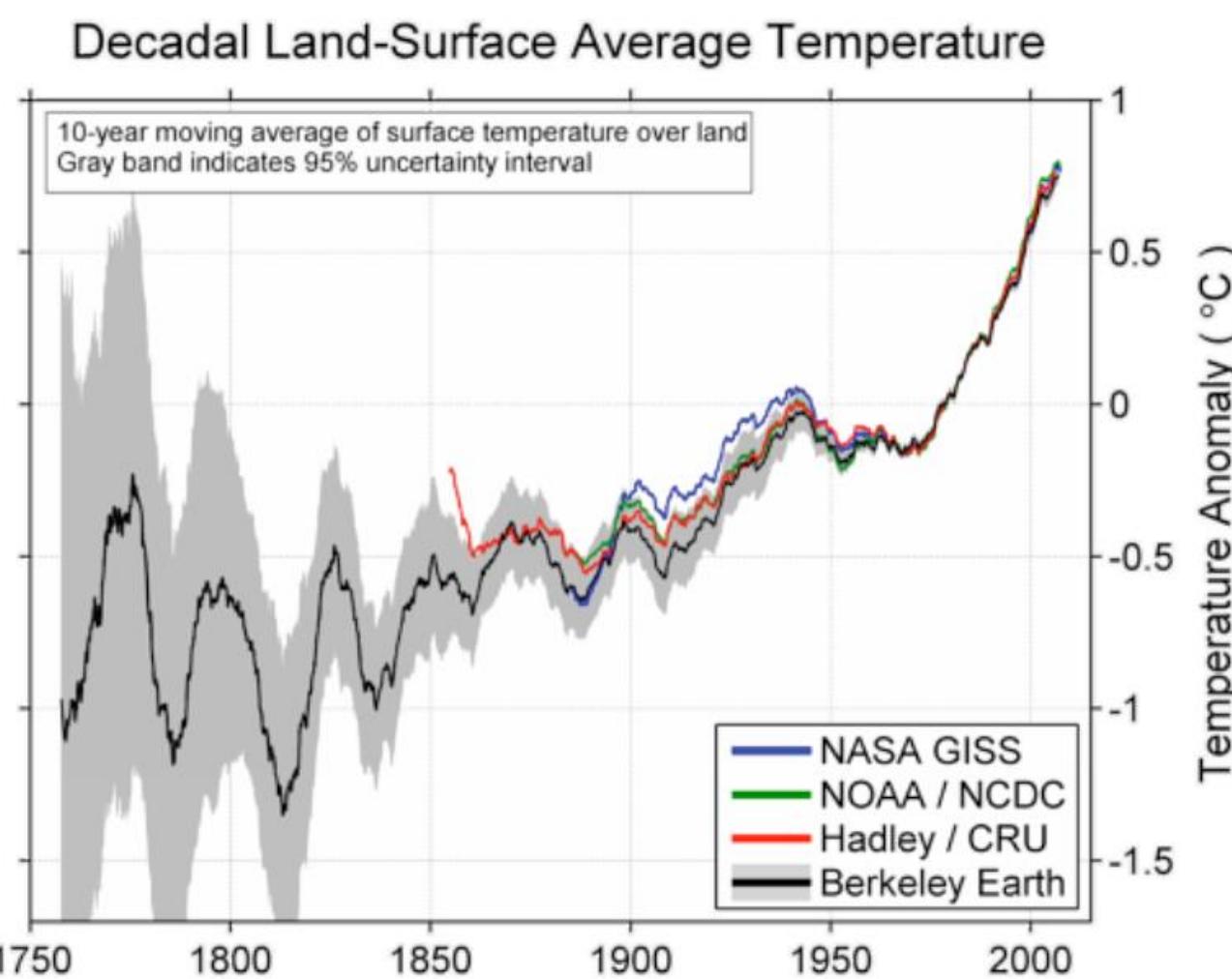
Zunahme der global gemessenen Temperaturen



Globaler
Temperatur-
index
Oberflächen-
temperaturen
Land und See
1880-2015

Quelle: NASA Goddard
Institute for Space Studies -
<http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>

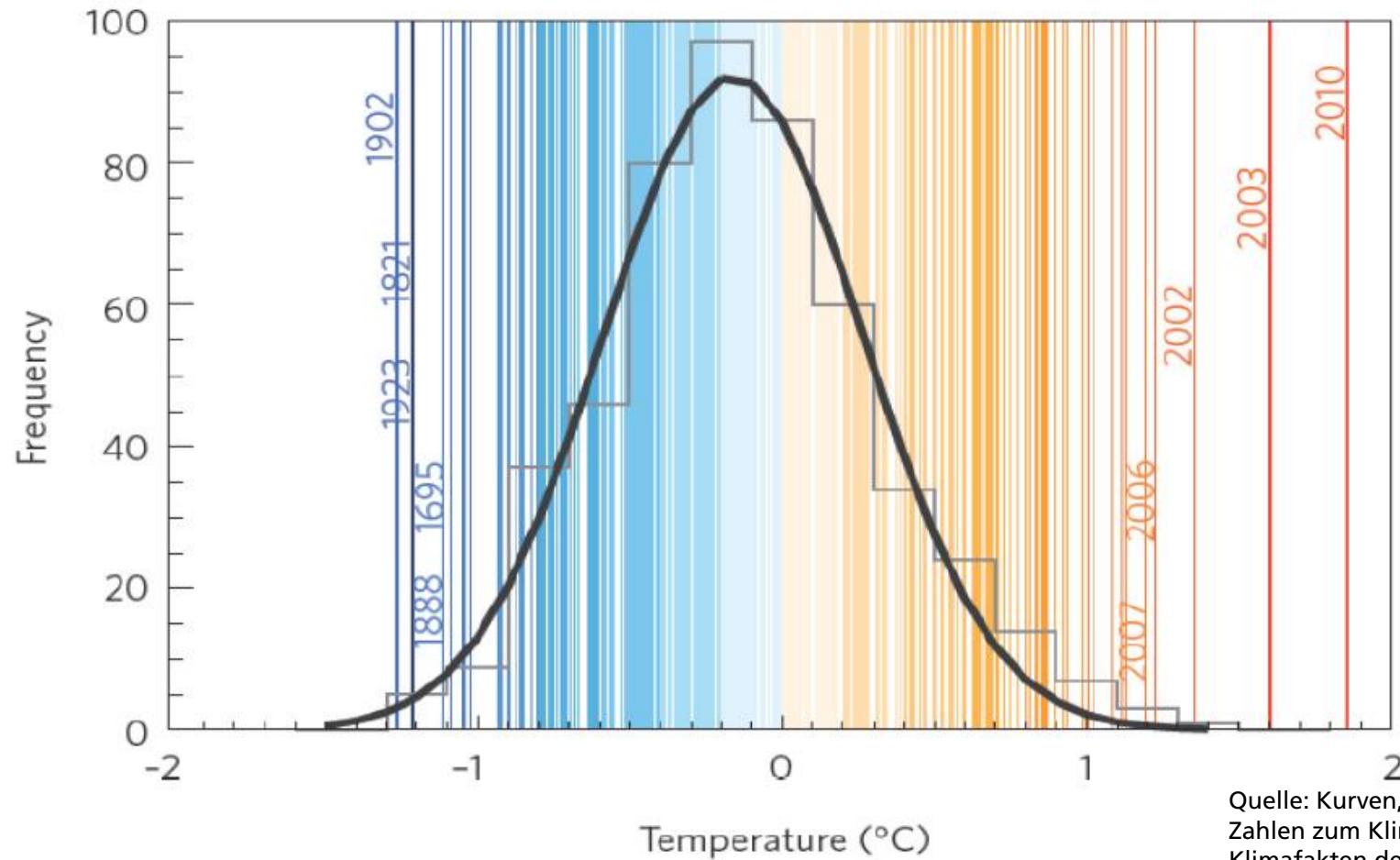
Zunahme der global gemessenen Temperaturen



Globaler
Temperatur-
index
Oberflächen-
temperaturen
Land und See
1880-2015

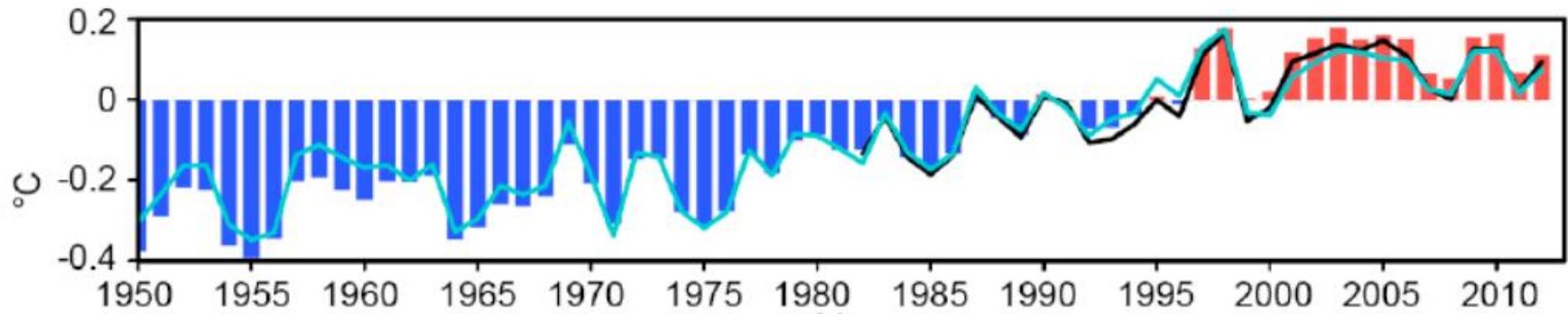
Quelle: Kurven, Karten,
Zahlen zum Klimawandel.
Klimafakten.de

Temperaturverteilung vergangene 200 Jahre (Europa)



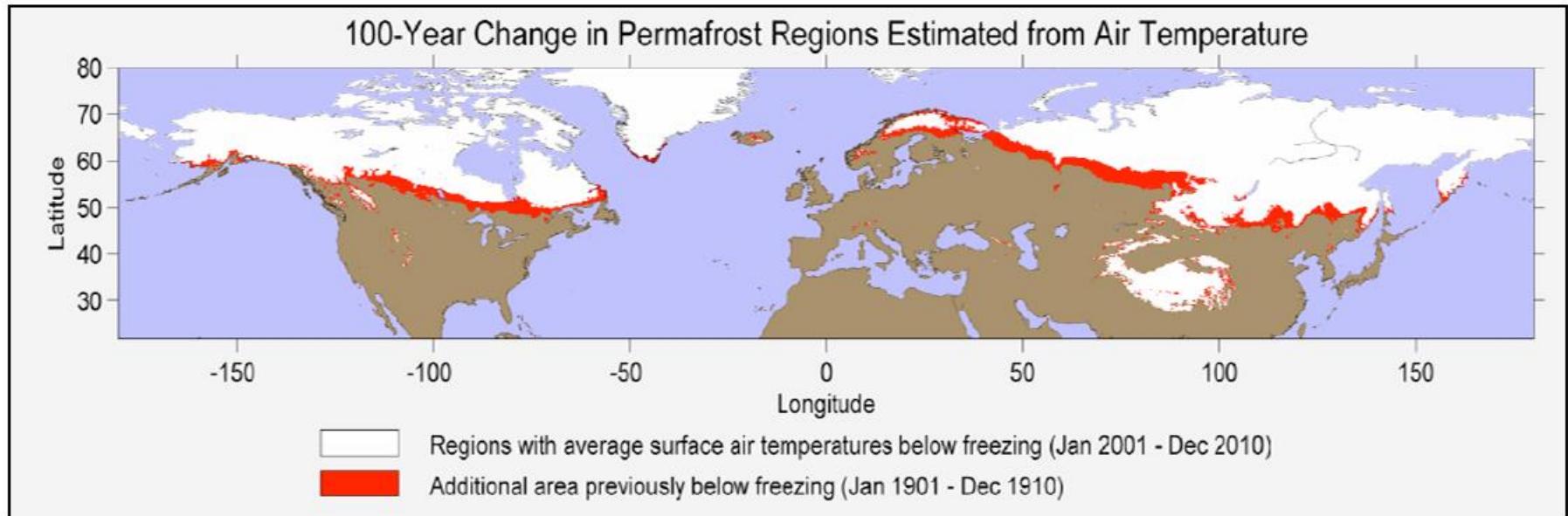
Quelle: Kurven, Karten,
Zahlen zum Klimawandel.
Klimafakten.de

Ozeantemperaturen



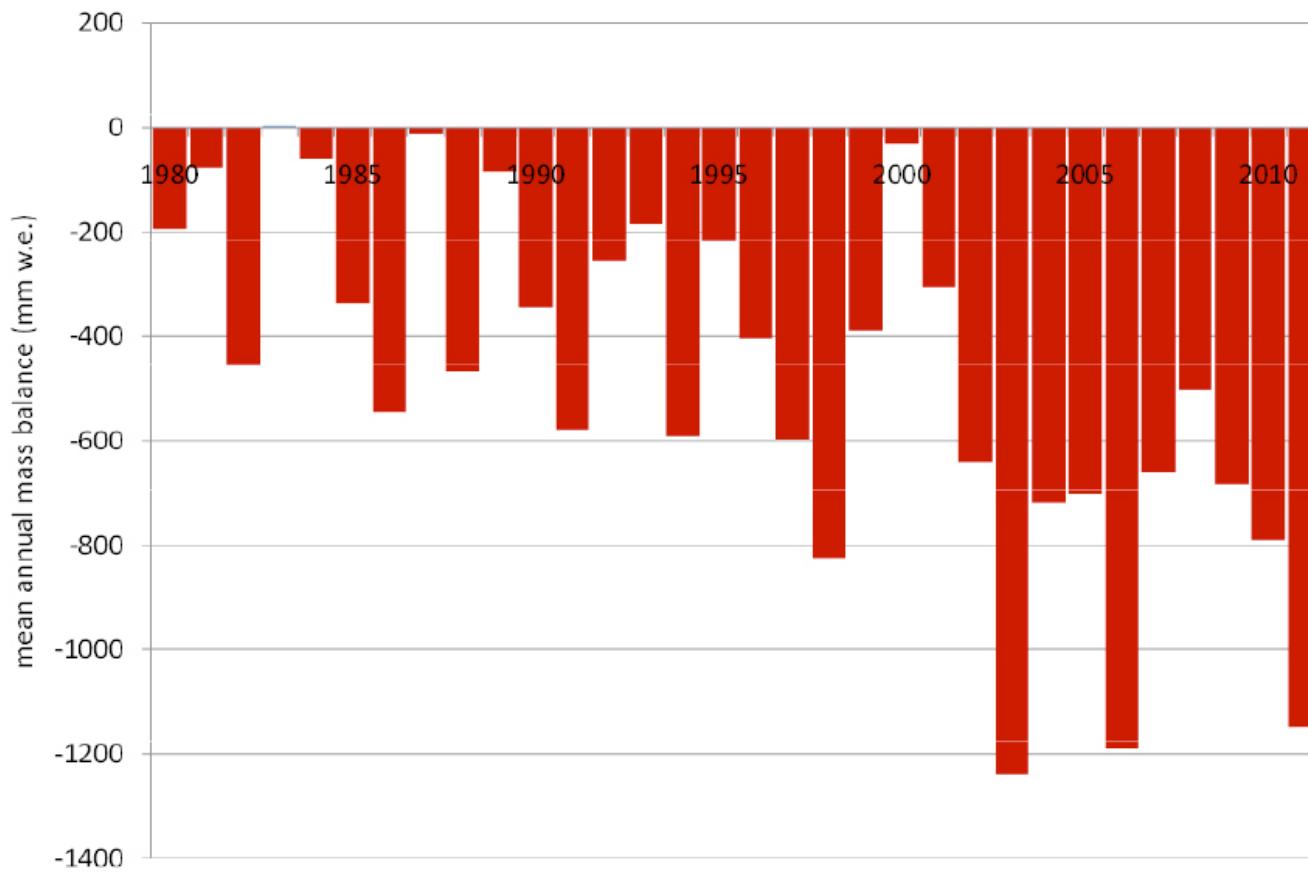
- Mittlere Oberflächentemperatur der Weltmeere bezogen auf langjähriges Mittel
- Seit mehr als einem Jahrzehnt liegt der Wert durchgängig über dem langjährigen Durchschnitt (1981 bis 2010)

Entwicklung Permafrostgebiete



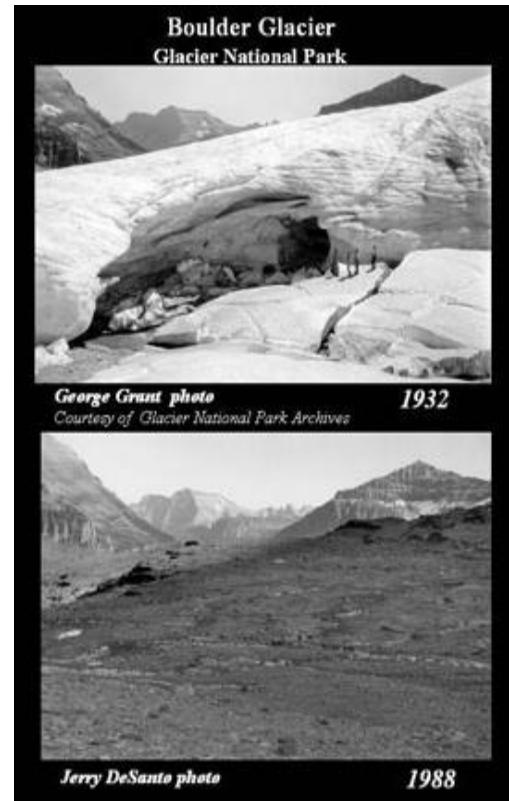
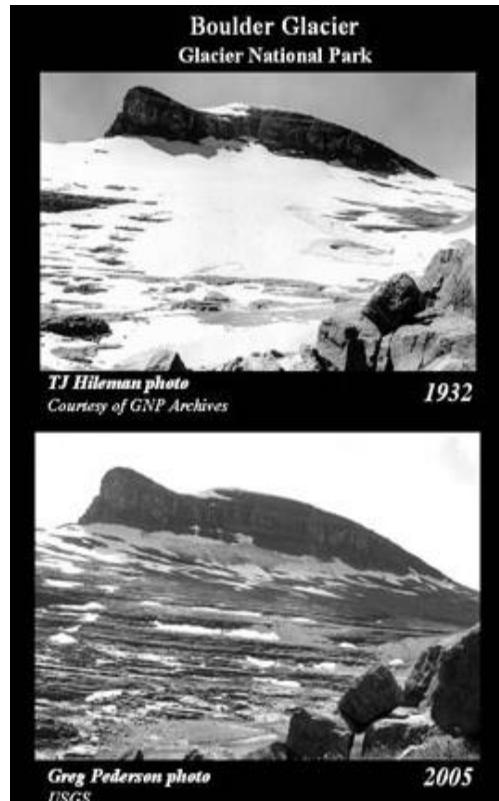
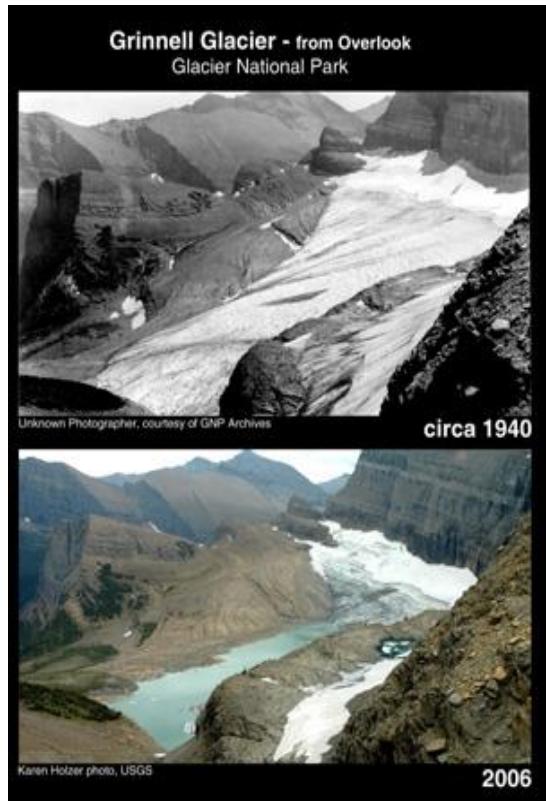
Rot markiert sind die seit Anfang des 20. Jahrhunderts hinzu gekommenen Gebiete mit mittleren Lufttemperaturen oberhalb des Gefrierpunkts

Änderung globale Vergletscherung



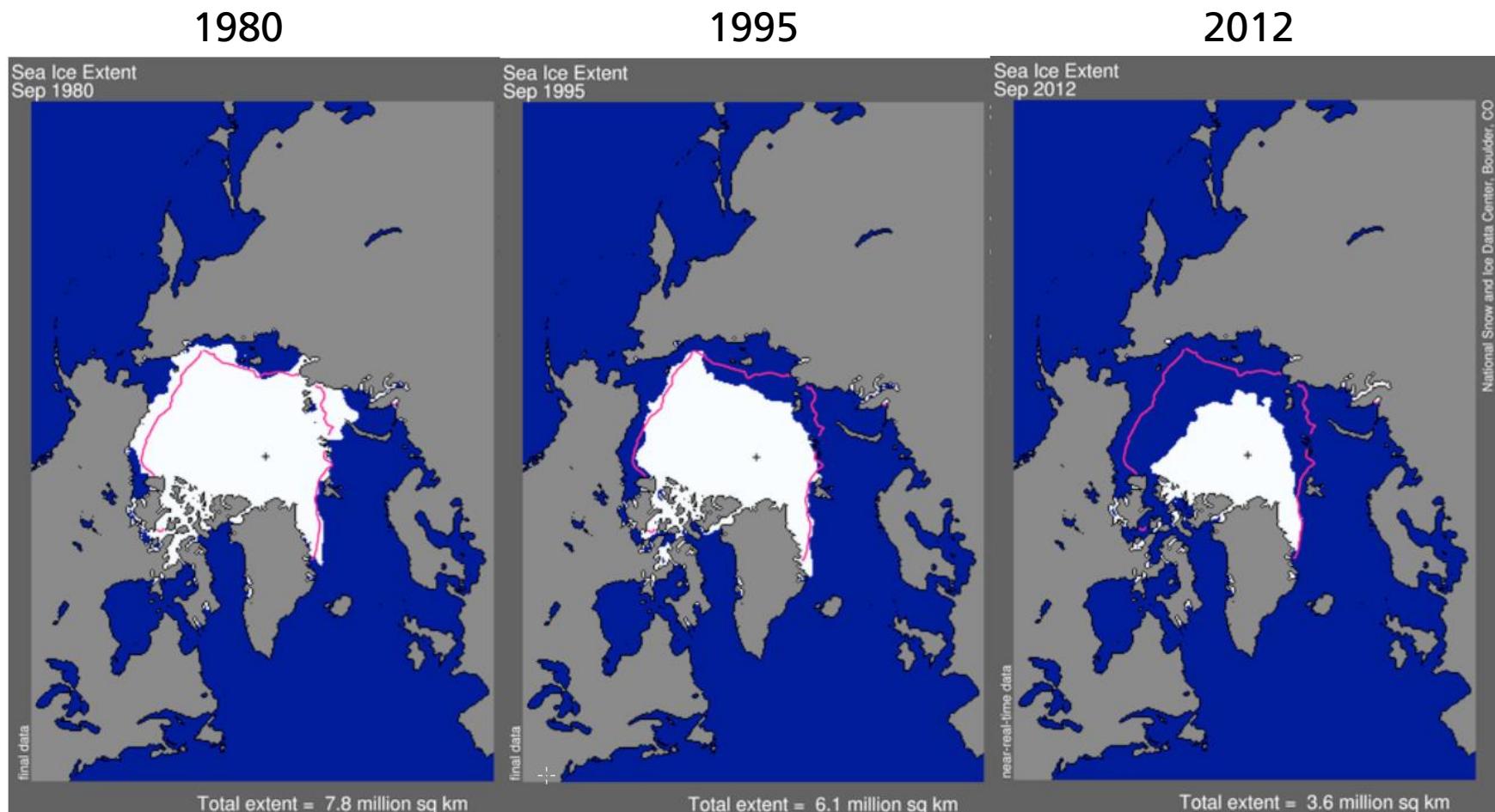
Abnahme 37 ausgewählter Referenzgletscher in den vergangenen 32 Jahren (in mm water equivalent).

Beispiel Glacier National Park, II



Quelle: USGS - Science for a Changing World. <http://www.nrmsc.usgs.gov>

Änderung der Vereisung des Nordpols



Abnahme von Ausdehnung und Dicke (letztere nicht sichtbar)



„Laurent, du hast einen hervorragenden Job gemacht!“: Frankreichs Außenminister Fabius – hier unmittelbar nach dem Ende der Klimakonferenz – wurde für seine geschickte Verhandlungsführung gefeiert. Sie mündete am Wochenende in das globale Klimaabkommen von Paris.

FOTO: CHRISTOPHE PETIT TESSON/DPA

Die Welt will die Klimawende

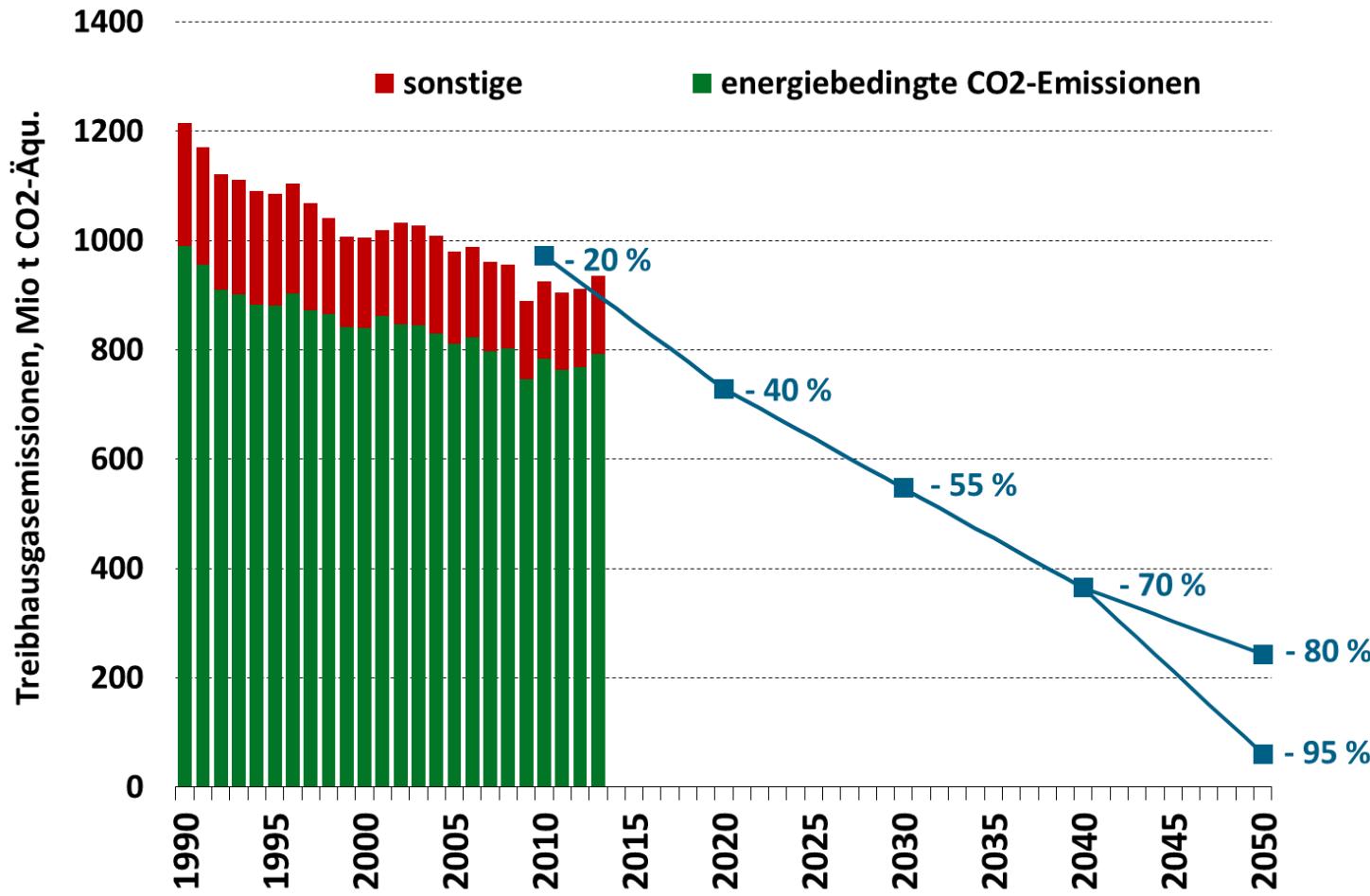
Das in Paris besiegelte Abkommen gilt als historisch, weil es den globalen Temperaturanstieg auf 1,5 Grad begrenzen würde. Erstmals sollen auch Schwellenländer ihren Abgasausstoß verringern

Süddeutsche Zeitung,
14.12.2015

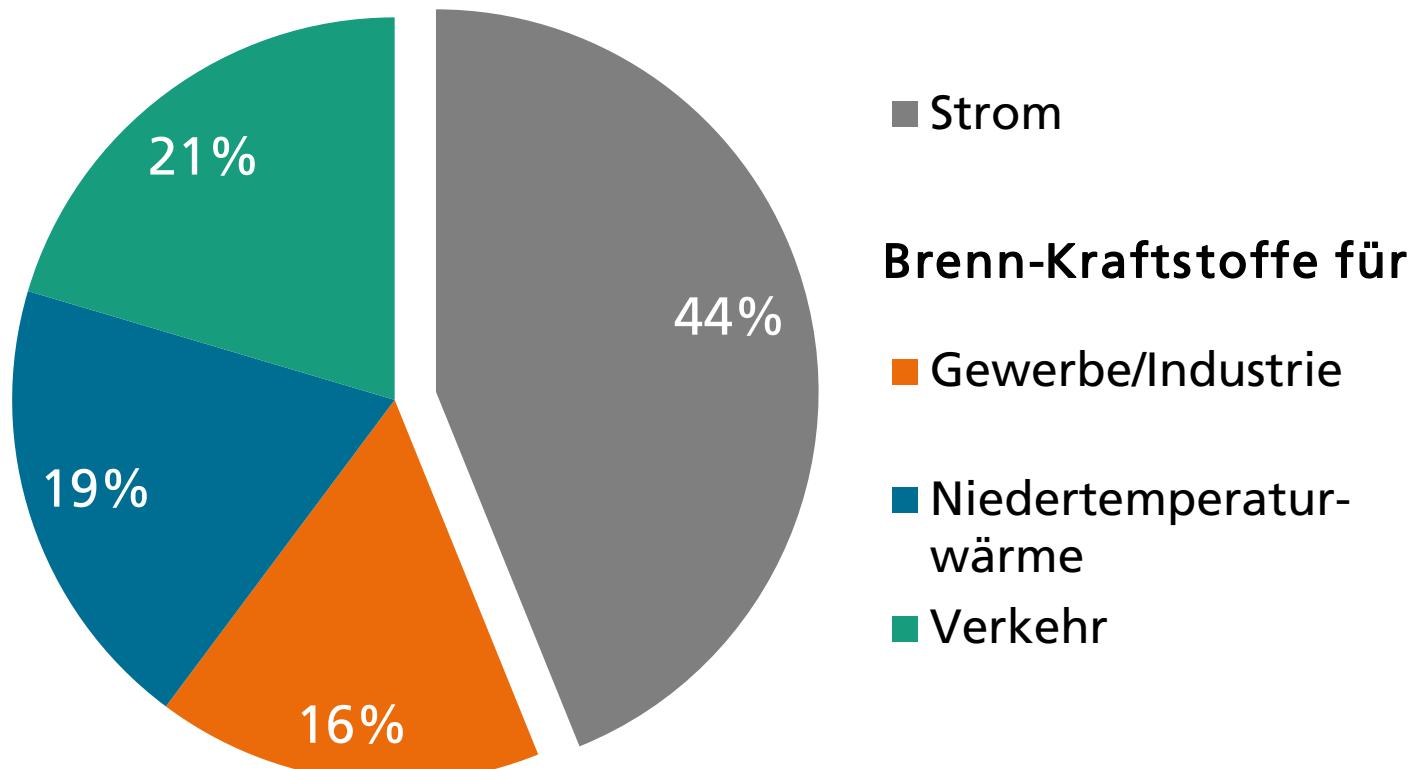
Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- **Klimaschutzziele Deutschlands**
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Entwicklung der deutschen Treibhausgasemissionen 1990-2013 und Zielwerte bis 2050



Energiebedingte CO₂-Emissionen – Deutschland 2013



Energiewendeziele der Bundesregierung

Sektor	Größe	Bezugs- jahr	2012	2030	2050
Gesamt- System	Treibhausgasemissionen	1990	- 24.7 %	- 55 %	- 80 % ... - 95 %
	Primärenergieverbrauch	2008	- 4.3 %	- 20 %	- 50 %
	EE-Anteil am Bruttoend- energieverbrauch	2008	12.4 %	18 %	60 %

Energiewendeziele der Bundesregierung

Sektor	Größe	Bezugs- jahr	2012	2030	2050
Gesamt- System	Treibhausgasemissionen	1990	- 24.7 %	- 55 %	- 80 % ... - 95 %
	Primärenergieverbrauch	2008	- 4.3 %	- 20 %	- 50 %
	EE-Anteil am Bruttoend- energieverbrauch	2008	12.4 %	18 %	60 %
Strom	Brutto-Stromverbrauch	2008	- 1.9 %	- 10 %	- 25 %
	EE-Anteil am Brutto- Stromverbrauch	2008	23.6 %	> 35 %	> 80 %

Energiewendeziele der Bundesregierung

Sektor	Größe	Bezugs- jahr	2012	2030	2050
Gesamt- System	Treibhausgasemissionen	1990	- 24.7 %	- 55 %	- 80 % ... - 95 %
	Primärenergieverbrauch	2008	- 4.3 %	- 20 %	- 50 %
	EE-Anteil am Bruttoend- energieverbrauch	2008	12.4 %	18 %	60 %
Strom	Brutto-Stromverbrauch	2008	- 1.9 %	- 10 %	- 25 %
	EE-Anteil am Brutto- Stromverbrauch	2008	23.6 %	> 35 %	> 80 %
Verkehr	Endenergieverbr. Verkehr	2005	-0.6 %	- 10 %	-40 %

Energiewendeziele der Bundesregierung

Sektor	Größe	Bezugs- jahr	2012	2030	2050
Gesamt- System	Treibhausgasemissionen	1990	- 24.7 %	- 55 %	- 80 % ... - 95 %
	Primärenergieverbrauch	2008	- 4.3 %	- 20 %	- 50 %
	EE-Anteil am Bruttoend- energieverbrauch	2008	12.4 %	18 %	60 %
Strom	Brutto-Stromverbrauch	2008	- 1.9 %	- 10 %	- 25 %
	EE-Anteil am Brutto- Stromverbrauch	2008	23.6 %	> 35 %	> 80 %
Verkehr	Endenergieverbr. Verkehr	2005	-0.6 %	- 10 %	-40 %
Ge- bäude	Primärenergiebedarf Gebäude	2008	-	-	- 80 % „klimaneutraler Gebäudebestand“
	Sanierungsrate	-	< 1 %/a	2 %/a	2 %/a

Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- **Was können wir tun?**
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Was können wir tun?

Wege zur Reduktion energiebedingter CO₂-Emissionen

Weniger verbrauchen

- Effizientere Techniken auf der Nutzenseite, z.B. Beleuchtung, Pumpen und Antriebe, baulicher Wärmeschutz, effizientere Heizungstechniken, effizientere Antriebskonzepte im Verkehr
- Verhaltensänderungen, z.B. neue Mobilitätskonzepte, weniger Fernreisen, geänderte Ernährung, usw.

Effizienter Energie wandeln

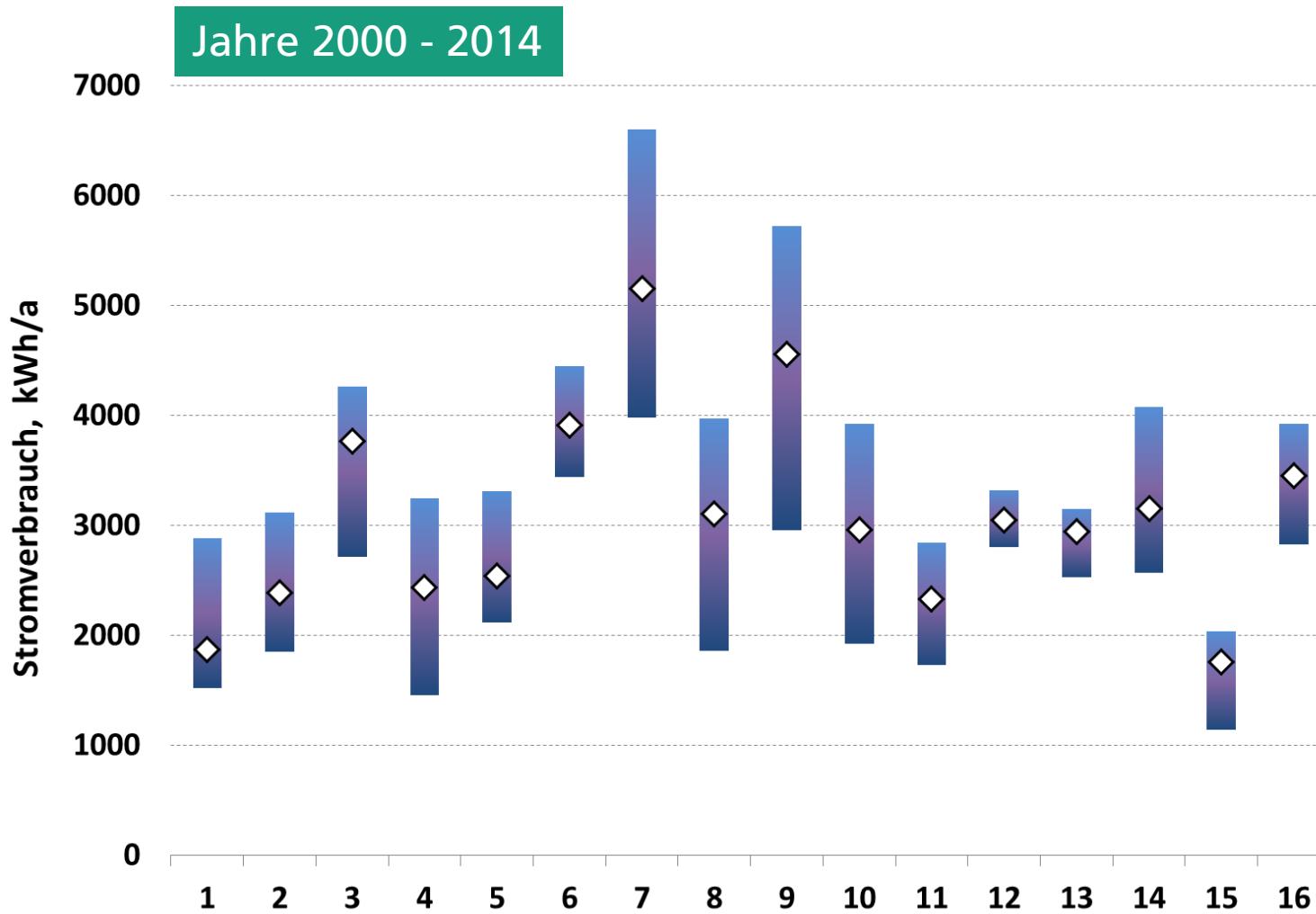
- Erhöhung der Wandlungseffizienz von Primärenergie in Endenergie z.B. durch effizientere Stromerzeugung in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung

Ersatz fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien

- Stromerzeugung, zentral oder dezentral
- Wärmebereitstellung
- Ersatz fossiler Brenn-/Kraftstoffe durch Brenn-/Kraftstoffe aus erneuerbaren Energien (Biomasse, synthetische Brenn-/Kraftstoffe aus erneuerbarem Strom)

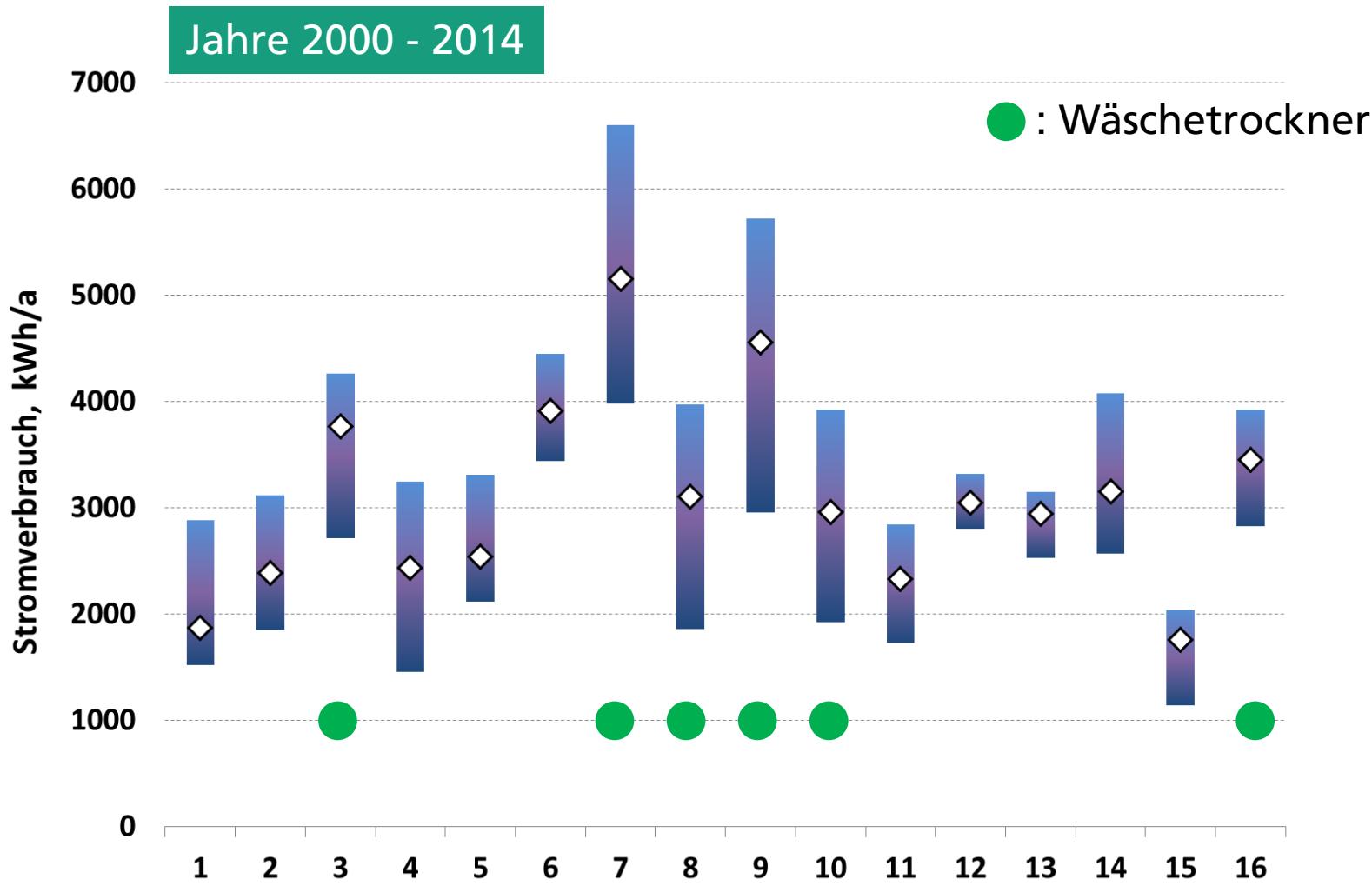
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



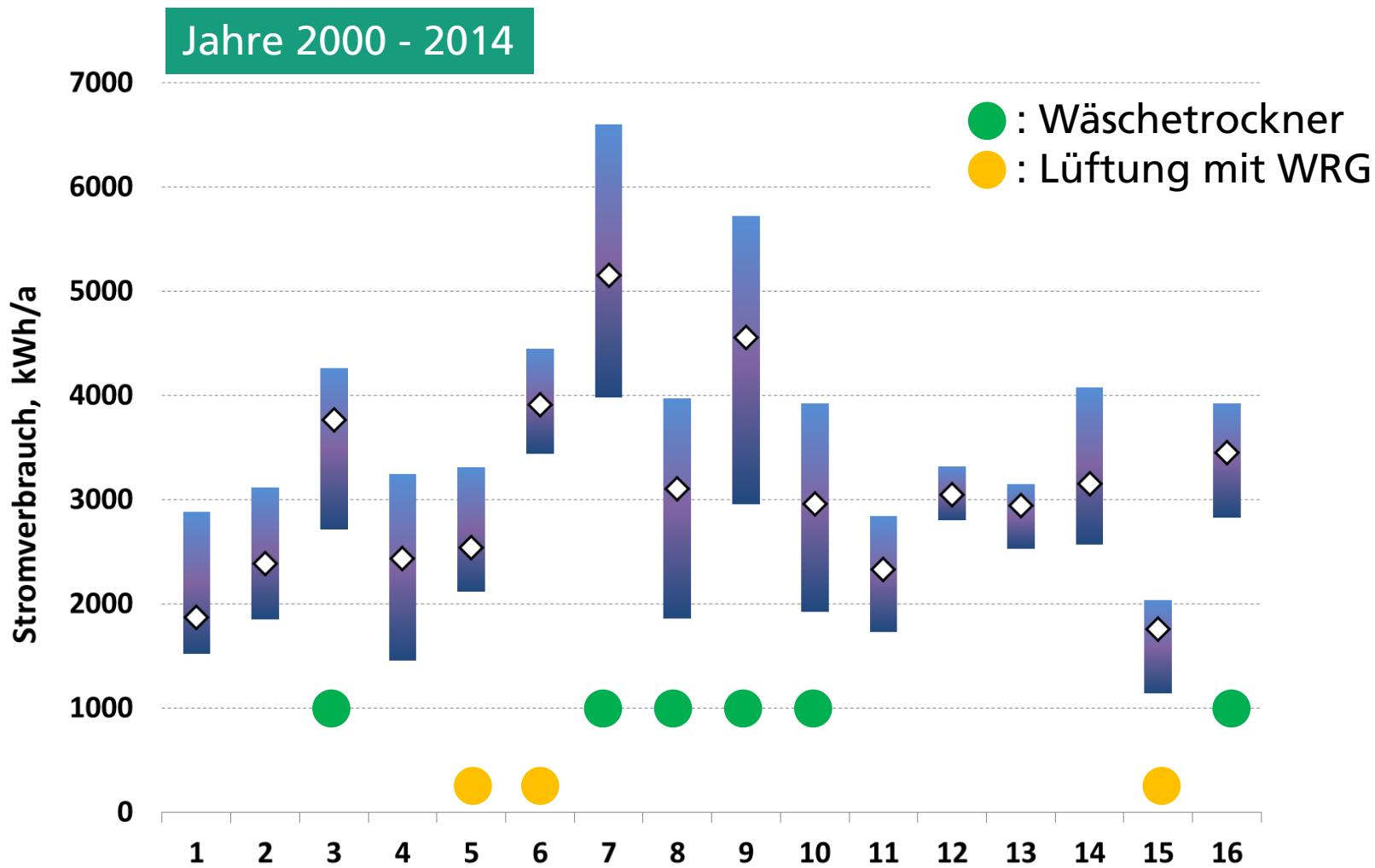
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



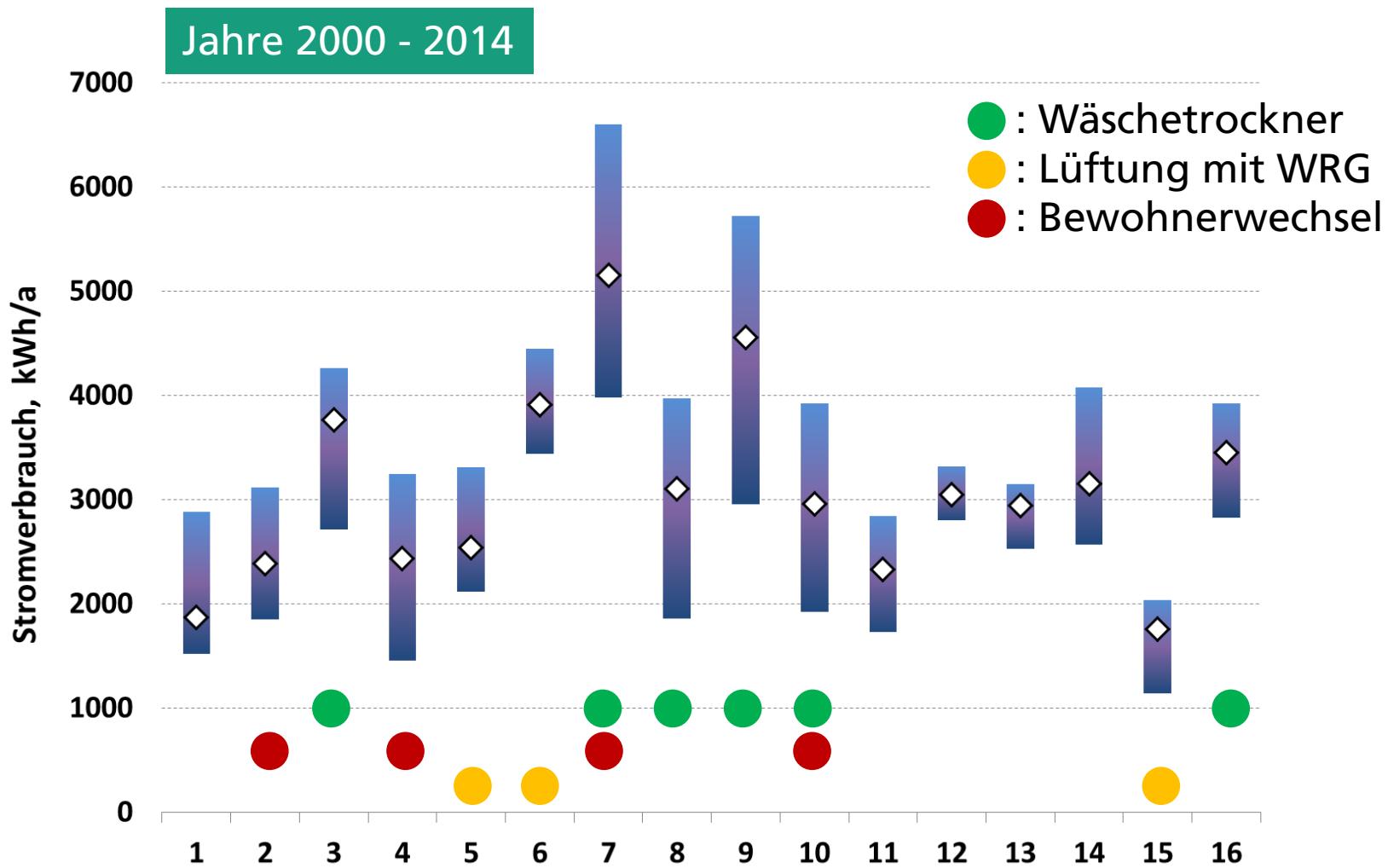
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



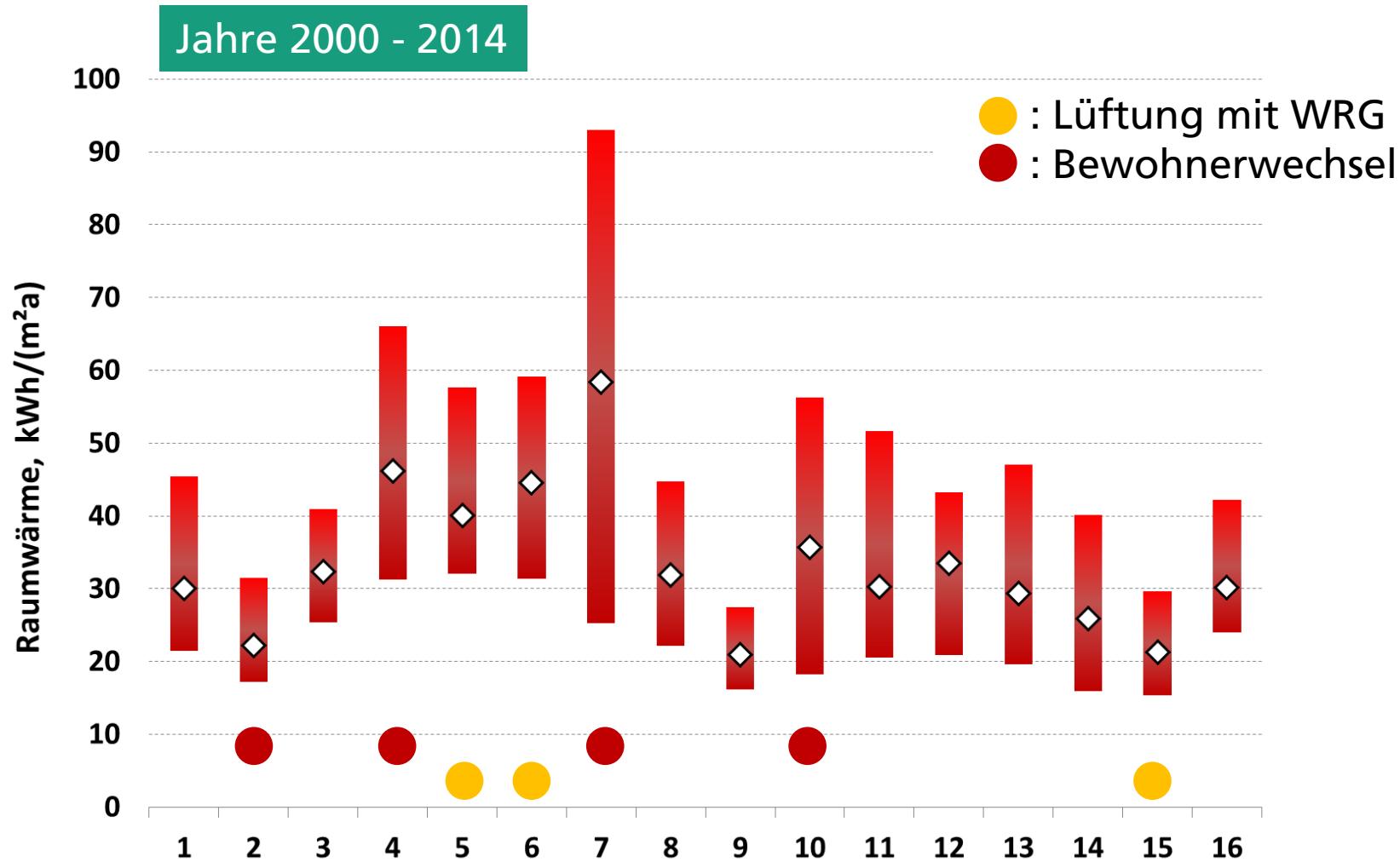
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



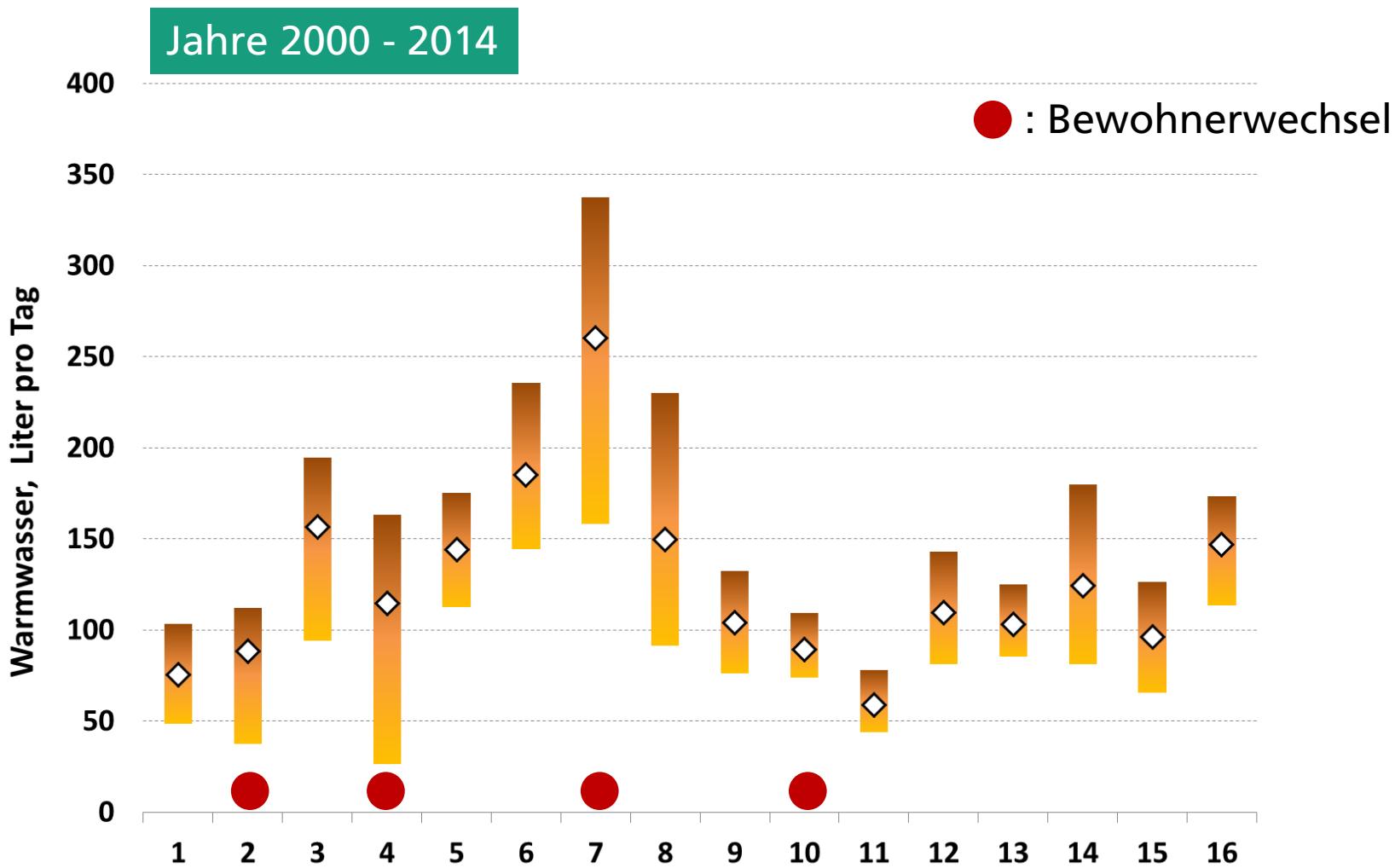
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten – Raumwärme



Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten – Warmwasser



Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- **Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems**
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Relevanz einer systemischen Analyse sich wandelnder Energiesysteme

- Klima- und Nachhaltigkeitsziele stehen ganz oben auf der globalen politischen Agenda
- Energieversorgung hat dominanten Anteil am anthropogenen Klimawandel
- Das Ziel ist klar → Energiesysteme mit drastisch reduziertem CO₂-Ausstoß
- Der Weg ist unklar und hochkomplex
- Energiewende ist mehr als Stromwende
- Wir benötigen Werkzeuge, die eine ganzheitliche Analyse der Entwicklung von Energiesystemen ermöglichen (regional, national, international)



Leitfrage

Was ist der kostenoptimale Pfad

- › zur Transformation von Energiesystemen
- › unter Einbeziehung aller Energieträger
- › unter Einbeziehung aller Verbrauchssektoren
- › unter Einhaltung der gesetzten Klimaschutzziele
- › sowohl im Zieljahr 2050 als auch auf dem Weg dorthin?

?

Randbedingung für Deutschland

- Kernenergieausstieg bis 2022

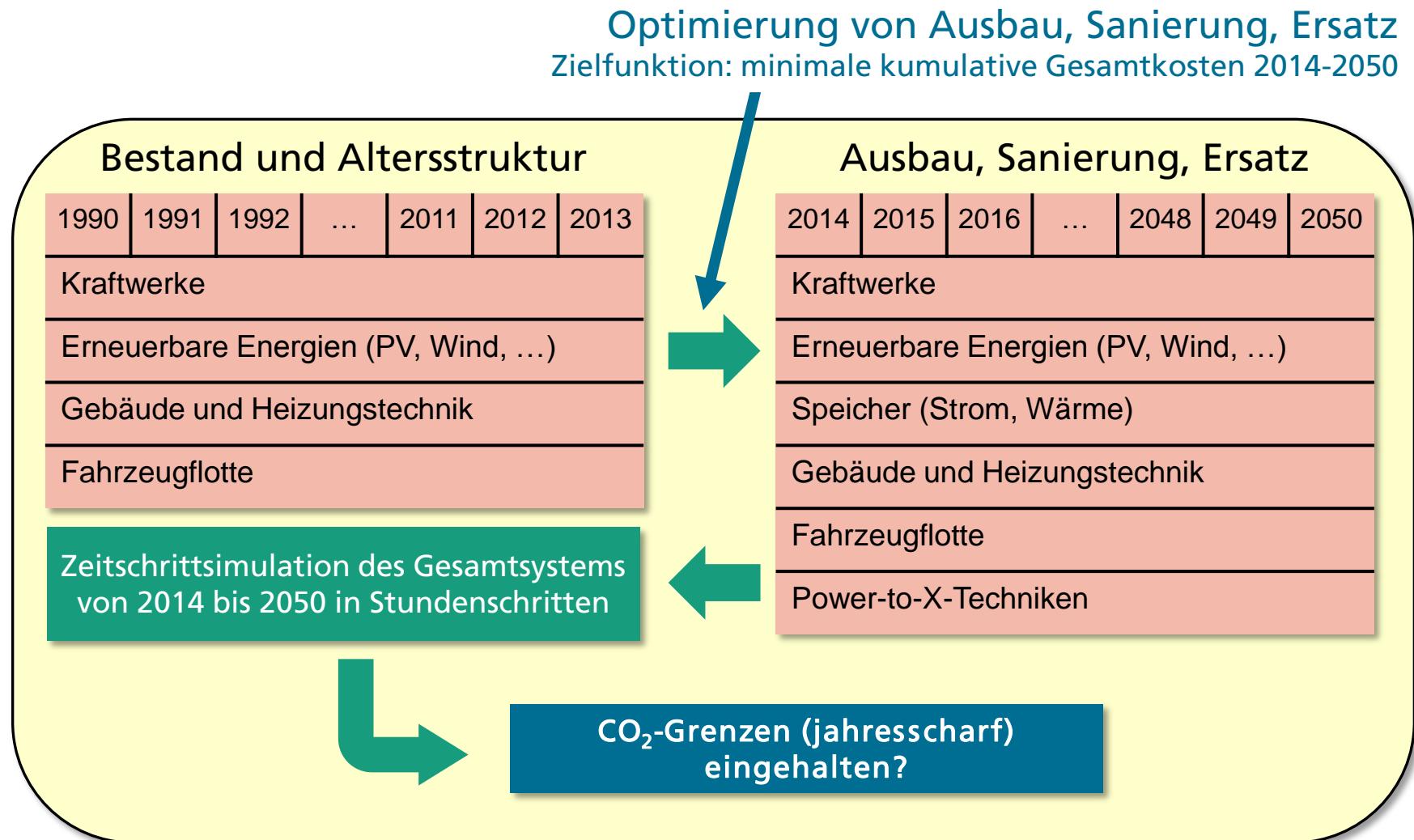
Regenerative Energien Modell »REMod«

Minimierung der Transformationskosten

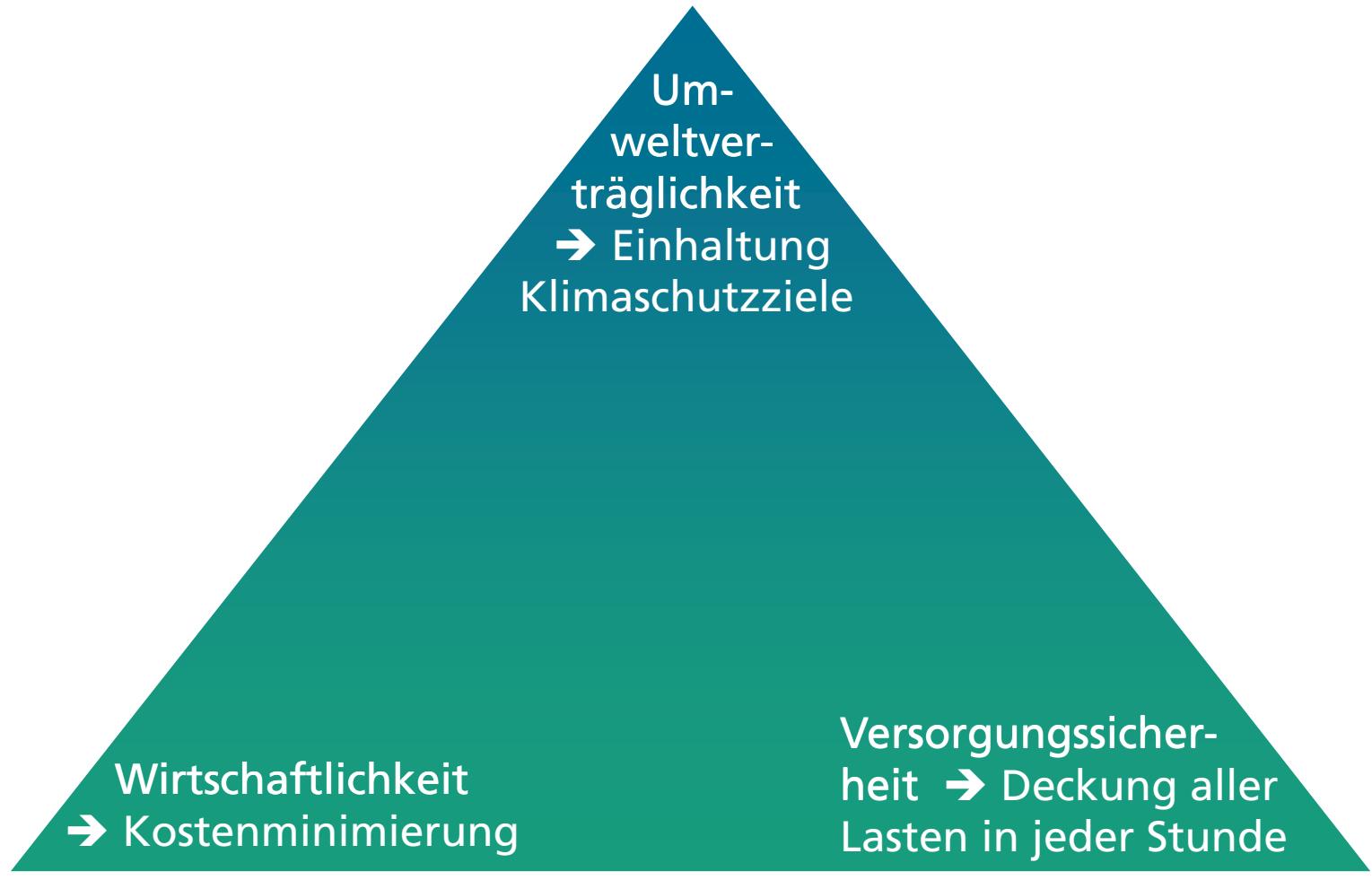
Erstes streng Modellbasiertes Werkzeug zur Simulation und Optimierung der Entwicklungspfade nationaler Energiesysteme unter Einbeziehung aller Verbrauchssektoren und Energieträger und von deren Wechselwirkungen



Methodisches Vorgehen 1/2



Energiepolitisches Zieldreieck

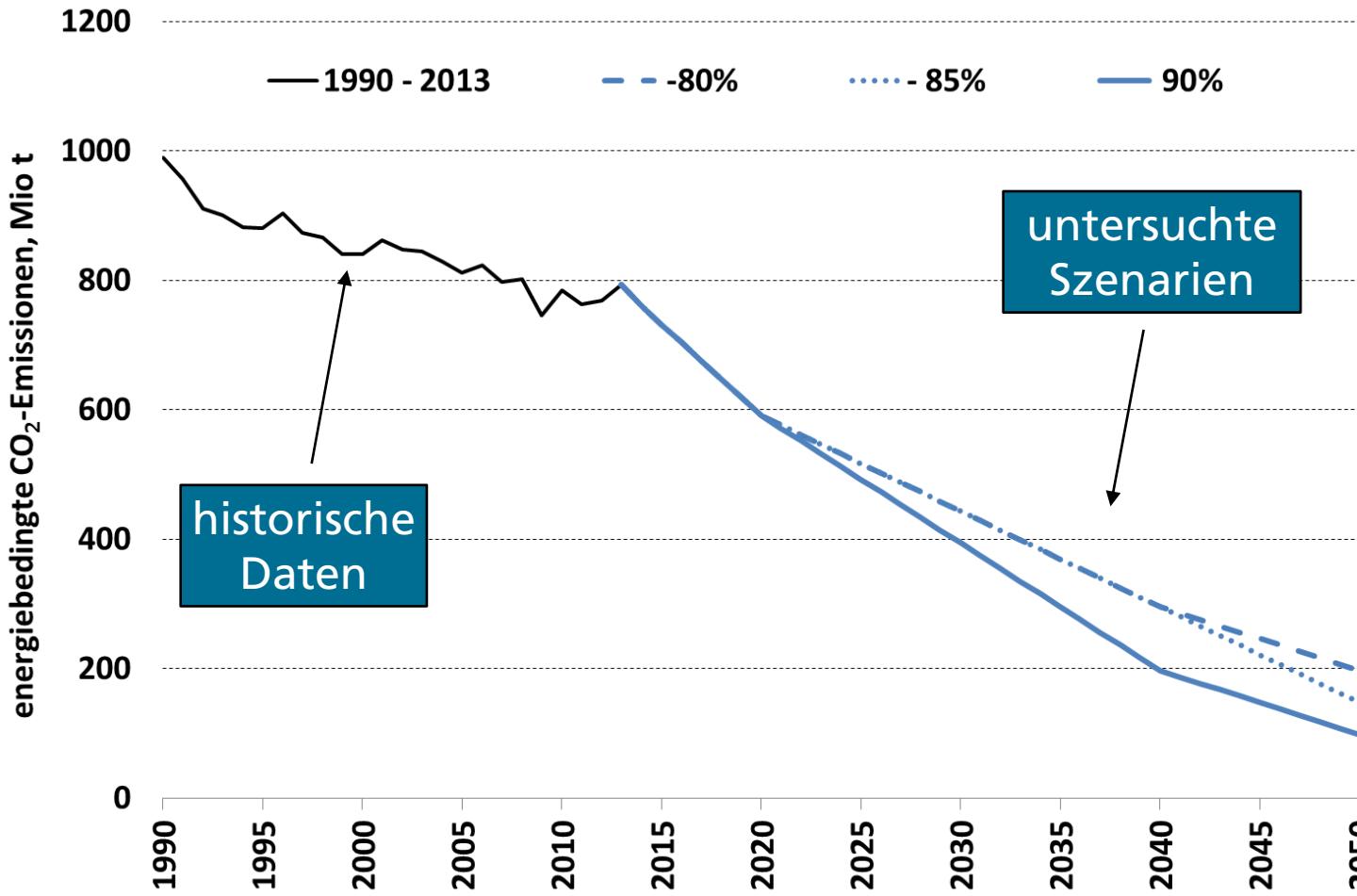


Übersicht

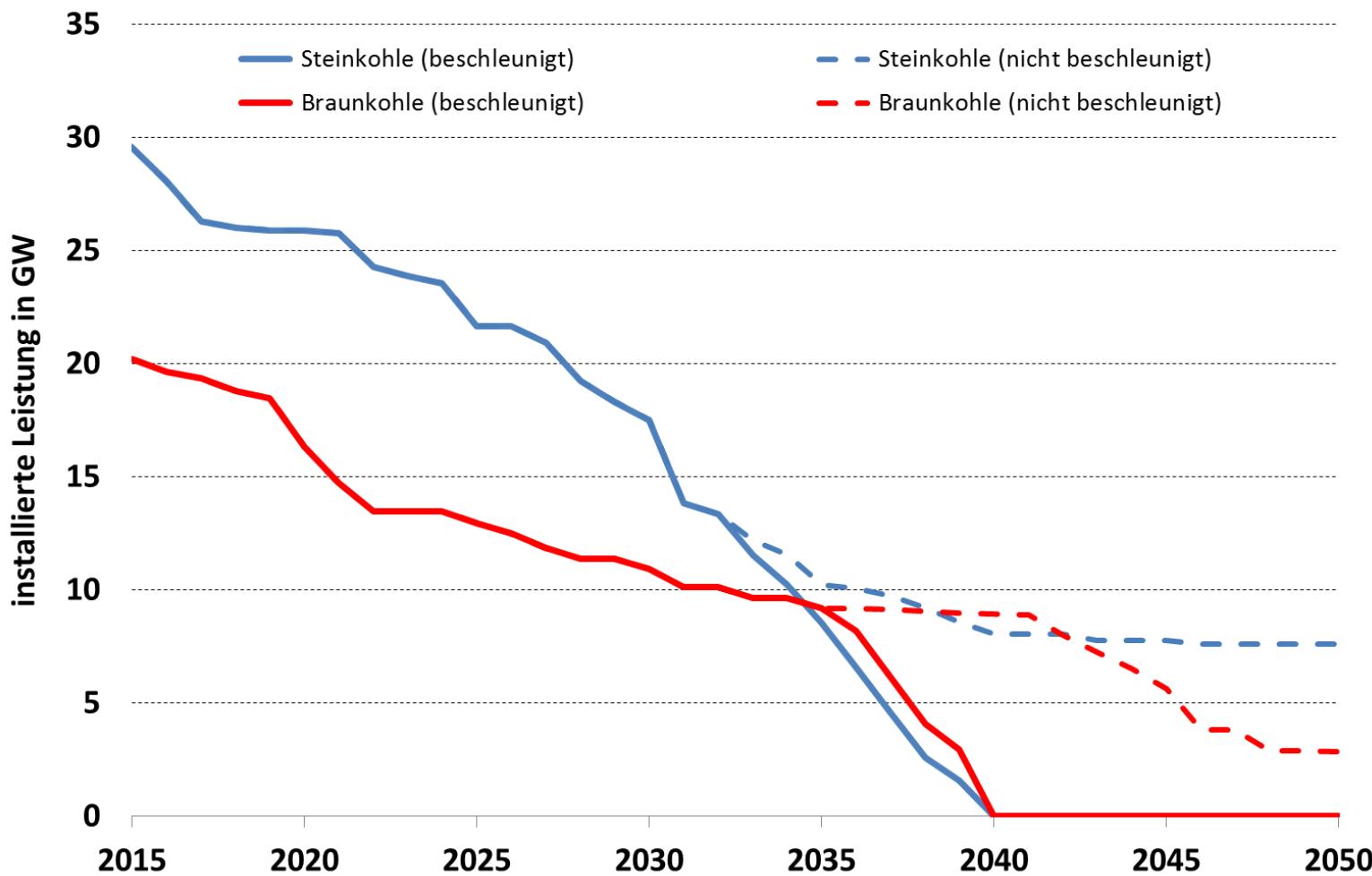
- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- **Ausgewählte Szenarien**
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Zielwerte energie-bedingter CO₂-Emissionen

Deutschland



Ausstieg Kohleverstromung Deutschland

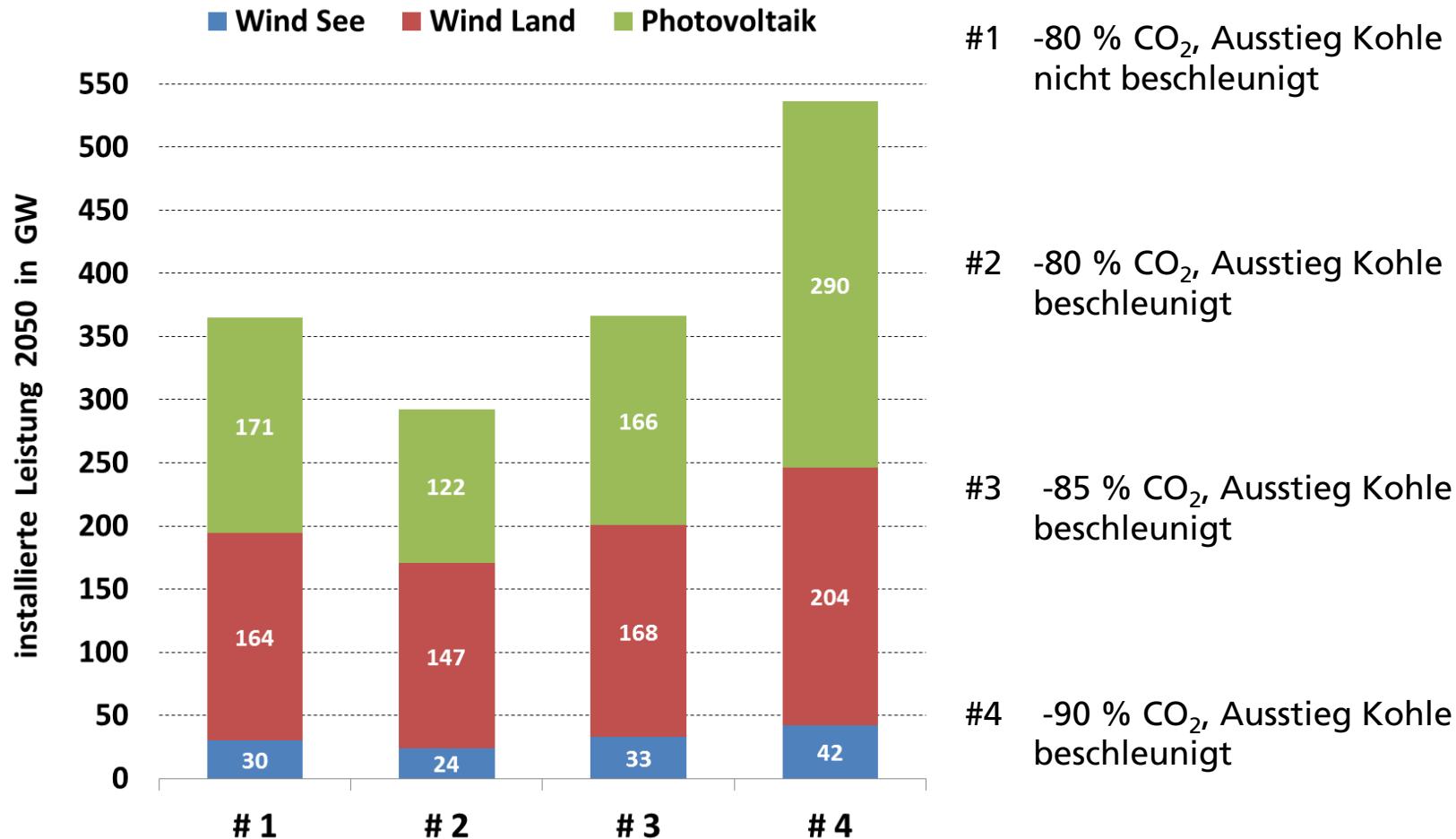


Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- **Ergebnisse**
- Zusammenfassung

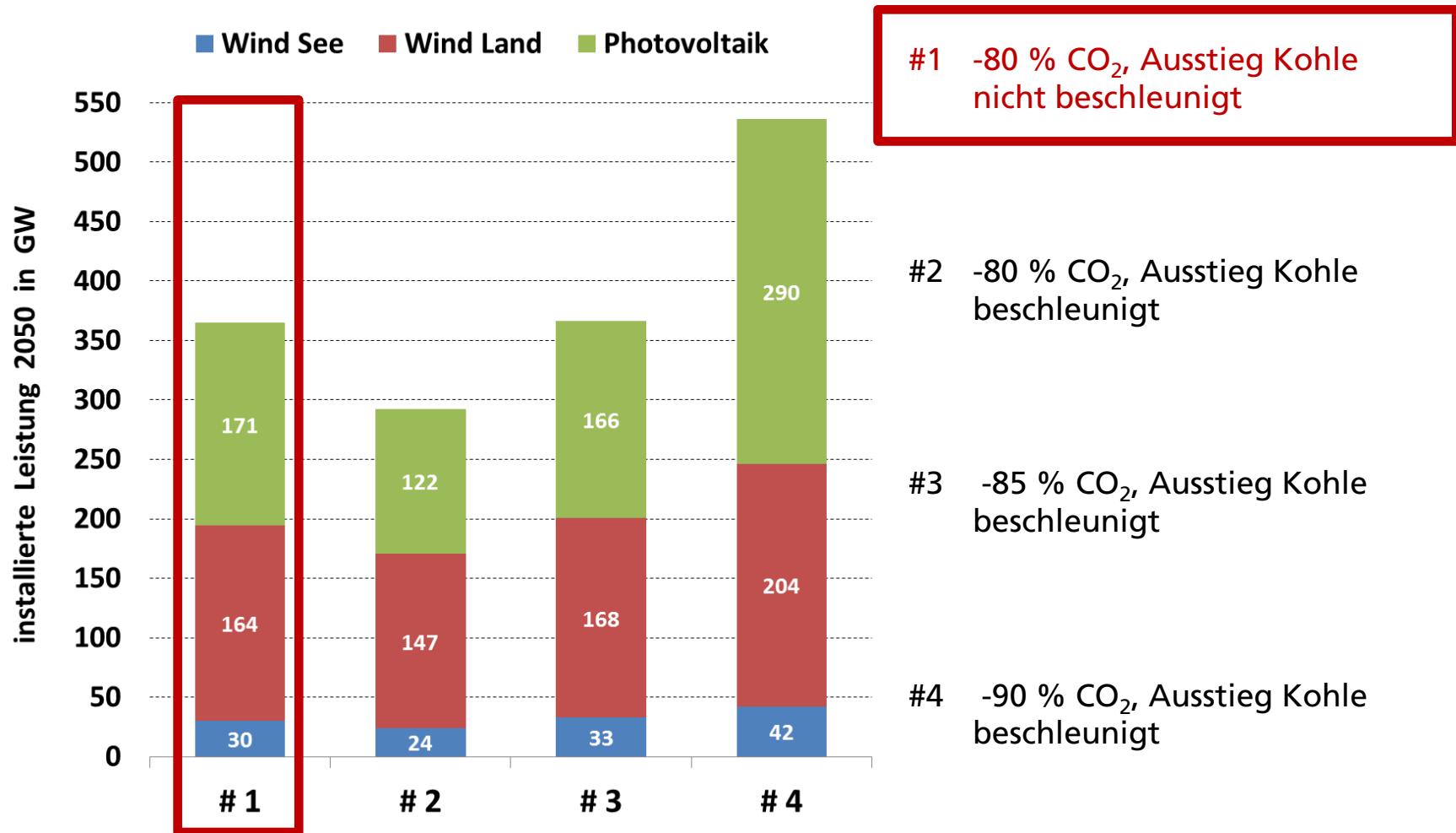
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



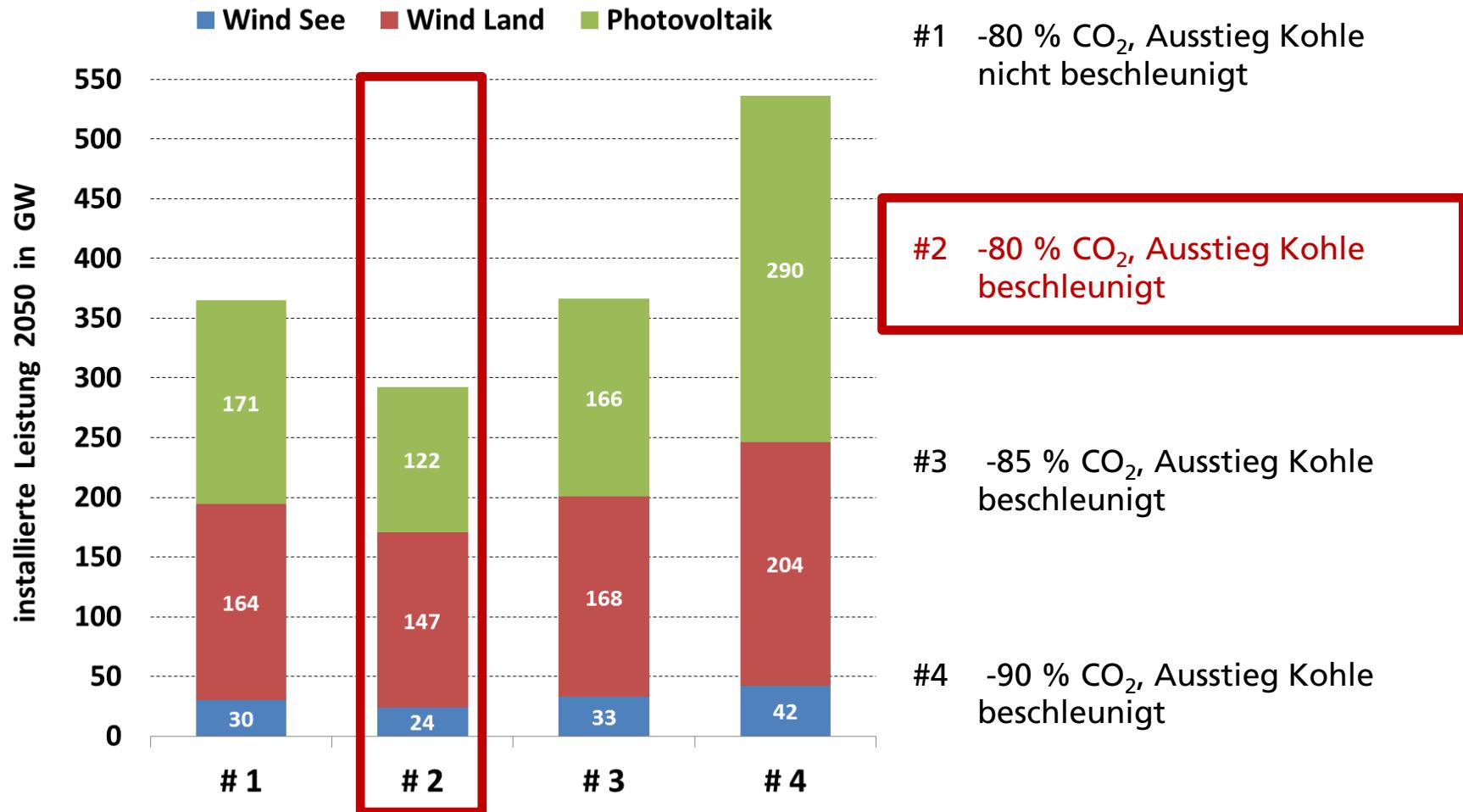
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



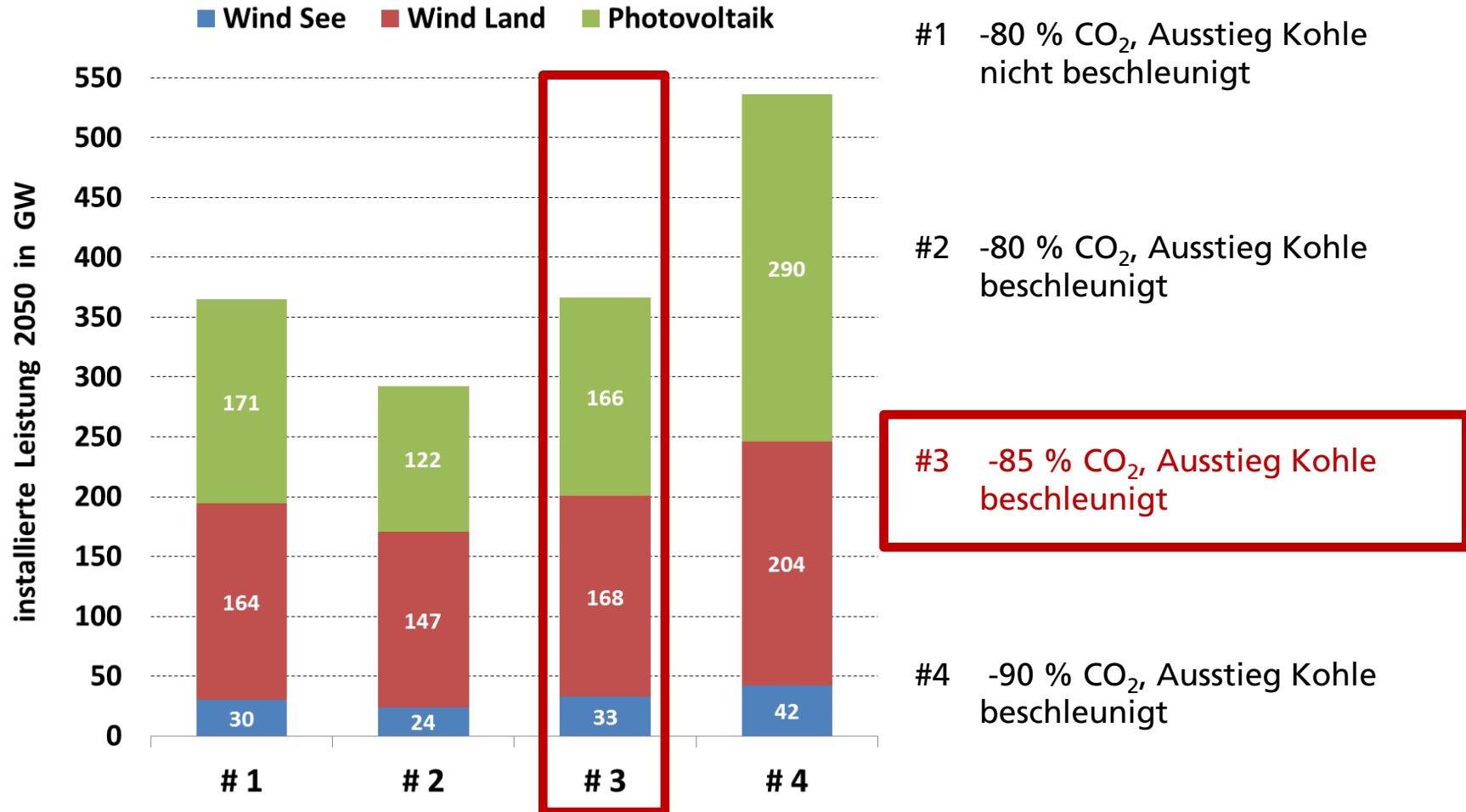
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



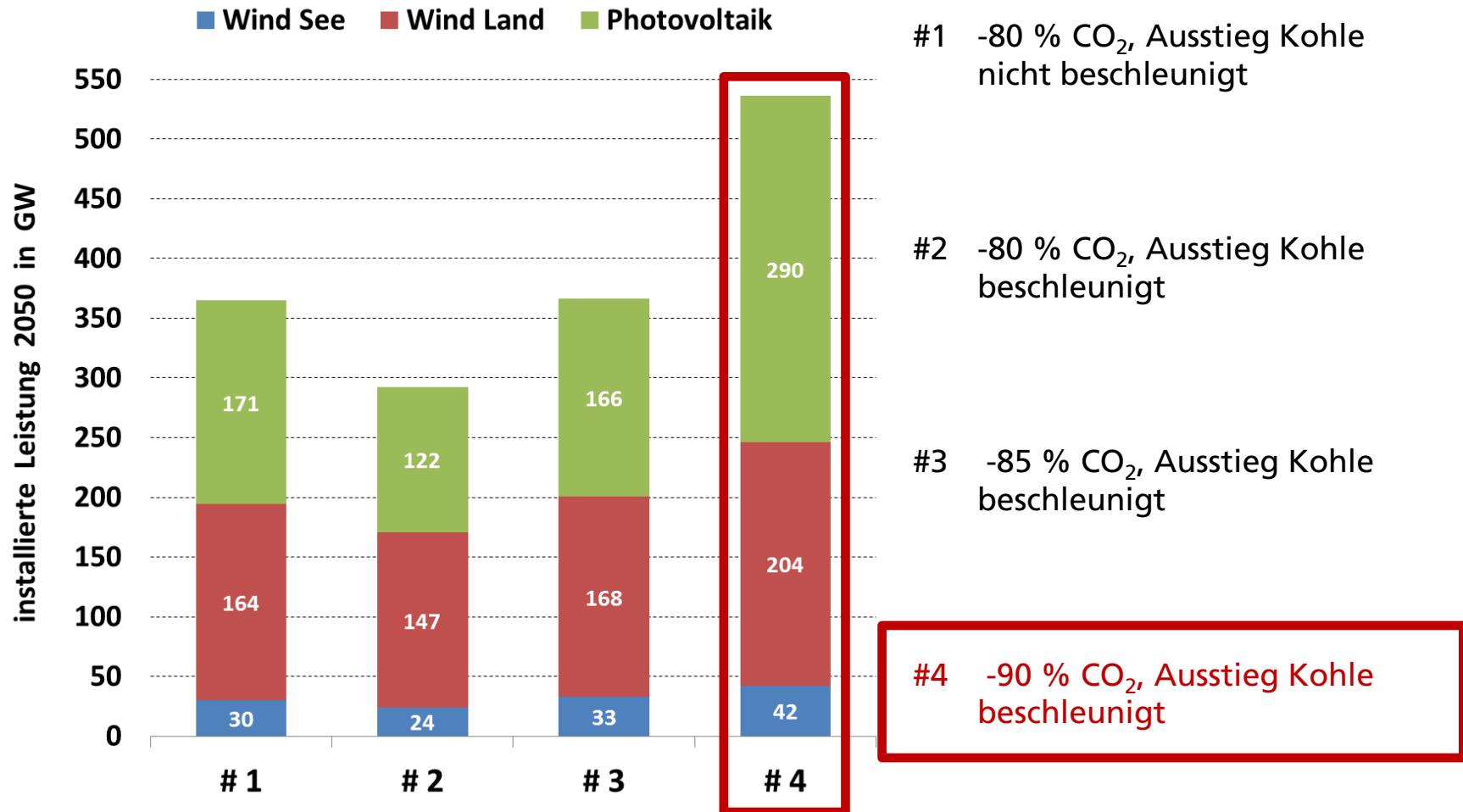
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



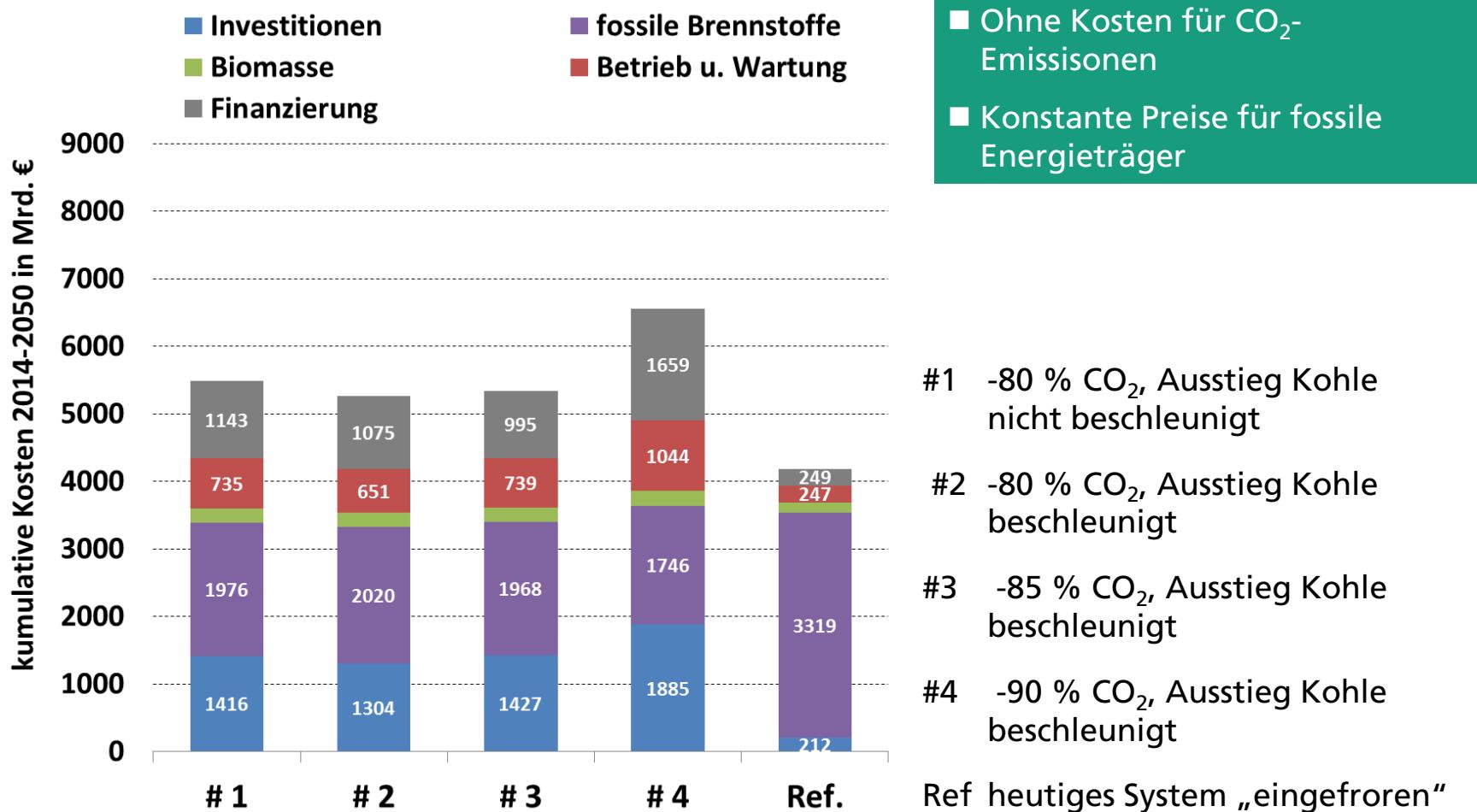
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



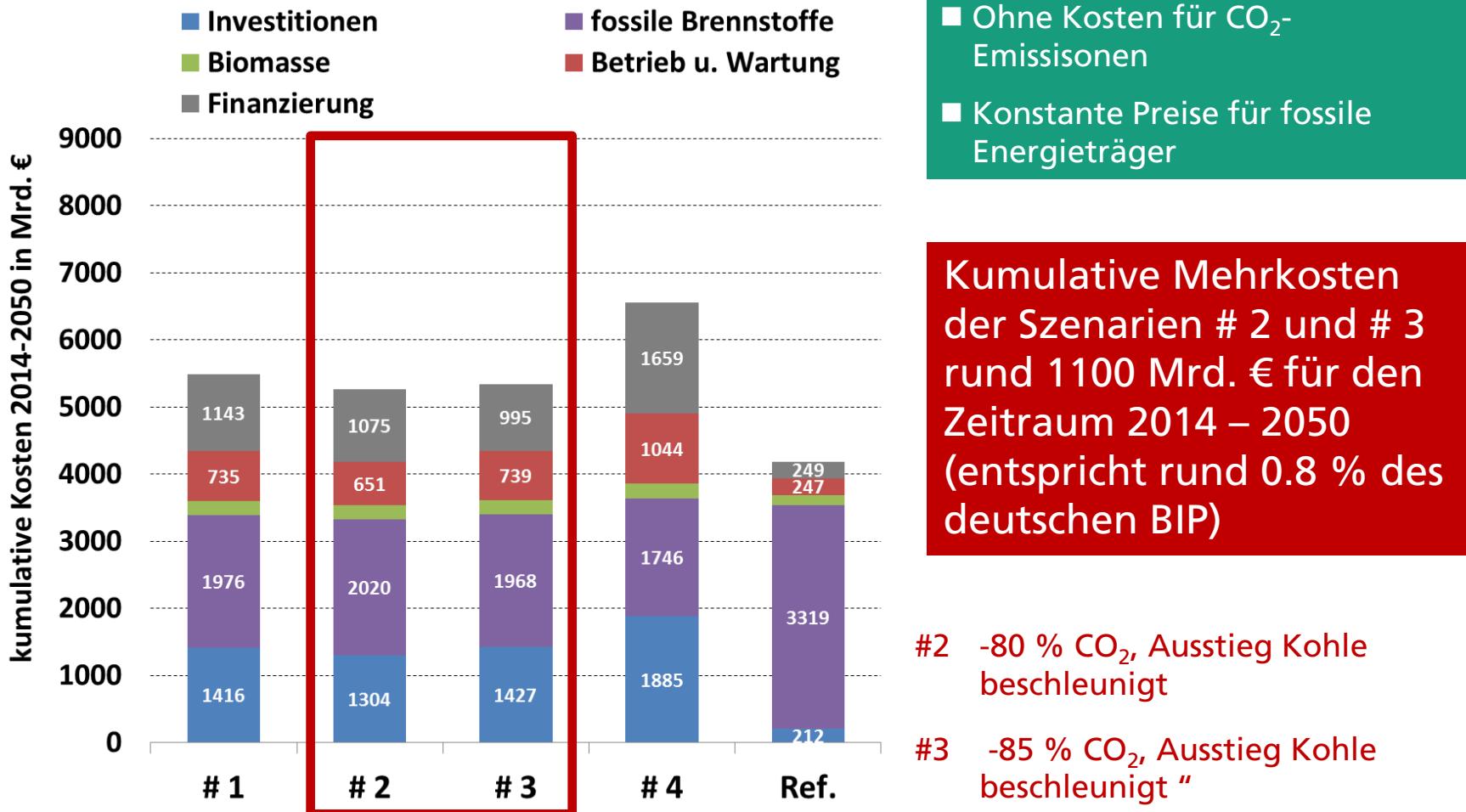
Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



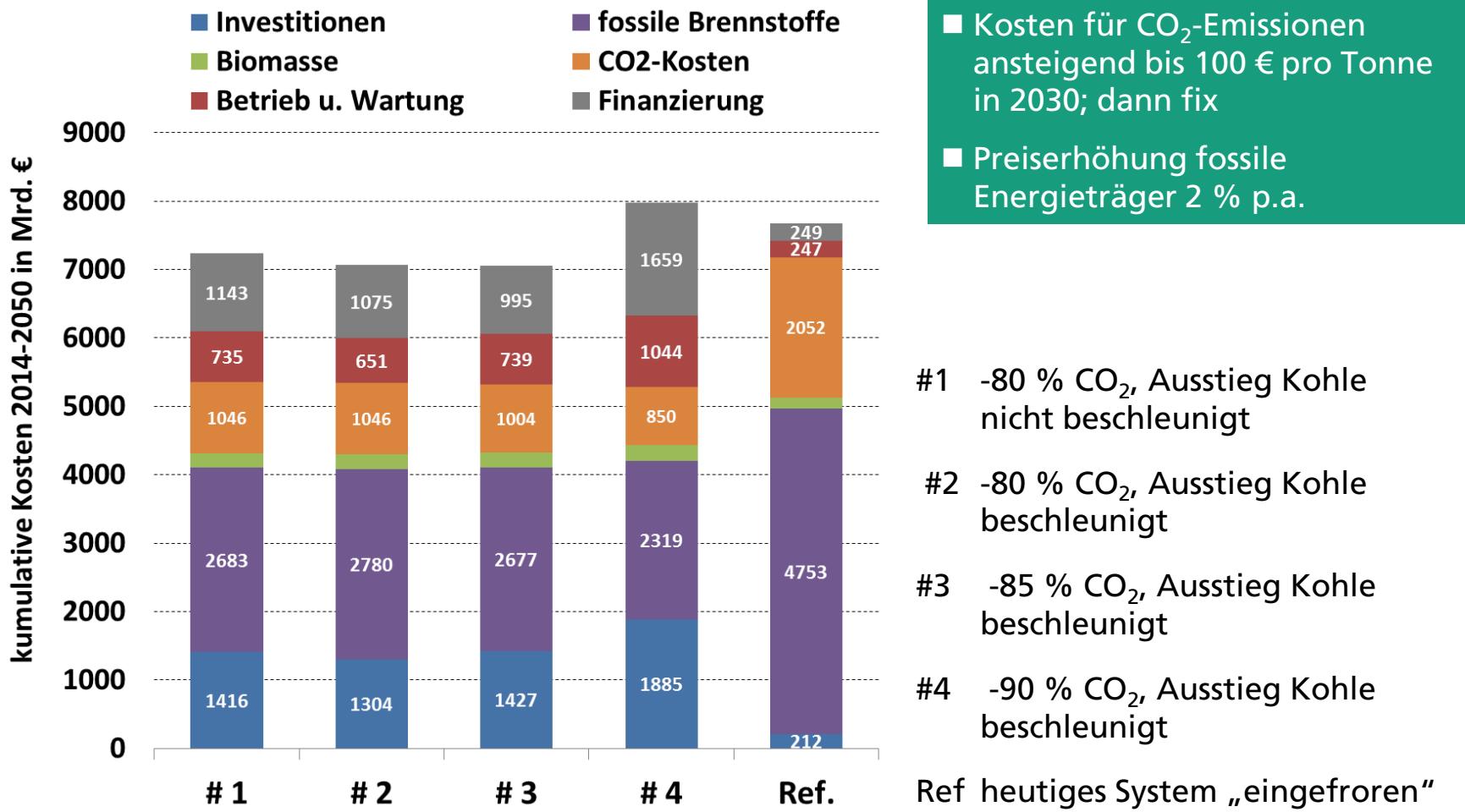
Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



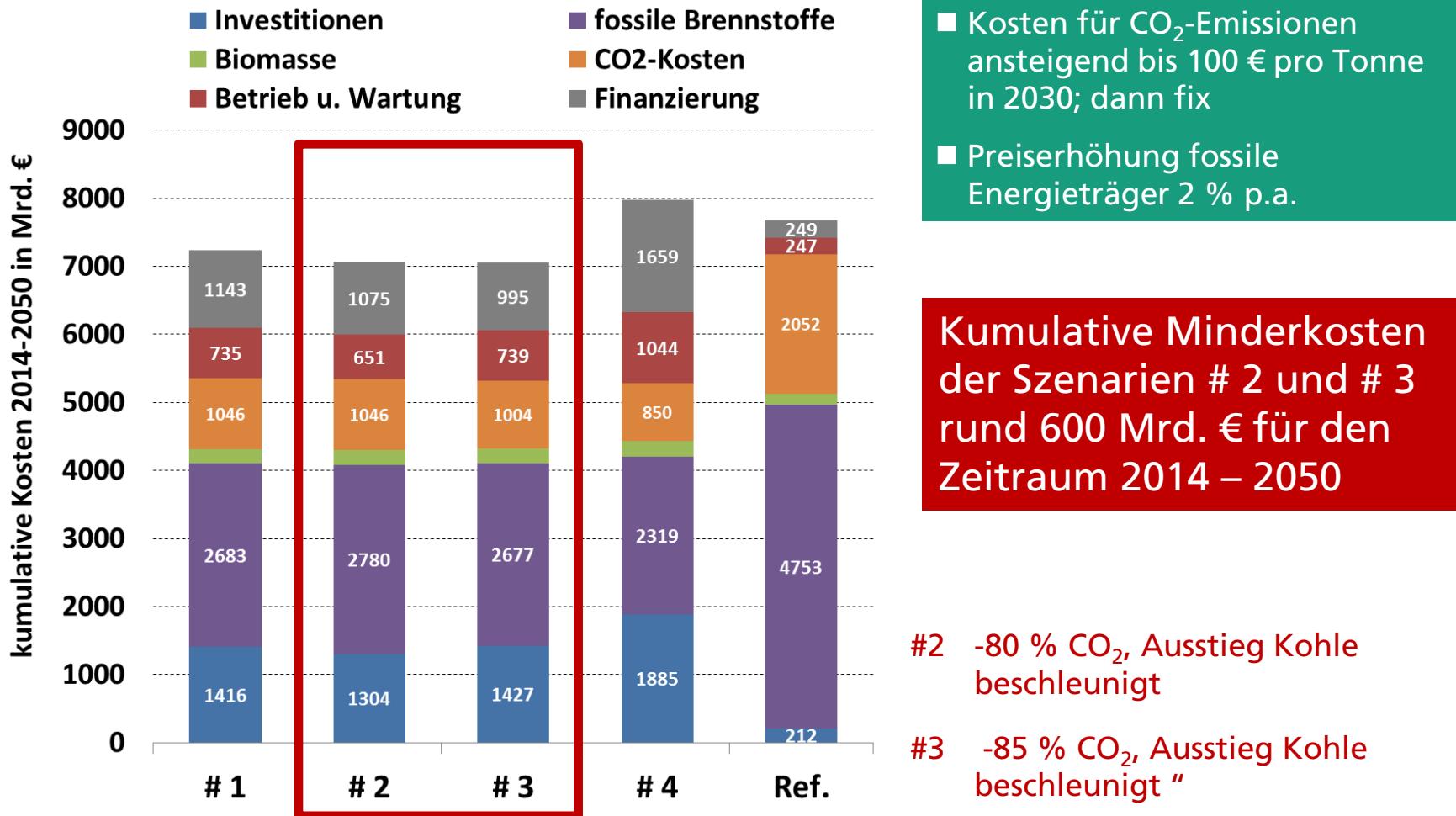
Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



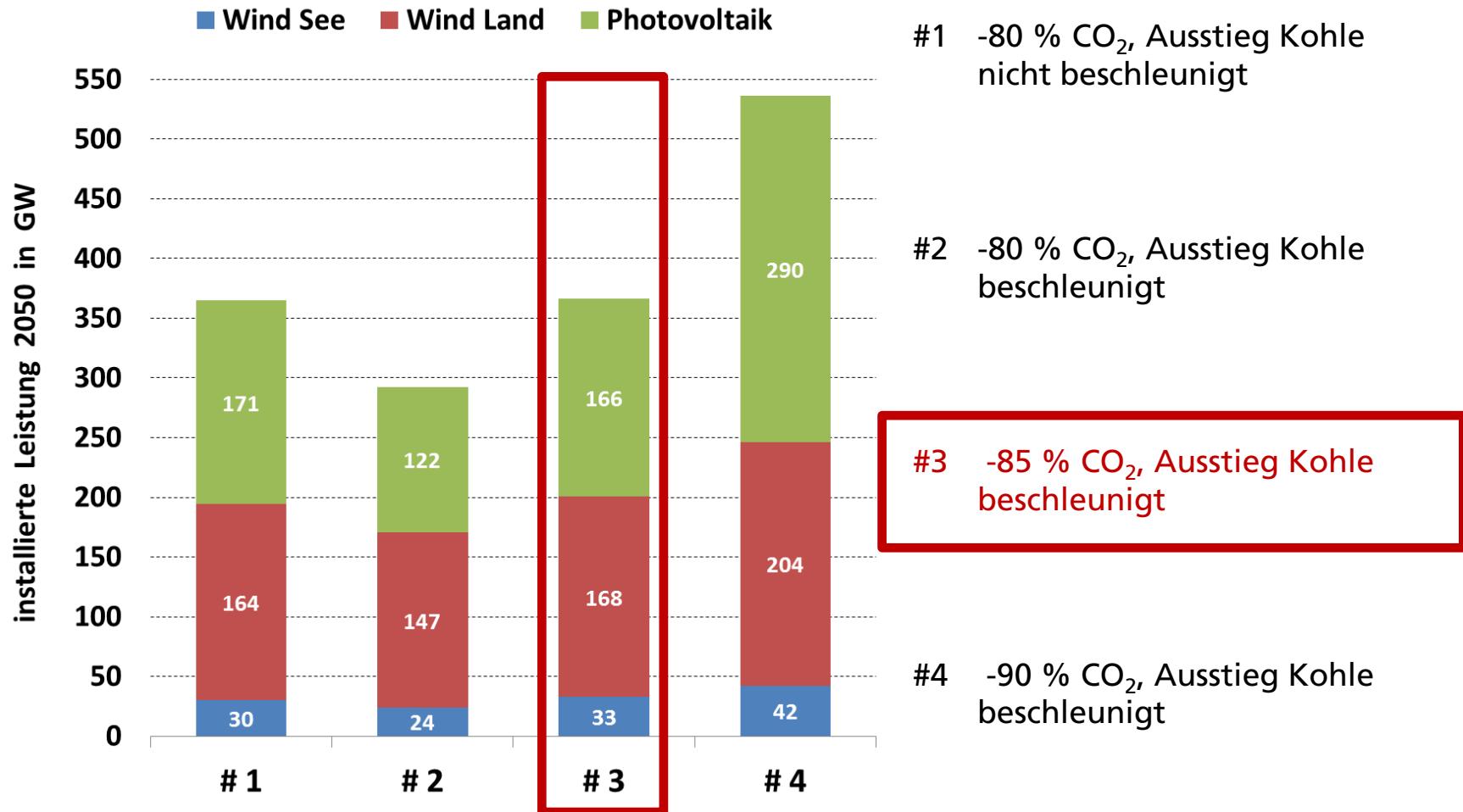
Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich

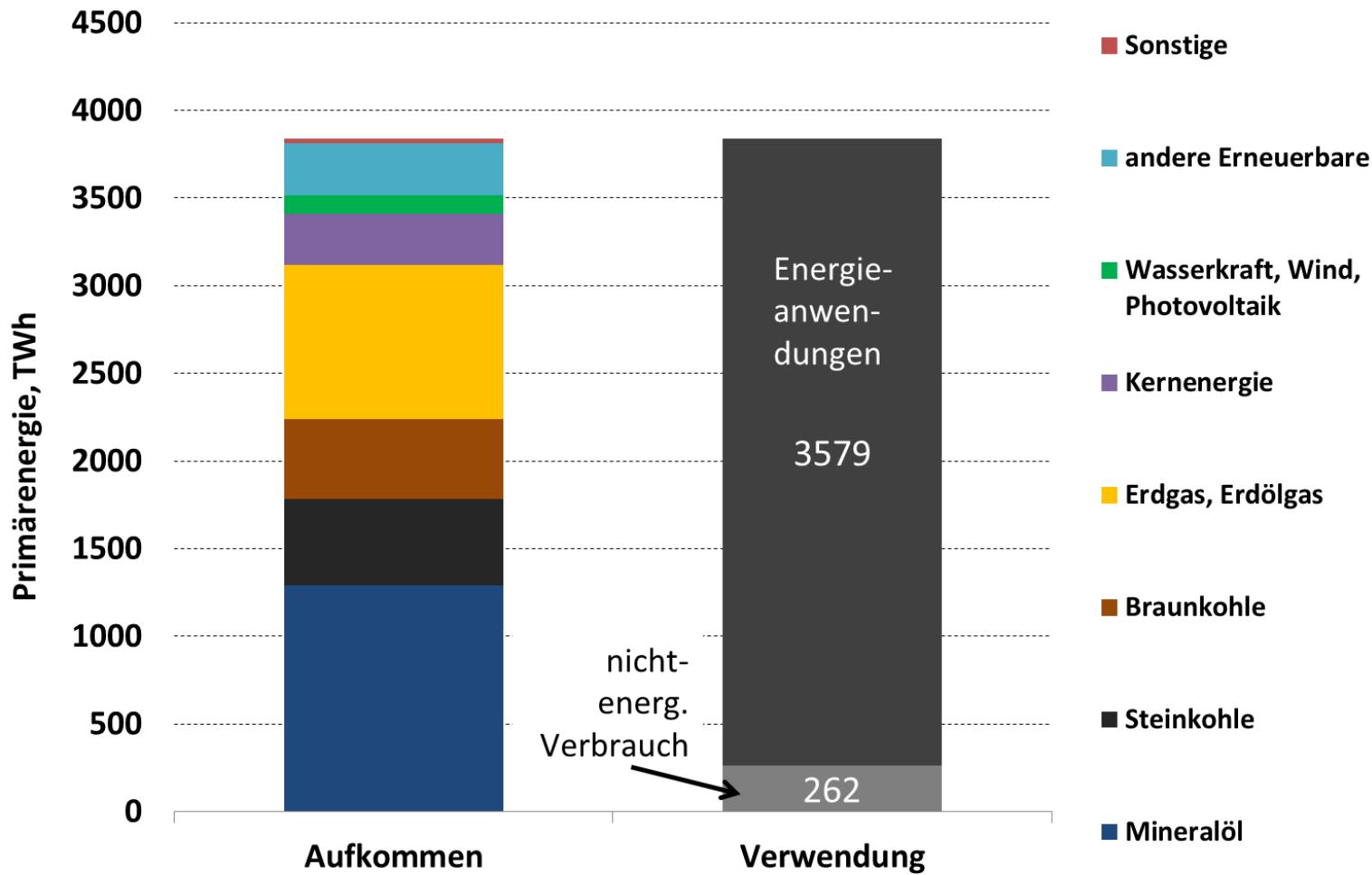


Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050

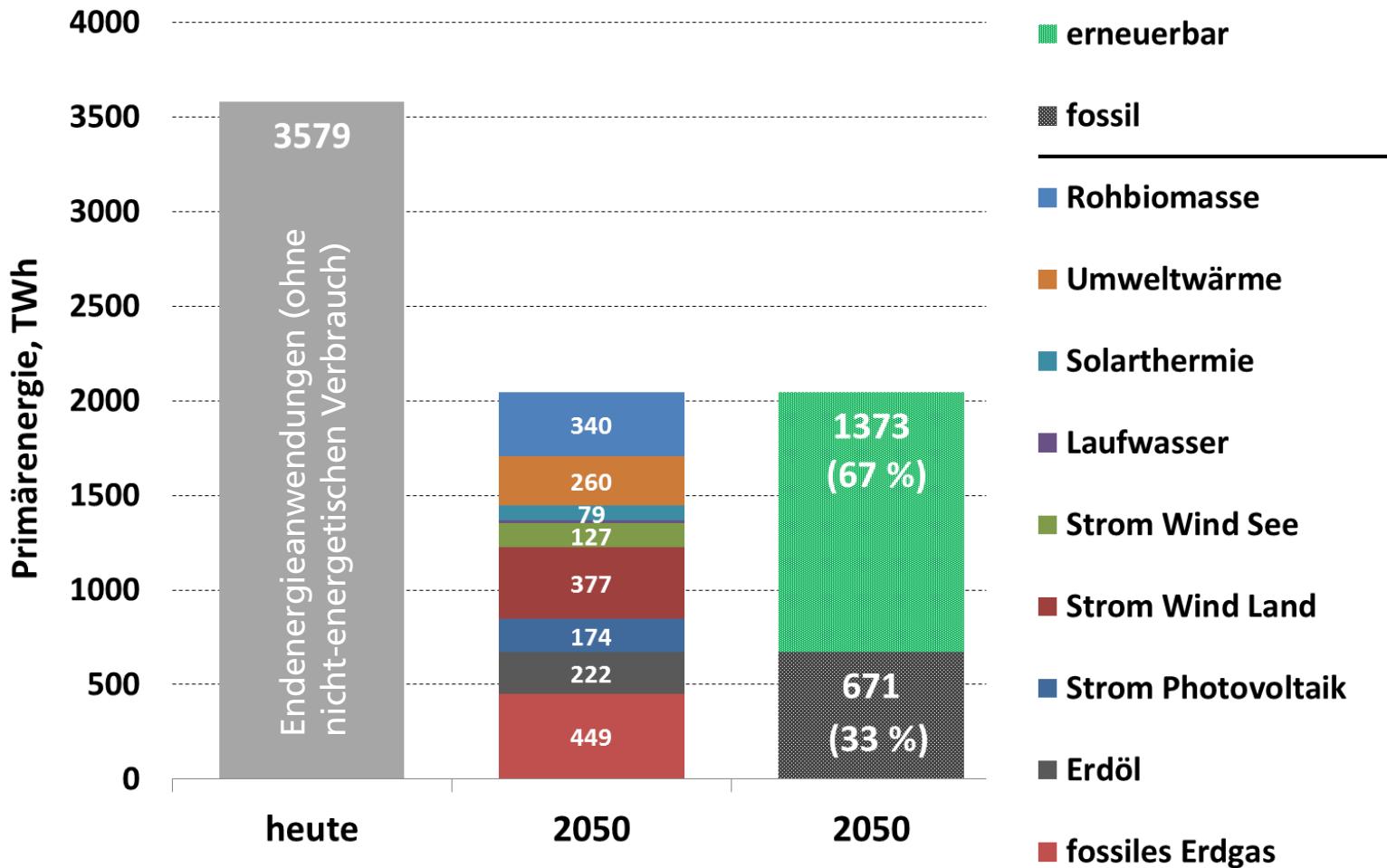


Primärenergie 2013

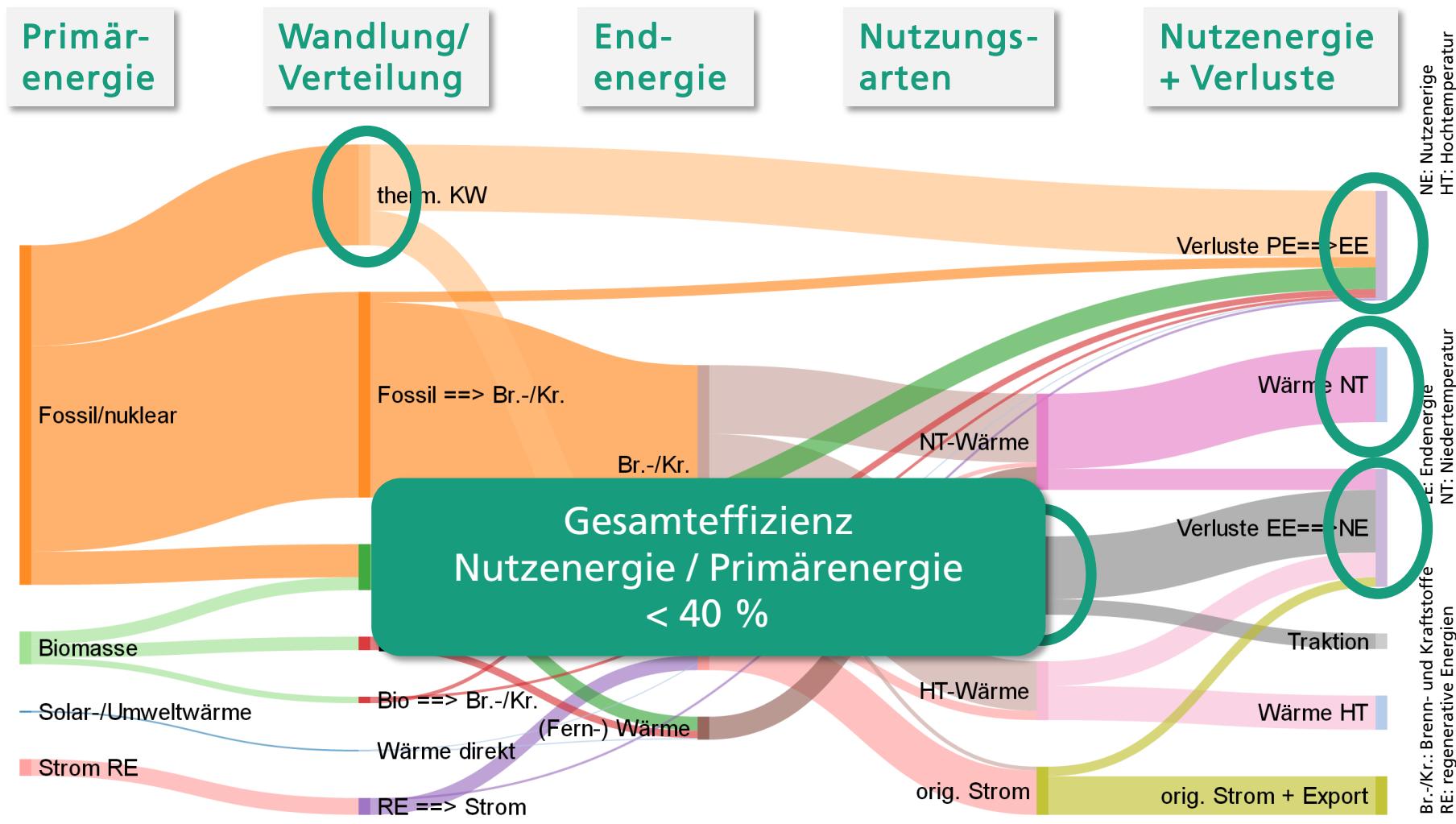


Primärenergie 2050

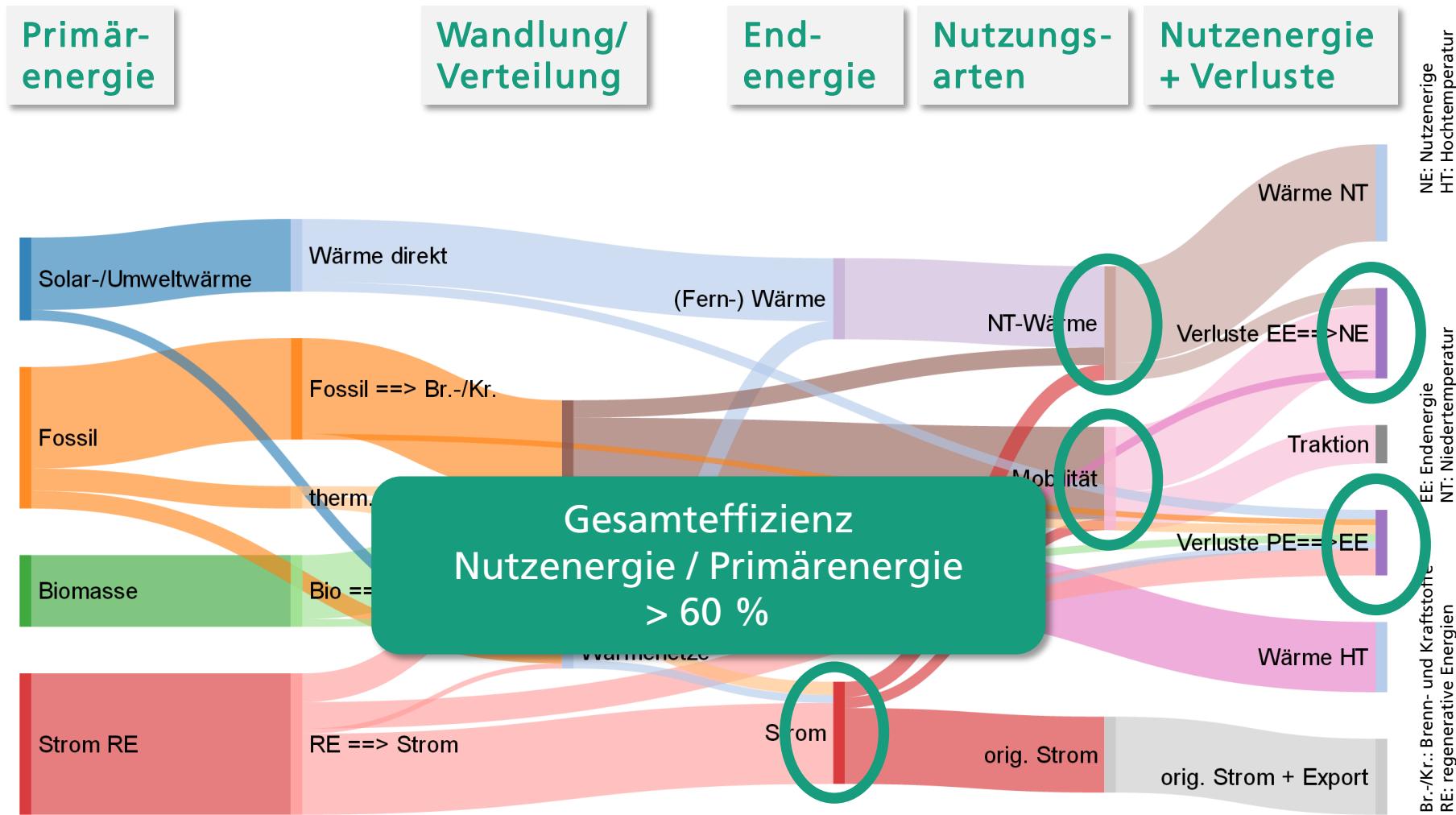
- 85 % - Szenario



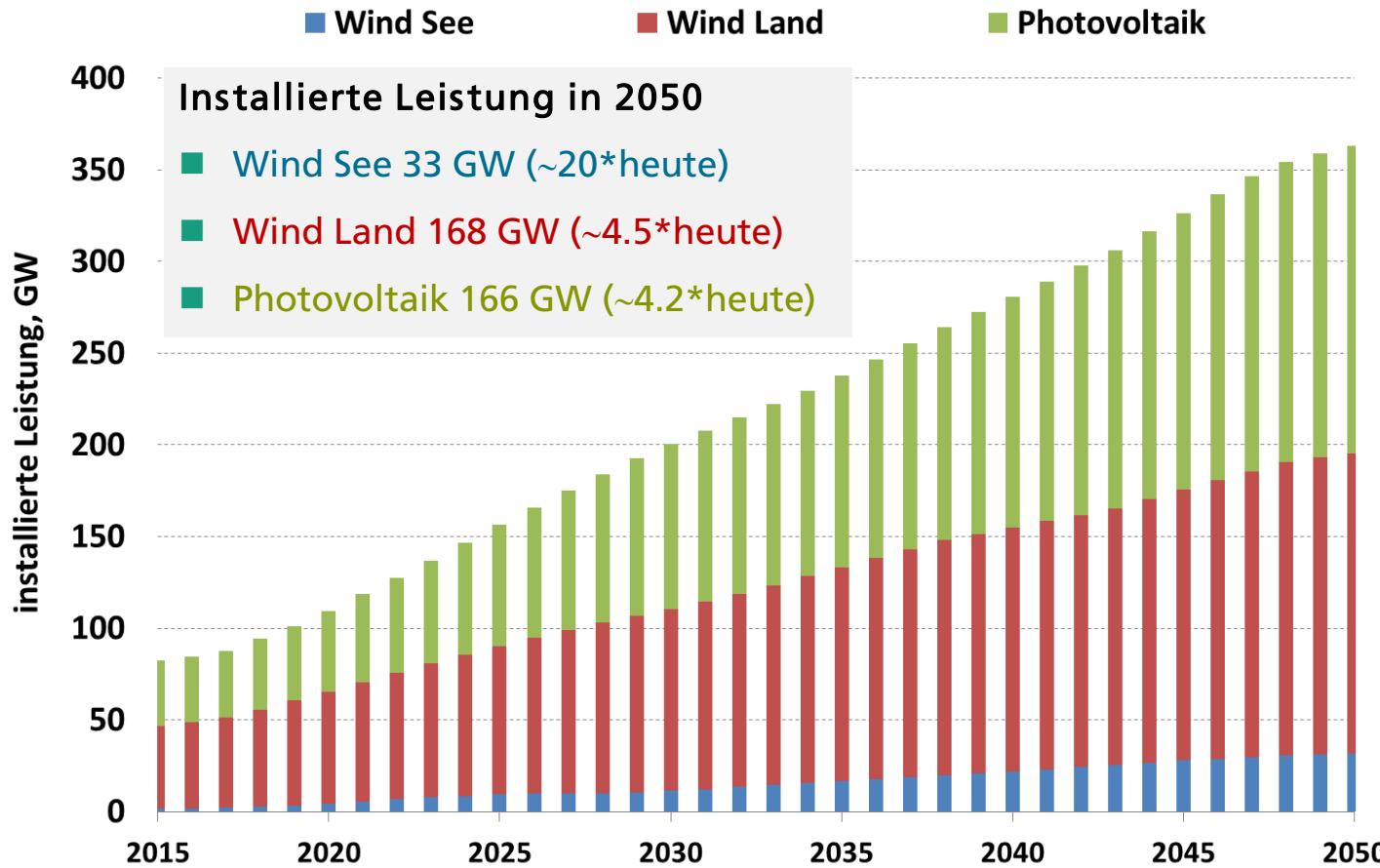
Energiefluss im dt. Energiesystem 2013 (vereinfacht)



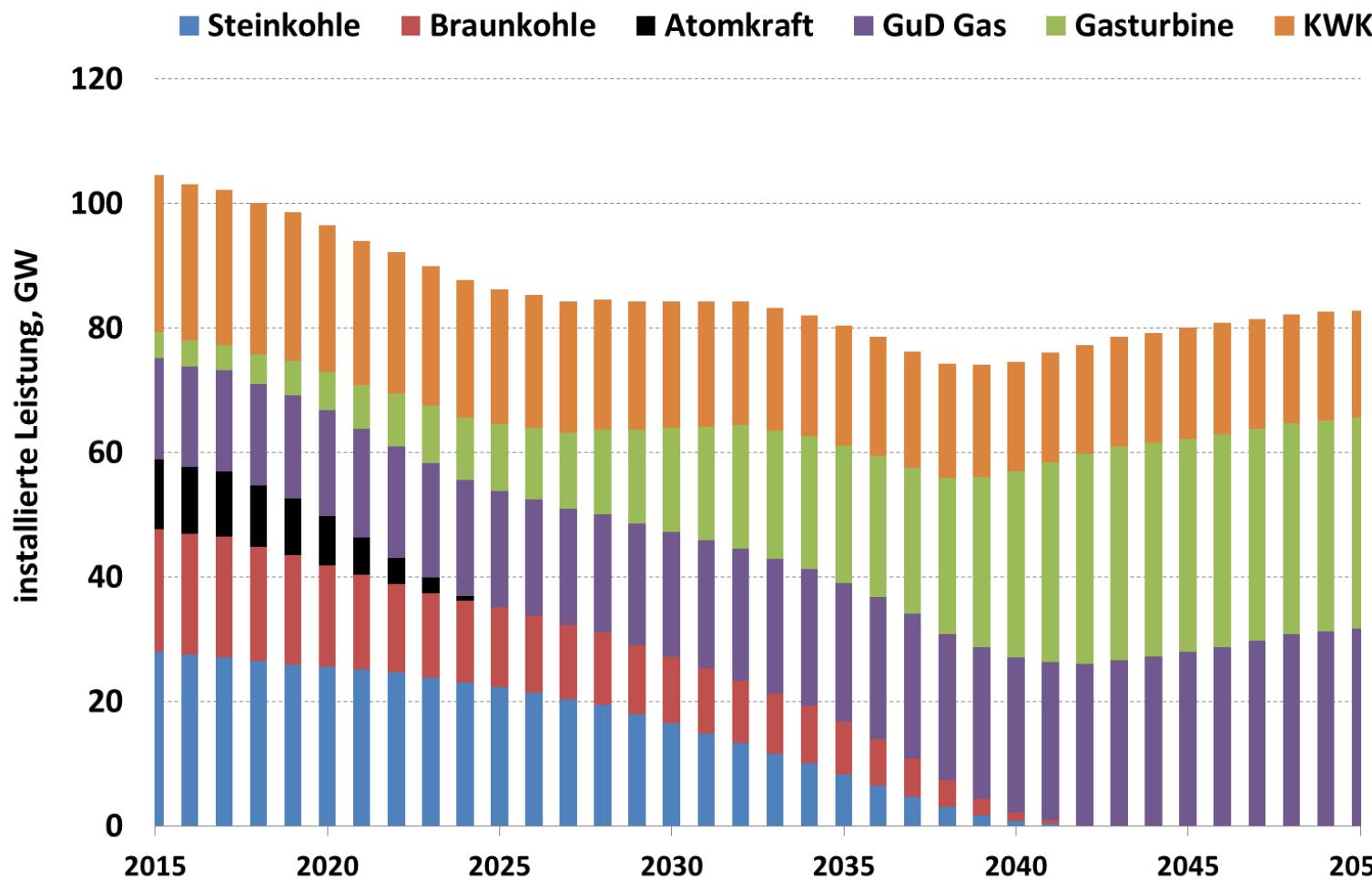
Energiefluss Energiesystem 2050 (-85-%-Szenario)



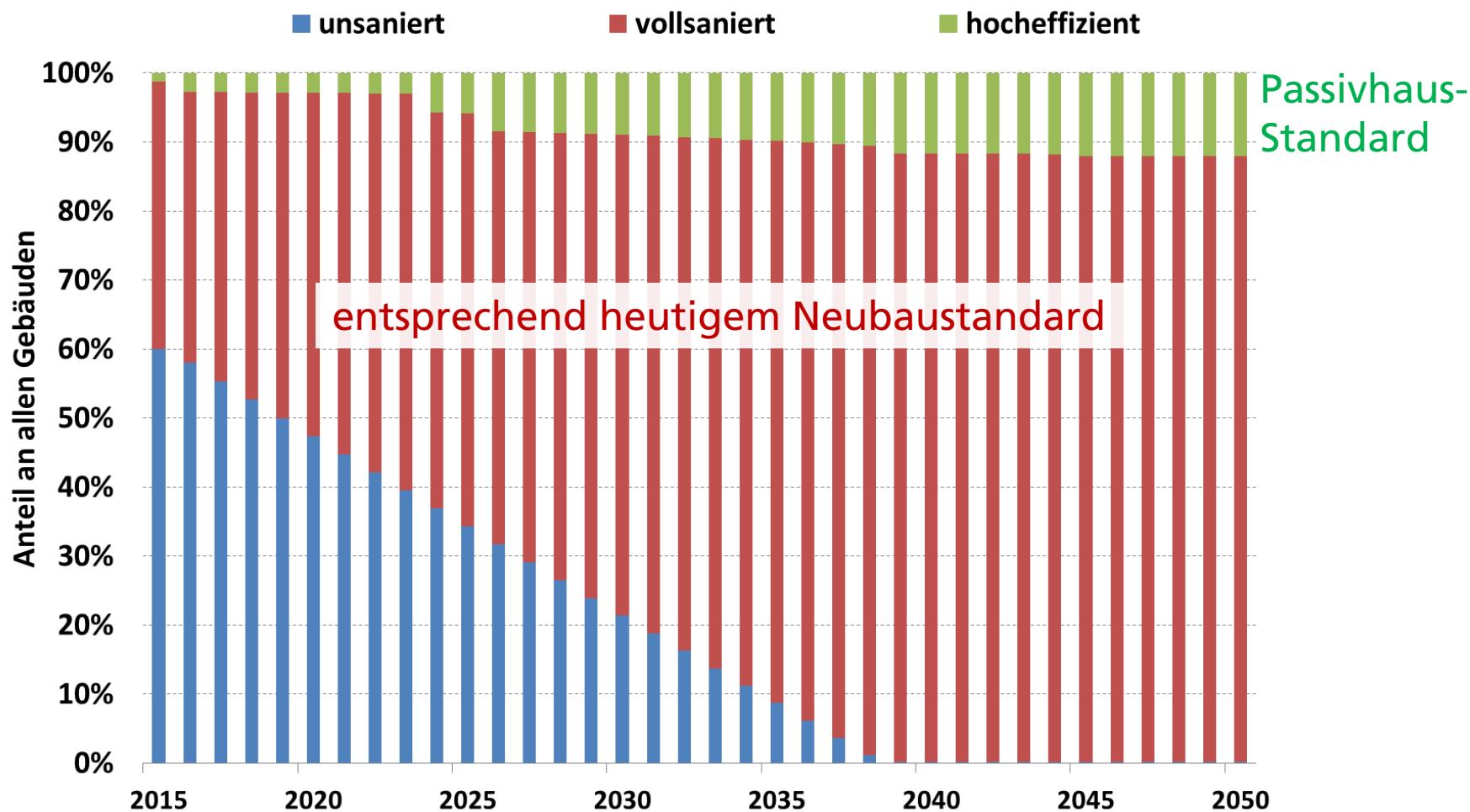
Entwicklung fluktuierende erneuerbare Energien – 85-%-Szenario



Entwicklung thermische Kraftwerke und KWK – 85-%-Szenario

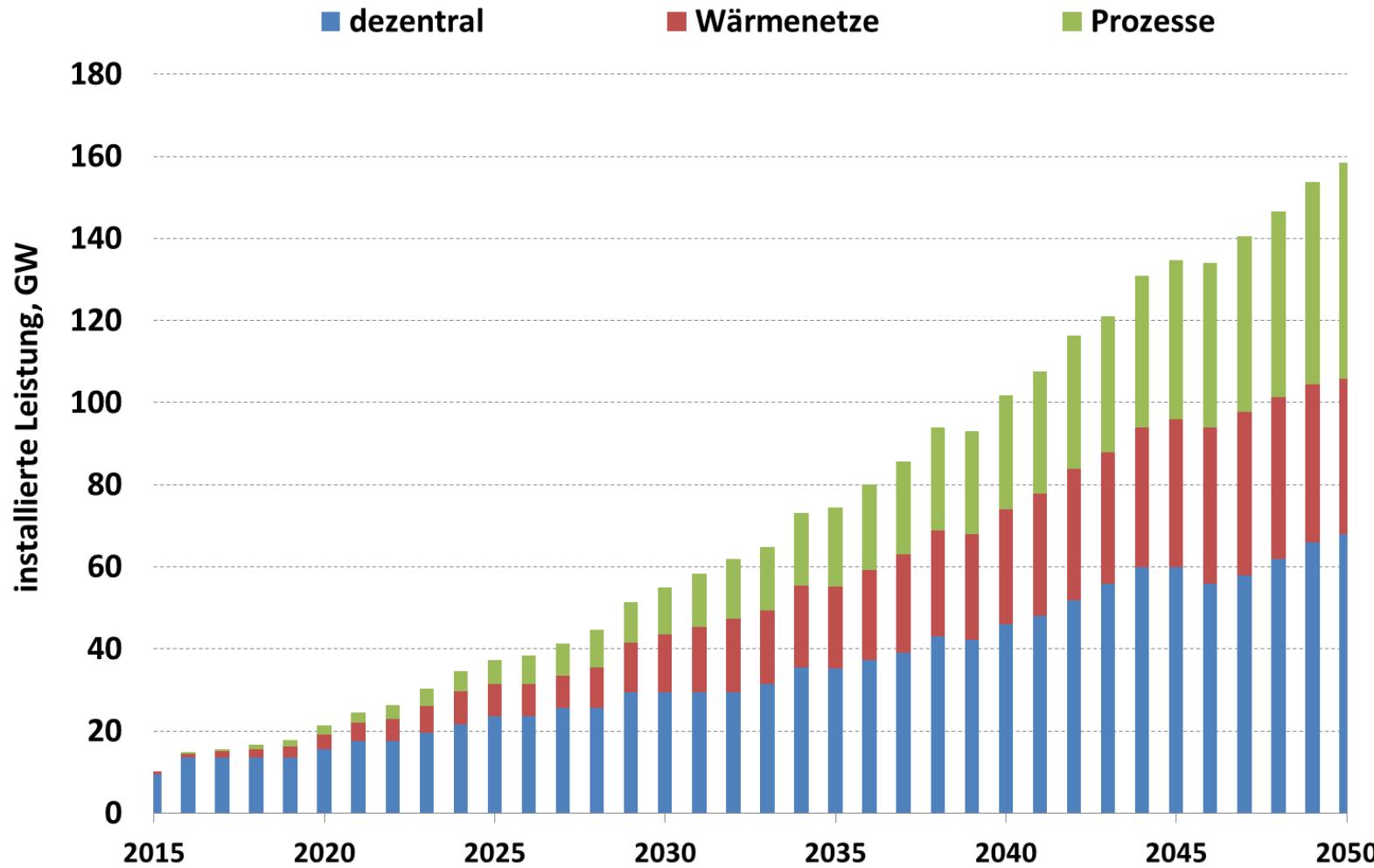


Entwicklung Gebäude – 85-%-Szenario

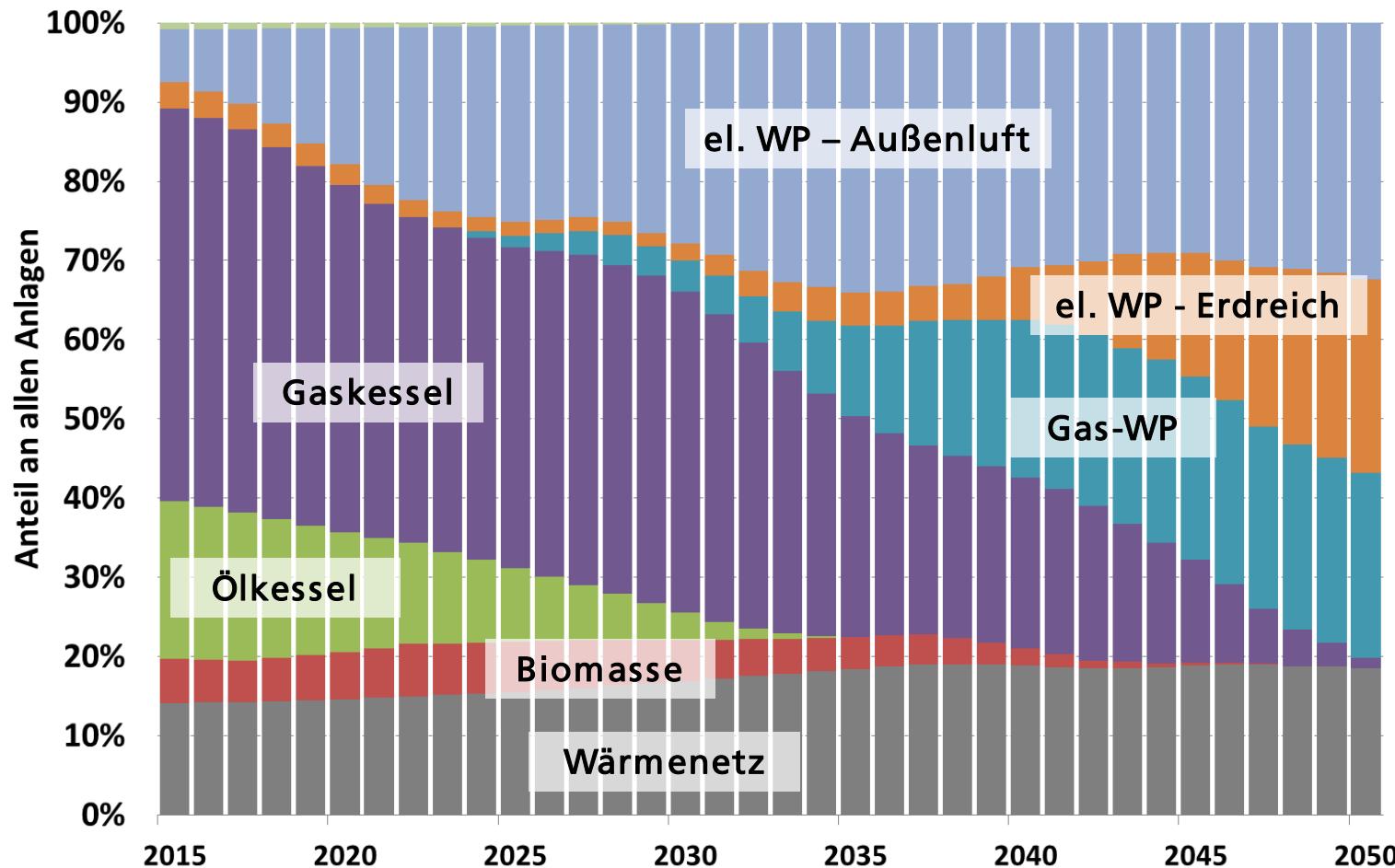


Entwicklung Solarthermie

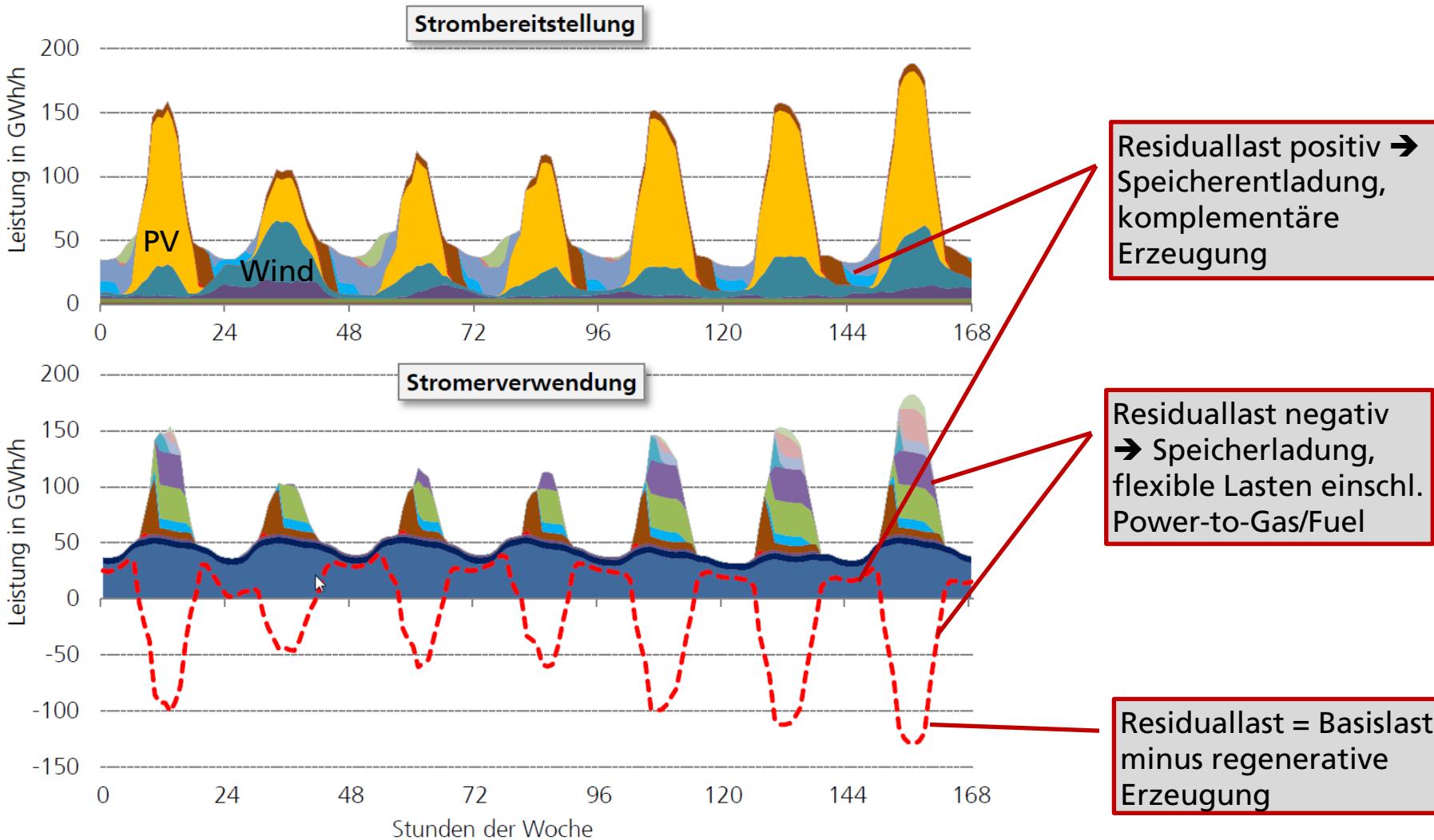
– 85-%-Szenario



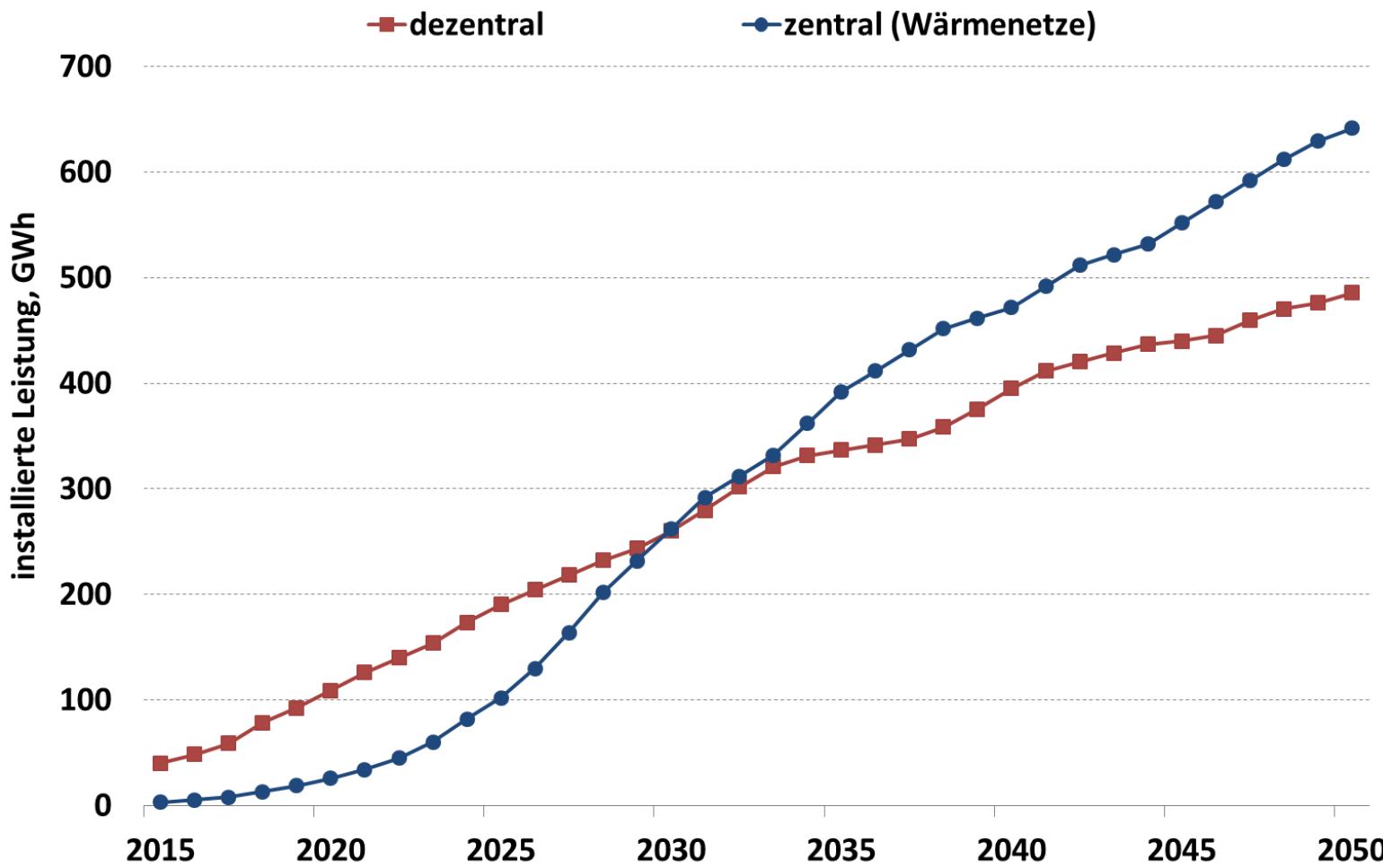
Entwicklung Heizungstechniken – 85-%-Szenario



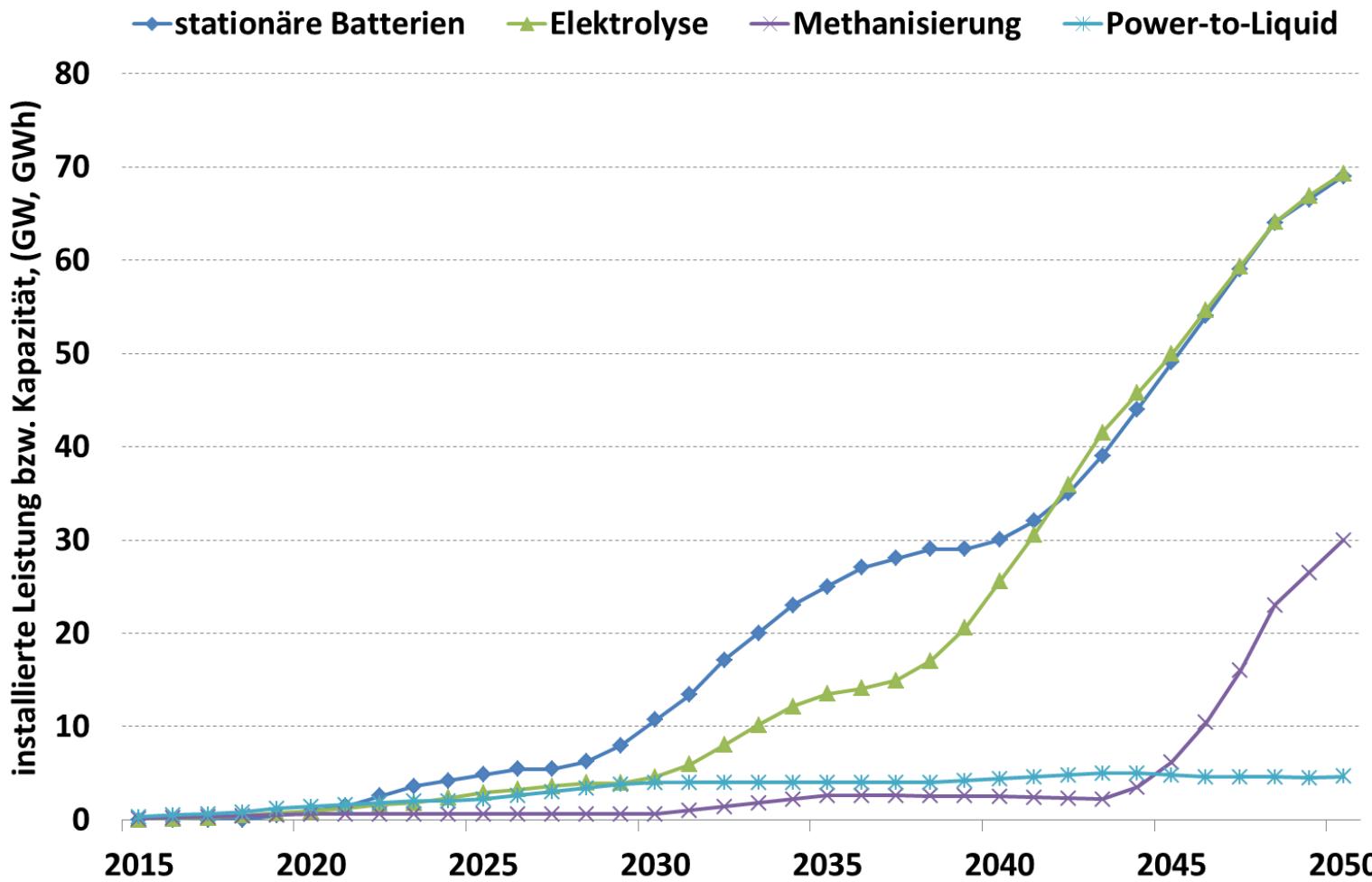
Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050



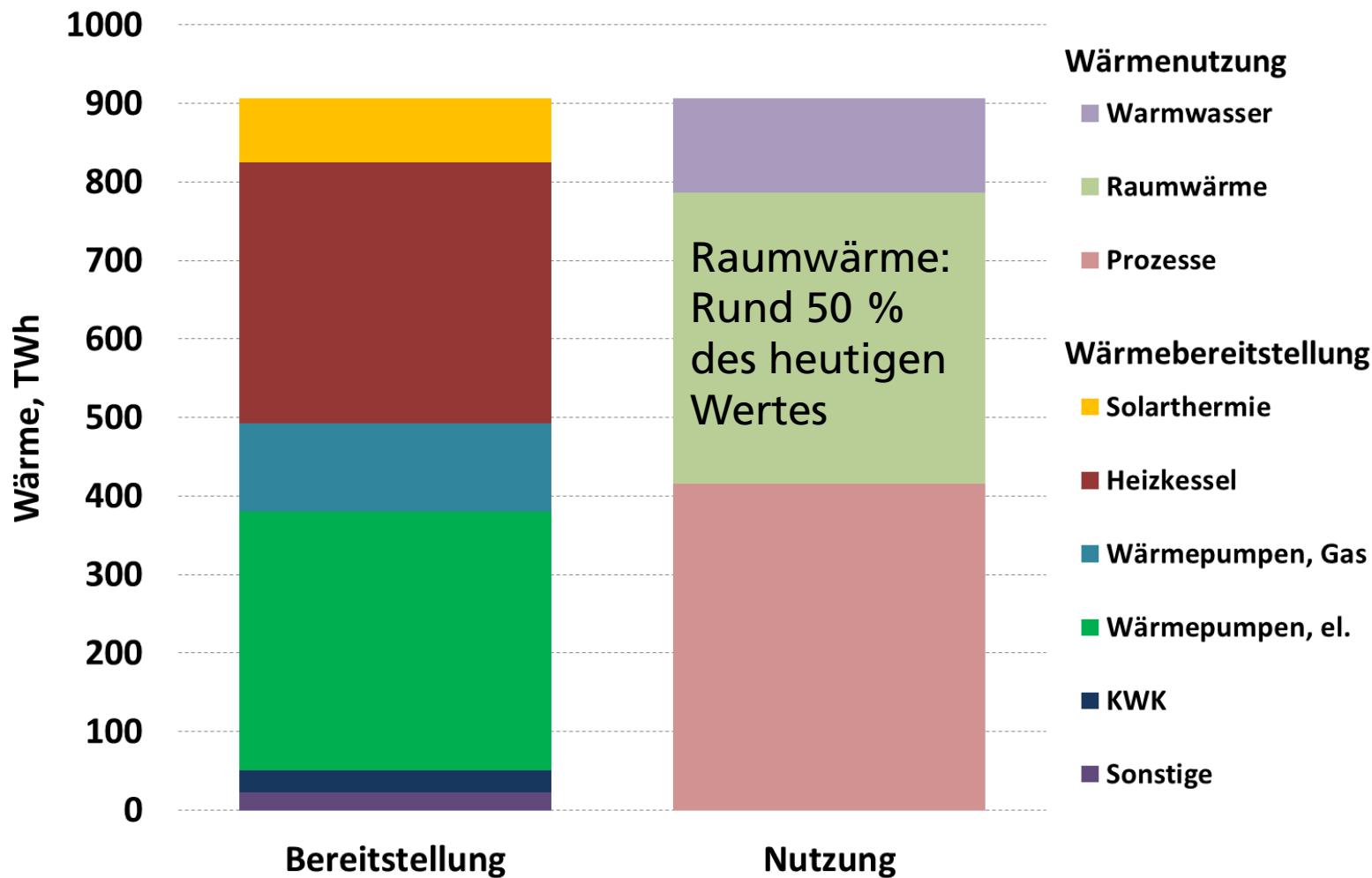
Entwicklung Wärmespeicher – 85-%-Szenario



Stationäre Batterien und synthetische Energieträger – 85-%-Szenario

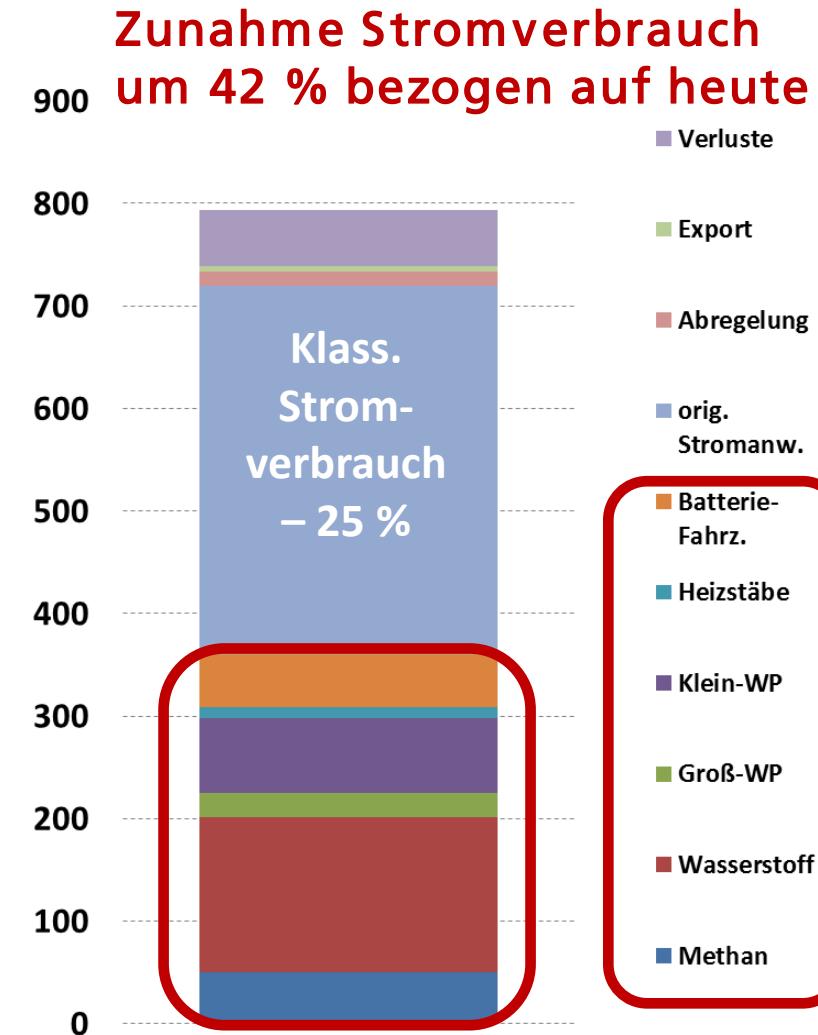
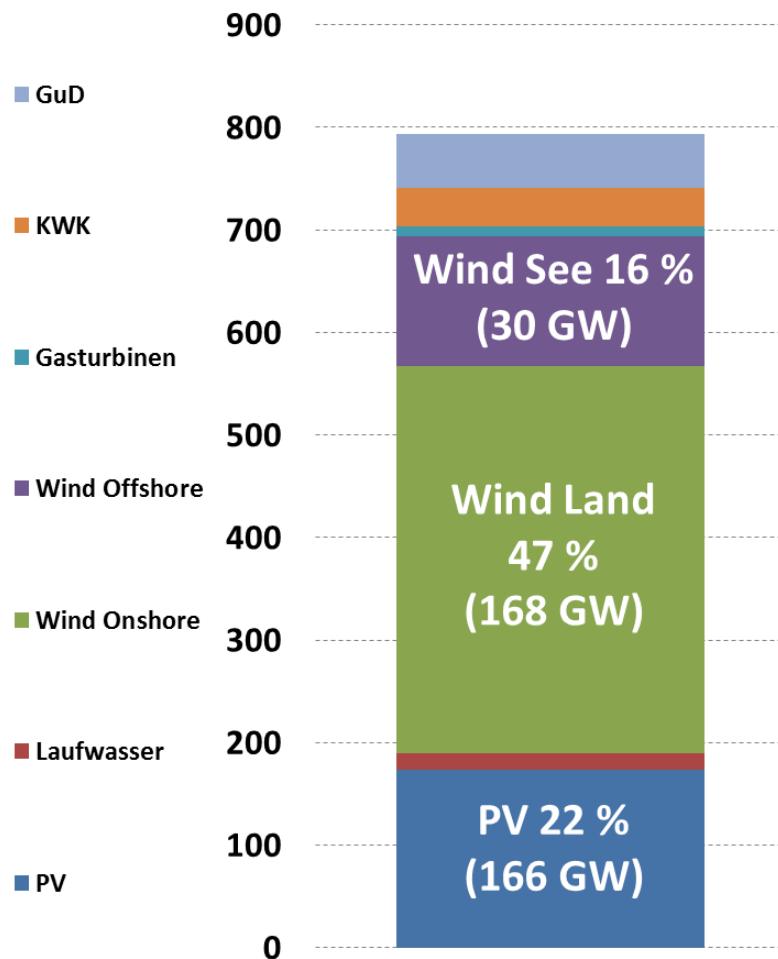


Wärmebereitstellung und –nutzung (einschl. Prozesse) – 85-%-Szenario



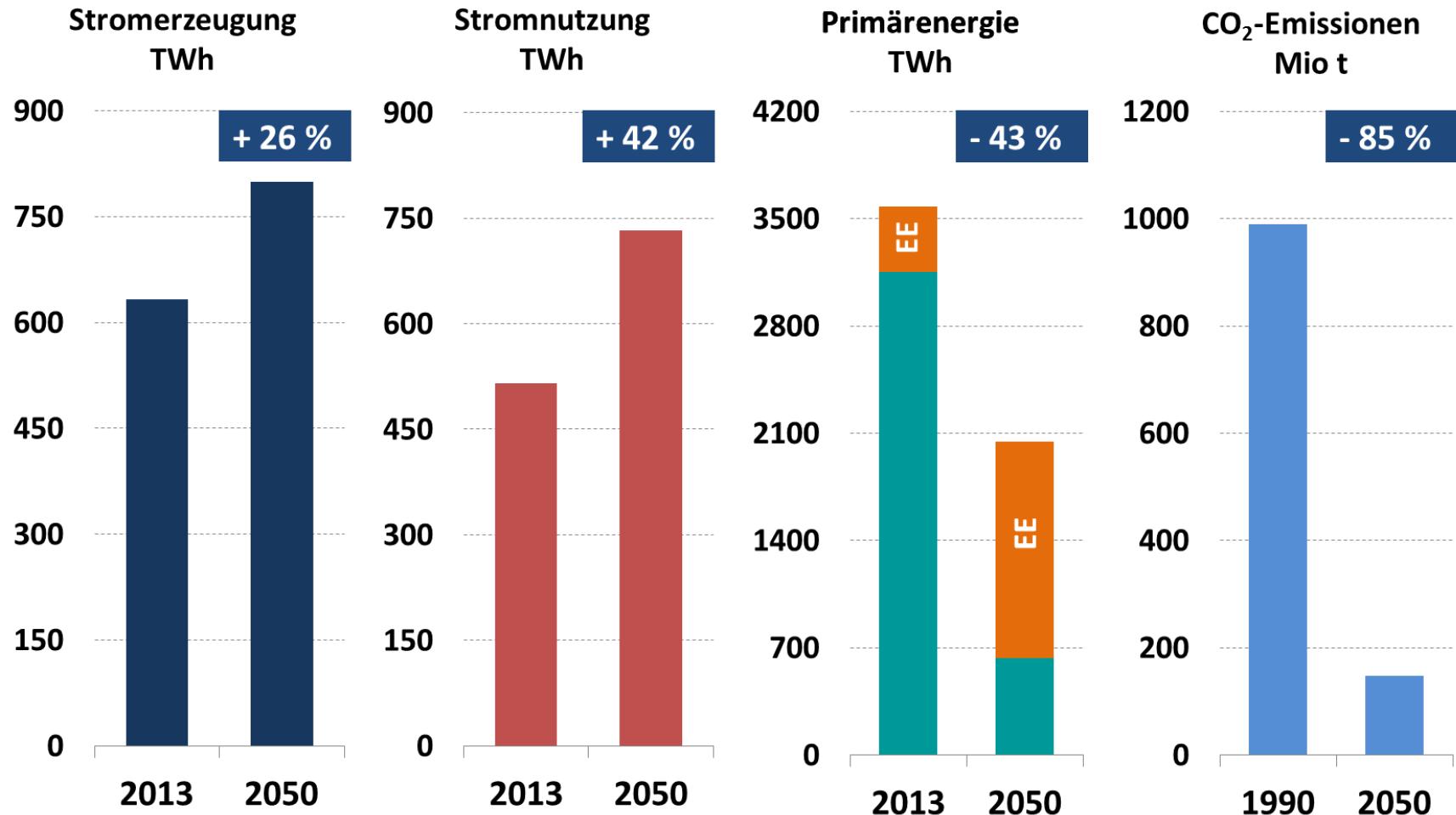
Stromerzeugung und -nutzung

– 85 %-Szenario

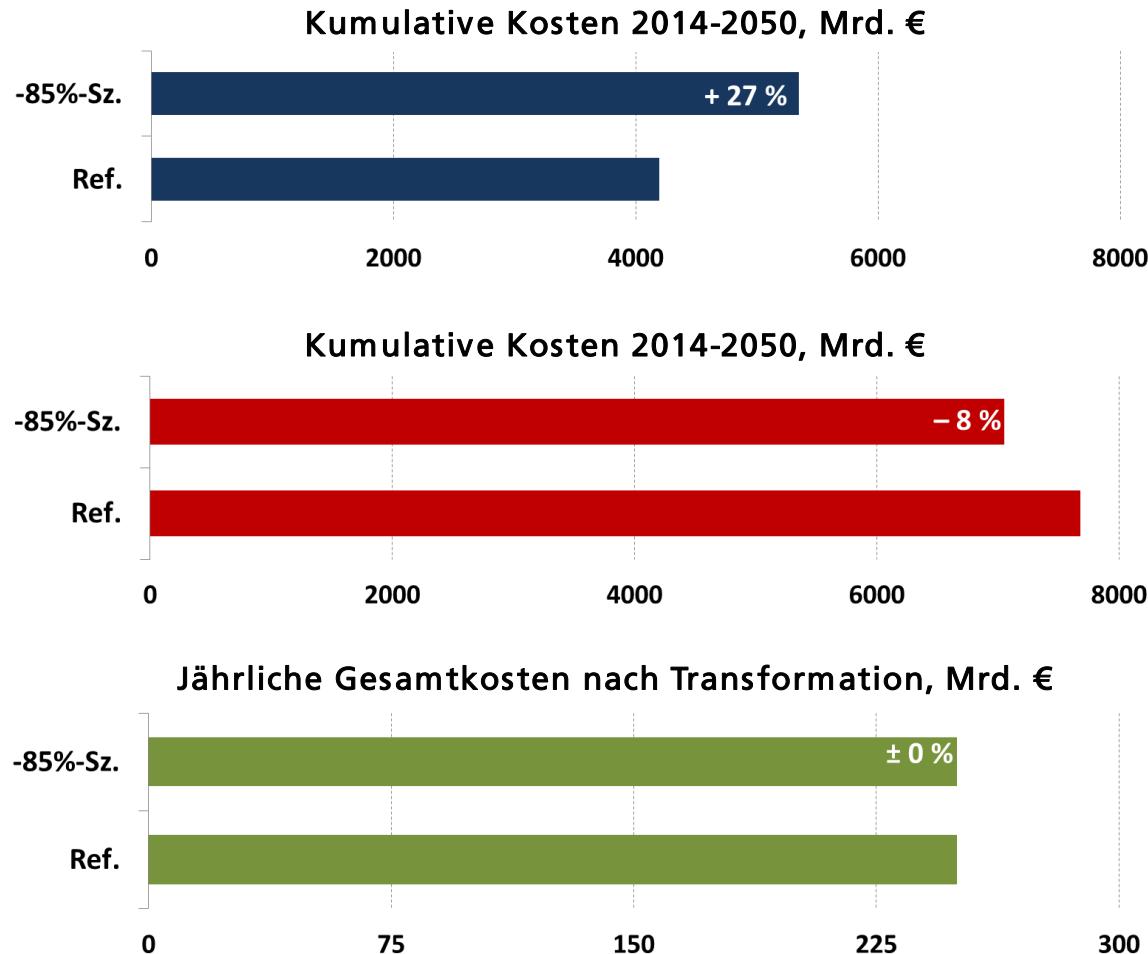


Zusammenfassung Energie und CO₂

– 85-%-Szenario



Zusammenfassung Kosten – 85-%-Szenario



Randbedingungen

keine Kosten auf CO₂-Emissionen
stabile Preise für fossile Energieträger

ansteigende Kosten für CO₂-Emissionen auf 100 €/Tonne in 2030; dann stabil
ansteigende Preise für fossile Energieträger (2 % p.a.)

keine Kosten auf CO₂-Emissionen
stabile Preise für fossile Energieträger

Übersicht

- Ein nachhaltiges Energiesystem – was heißt das?
- Anthropogener Klimawandel
- Klimaschutzziele Deutschlands
- Was können wir tun?
- Analyse eines zukünftigen deutschen Energiesystems
- Ausgewählte Szenarien
- Ergebnisse
- **Zusammenfassung**

Zusammenfassung

- Eine Klimaschutzkompatible Transformation des Energiesystems ist technisch machbar
- Fluktuierende Erneuerbare Energien (Sonne, Wind) werden dominante Energieträger
- Die Bedeutung von elektrischem Strom wird steigen
- Die kumulativen Gesamtkosten für den Umbau des Energiesystems hängen signifikant von der Preisentwicklung für fossile Energien und den Kosten für CO₂-Emissionen ab
- Nach erfolgter Transformation liegen die jährlichen Gesamtkosten in ähnlicher Höhe wie heute und sind viel unabhängiger von internationalen Energiemärkten (→ dabei noch keine Berücksichtigung externer Kosten)
- Positive volkswirtschaftliche Effekte (nationale Wertschöpfung, Beschäftigung) sind in der Betrachtung nicht berücksichtigt

Die Energiewende – eine Frage für die Gesellschaft

Wie wollen wir leben und was ist uns wichtig?

- Begrenzung des globalen Klimawandels: nachhaltige Entwicklung, Lebensgrundlage für zukünftige Generationen – was ist uns das wert?
- Lebensstil: wieviel Energie benötigen wir?
- Landschaftsbild: wieviel Windräder, Solaranlagen, Stromleitungen sind wir bereit zu tolerieren? Oder finden wir das sogar schön?
- Wer profitiert? Wer bezahlt?

Eine Nachricht des IWF zur Subventionierung unseres globalen Energiesystems aus dem Mai 2015

"US\$ 5.3 trillion; 6½ percent of global GDP—that is our latest reckoning of the cost of energy subsidies in 2015. These estimates are shocking. The figure likely exceeds government health spending across the world, estimated by the World Health Organization at 6 percent of global GDP, but for the different year of 2013. They correspond to one of the largest negative externality ever estimated. They have global relevance. And that's not all: earlier work by the IMF also shows that these subsidies have adverse effects on economic efficiency, growth, and inequality."

jährliche Subventionen für Energie
5.3 Trillion US\$ → 4750 Milliarden €

(Quelle: <http://blog-imfdirect.imf.org/2015/05/18/act-local-solve-global-the-5-3-trillion-energy-subsidy-problem/>)

Referenzen

Henning, H.-M.; Palzer, A.: A comprehensive model for the German electricity and heat sector in a future energy system with a dominant contribution from renewable energy technologies—Part I: Methodology. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 30, S. 1003–1018

Palzer, A.; Henning, H.-M.: A comprehensive model for the German electricity and heat sector in a future energy system with a dominant contribution from renewable energy technologies – Part II. Results. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 30, S. 1019–1034

Palzer, A.; Henning, H.-M.: A Future German Energy System with a Dominating Contribution from Renewable Energies: A Holistic Model Based on Hourly Simulation. In: Energy Technology 2 (1), S. 13–28

Henning, H.-M.; Palzer, A.: 100 % Erneuerbare Energien für Strom und Wärme in Deutschland. Eigenveröffentlichung Fraunhofer ISE, November 2012

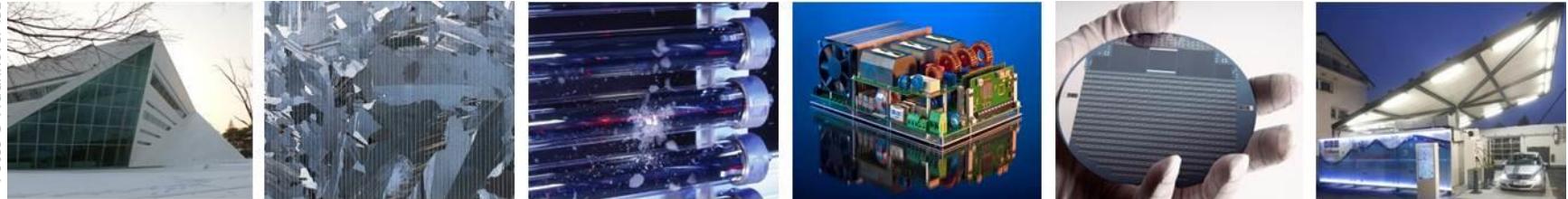
Henning, H.-M.; Palzer, A.: Energiesystem Deutschland 2050. Eigenveröffentlichung Fraunhofer ISE, November 2013

Henning, H.-M.; Palzer, A.: Was kostet die Energiewende? Eigenveröffentlichung Fraunhofer ISE, November 2015

Palzer, A.: Sektorübergreifende Modellierung und Optimierung eines zukünftigen deutschen Energiesystems unter Berücksichtigung von Energieeffizienzmaßnahmen im Gebäudesektor. Dissertation am Karlsruher Institut für Technologie KIT, geplante Veröffentlichung 2. Quartal 2016

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fotos © Fraunhofer ISE



Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE

Hans-Martin Henning, Andreas Palzer

www.ise.fraunhofer.de

hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

andreas.palzer@ise.fraunhofer.de