
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

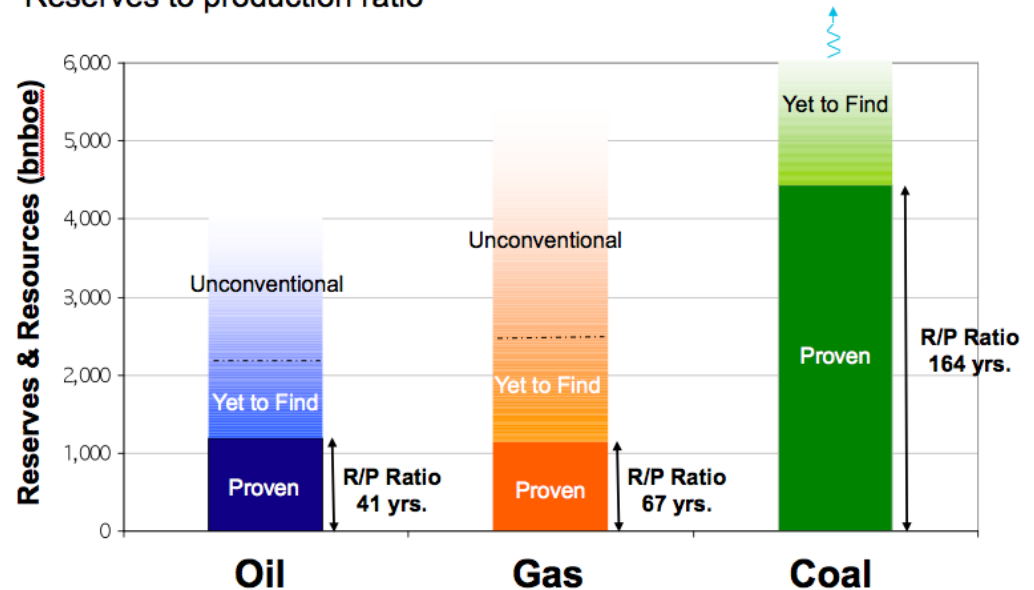
- Begrenzte Kapazität der Atmosphäre zur Aufnahme von Treibhausgasen ohne dramatische Folgen für Veränderung des globalen Klimas

Herausforderung

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

Availability of fossil resources

Reserves to production ratio

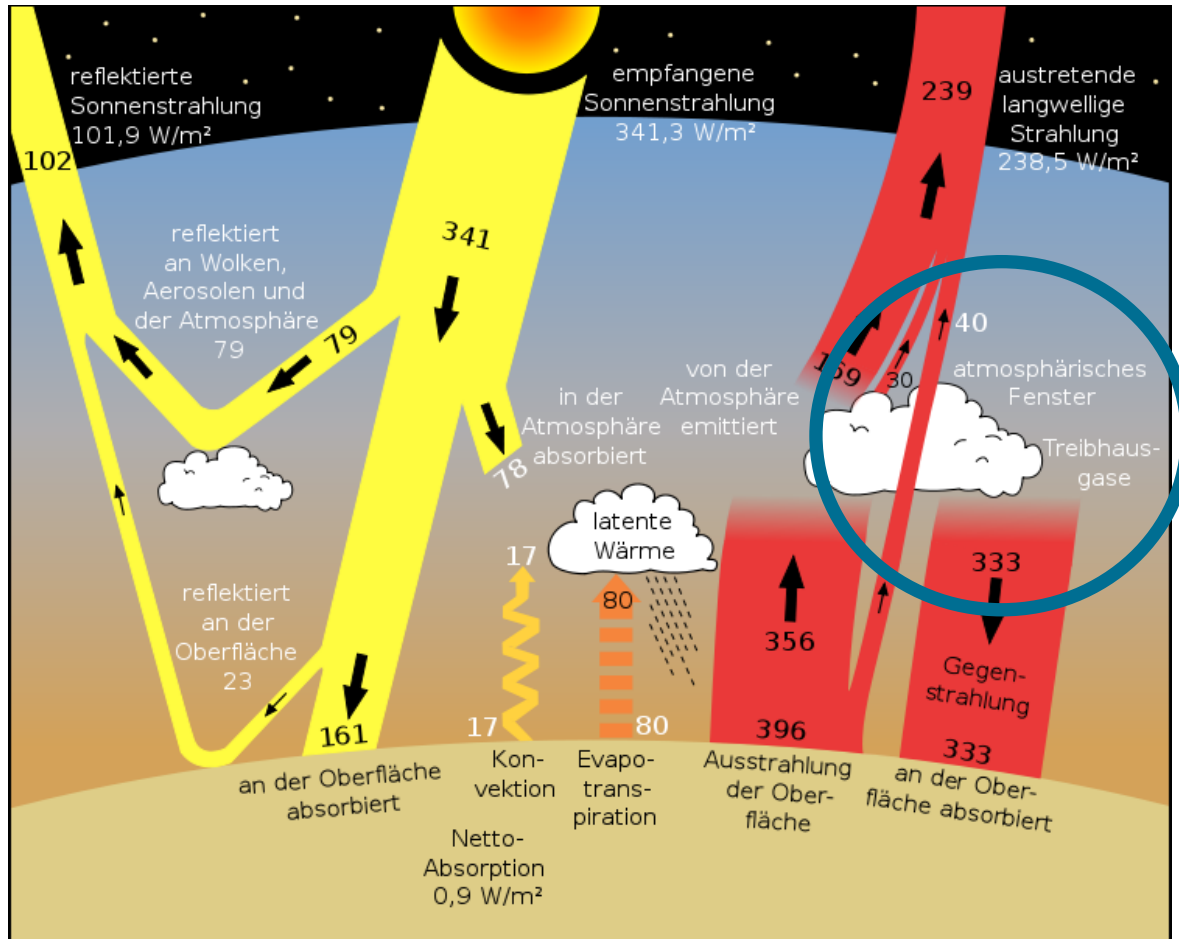


Source: World Energy Assessment 2001, HIS, [WoodMackenzie](#), BP Stat Review 2005, BP estimates, Graph: [Koonin](#), BP

Energiebilanz der Atmosphäre

Solarstrahlung

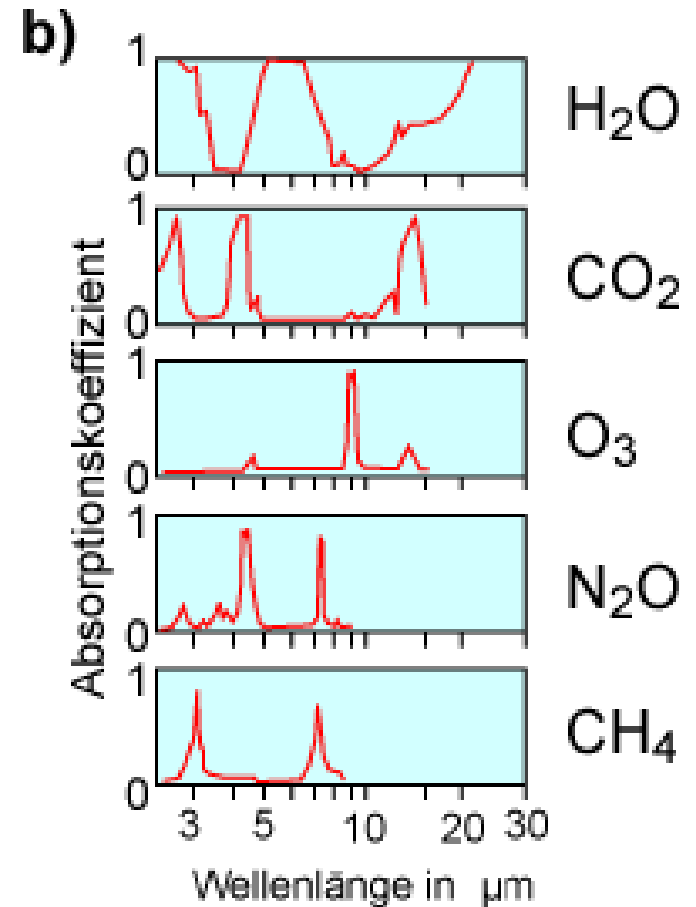
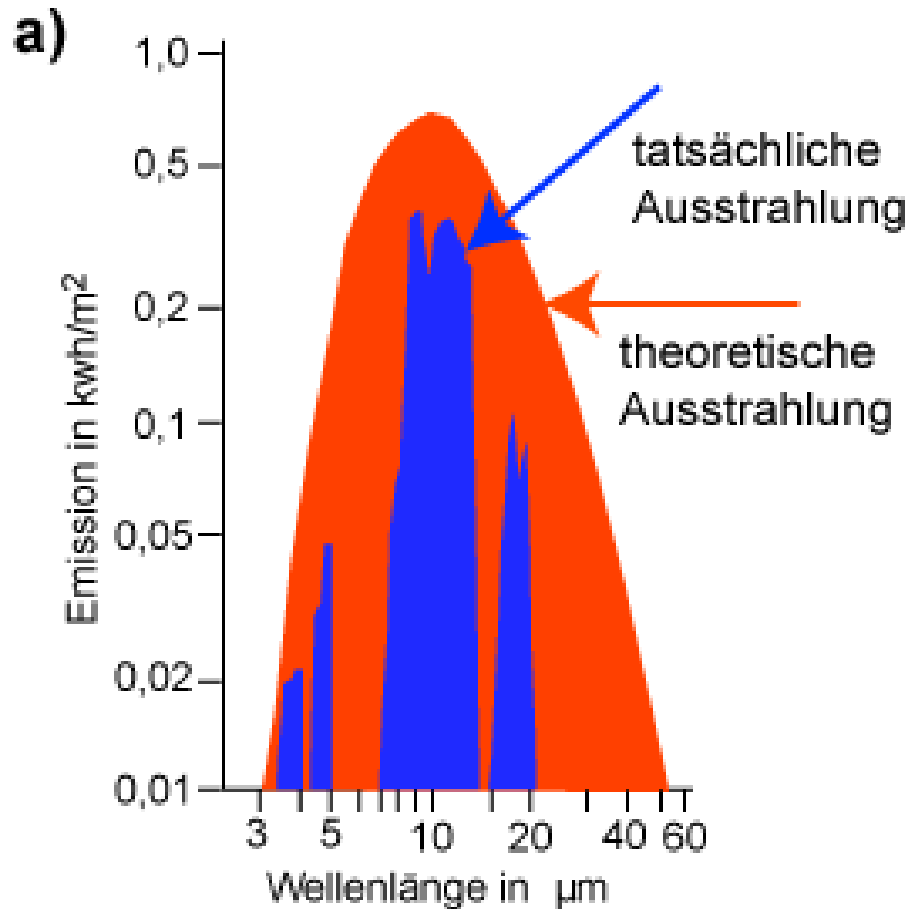
Infrarotstrahlung



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

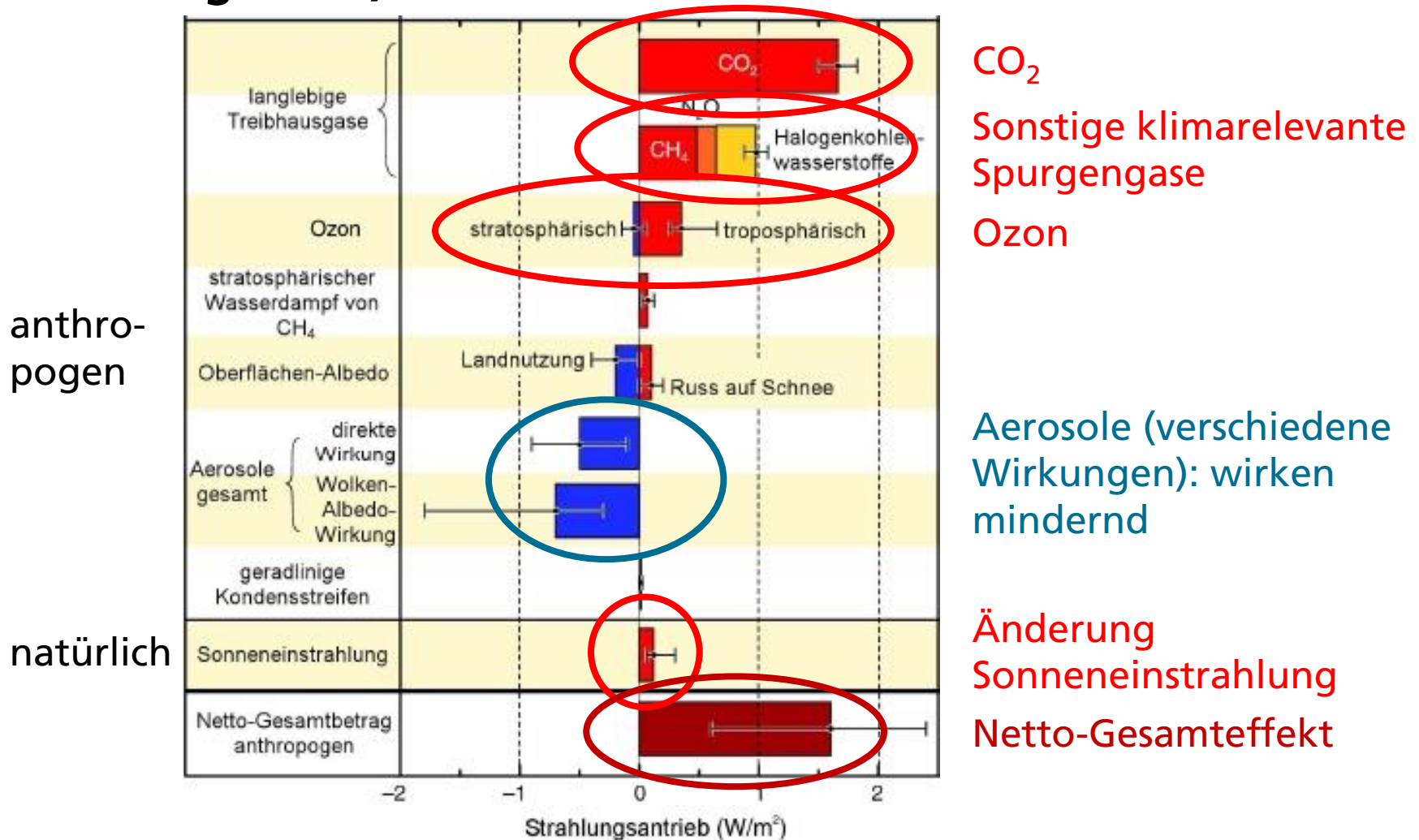
Quelle: wikipedia

Infrarot-Absorption durch klimarelevante Spurengase

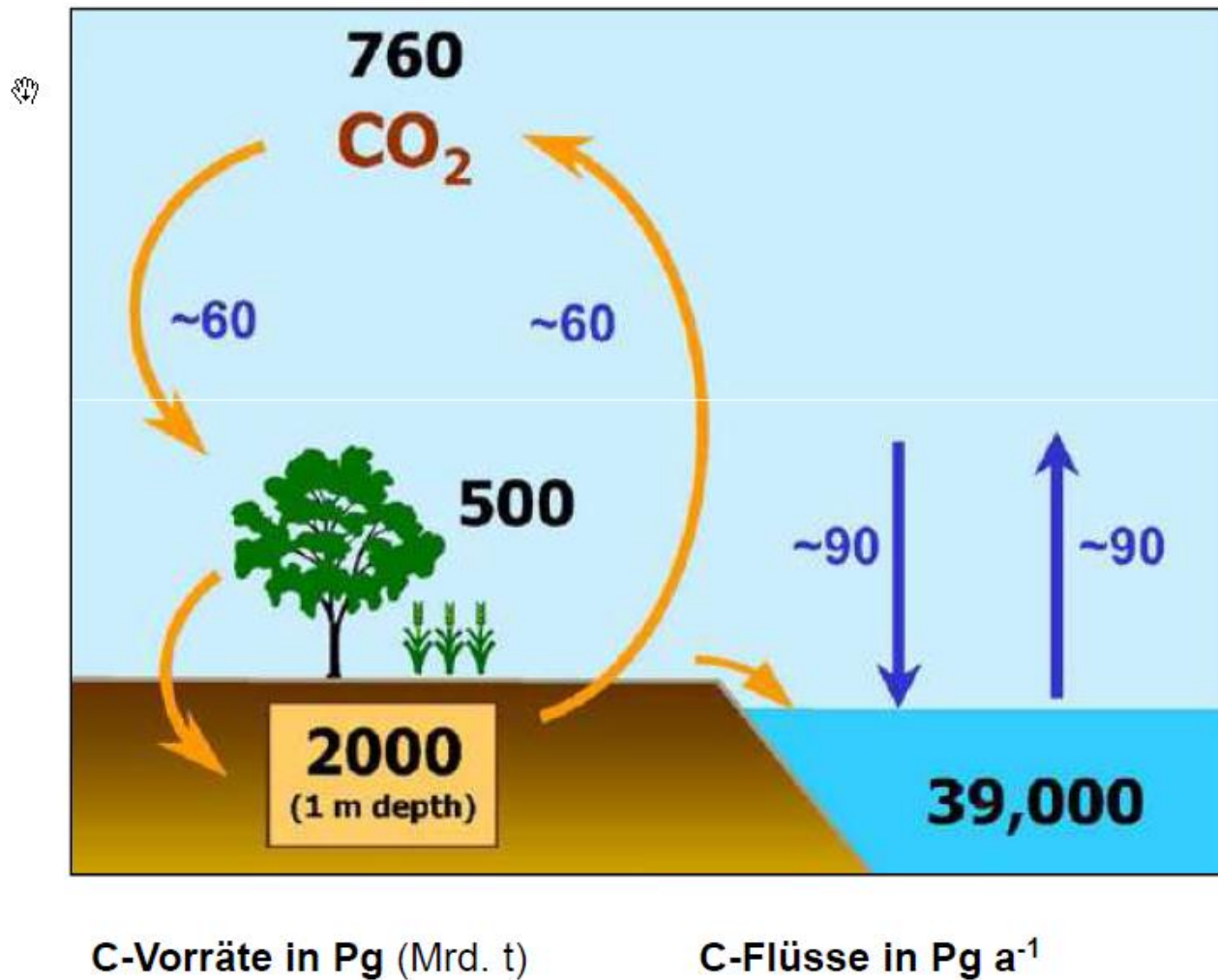


Quelle: Climate Service Center, Germany; Bildungsserver Klimawandel

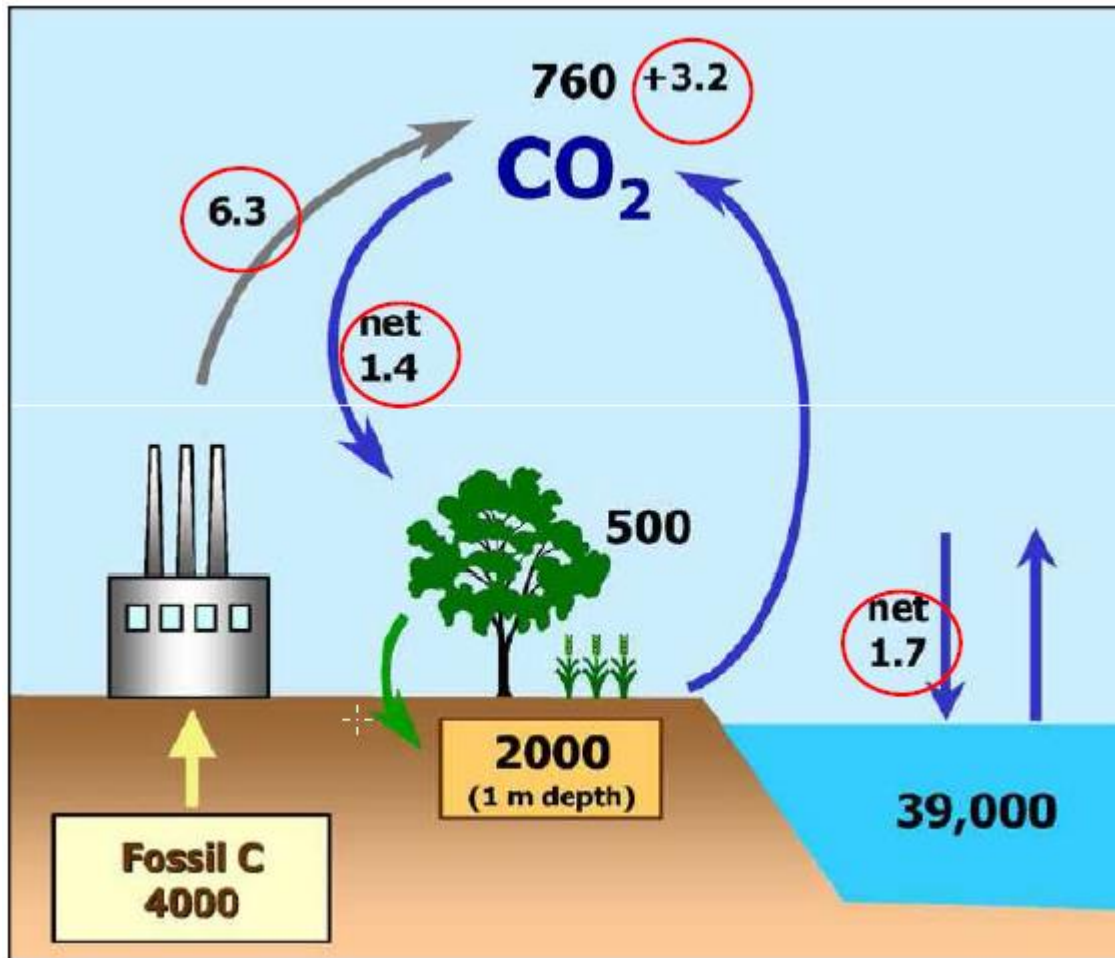
Beiträge zum Klimawandel (ausgedrückt in Netto-Strahlungsfluss)



Globale Kohlenstoffbilanz ohne anthropogene Emissionen

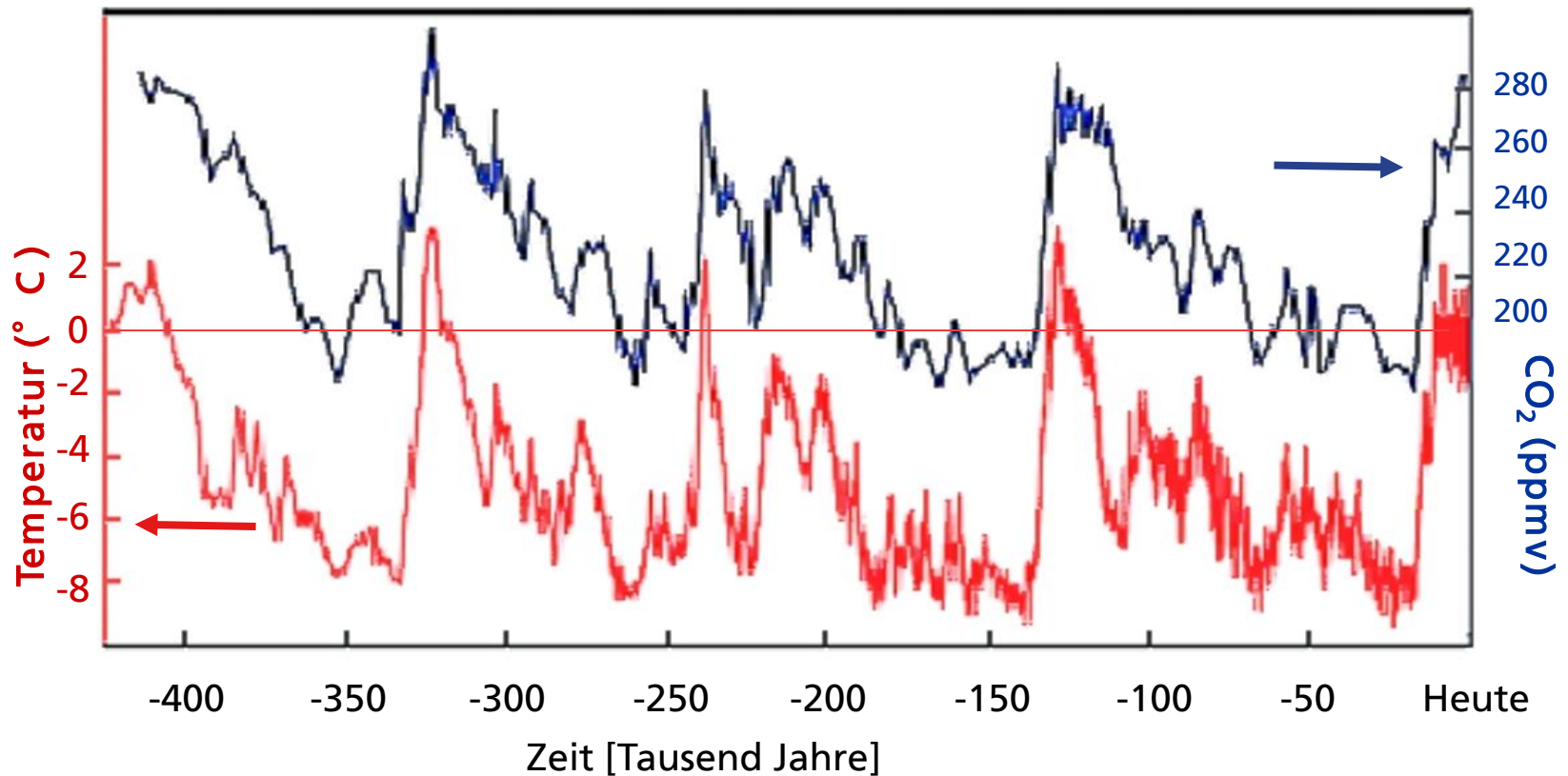


Globale Kohlenstoffbilanz mit anthropogenen Emissionen



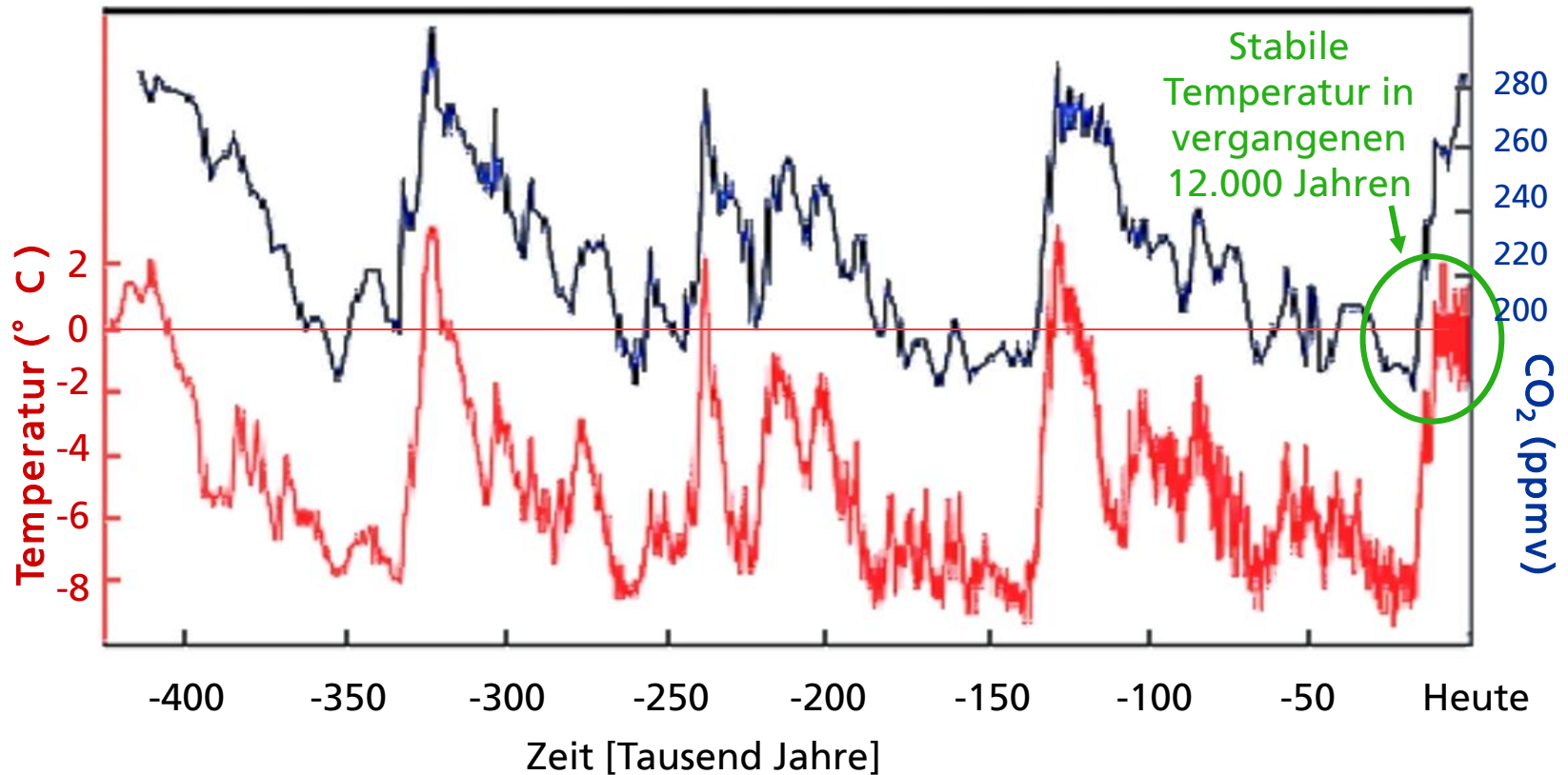
Netto-Zunahme des Kohlenstoffgehalts der Atmosphäre durch anthropogene Emissionen klimarelevanter Spurgengase

Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur



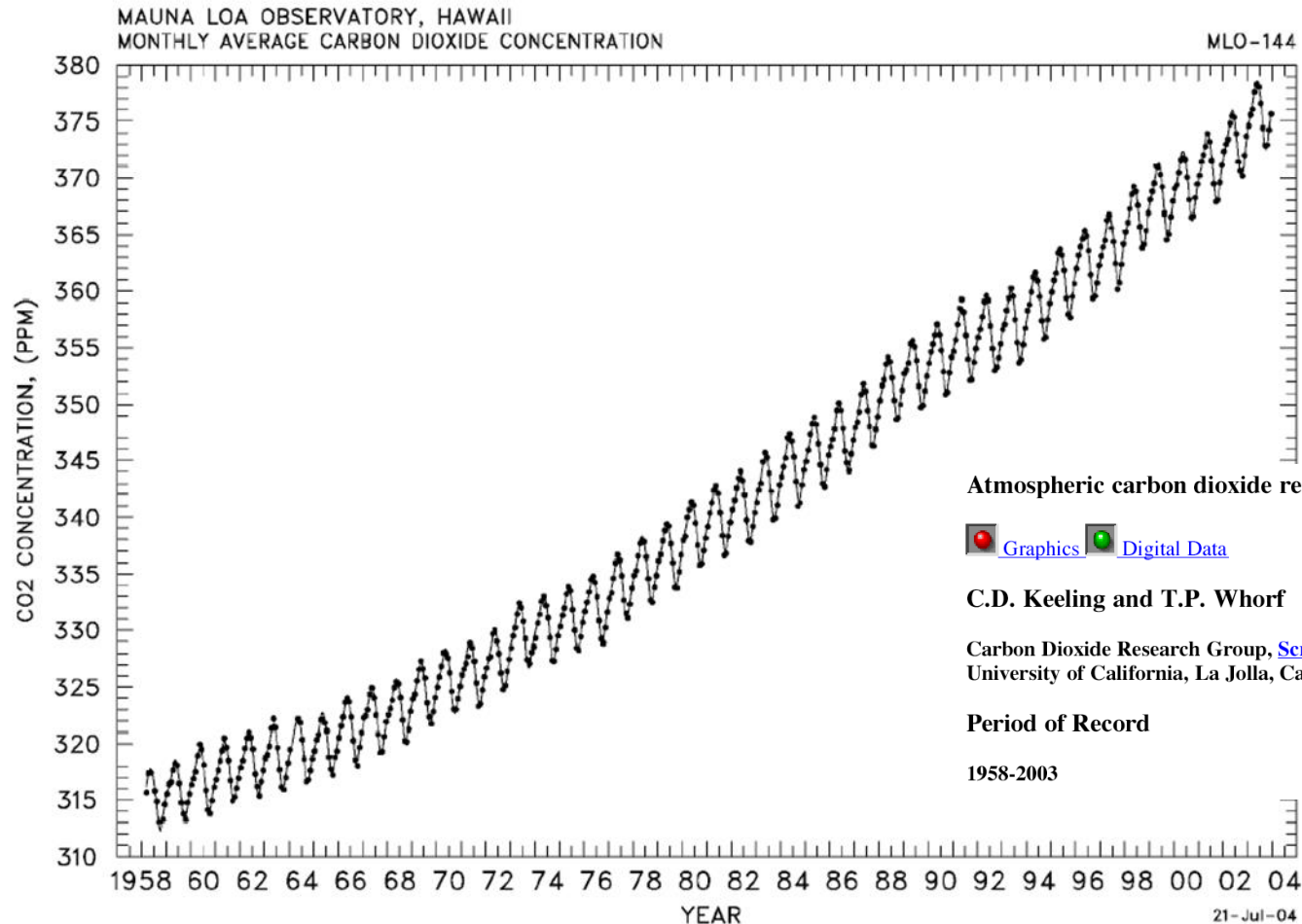
Source: J. Petit et al., 1999, Nature 399, 429-436

Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur

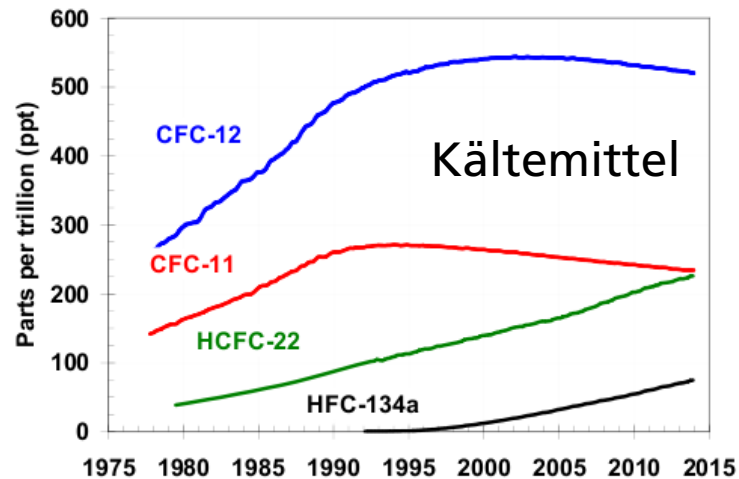
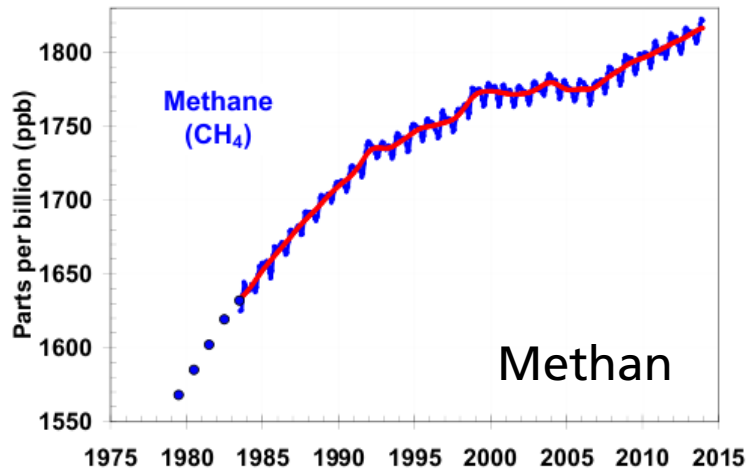
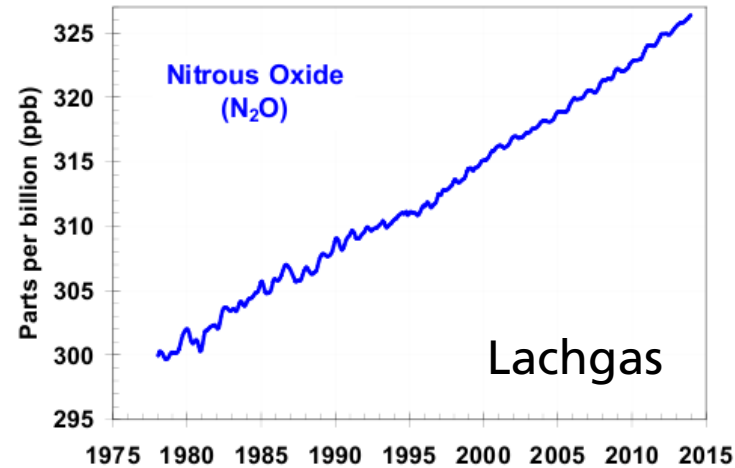
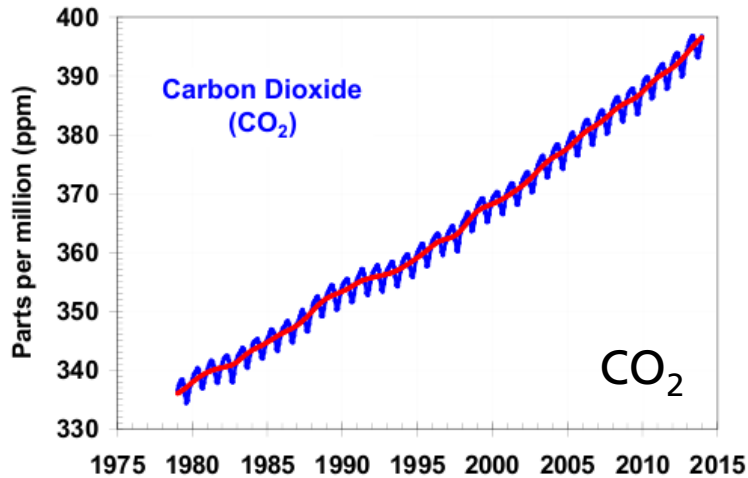


Source: J. Petit et al., 1999, Nature 399, 429-436

Entwicklung CO₂-Konzentration Mauna Loa 1958-2003



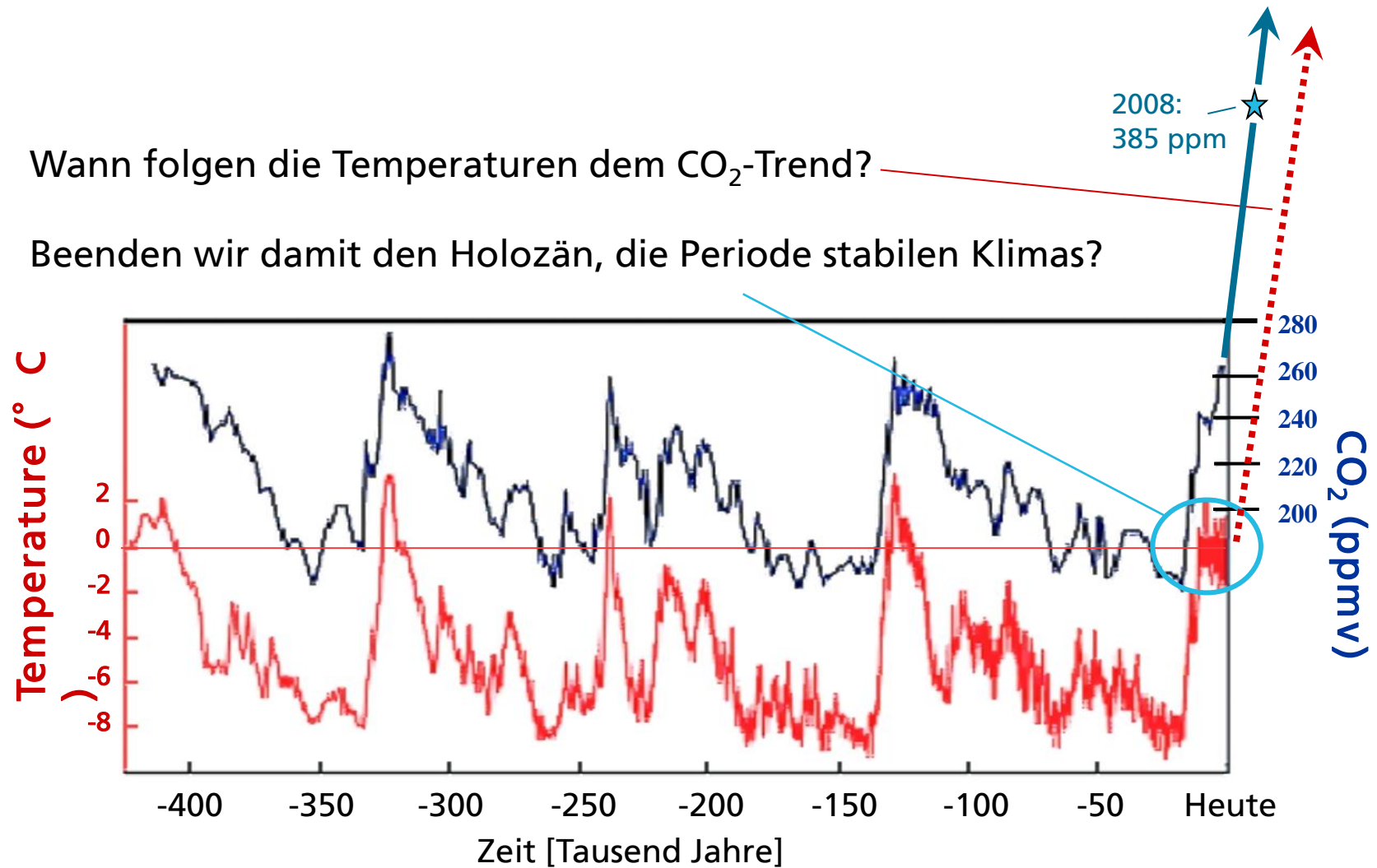
Entwicklung der atmosphärischen Konzentration klimarelevanter Spurengase 1975 - 2014



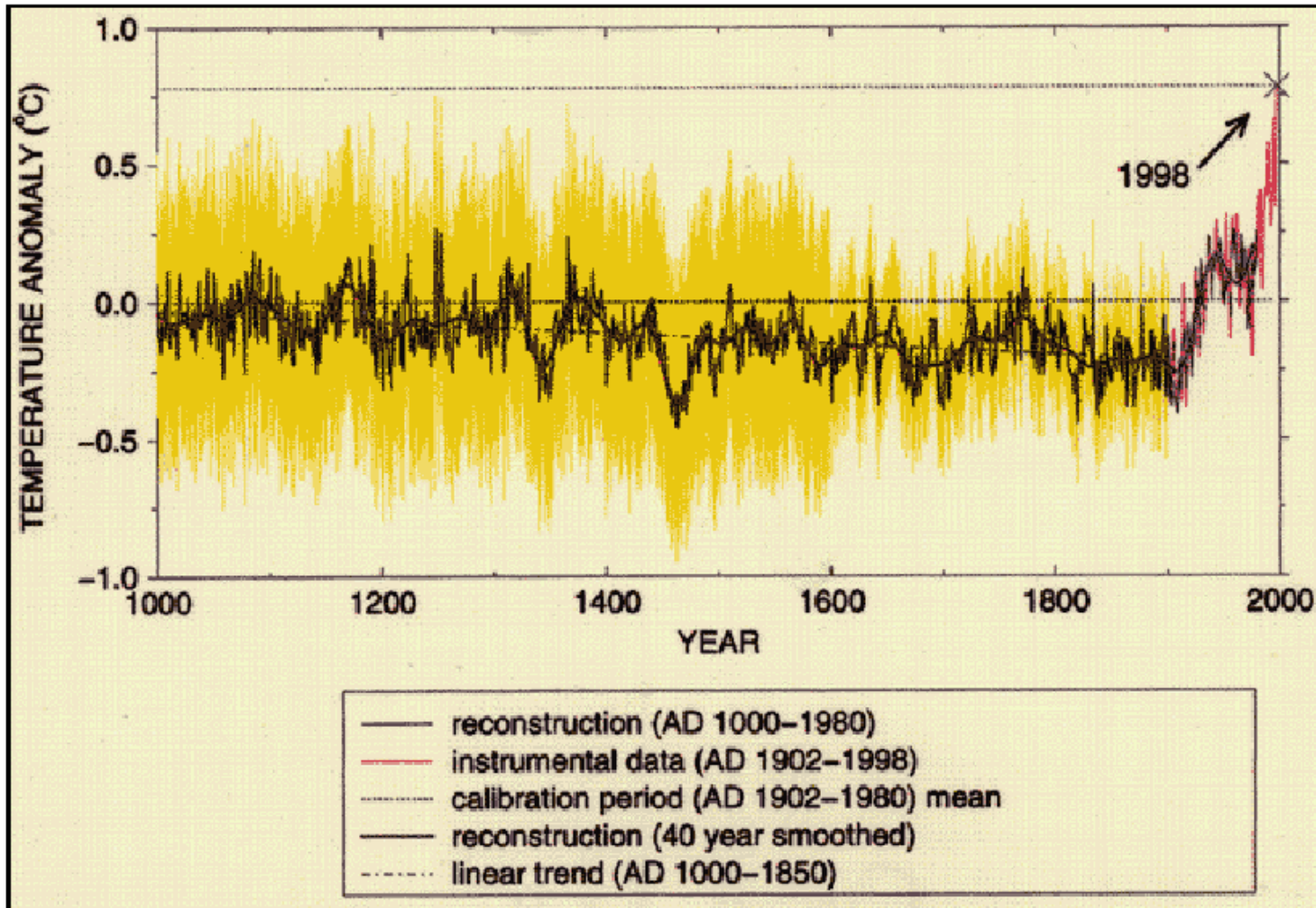
Korrelation zwischen CO₂-Gehalt und Temperatur

Wann folgen die Temperaturen dem CO₂-Trend?

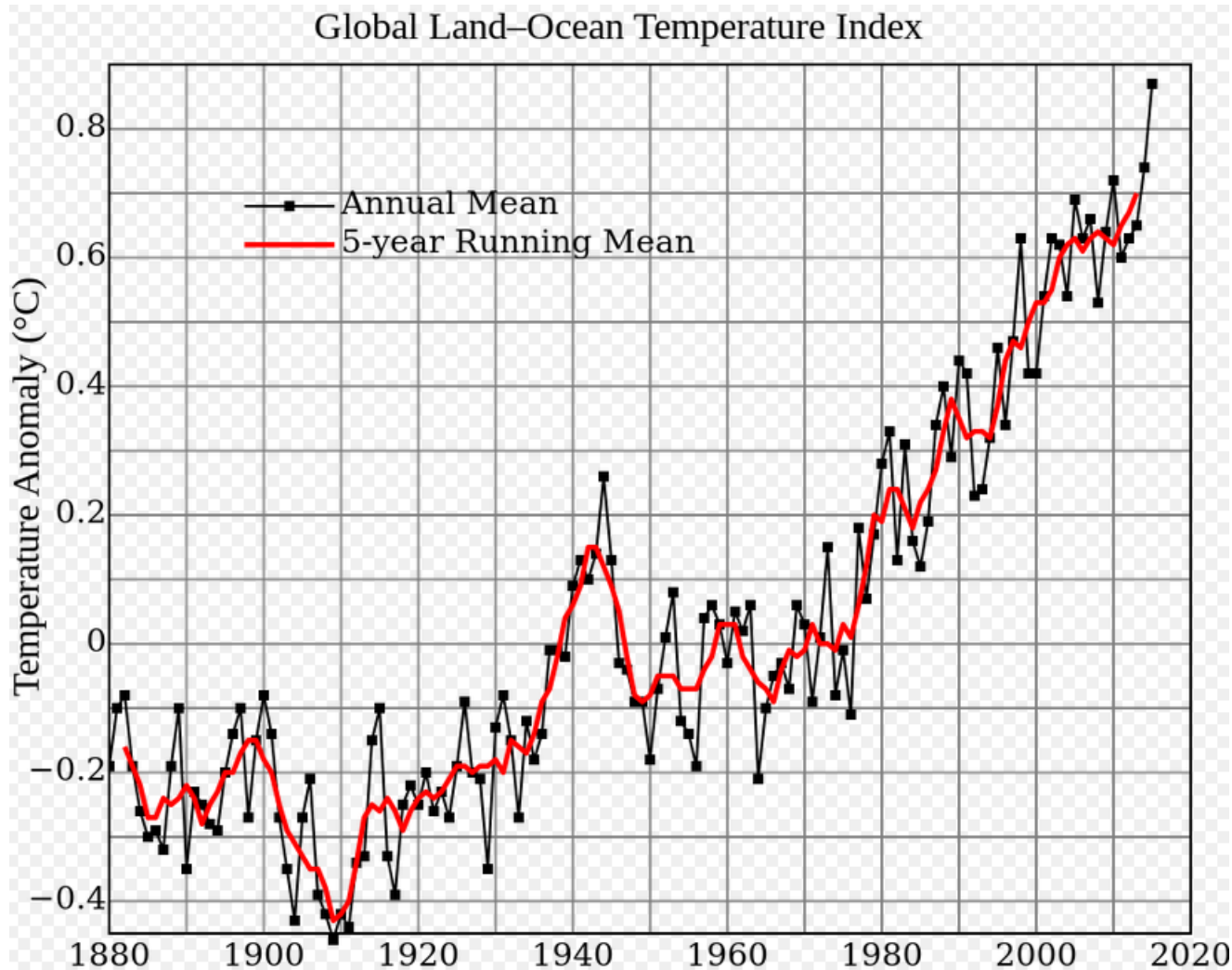
Beenden wir damit den Holozän, die Periode stabilen Klimas?



Temperaturgeschichte der letzten 1000 Jahre



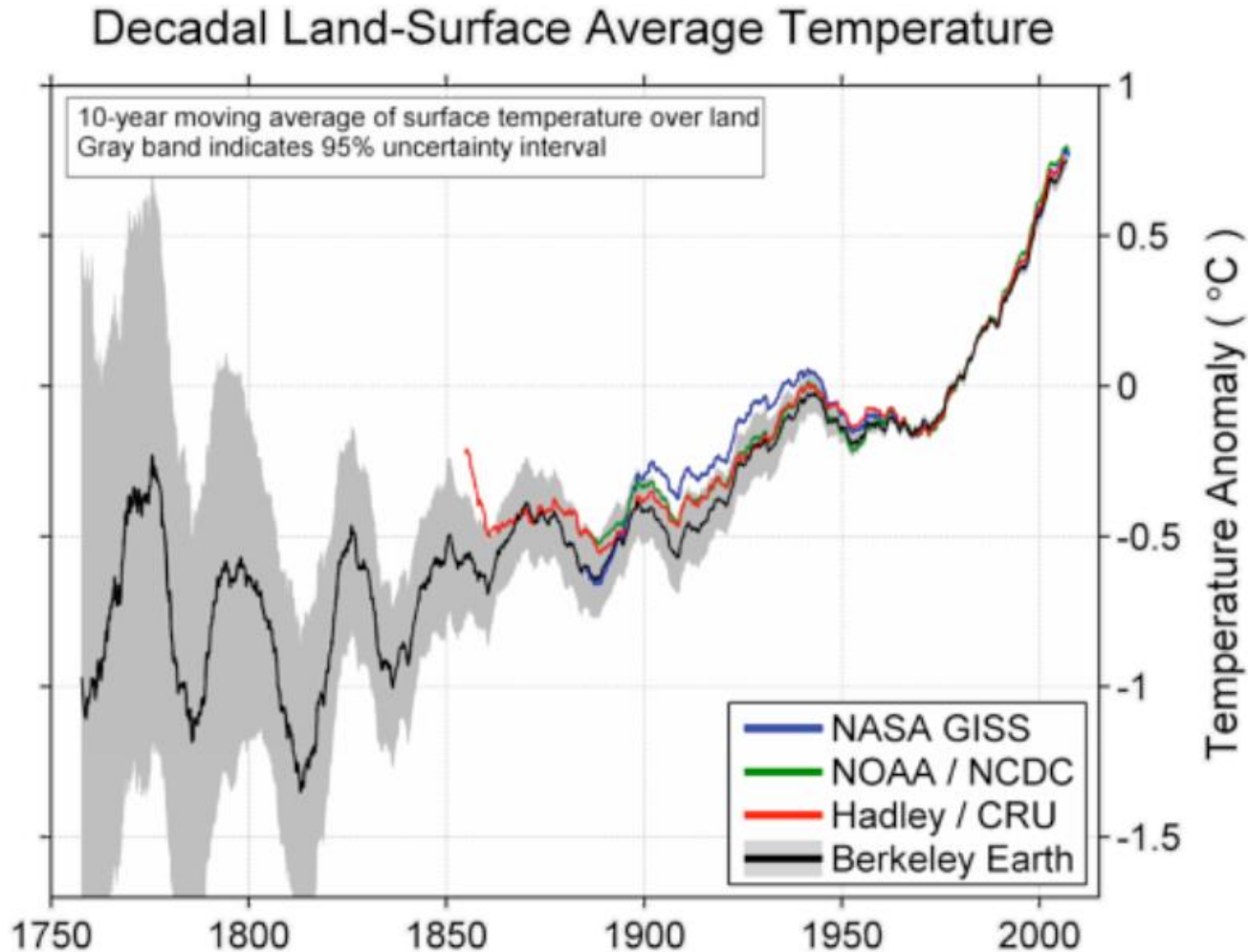
Zunahme der global gemessenen Temperaturen



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

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

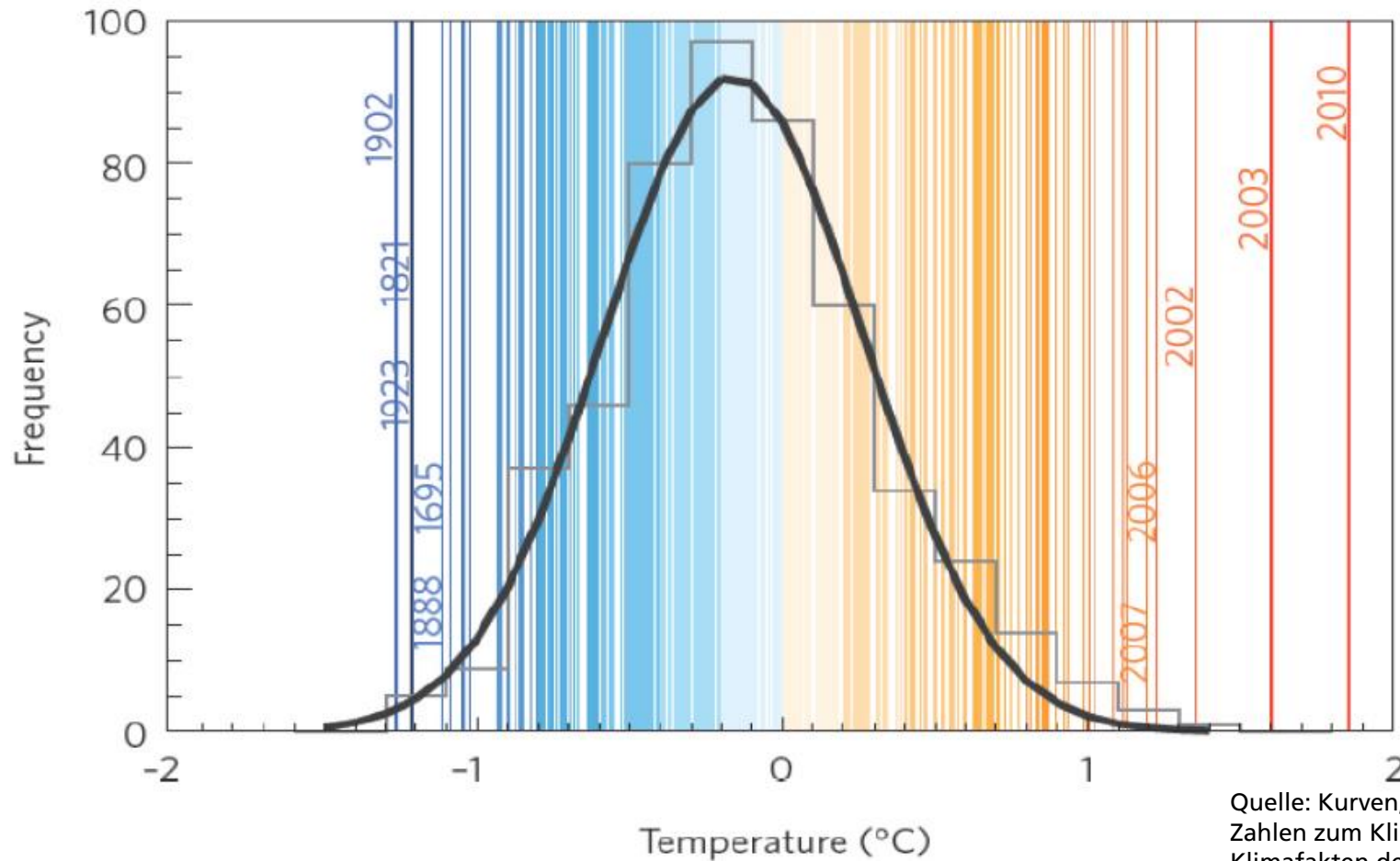
Zunahme der global gemessenen Temperaturen



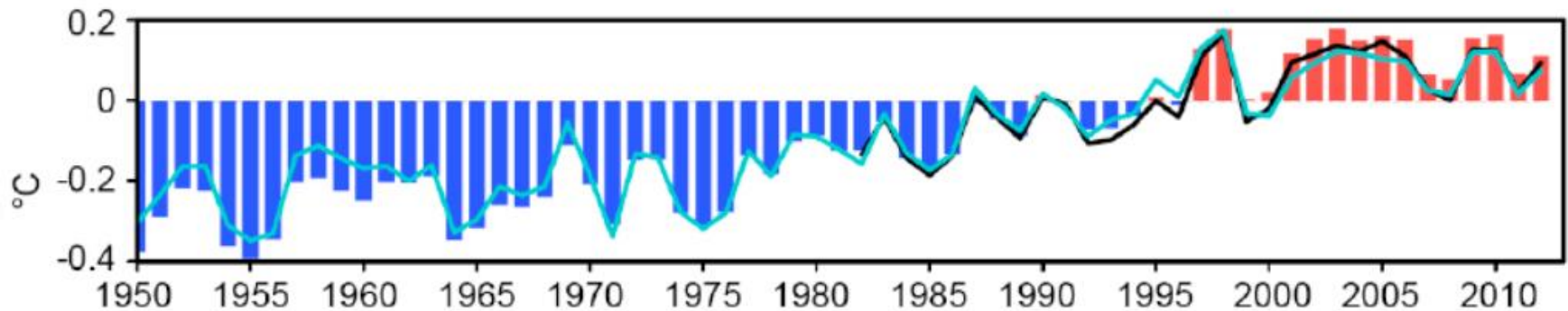
Globaler
Temperatur-
index
Oberflächen-
temperaturen
Land und See
1880-2015

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

Temperaturverteilung vergangene 200 Jahre (Europa)

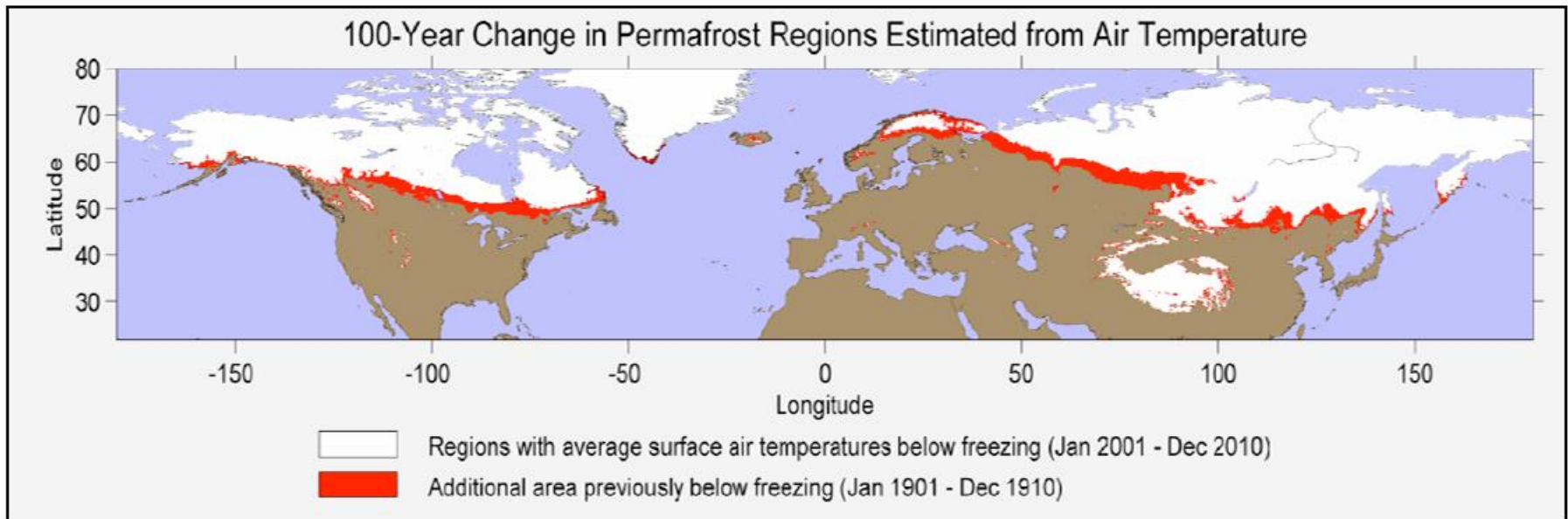


Ozeantemperaturen



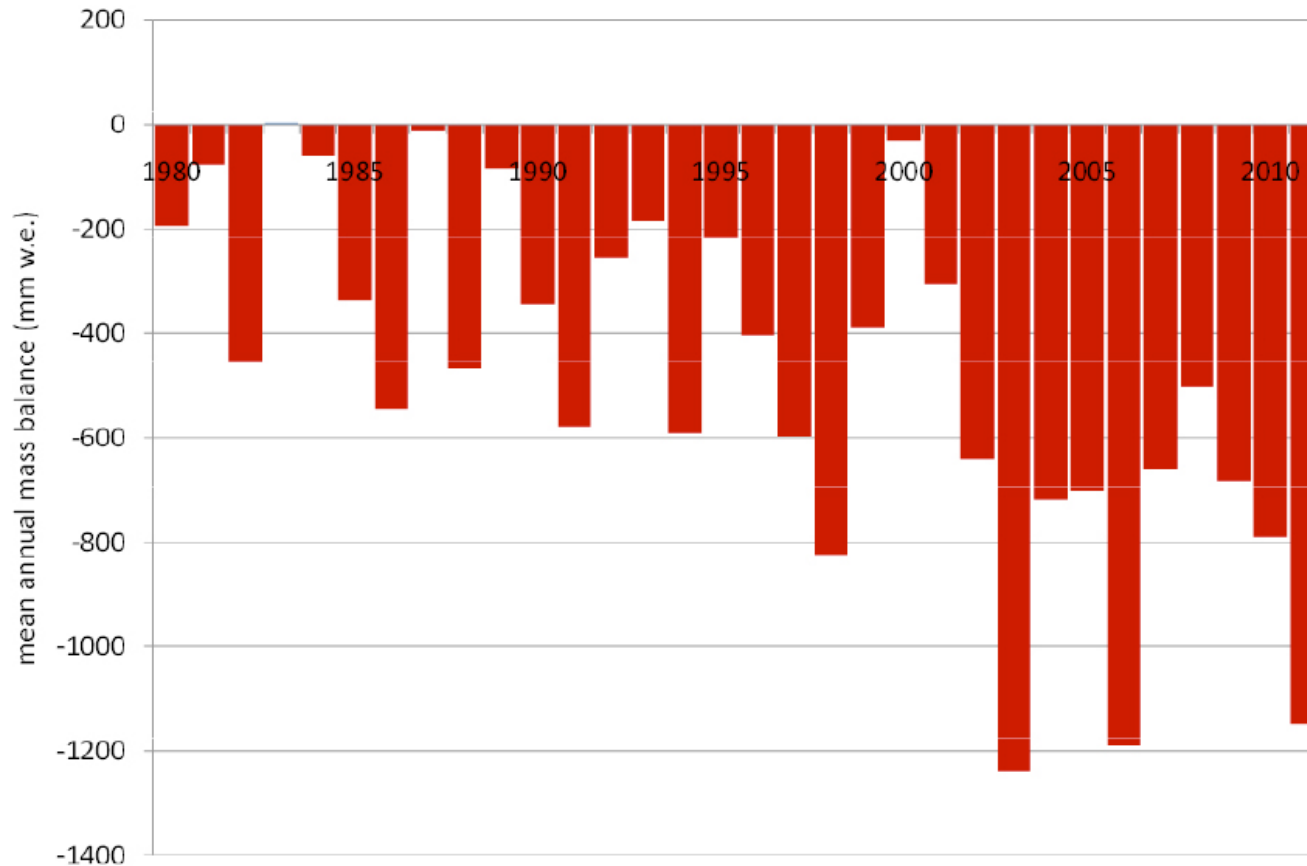
- Mittlere Oberflächentemperatur der Weltmeere bezogen auf langjähriges Mittel
- Seit mehr als einem Jahrzehnt liegt der Wert durchgängig über dem langjährigen Durchschnitt (1981 bis 2010)

Entwicklung Permafrostgebiete



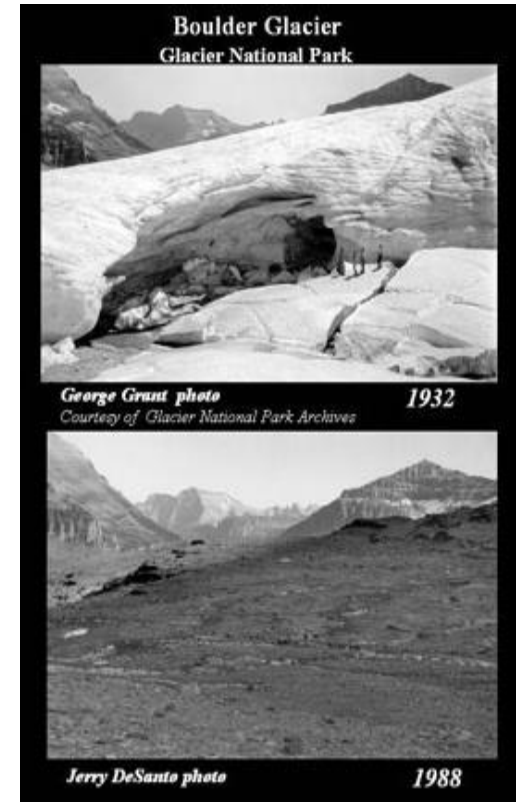
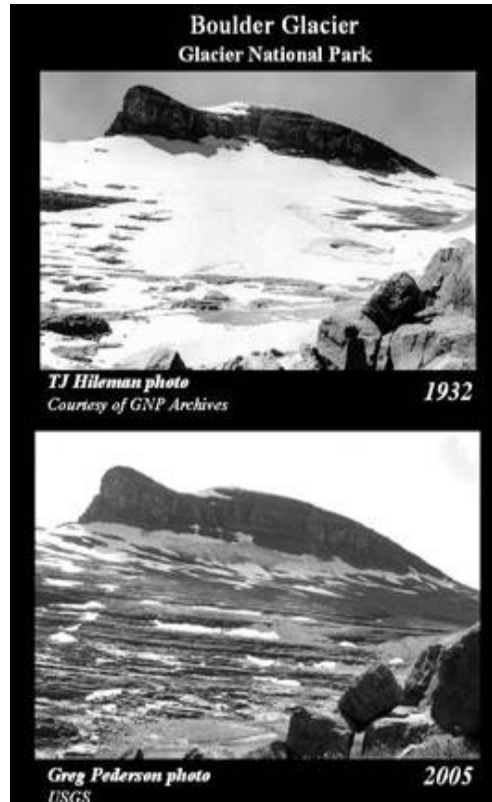
Rot markiert sind die seit Anfang des 20. Jahrhunderts hinzu gekommenen Gebiete mit mittleren Lufttemperaturen oberhalb des Gefrierpunkts

Änderung globale Vergletscherung



Abnahme 37
ausgewählter
Referenz-
gletscher in
den
vergangenen
32 Jahren (in
mm water
equivalent).

Beispiel Glacier National Park, II



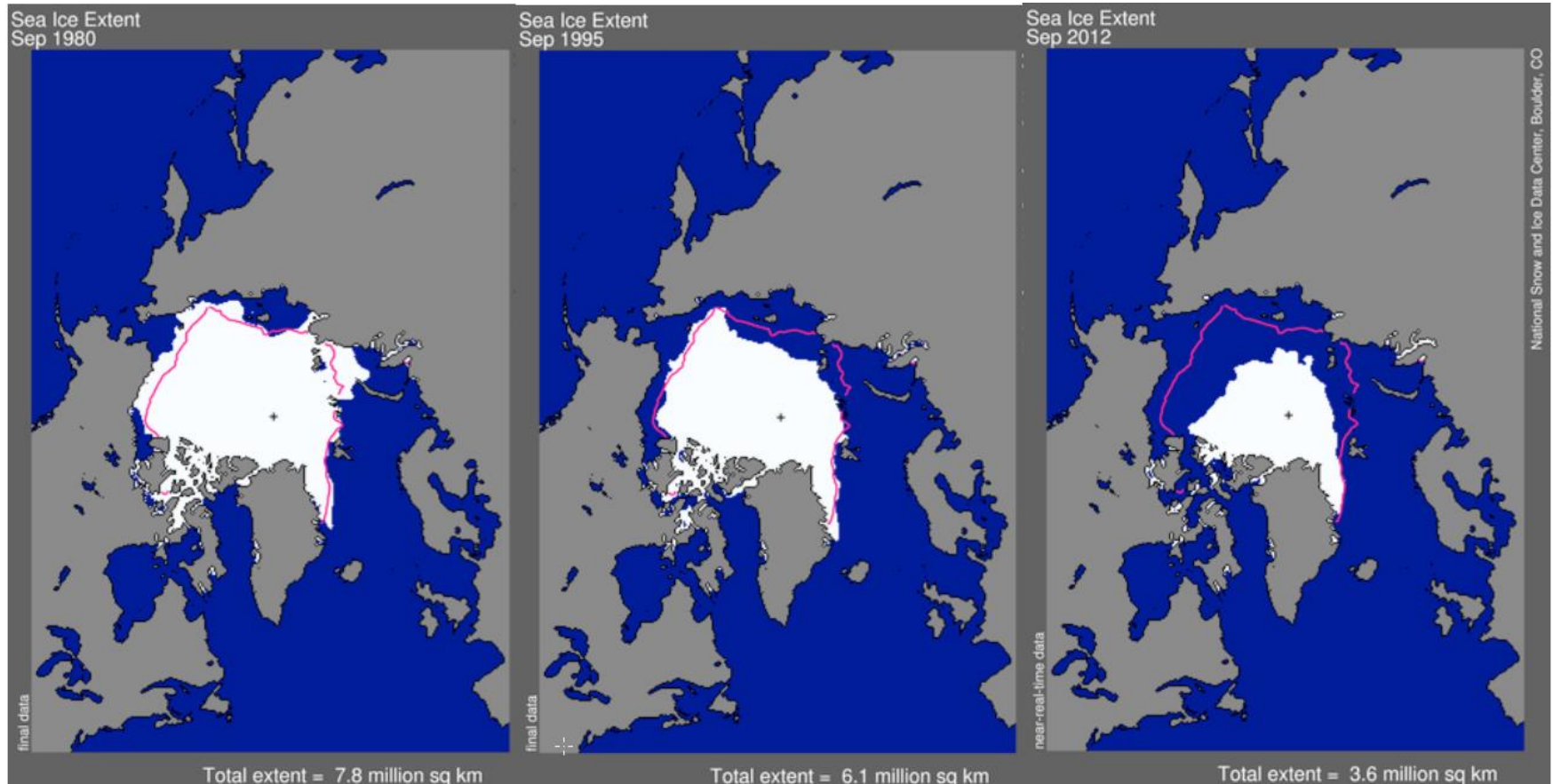
Quelle: USGS - Science for a Changing World. <http://www.nrmc.usgs.gov>

Änderung der Vereisung des Nordpols

1980

1995

2012



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 Klimaübereinkommen von Paris.

FOTO: CHRISTOPHE PETIT TESSON/DPA

Die Welt will die Klimawende

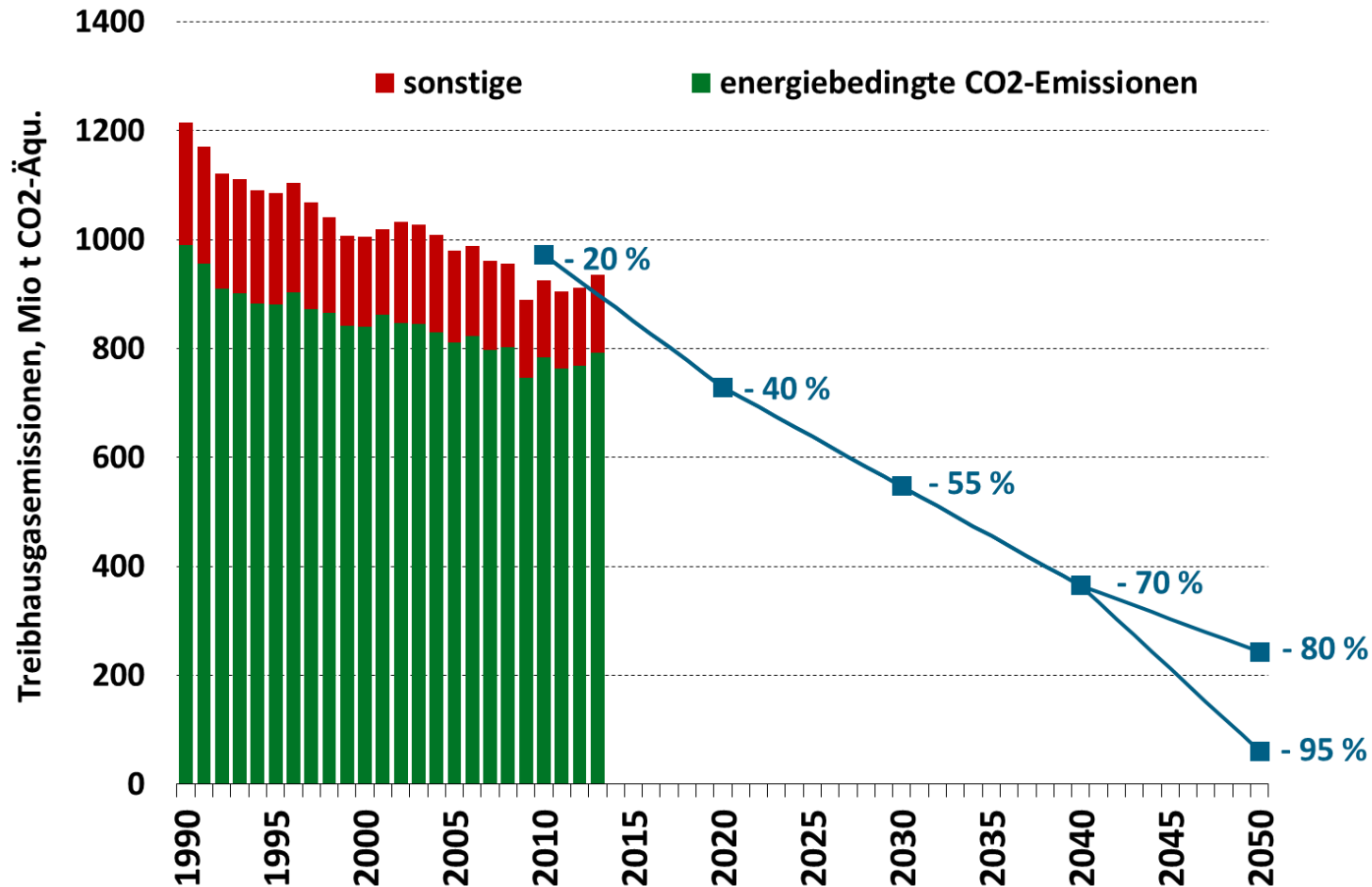
Das in Paris besiegelte Abkommen gilt als historisch, weil es den globalen Temperaturanstieg auf 1,5 Grad begrenzen würde. Erstmals sollen auch Schwellenländer ihren Abgasausstoß verringern

Süddeutsche Zeitung,
14.12.2015

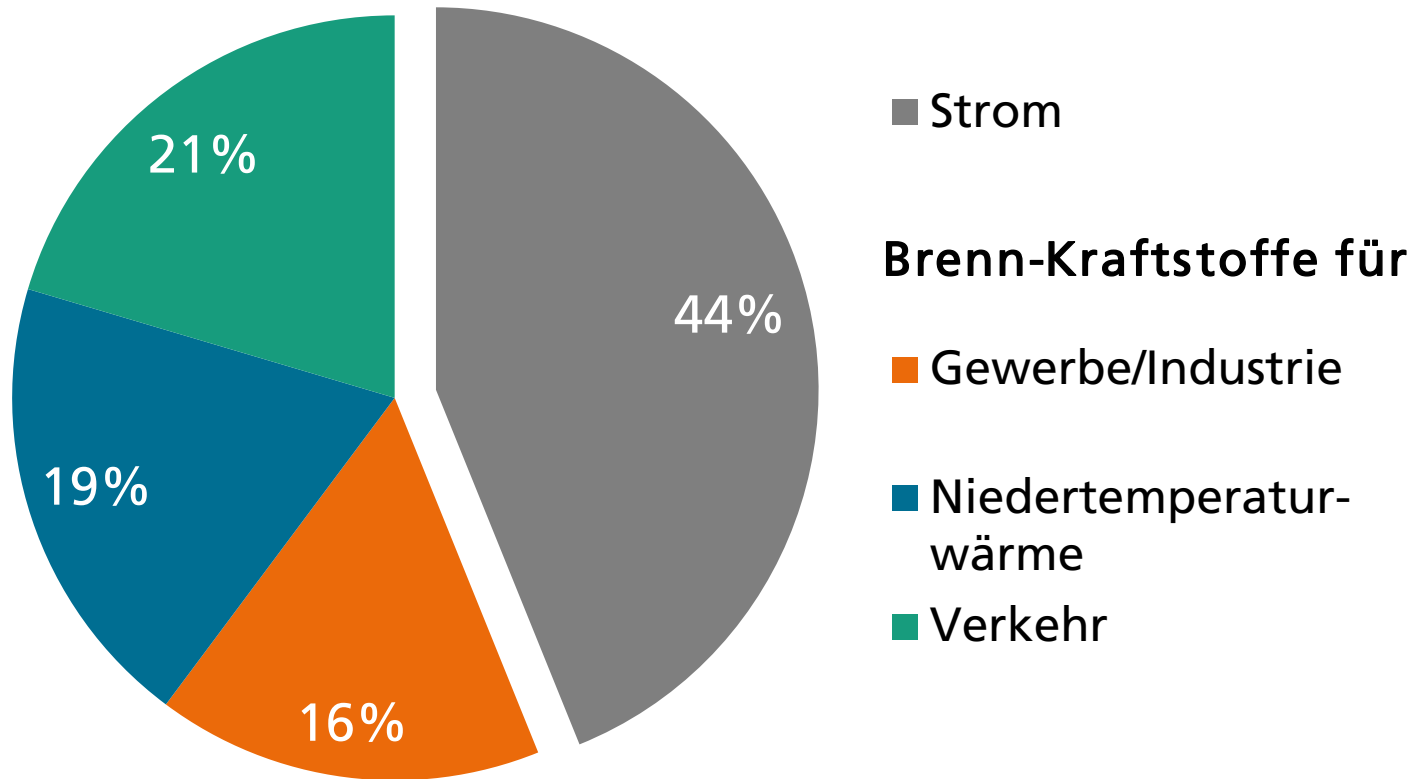
Übersicht

- 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

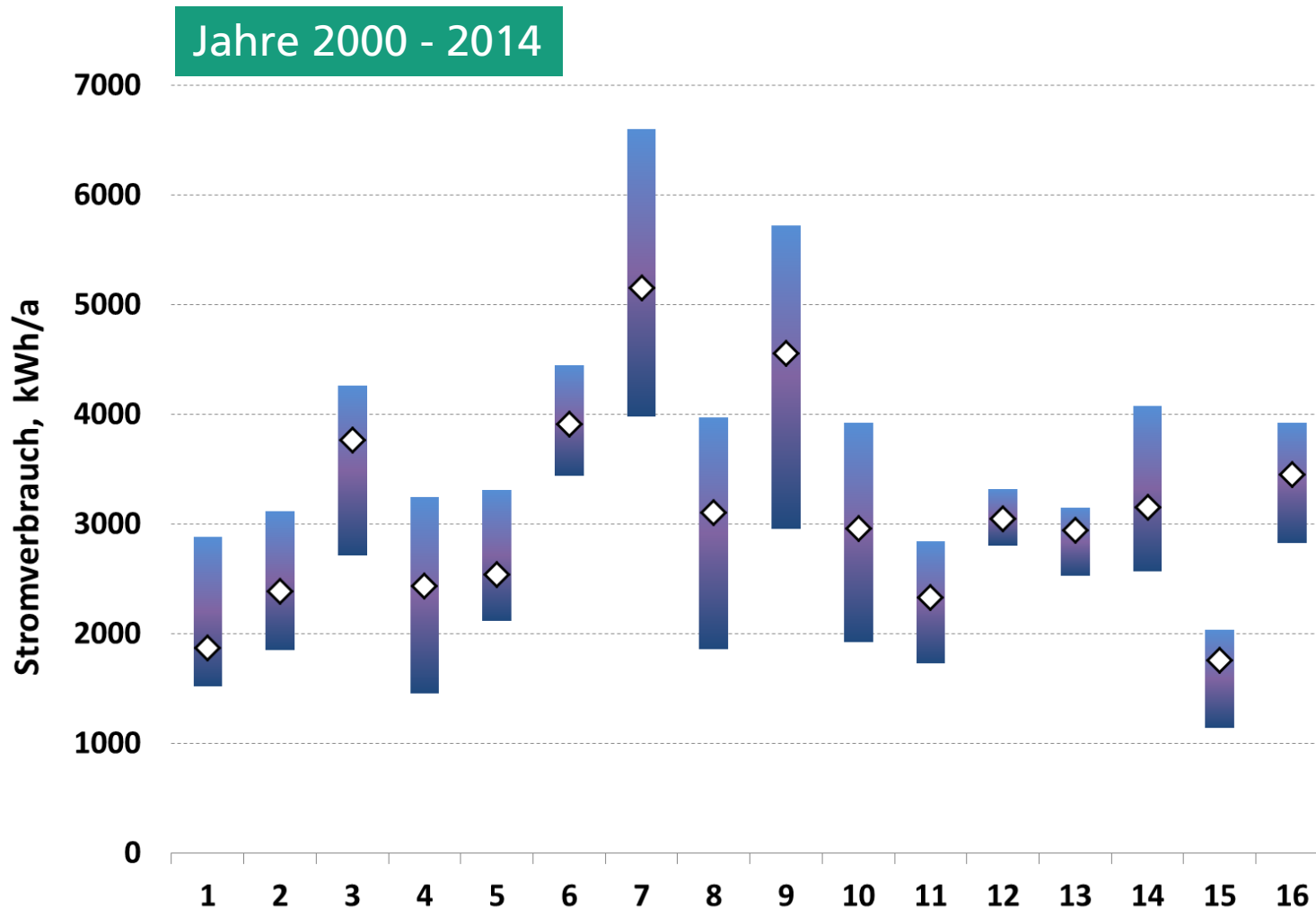
- Erhöhung der Wandlungseffizienz von Primärenergie in Endenergie z.B. durch effizientere Stromerzeugung in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung

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)

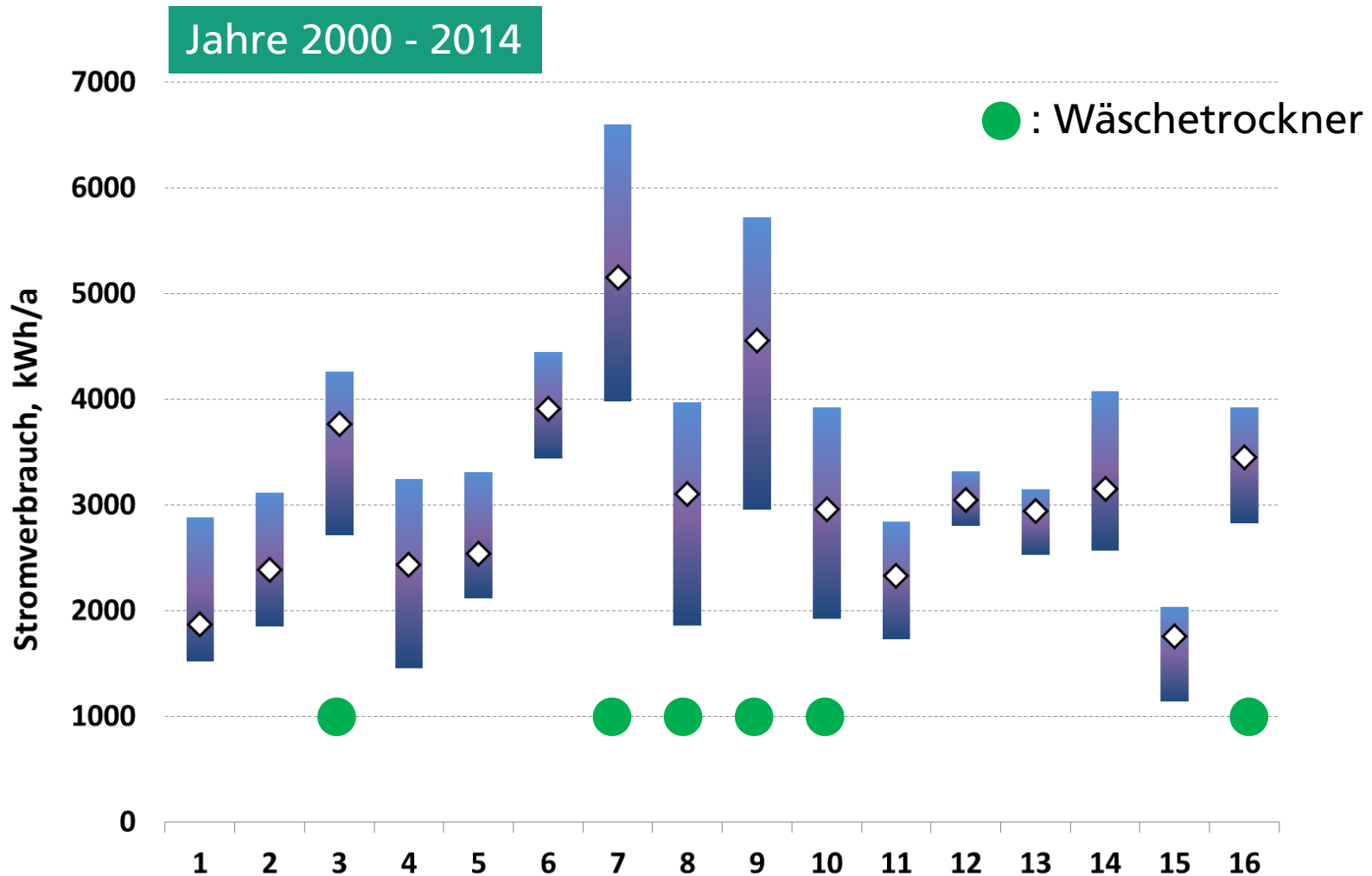
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



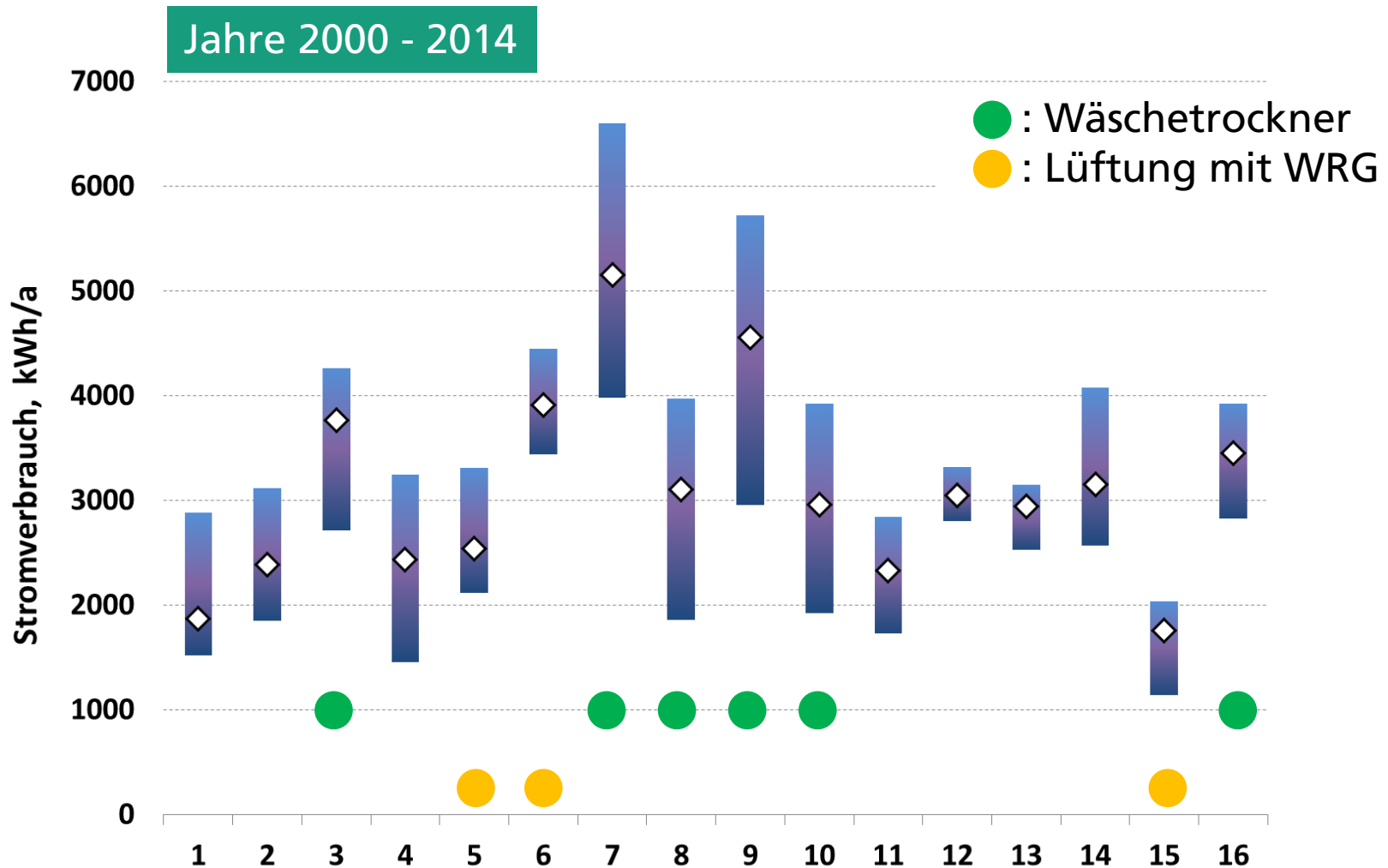
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



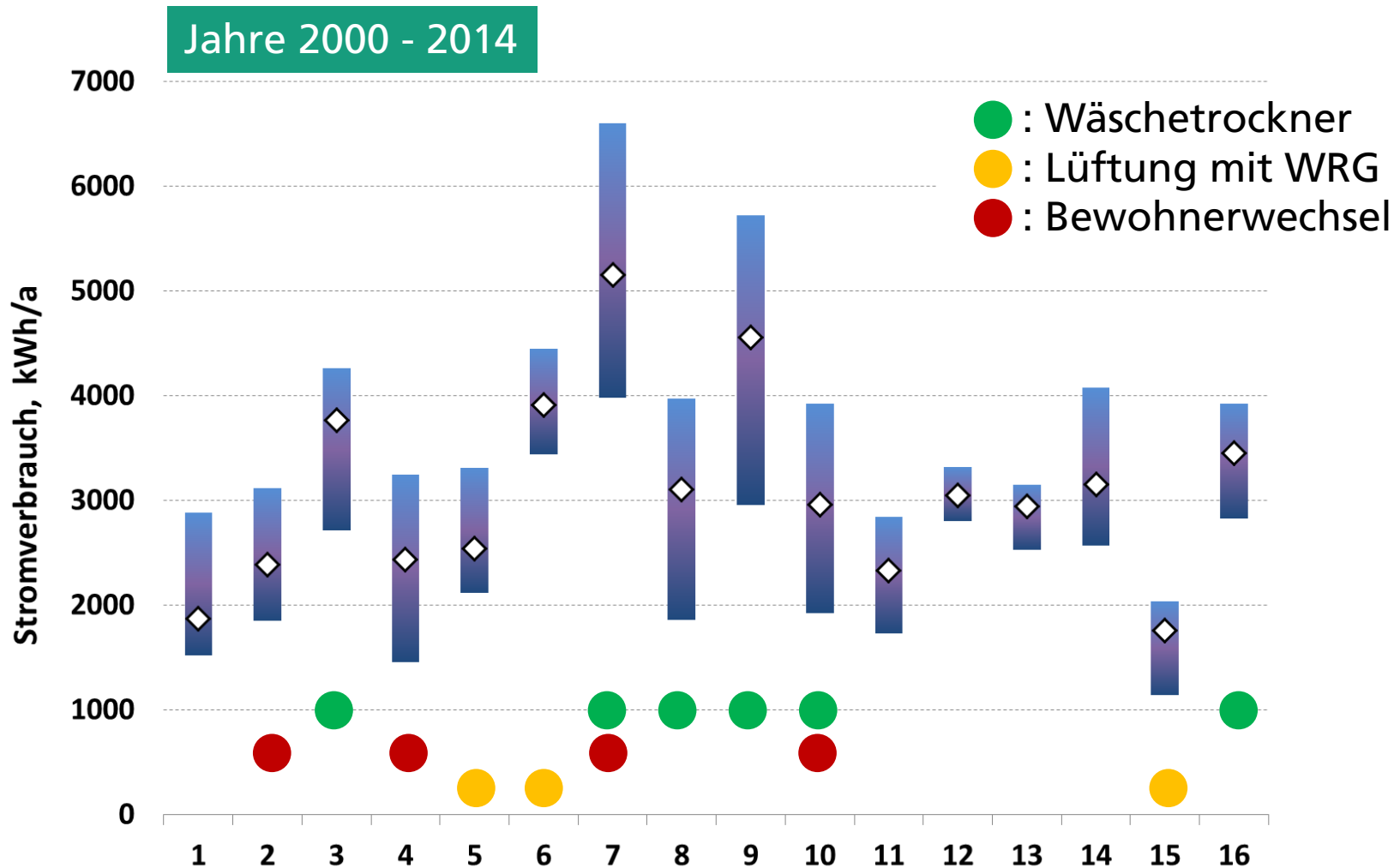
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



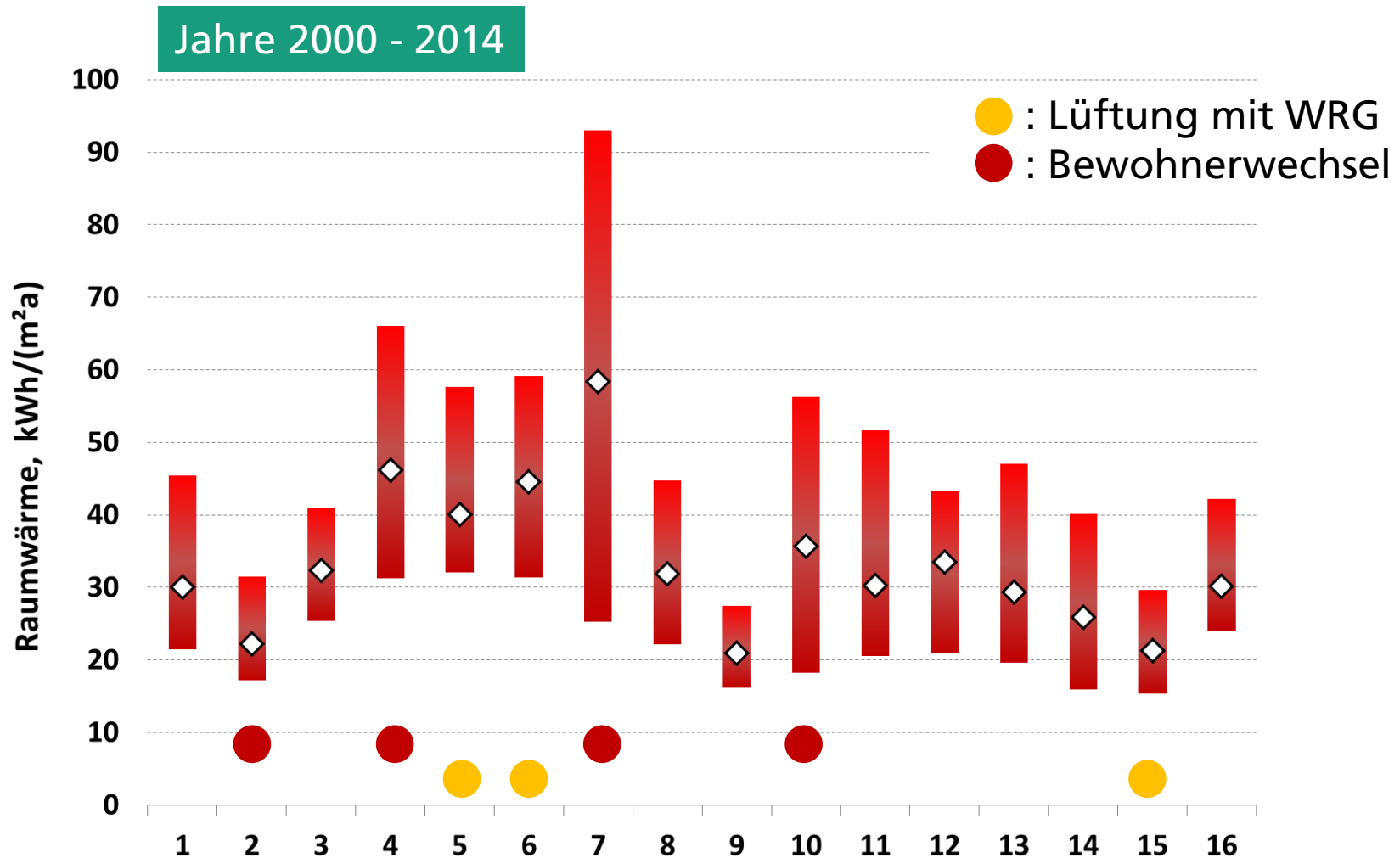
Wieviel Energie brauchen wir?

Beispiel Reihenhauskomplex mit 16 Haushalten - Strom



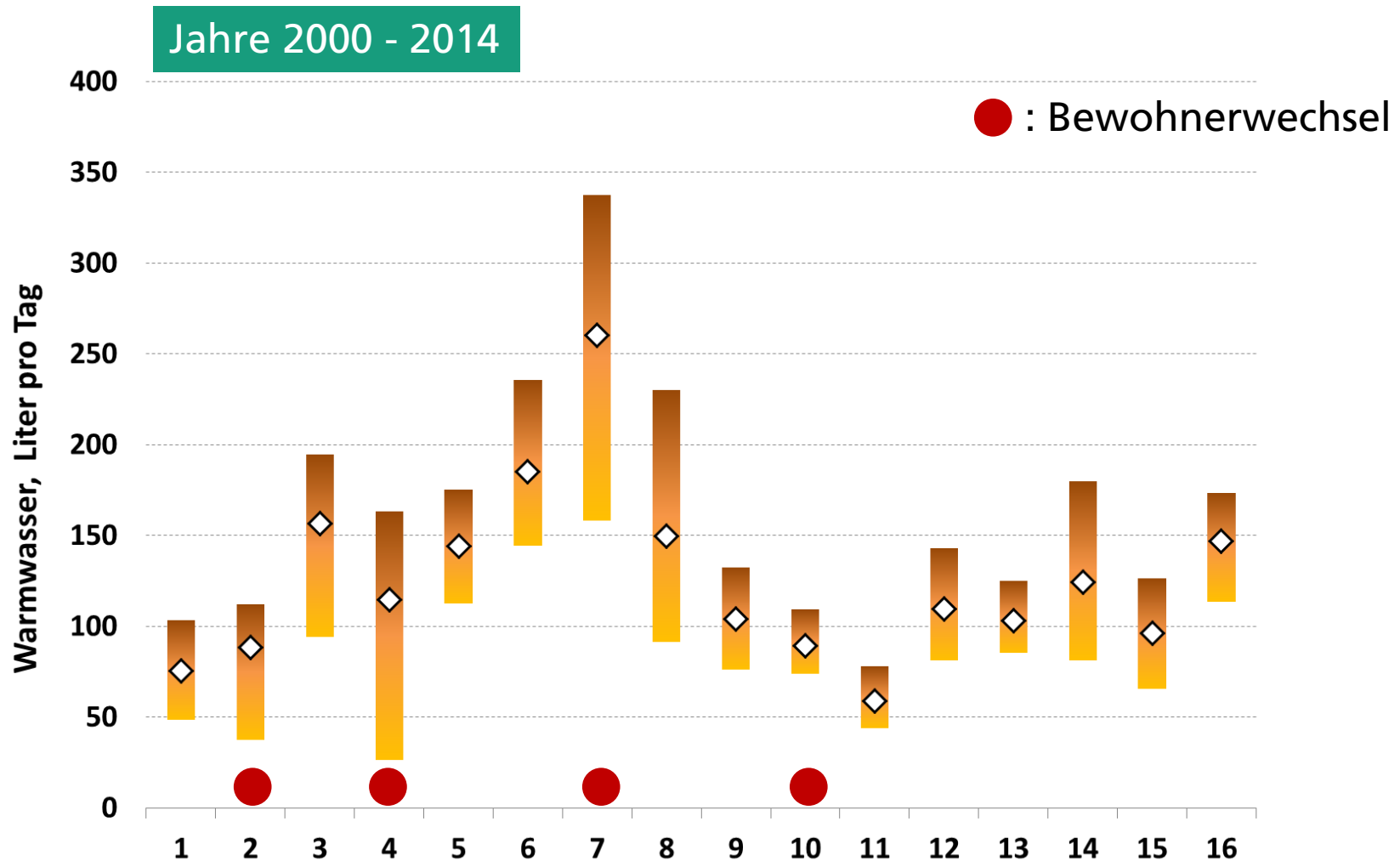
Wieviel Energie brauchen wir?

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

Stromerzeugung und -speicherung



Brennstoffe (inkl. Biomasse und Power-to-Hydrogen/Gas/Fuel)



Verkehr (unterschiedliche Antriebskonzepte)



Wärme (Gebäude, inkl. Fernwärme und Speicher)

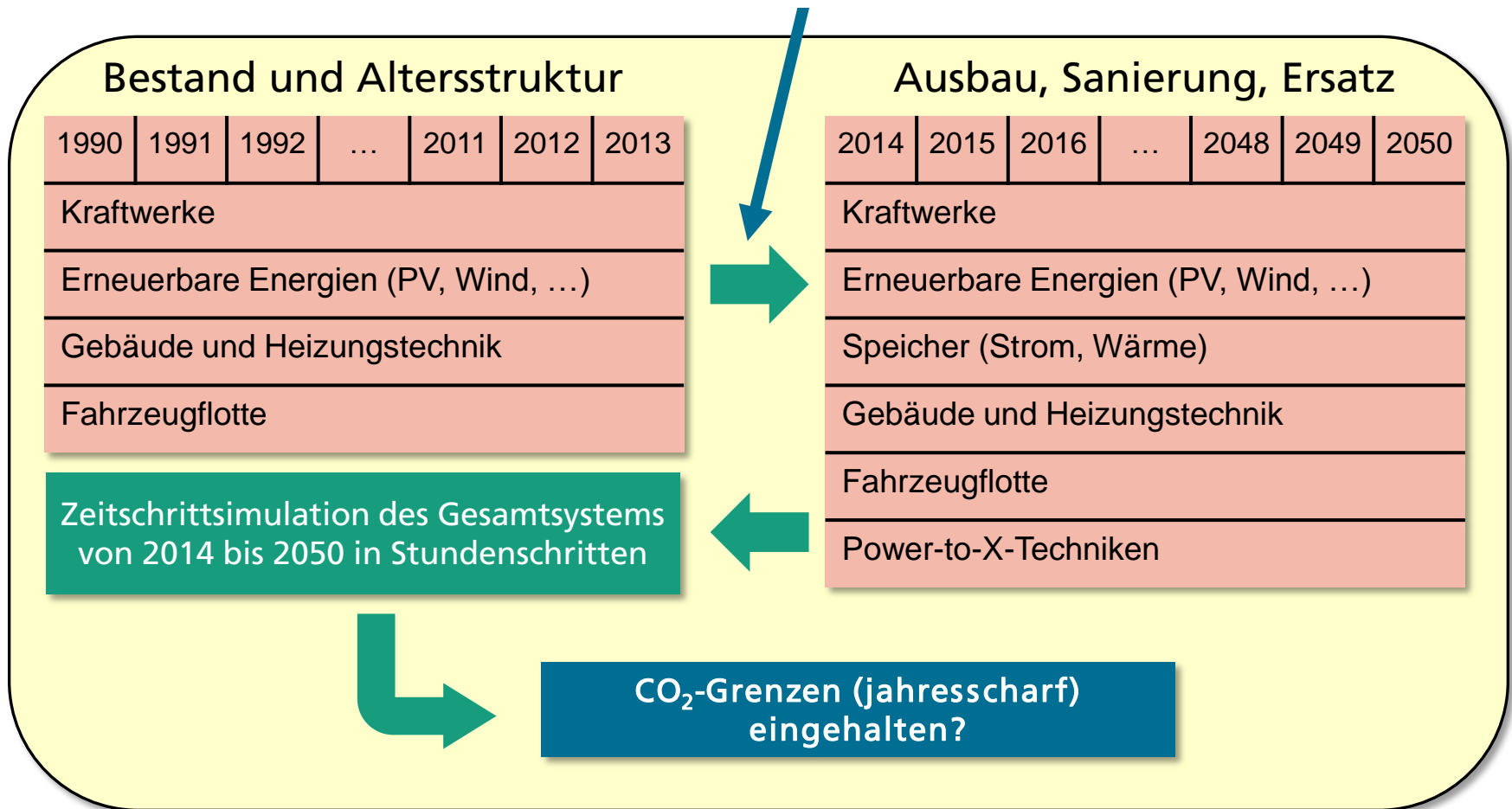


Prozesse in Gewerbe und Industrie

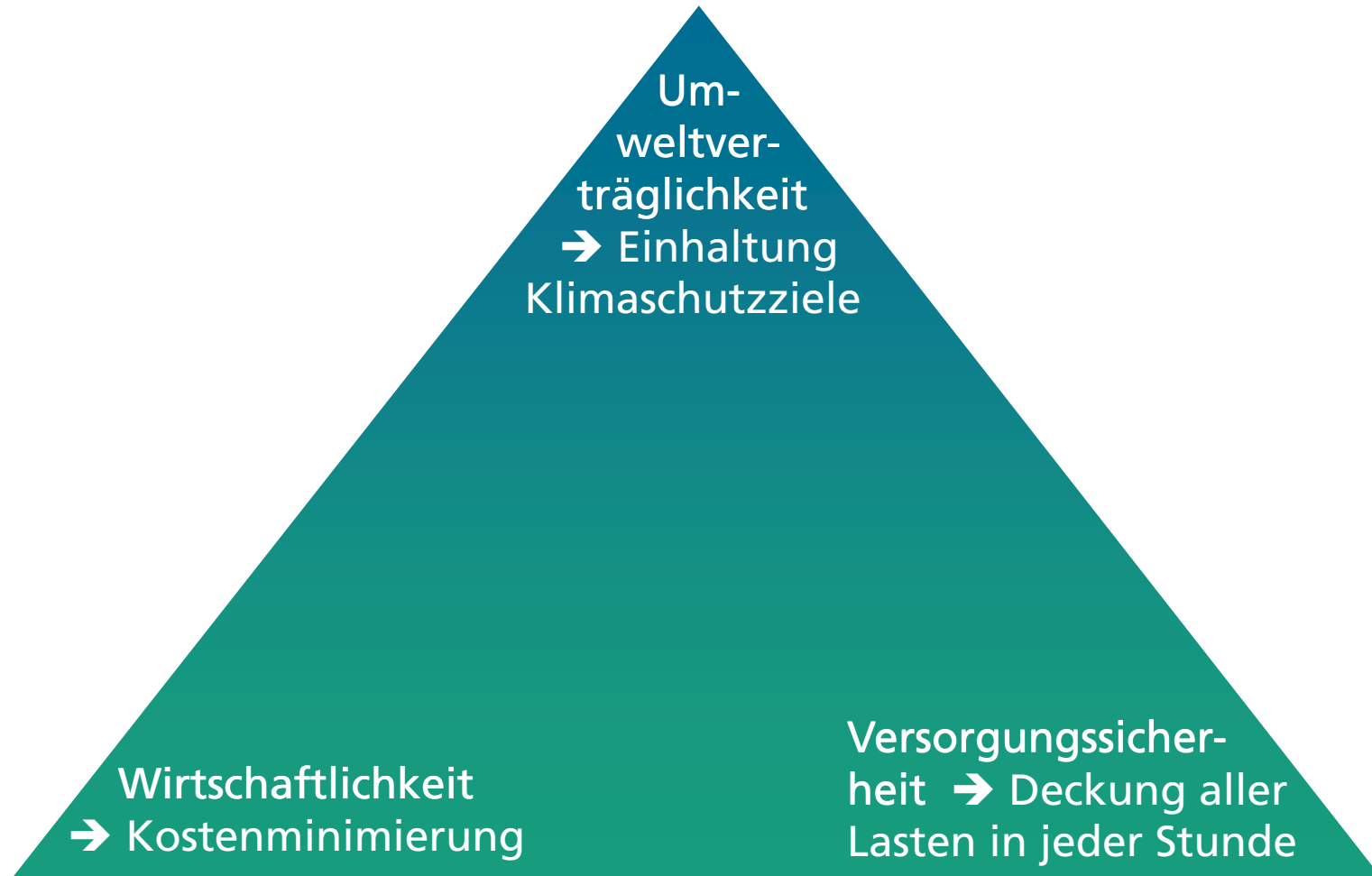


Methodisches Vorgehen 1/2

Optimierung von Ausbau, Sanierung, Ersatz
Zielfunktion: minimale kumulative Gesamtkosten 2014-2050



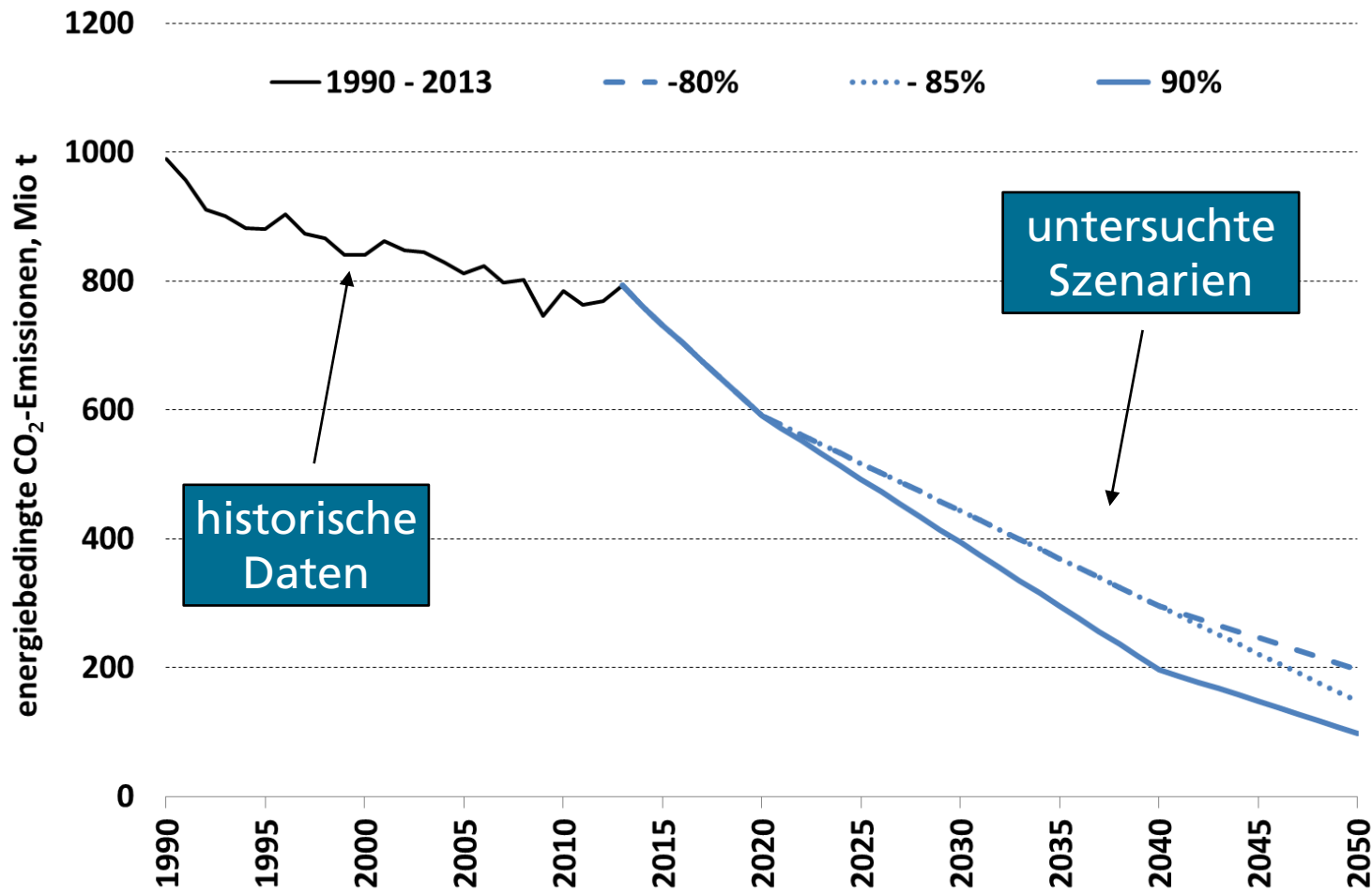
Energiepolitisches Zieldreieck



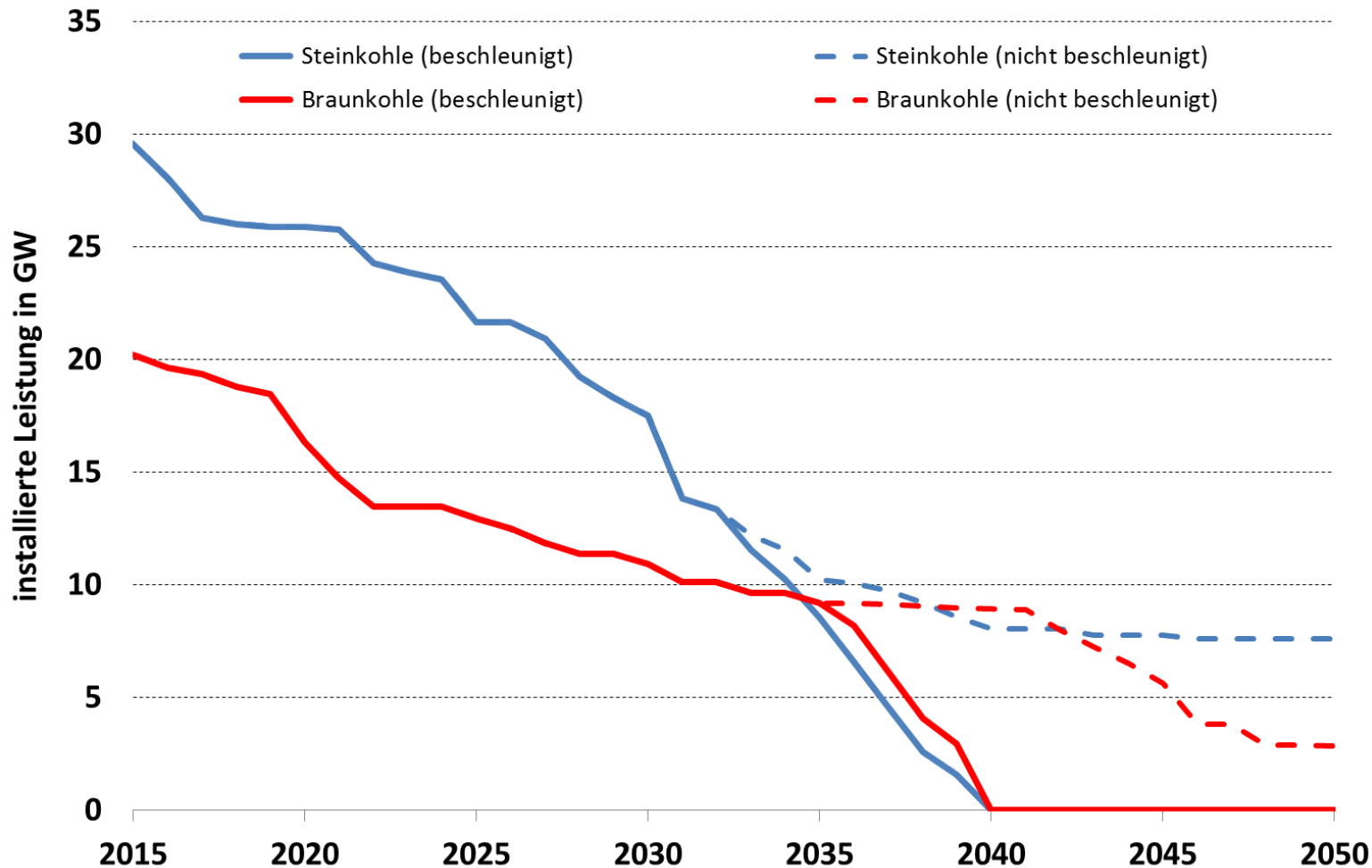
Übersicht

- 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

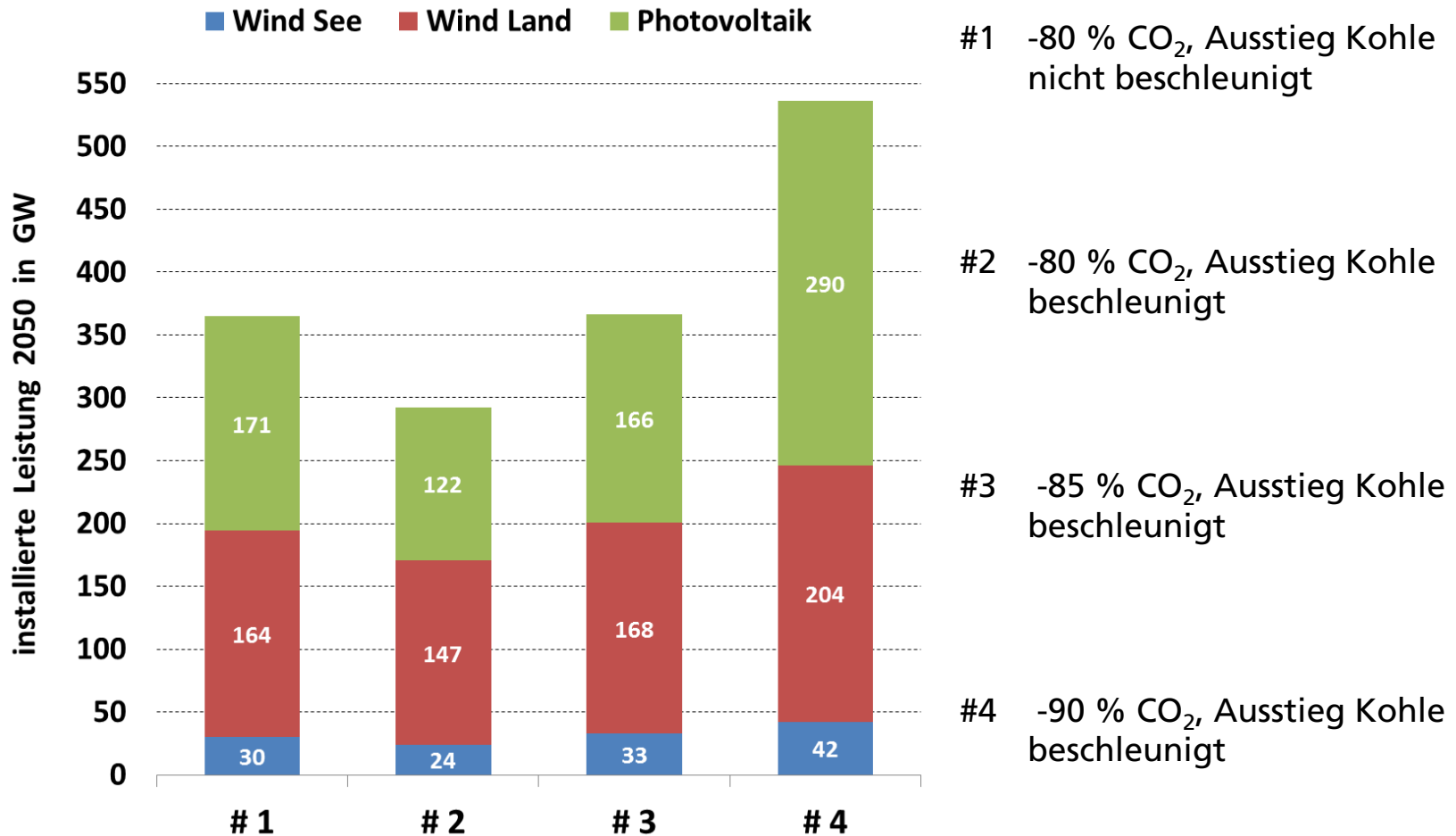


Übersicht

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

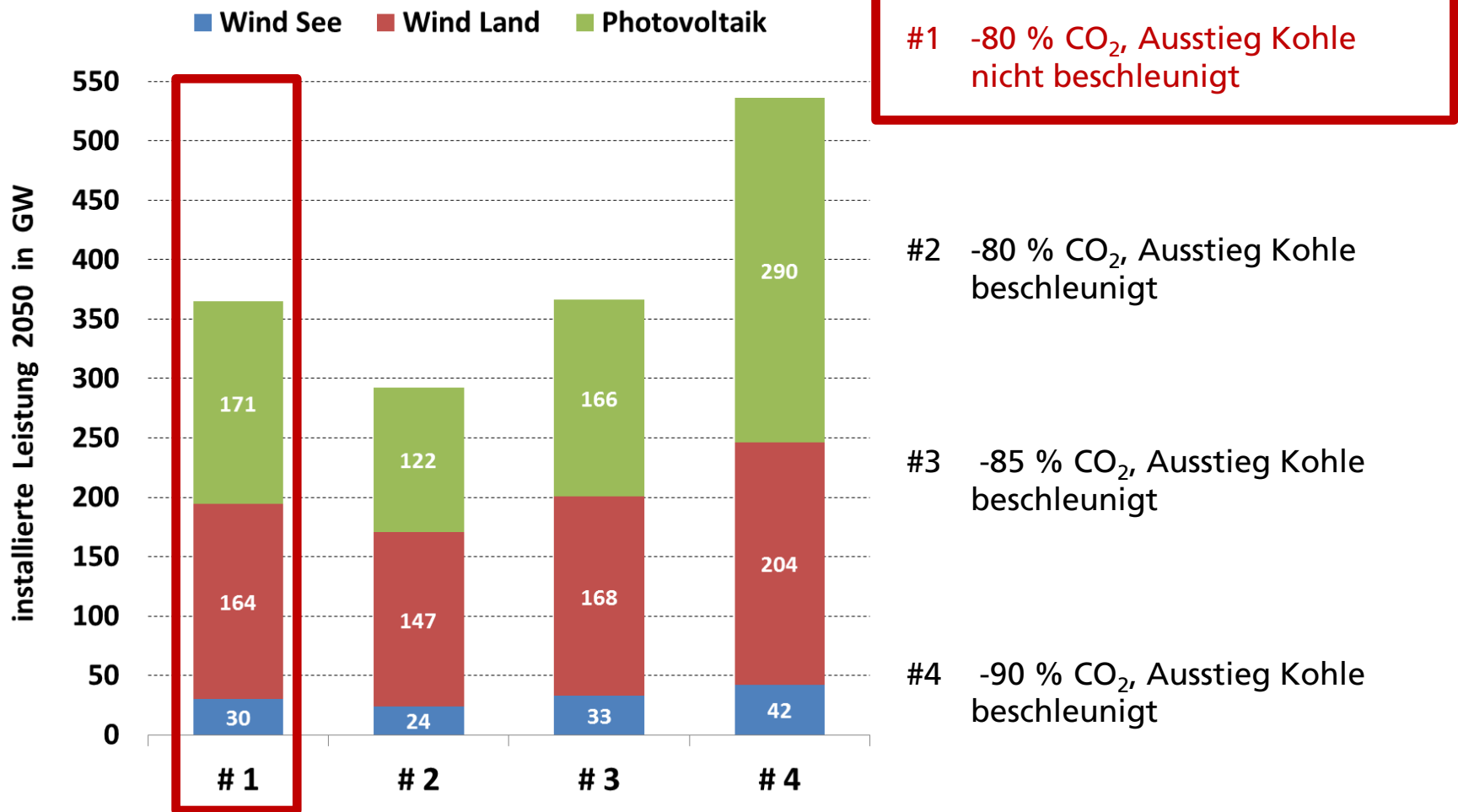
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



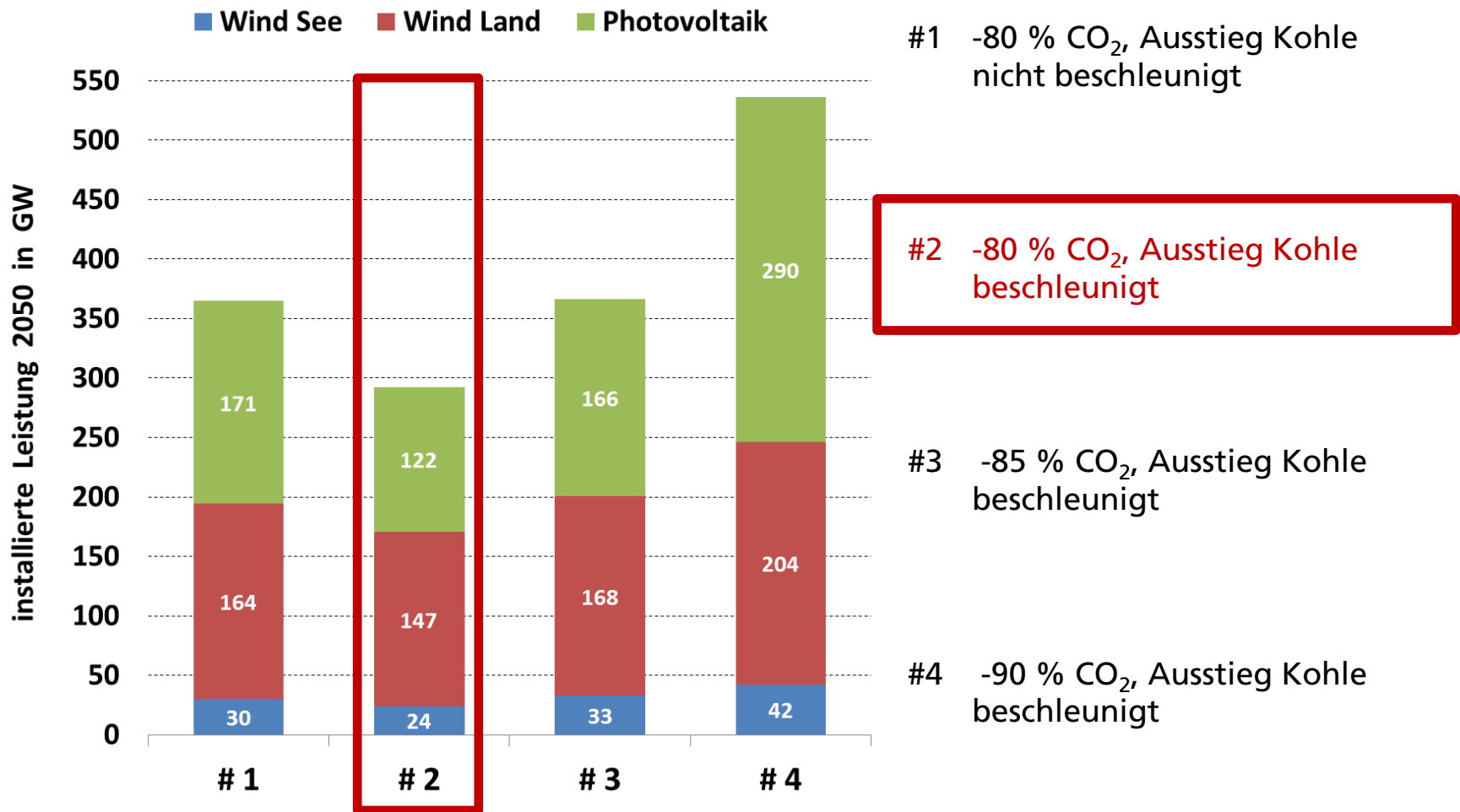
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



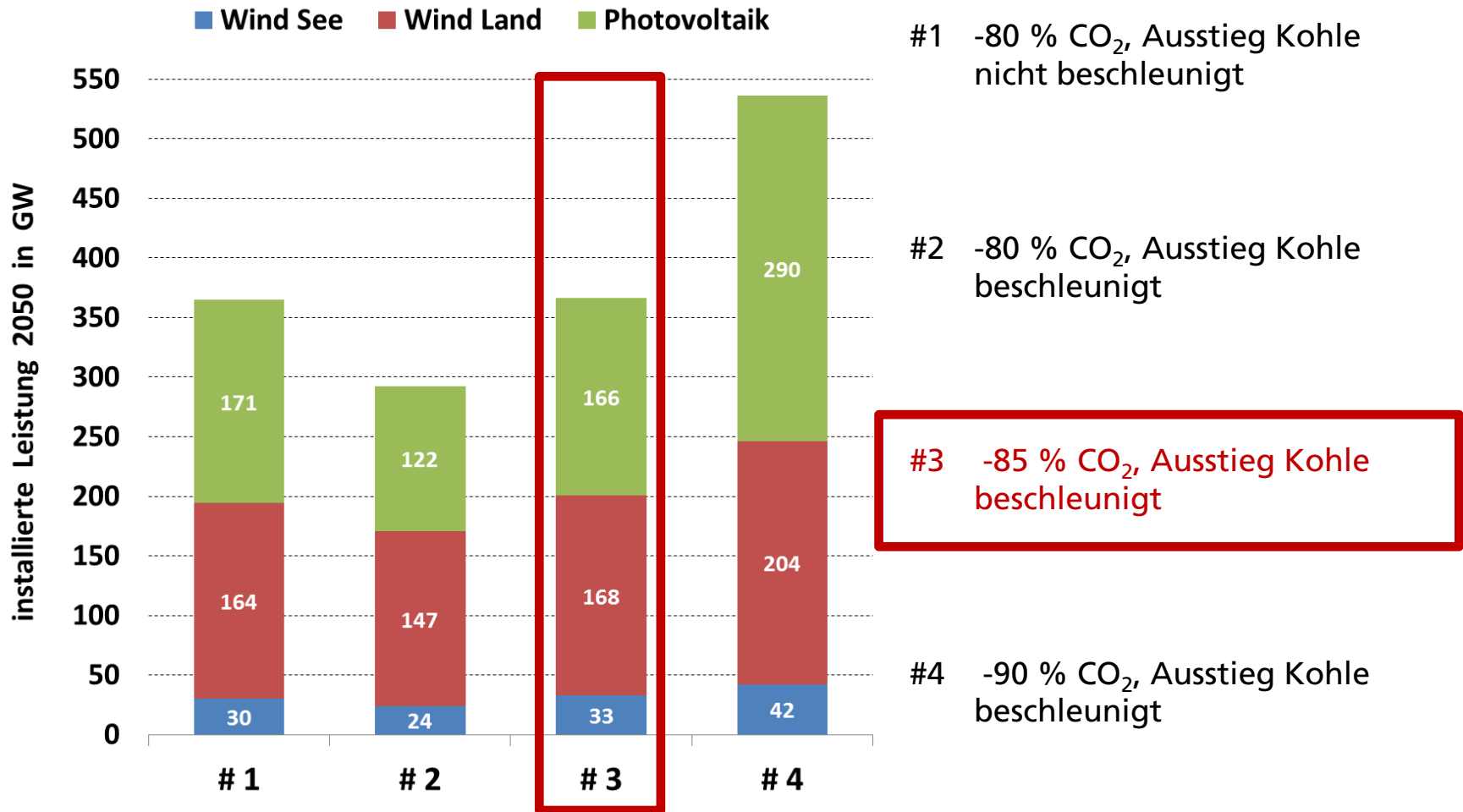
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



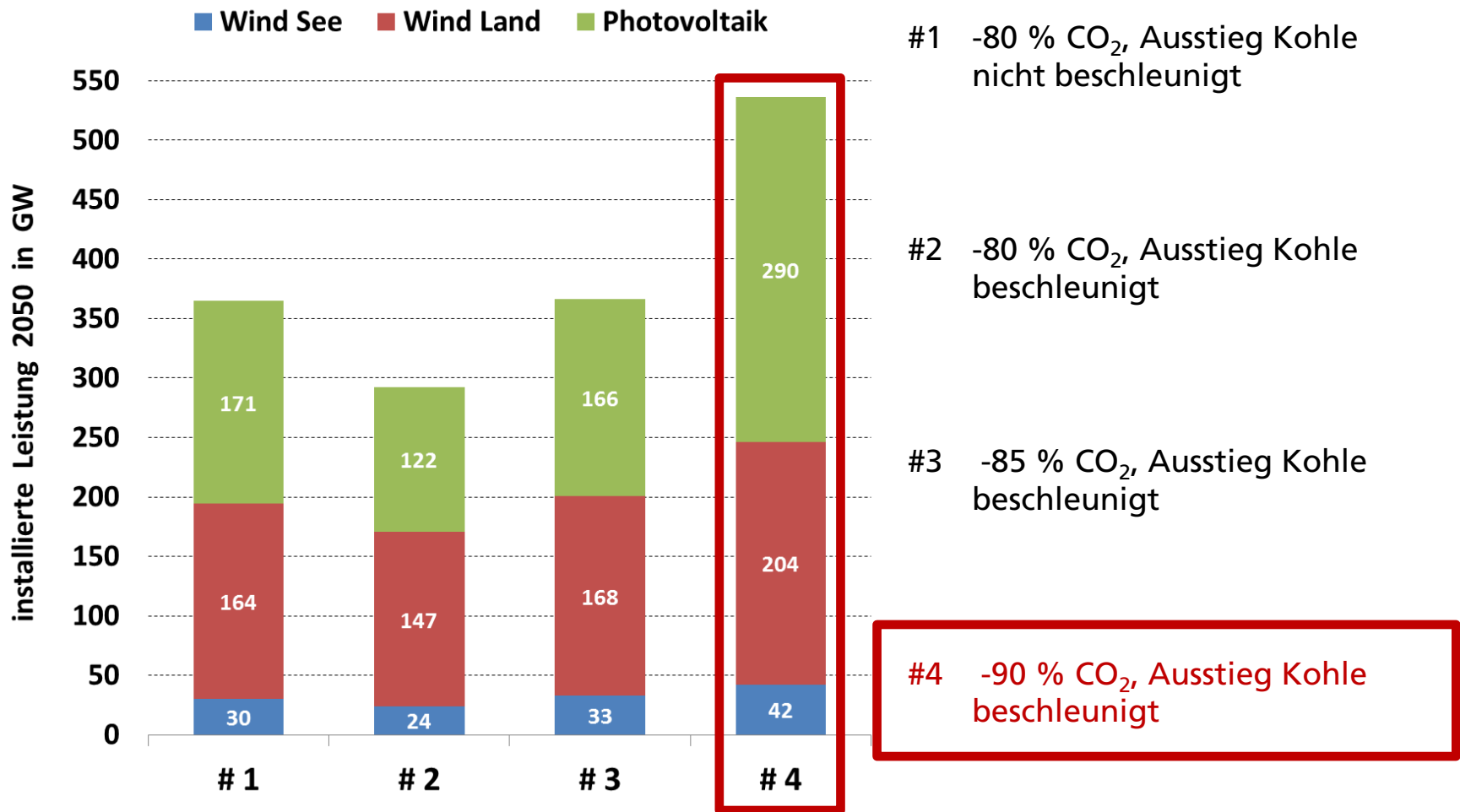
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



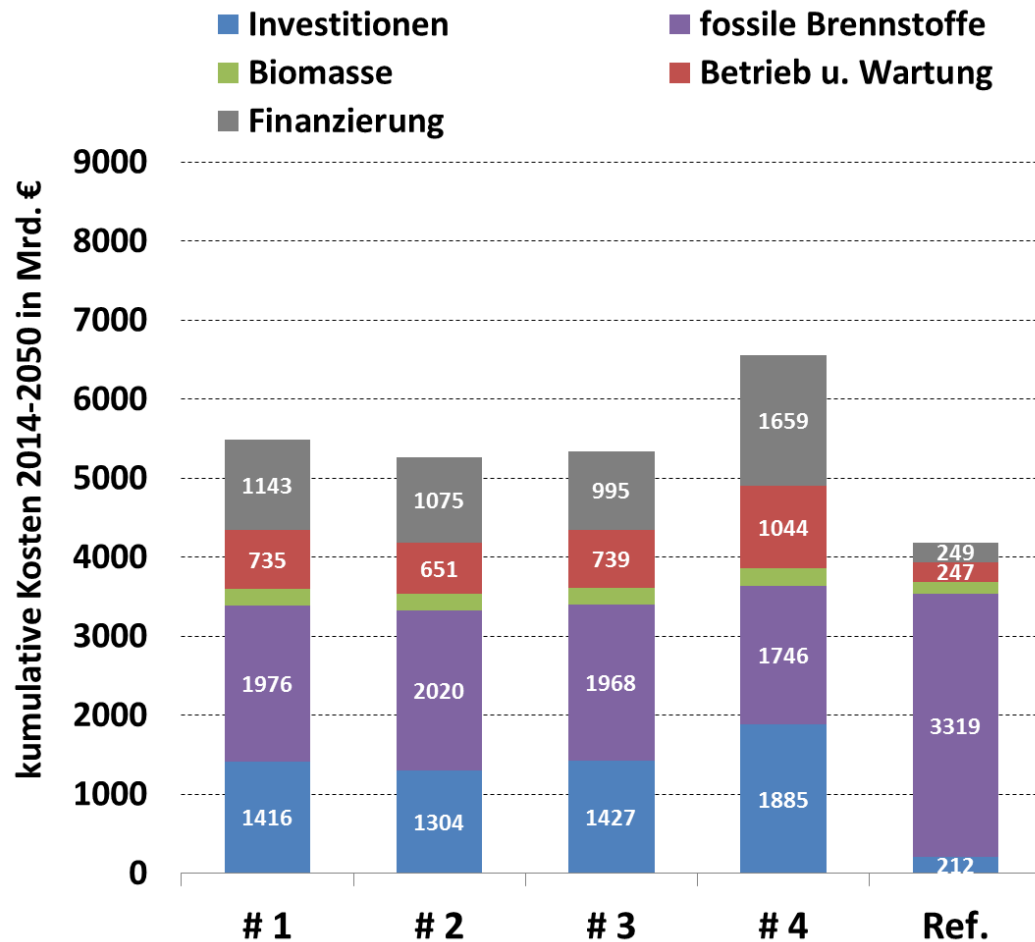
Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050



Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



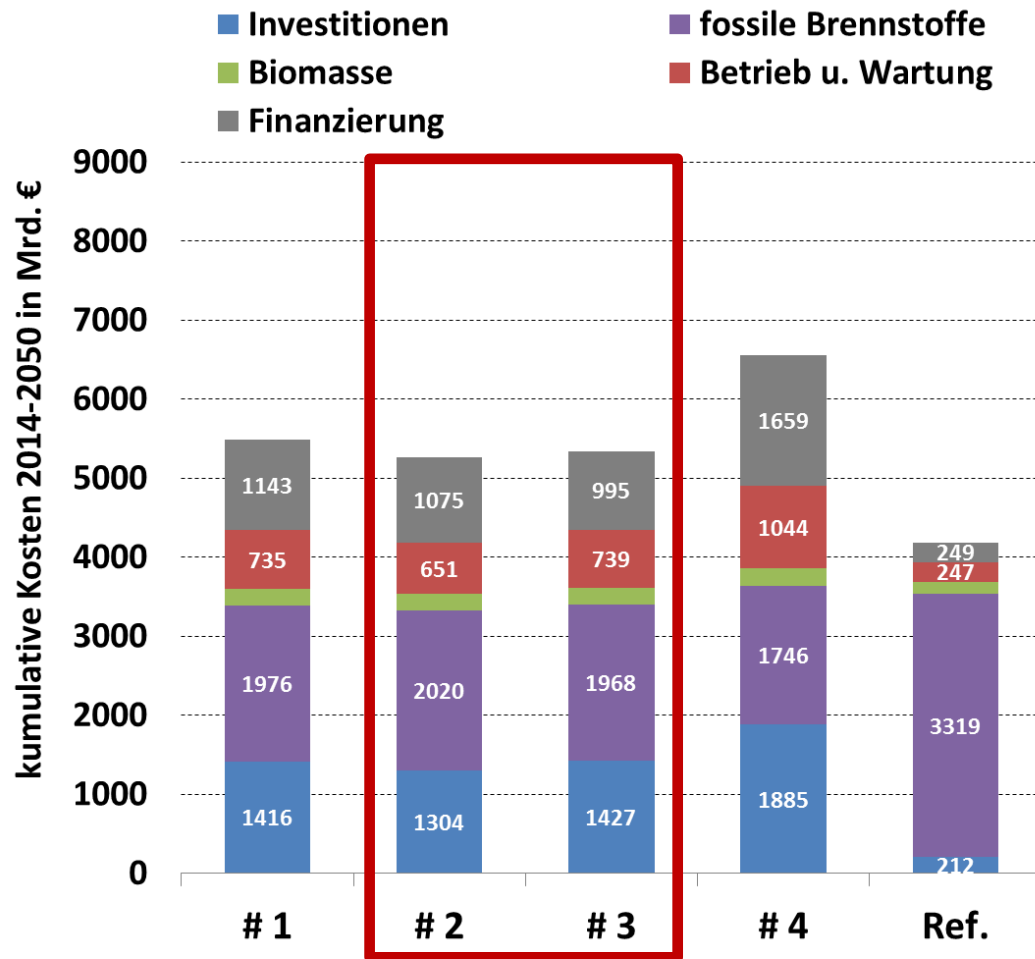
- Ohne Kosten für CO₂-Emissionen
- Konstante Preise für fossile Energieträger

- #1 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt
- #2 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt
- #3 -85 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt
- #4 -90 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

Ref heutiges System „eingefroren“

Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



Ohne Kosten für CO₂-Emissionen

Konstante Preise für fossile Energieträger

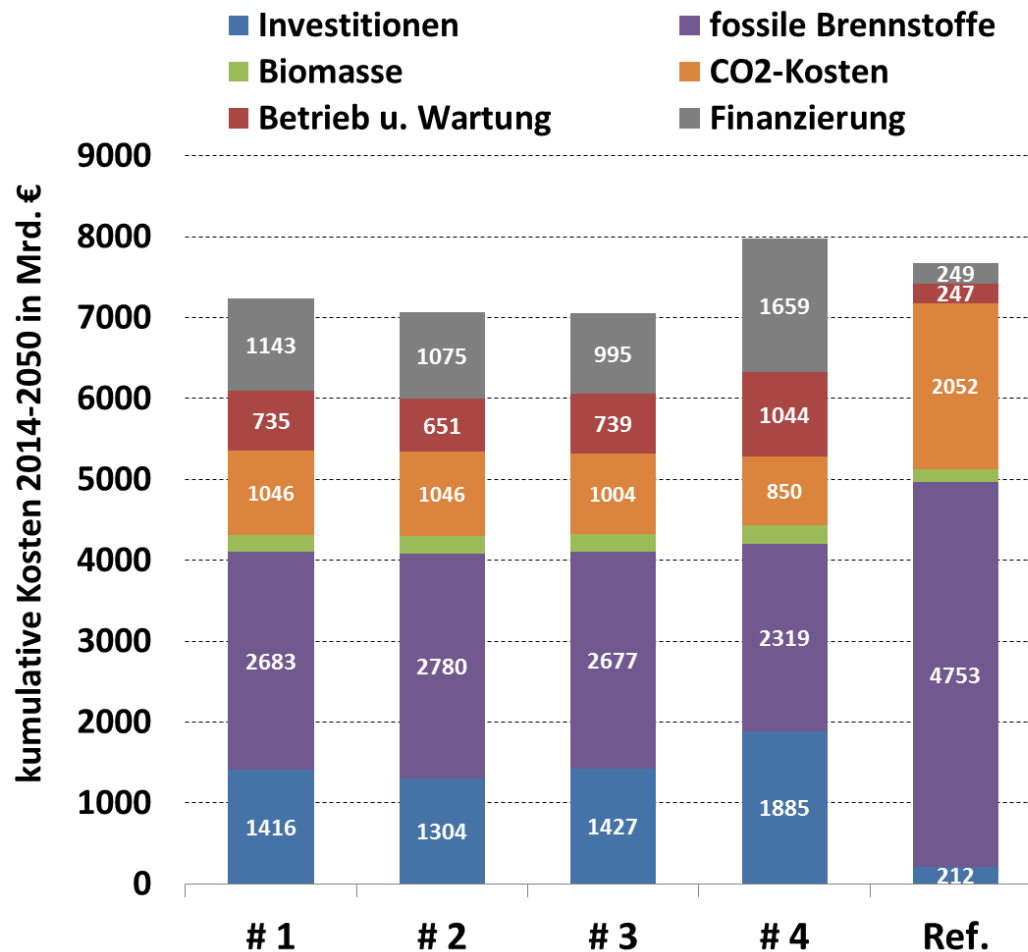
Kumulative Mehrkosten der Szenarien # 2 und # 3 rund 1100 Mrd. € für den Zeitraum 2014 – 2050 (entspricht rund 0.8 % des deutschen BIP)

#2 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

#3 -85 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt "

Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



■ Kosten für CO₂-Emissionen ansteigend bis 100 € pro Tonne in 2030; dann fix

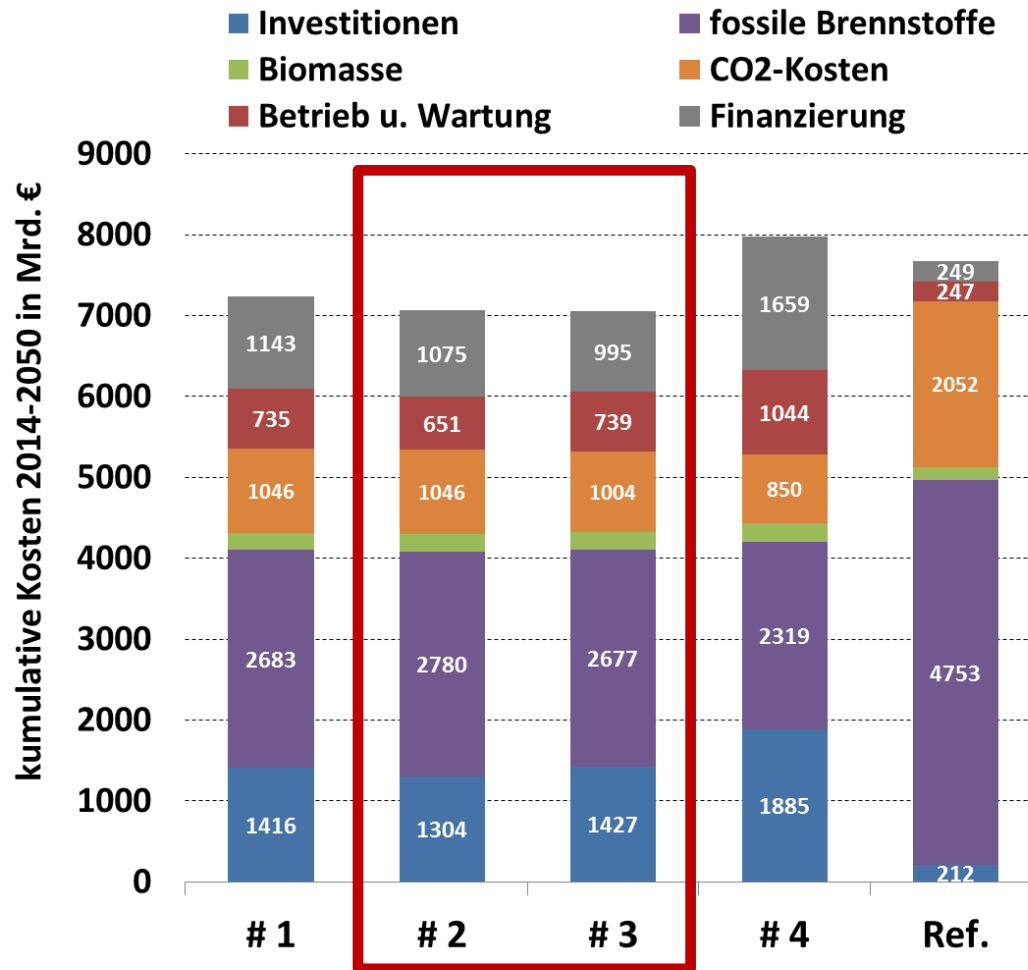
■ Preiserhöhung fossile Energieträger 2 % p.a.

- #1 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle nicht beschleunigt
- #2 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt
- #3 -85 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt
- #4 -90 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

Ref heutiges System „eingefroren“

Szenarienergebnisse

Kumulative Gesamtkosten im Vergleich



- Kosten für CO₂-Emissionen ansteigend bis 100 € pro Tonne in 2030; dann fix
- Preiserhöhung fossile Energieträger 2 % p.a.

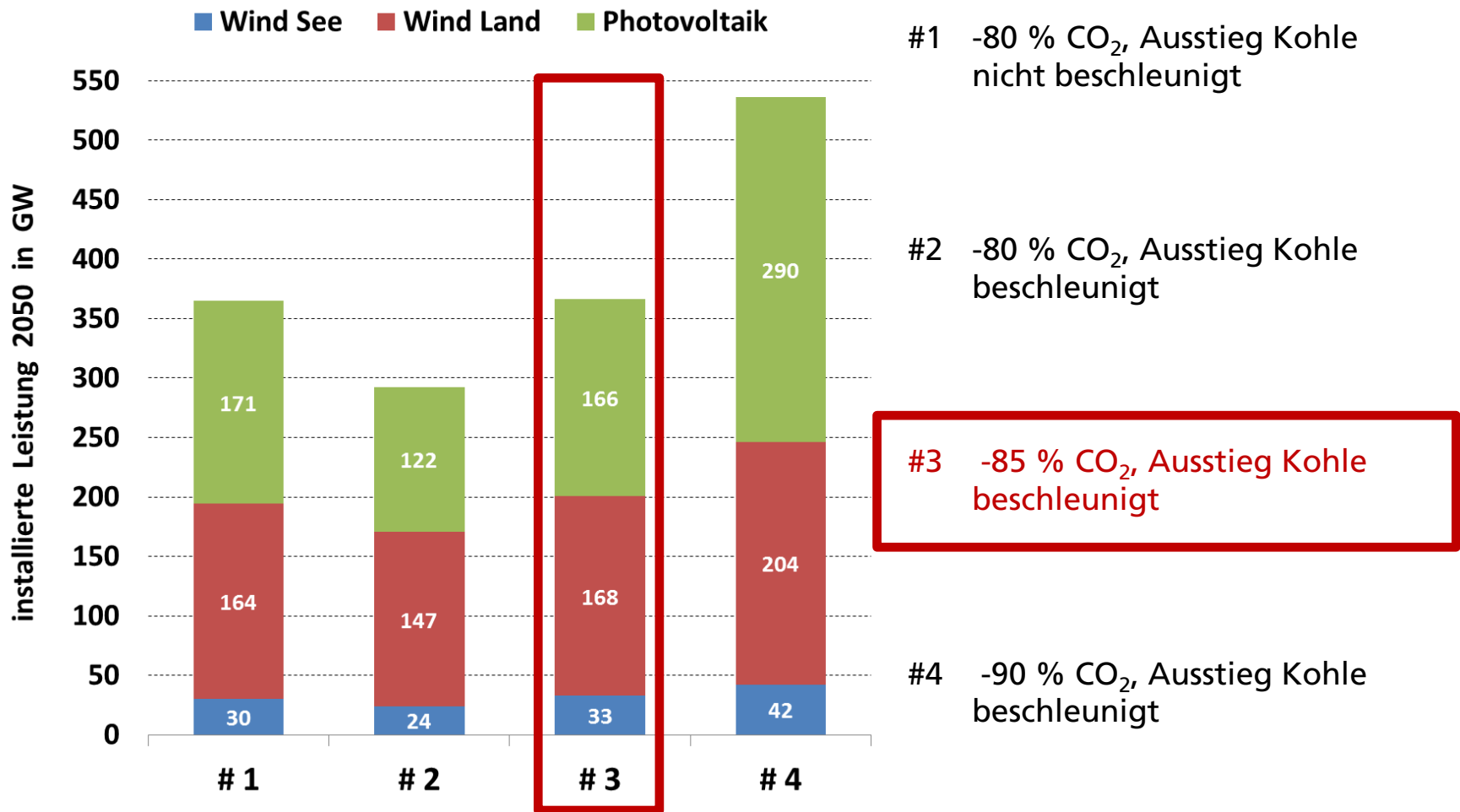
Kumulative Minderkosten der Szenarien # 2 und # 3 rund 600 Mrd. € für den Zeitraum 2014 – 2050

#2 -80 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt

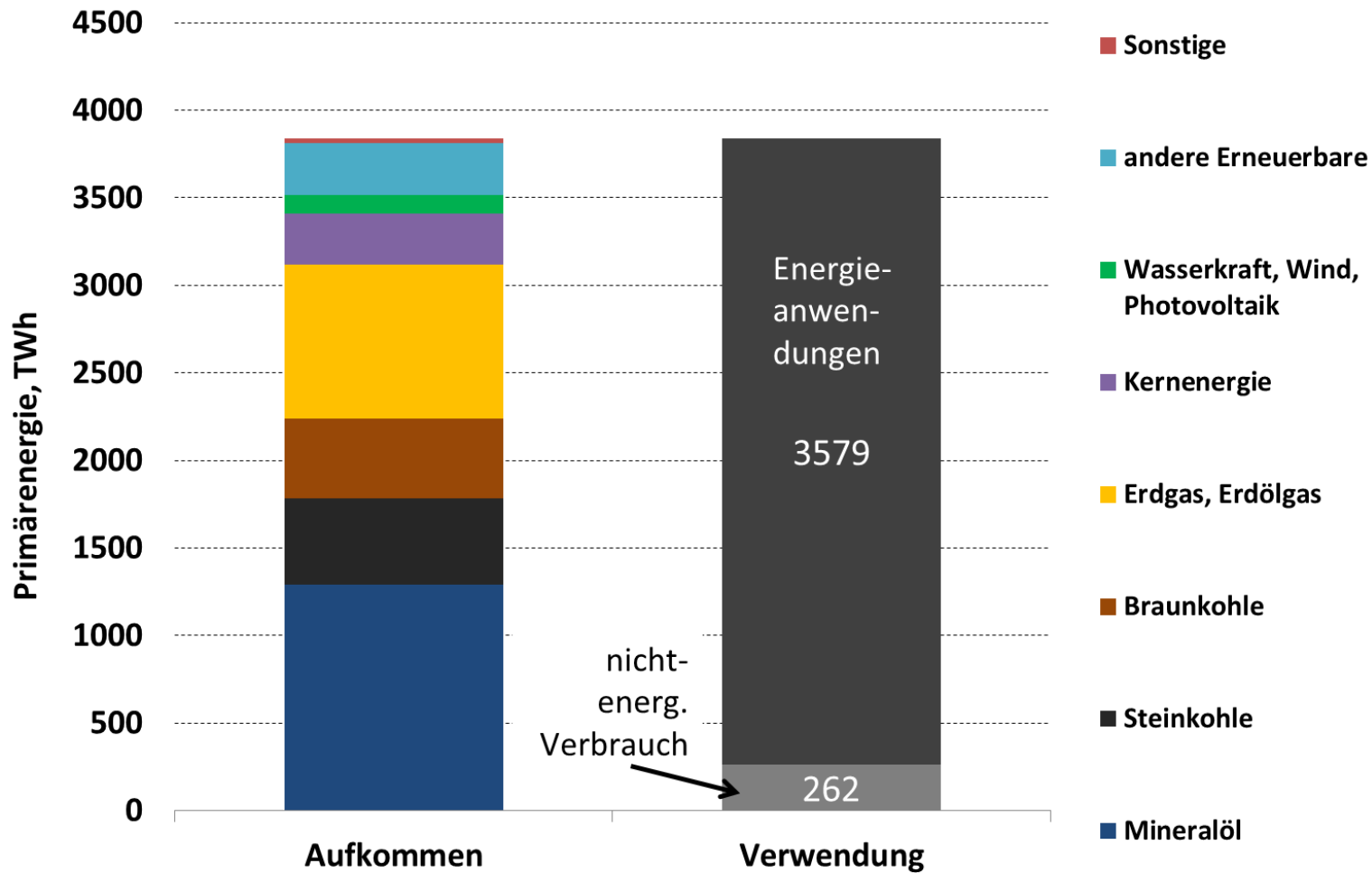
#3 -85 % CO₂, Ausstieg Kohle beschleunigt "

Szenarienergebnisse

Fluktuierende erneuerbare Energien im Jahr 2050

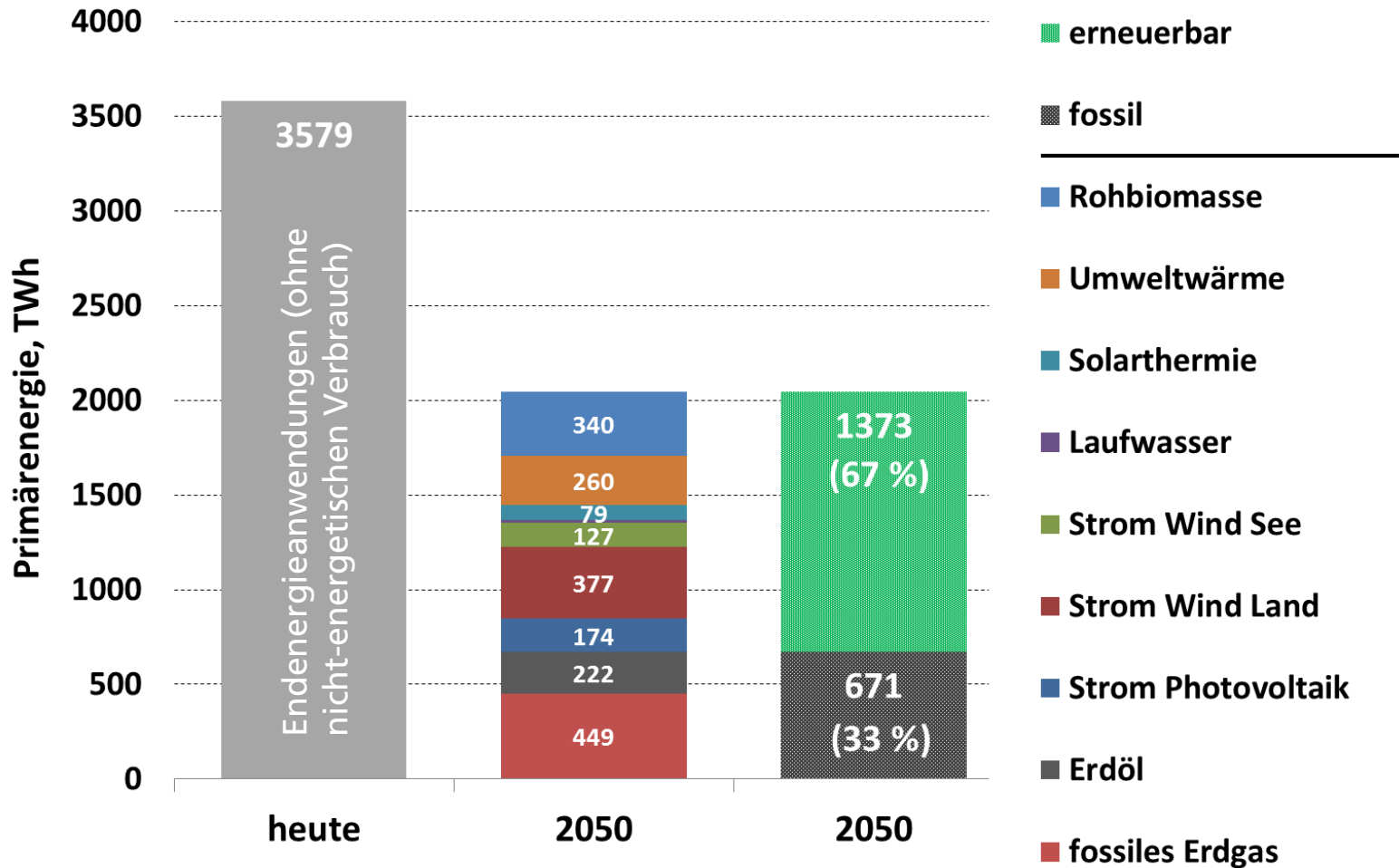


Primärenergie 2013

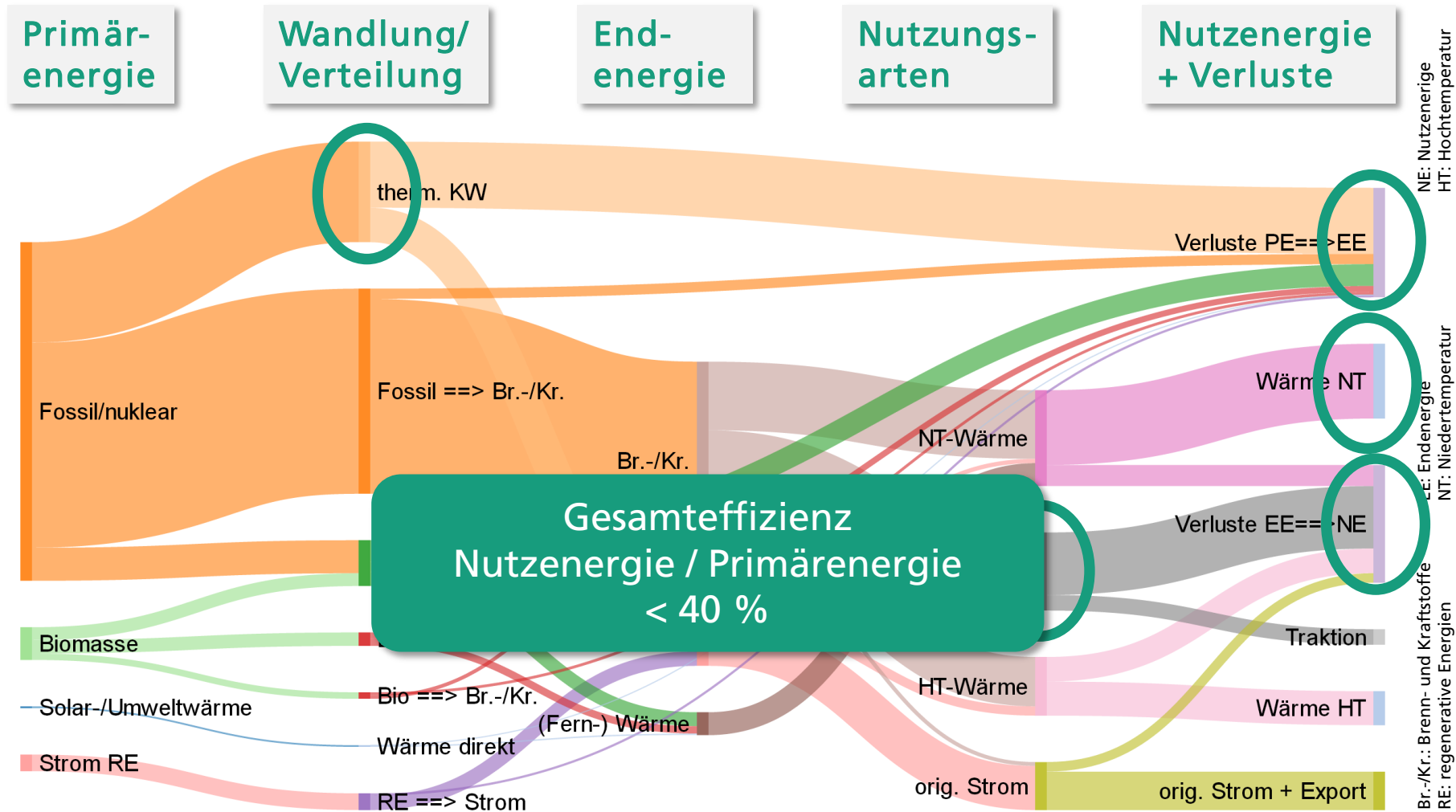


Primärenergie 2050

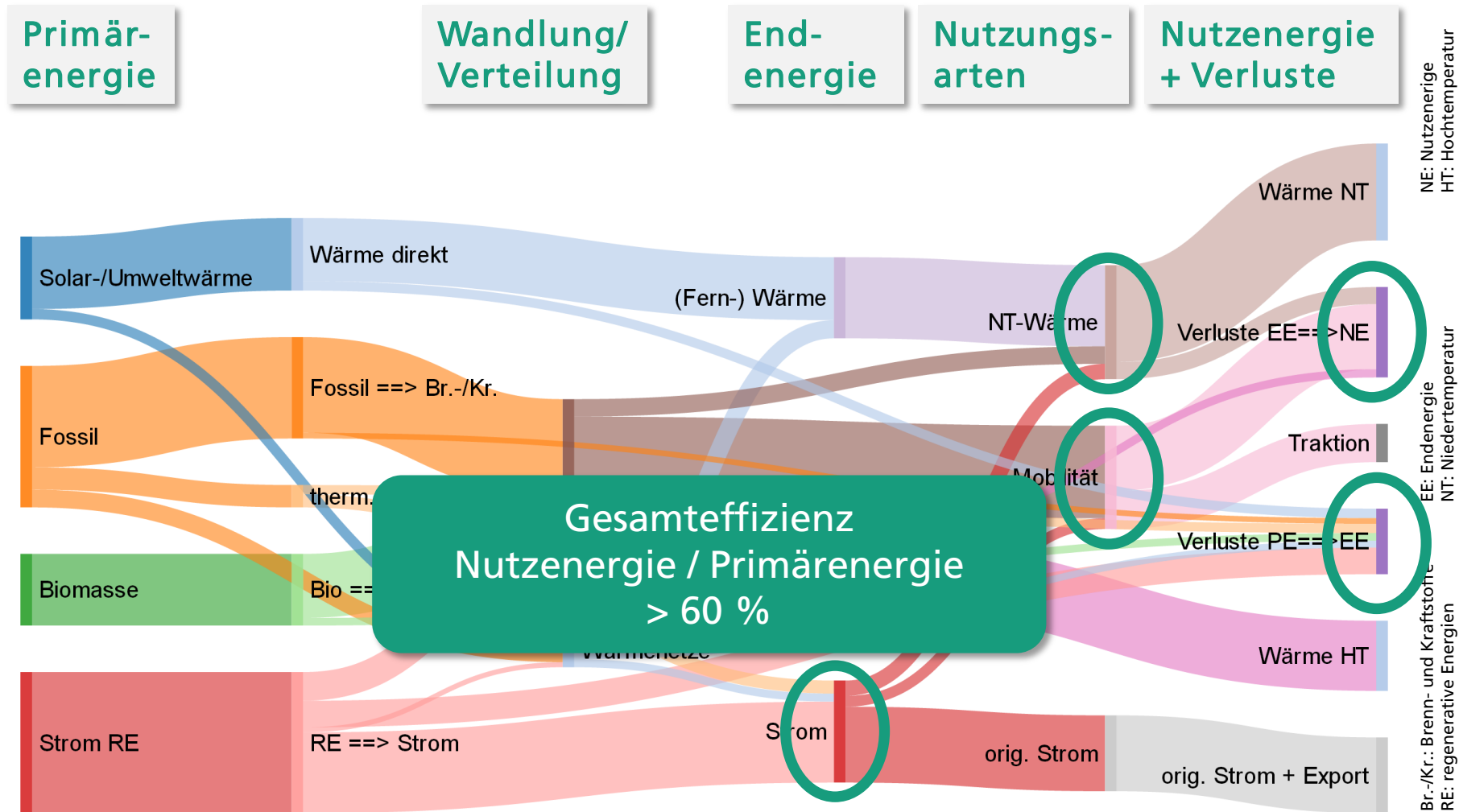
- 85 % - Szenario



Energiefluss im dt. Energiesystem 2013 (vereinfacht)

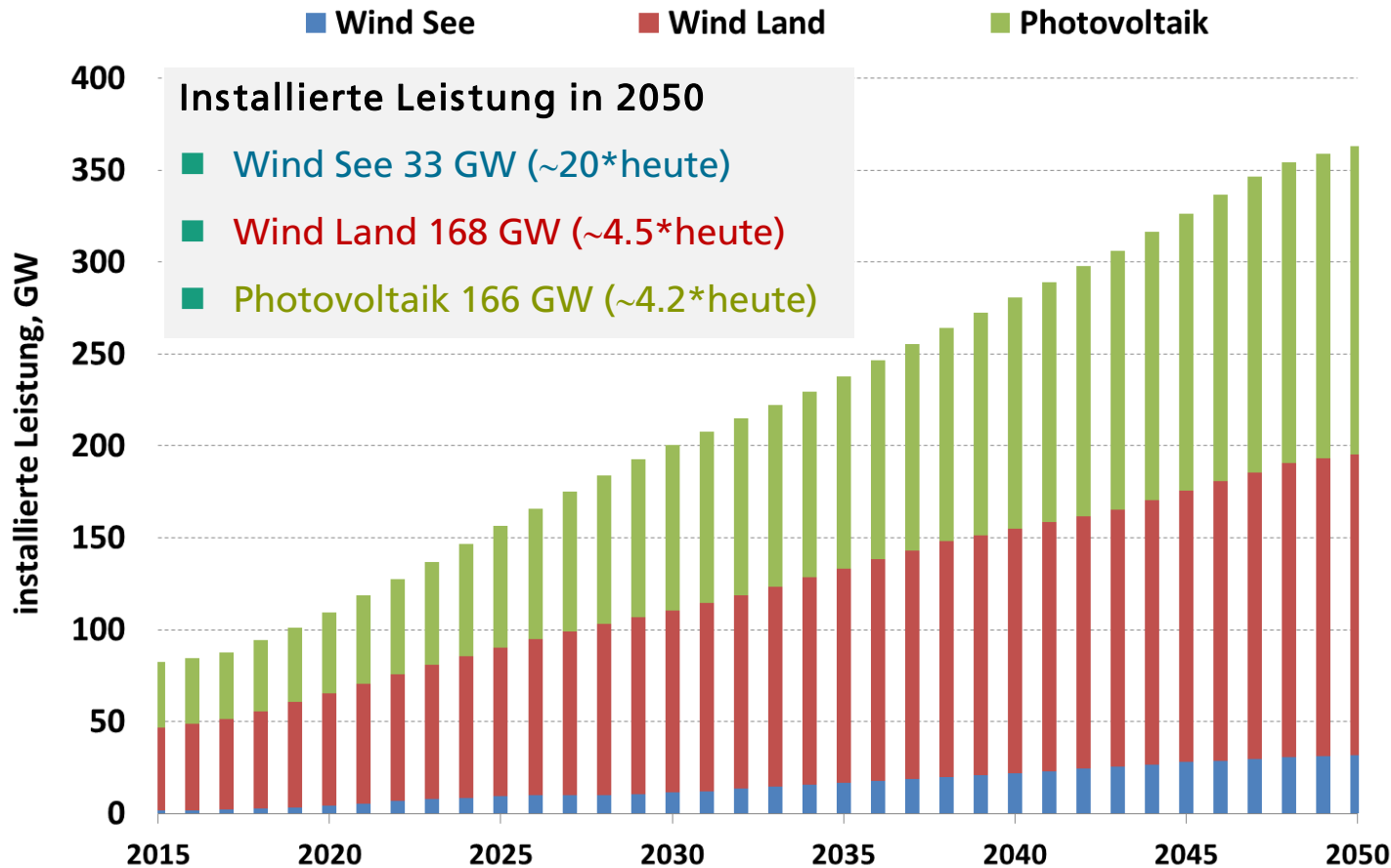


Energiefluss Energiesystem 2050 (-85%-Szenario)

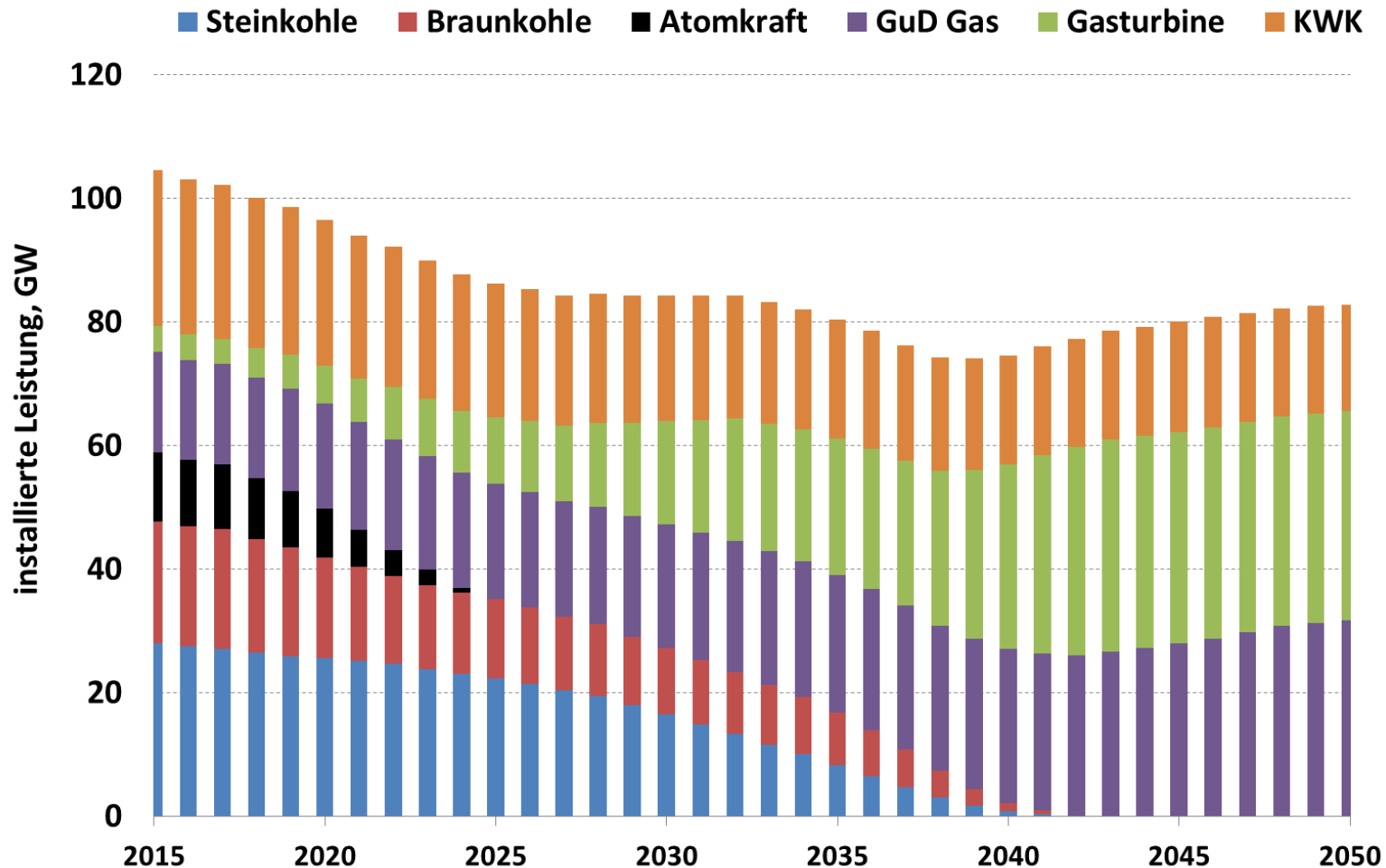


Entwicklung fluktuierende erneuerbare Energien

– 85-%-Szenario

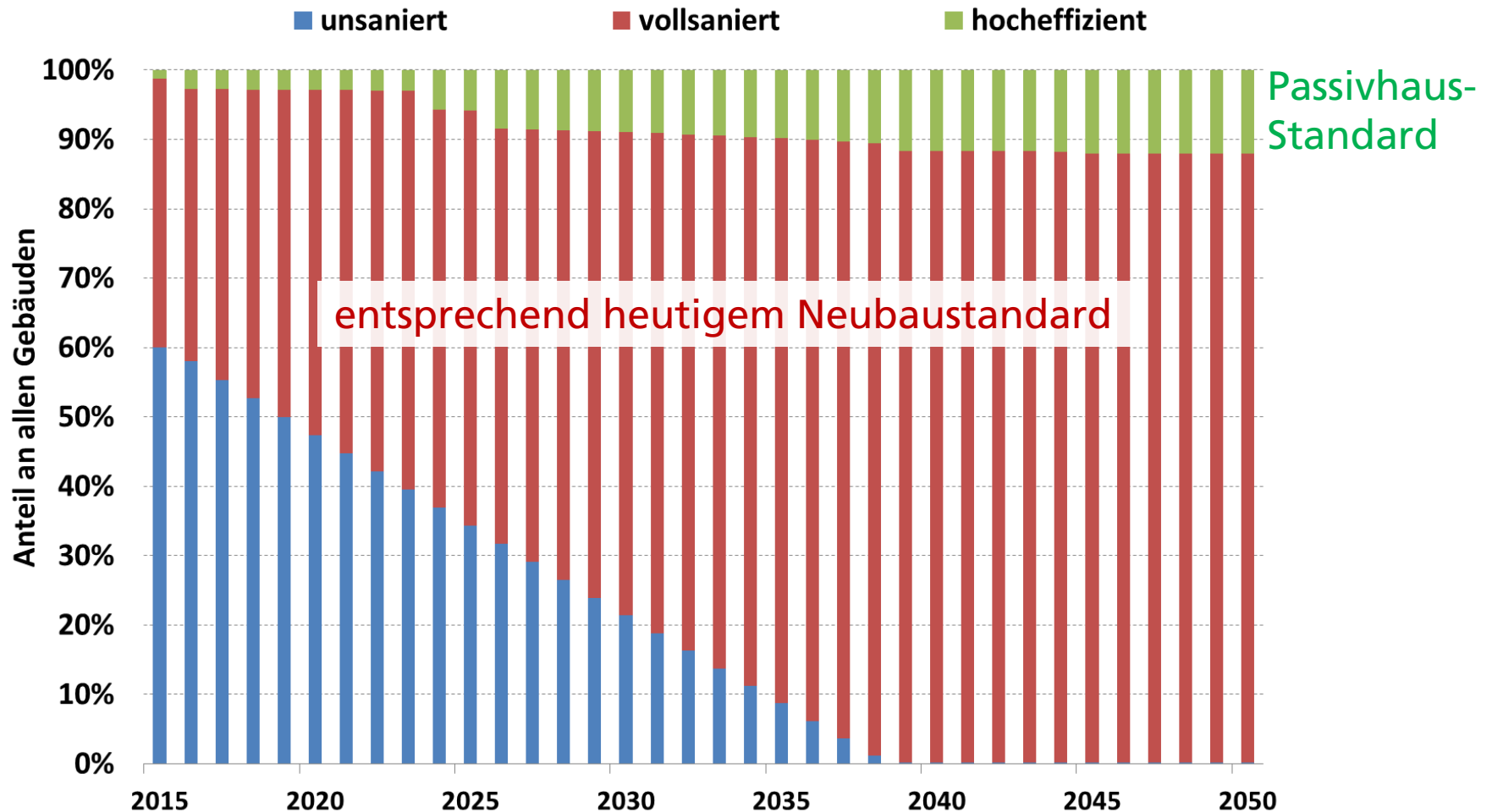


Entwicklung thermische Kraftwerke und KWK – 85%-Szenario



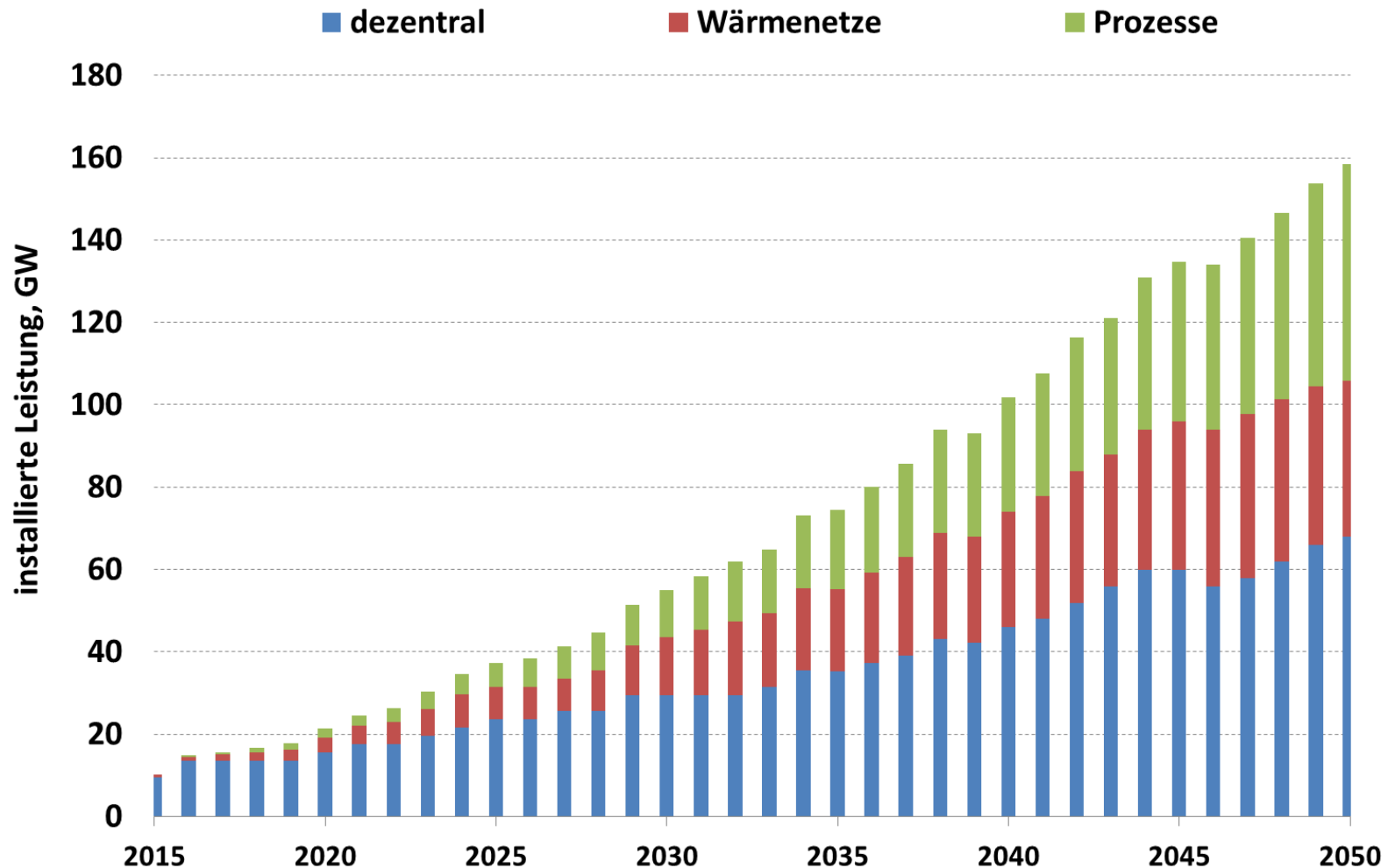
Entwicklung Gebäude

– 85%-Szenario



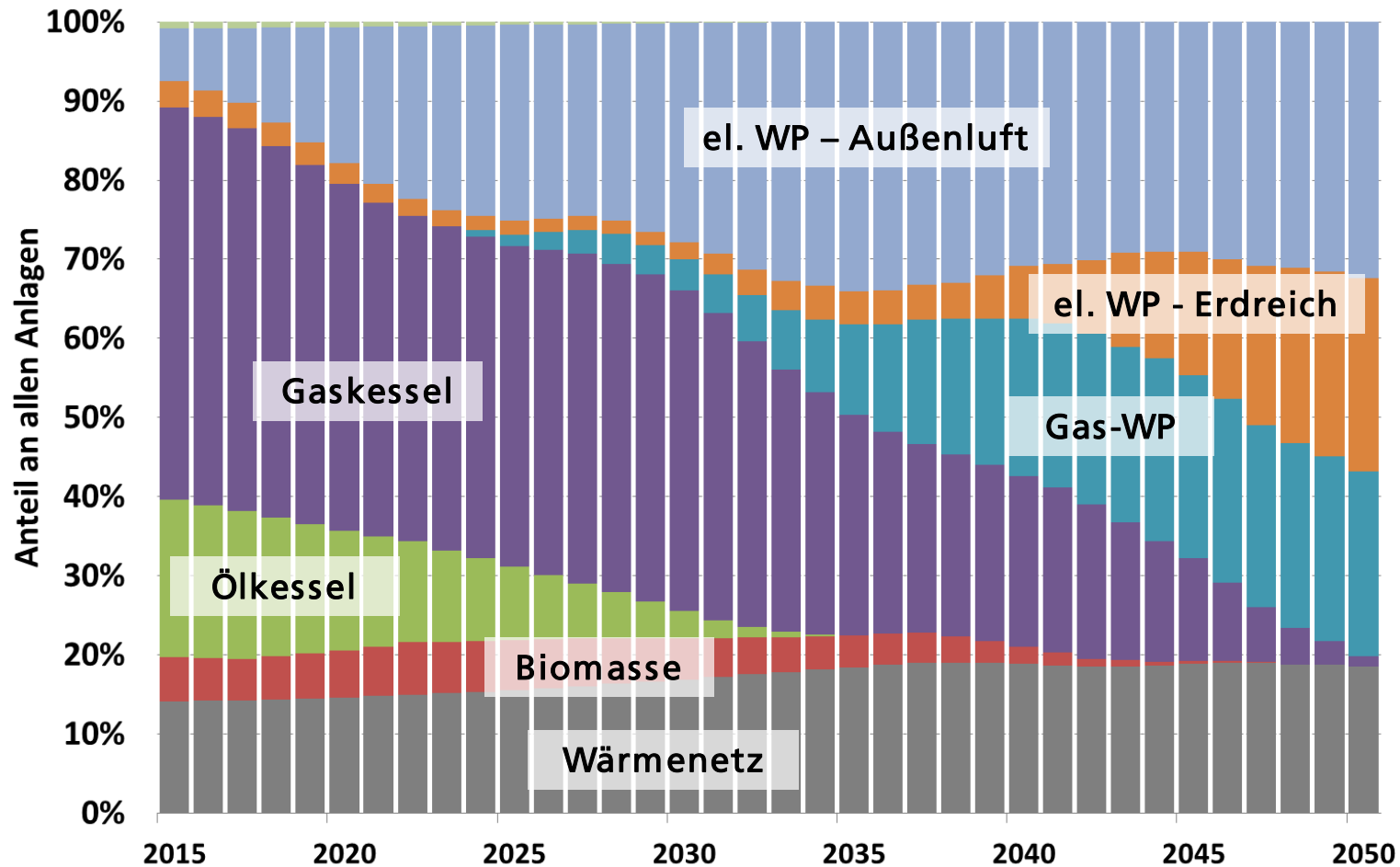
Entwicklung Solarthermie

– 85%-Szenario

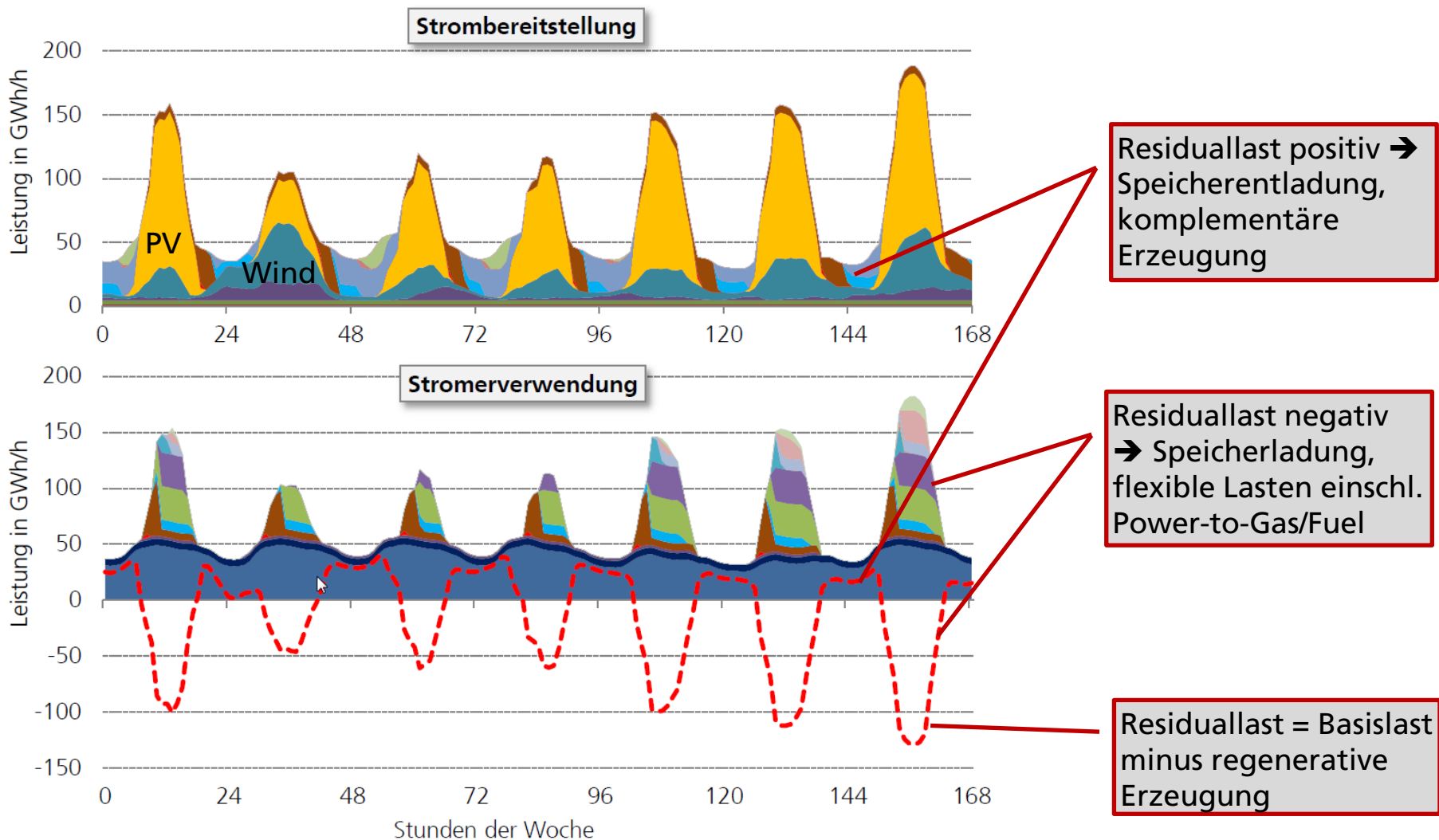


Entwicklung Heizungstechniken

– 85%-Szenario

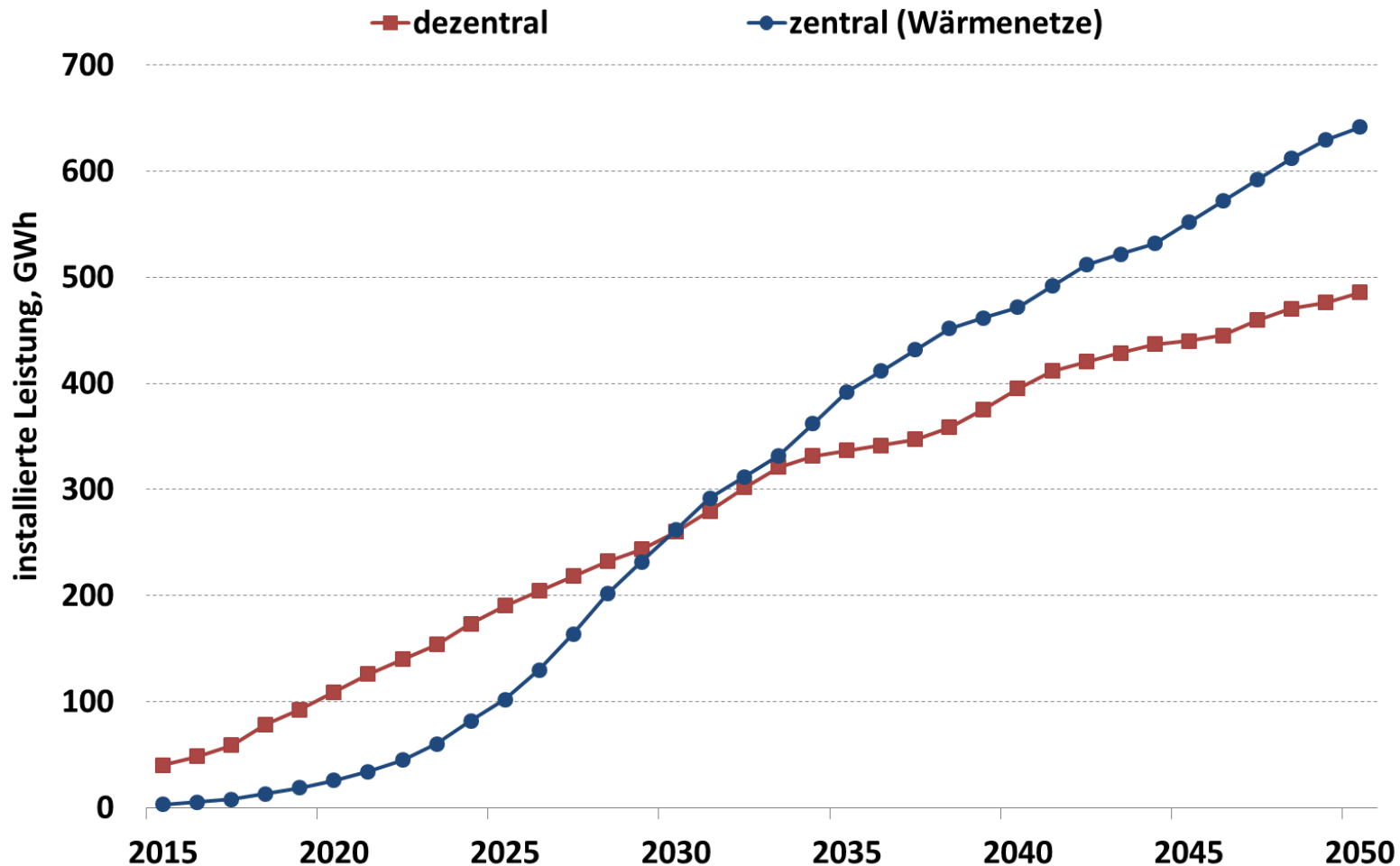


Beispiel Zeitverlauf Sommerwoche 2050



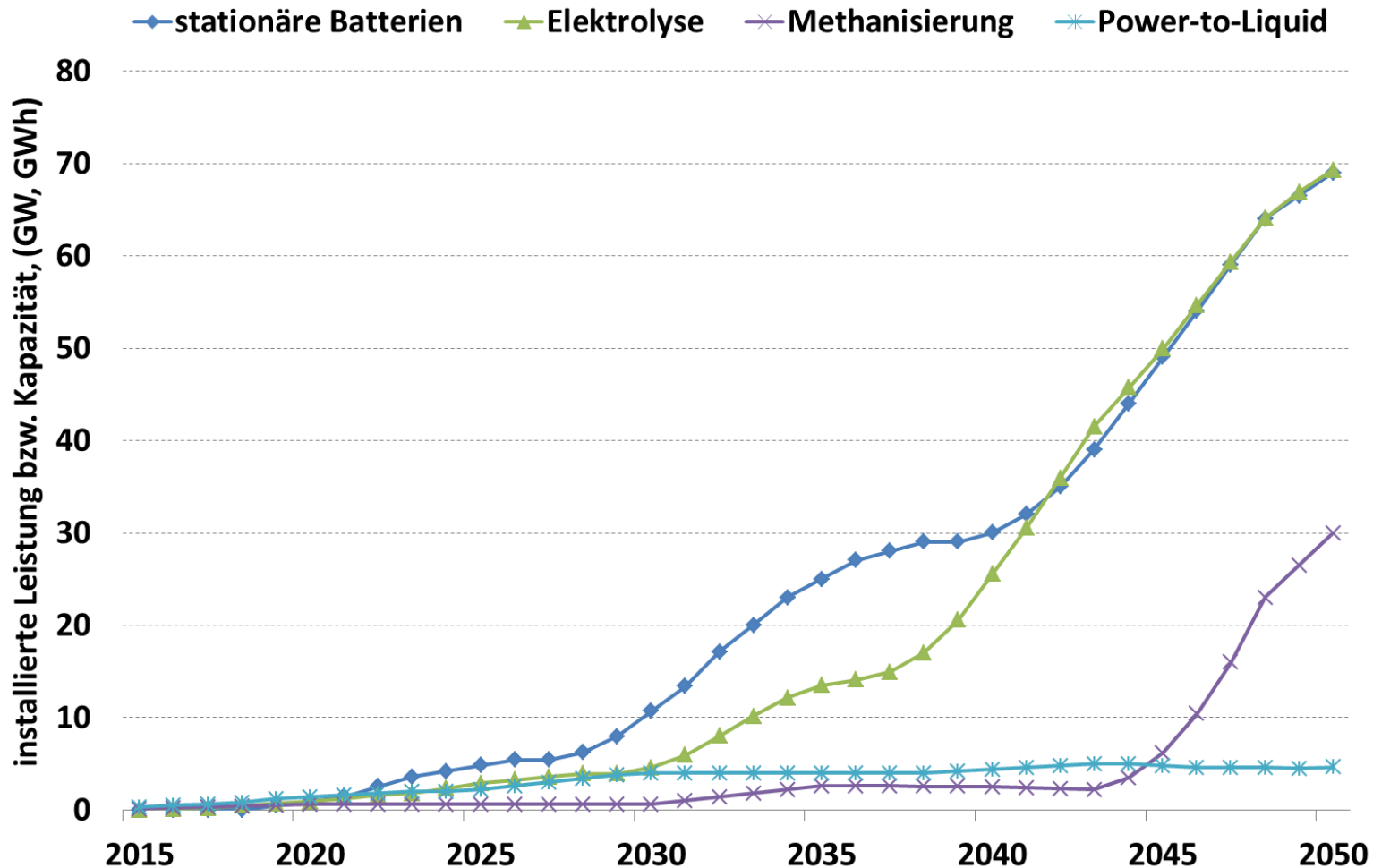
Entwicklung Wärmespeicher

– 85%-Szenario



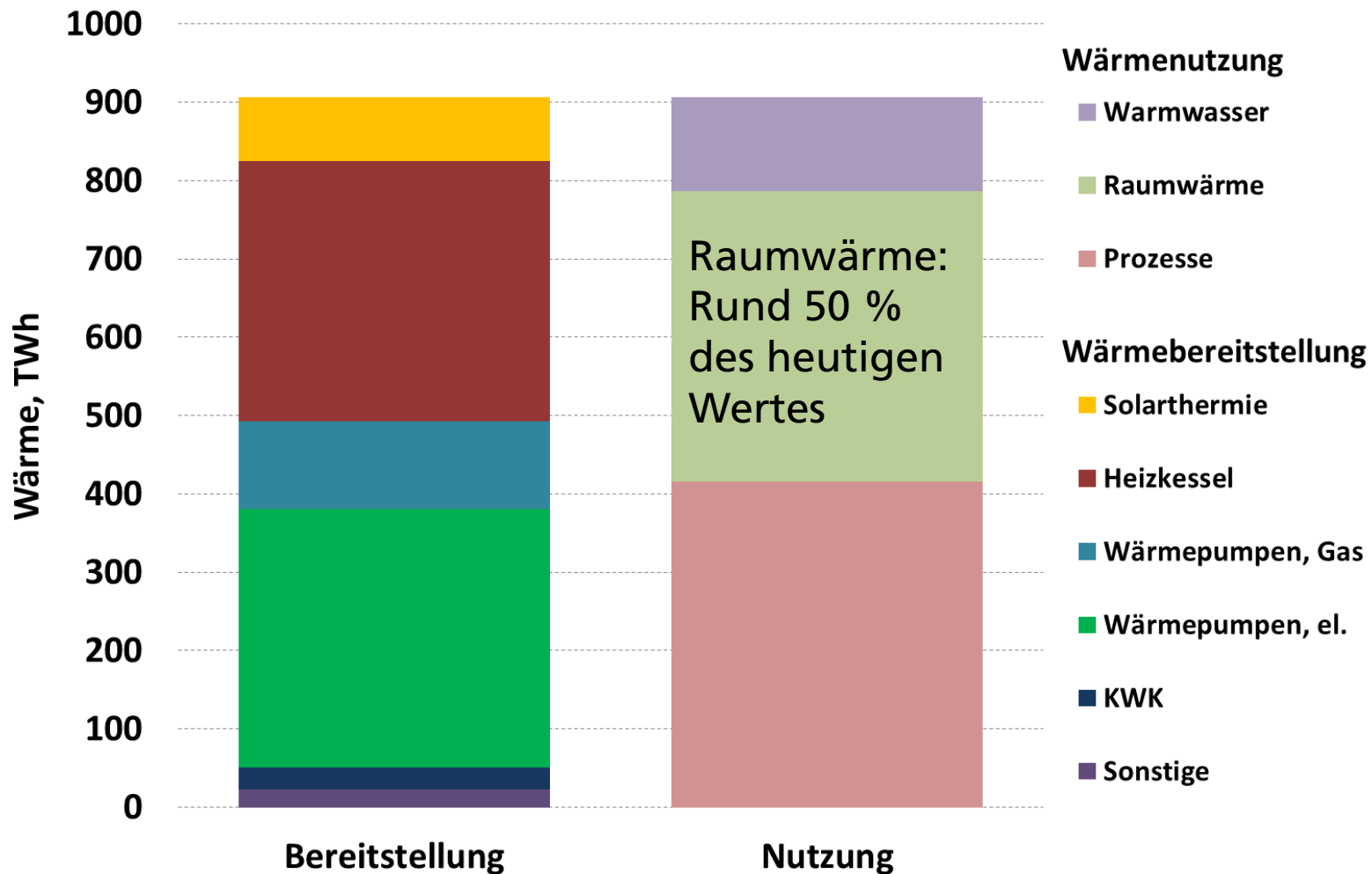
Stationäre Batterien und synthetische Energieträger

– 85%-Szenario



Wärmebereitstellung und –nutzung (einschl. Prozesse)

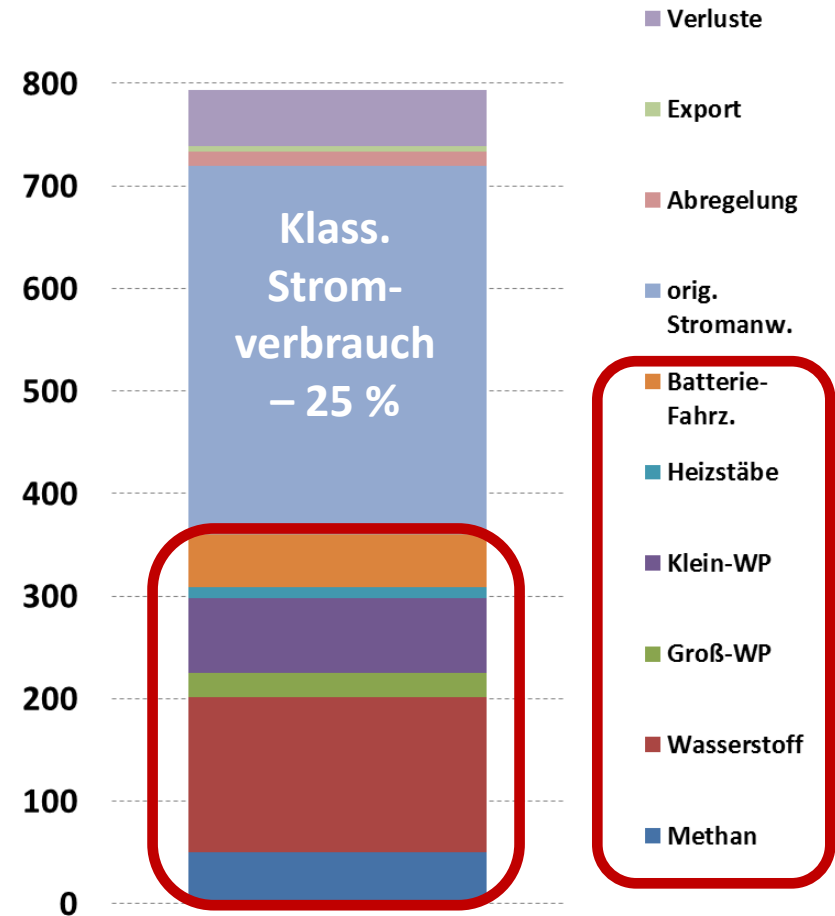
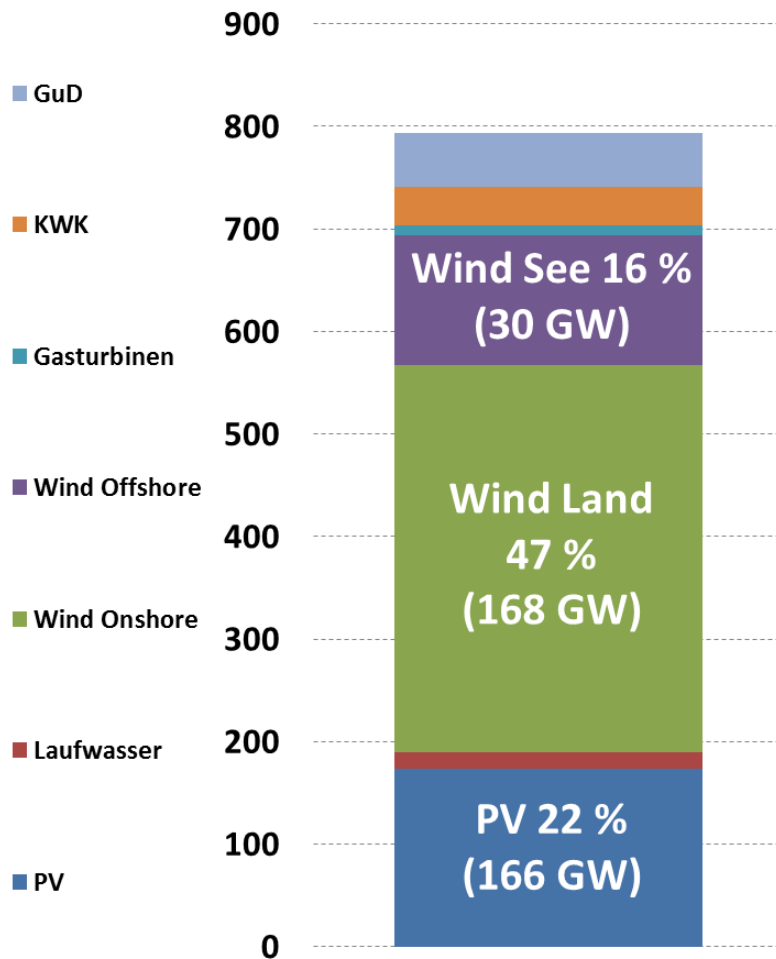
– 85%-Szenario



Stromerzeugung und -nutzung

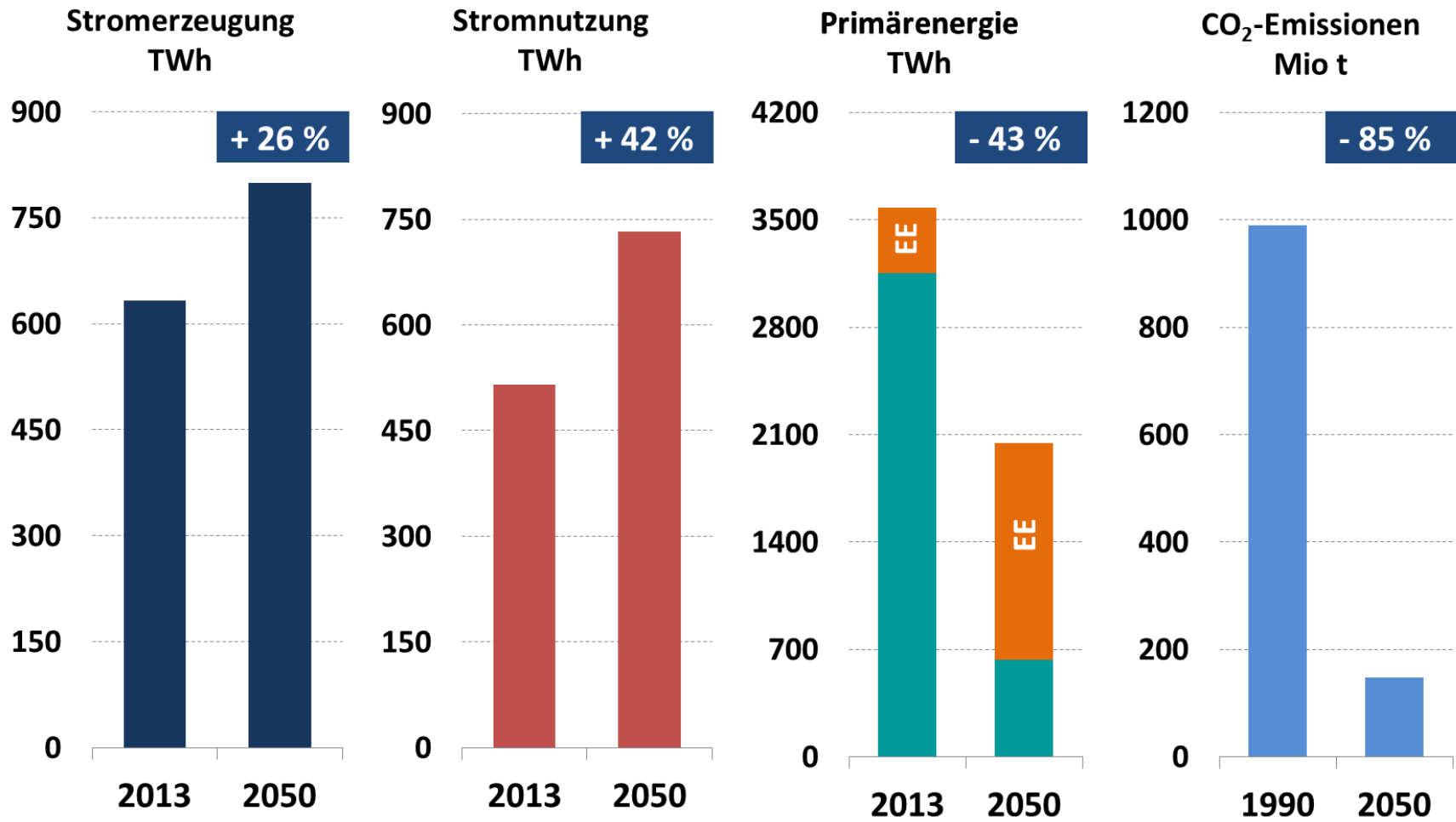
– 85%-Szenario

Zunahme Stromverbrauch
um 42 % bezogen auf heute



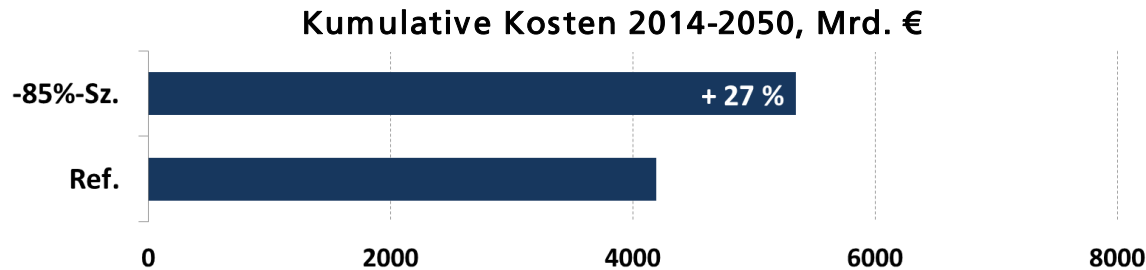
Zusammenfassung Energie und CO₂

– 85%-Szenario



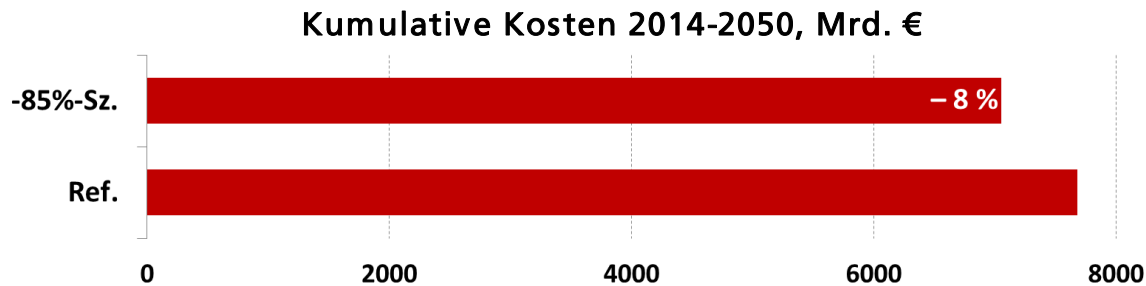
Zusammenfassung Kosten

– 85%-Szenario

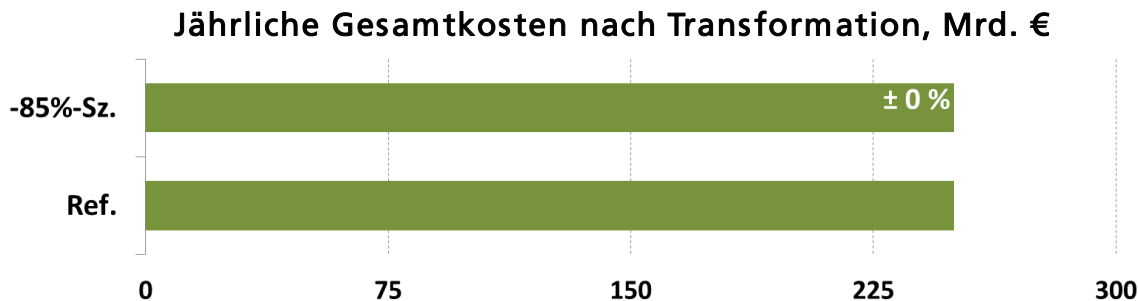


Randbedingungen

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

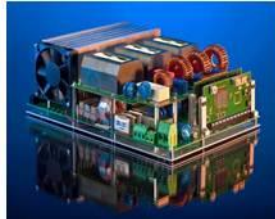
Henning, H.-M.; Palzer, A.: Energiesystem Deutschland 2050. Eigenveröffentlichung Fraunhofer ISE, November 2013

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