

CO₂-Einsparpotenziale

in Konsistenz mit den Szenarien der Schweizer Energieperspektiven

Endergebnisse

Prognos AG:

Almut Kirchner, Andreas Kemmler, Andrea Ley,
Alexander Piégsa, Florian Ess, Samuel Strassburg

Infras: Mario Keller

im Auftrag des BAFU
31.05.2013



Auftraggeber:

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Klima, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer:

Prognos AG, Basel

Autoren/Autorinnen:

Almut Kirchner, Andreas Kemmler, Andrea Ley, Alexander Piégsa, Florian Ess, Samuel Straßburg, Mario Keller (Infras)

Begleitgruppe:

Reto Burkard (BAFU), Roger Ramer (BAFU), Brigitte Gälli Purghart (BAFU), Silvia Ruprecht-Martignoli (BAFU), Michael Kost (BFE), Thomas Roth (SECO)

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

01 Einleitung

02 CO₂-Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken

03 Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO₂-Reduktionen

04 Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren

05 Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten

06 Anhang

Hintergrund und Aufgabenstellung

- Nationalrat Girod hat im Juni 2011 ein Postulat eingereicht (11.3523, „Kosten und Potenzial der Reduktion von Treibhausgasen in der Schweiz“). Dieses verlangt eine Studie, welche die Potenziale und Kosten der Reduktion von Treibhausgasemissionen (THG) abschätzt und analysiert.
- Da die energiebedingten CO₂-Emissionen in der Schweiz ca. 80 % der THG-Emissionen ausmachen, liegt der Hauptfokus auf diesem Emissionsanteil.
- Das Bundesamt für Umwelt möchte die Studie zum Einsparpotenzial der energiebedingten CO₂-Emissionen so eng als möglich mit den aktuellen Energieperspektiven verzahnen.
- Die in den Energieszenarien unter den jeweiligen Zielsetzungen und Rahmenbedingungen erreichbaren CO₂-Emissionen sollen nach Sektoren, Verwendungszwecken und technischen Massnahmen aufgeschlüsselt und mit Kosten belegt werden.
- Für THG-Einsparungen im Sektor Landwirtschaft liegt bereits eine separate Studie vor.*
- Zudem wurde von Ecoplan eine Literaturstudie erarbeitet.** Diese gibt einen Überblick über bestehende Studien zu THG-Reduktionspotenzialen und Kosten in der Schweiz.

* ETH 2009. „THG 2020“ – Möglichkeiten und Grenzen zur Vermeidung landwirtschaftlicher Treibhausgase in der Schweiz. Untersuchung zu Handen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und des Schweizerischen Bauernverbandes (SBV). Durchgeführt von der Gruppe Agrar-, Lebensmittel- und Umweltökonomie am Institut für Umweltentscheidungen, ETH Zürich.

** Ecoplan 2012. THG-Vermeidungskosten und -potenziale in der Schweiz. Literaturanalyse und Konzeption für weitere Erhebungen. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Inhalt der Studie

- Die Studie bildet die CO₂-Einsparpotenziale auf Grundlage der aktuellen Schweizer Energieperspektiven ab.*
- Bei den beschriebenen Einsparpotenzialen handelt es sich um Potenziale, deren Realisierung unter den gegebenen Szenarioannahmen zu erwarten ist.
- Die Einsparpotenziale werden disaggregiert nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken.
- Zusätzlich wird mittels einer Komponentenzerlegung analysiert, auf welche Bestimmungsfaktoren die Veränderung der CO₂-Emissionen zurückzuführen ist.
- Auf Ebene der Sektoren werden die Einsparpotenziale den Kosten der Massnahmen gegenüber gestellt (Kosten als Differenzkosten ggü. dem Szenario „Weiter wie bisher“).
- An Fallbeispielen werden die betriebswirtschaftlichen Kosten und die Einsparpotenziale aus Sicht der Investoren dargestellt.
- Die Wirkung der wichtigsten Instrumente im Szenario „Politische Massnahmen“ auf die CO₂-Emissionen wird grob abgeschätzt. Aufgrund von Wechselwirkungen zwischen den Instrumenten sind diese ausgewiesenen Wirkungen nur als Richtgrössen zu verstehen.

* Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

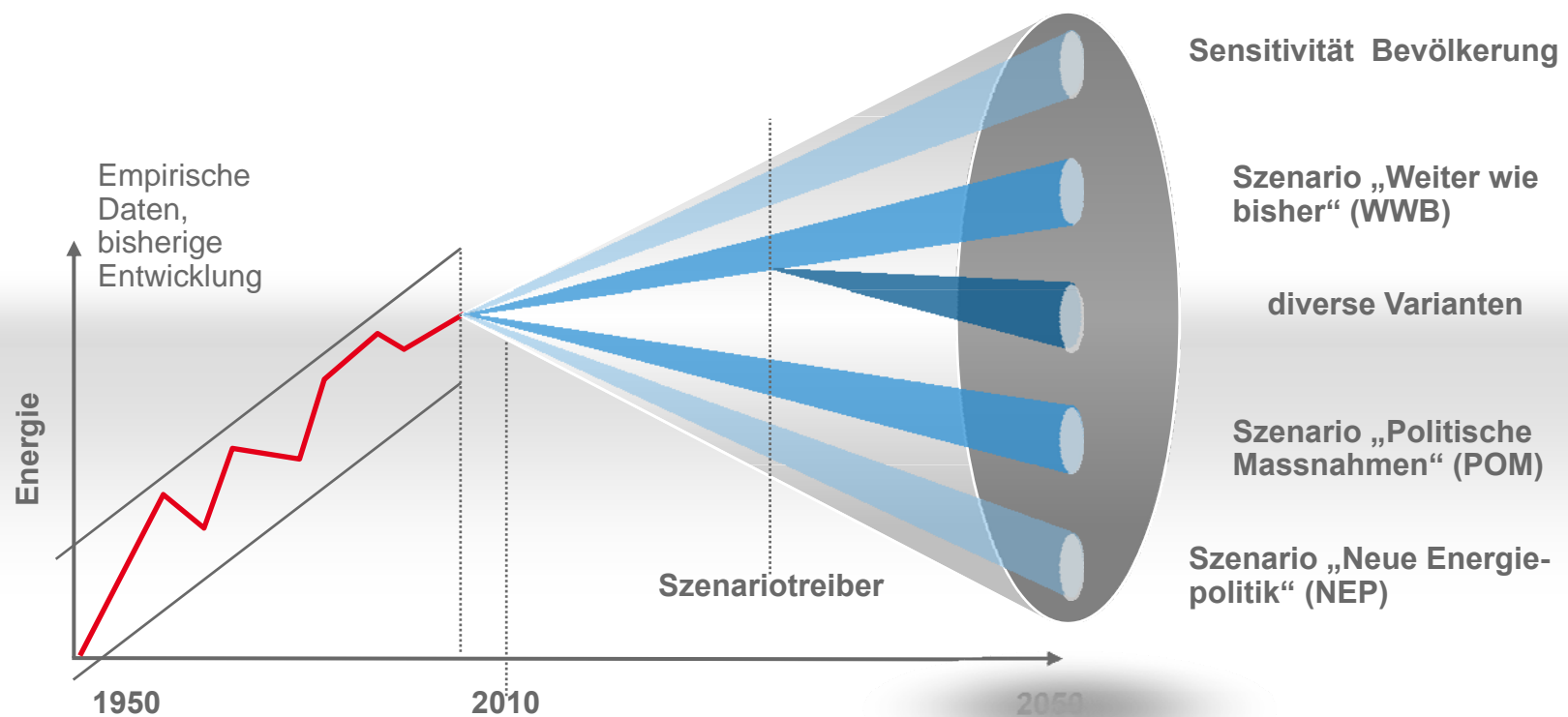
Potenziale ...

- ... existieren nicht absolut und unabhängig, sondern
- ... sind abhängig von Rahmenbedingungen wie
 - Preisen
 - Technologie(entwicklung)
 - politischen Instrumenten
- ...können einander gegenseitig konkurrenzieren oder ergänzen
 - z.B. Gebäudesanierung vs. erneuerbare Wärmeerzeugung
- ...lassen sich nicht einfach kombinieren und addieren
 - Nachfragereduktion vs. Angebotstechnologie
- ... sind abhängig von weiteren Ressourcen
 - z.B. nachhaltige Biomassen sind knapp und teuer
 - erneuerbare Energien haben häufig eine geringe Flächendichte (Wind, Solar, Biomassen)

Potenziale ...

- ...werden zumeist schrittweise im Zeitverlauf erschlossen
- ...hängen daher von der Dynamik verschiedener Größen ab, z.B.
 - Bevölkerungsentwicklung und Bautätigkeit
 - Strukturwandel
 - technische Entwicklung, Investitionszyklen
 - Paradigmen, gesellschaftlichen Strömungen
 - Entwicklung von Gesetzgebungsprozessen (z.B. Vorranggebiete, nationales Interesse)
- daher: Betrachtung des Gesamtsystems notwendig
 - dynamische Rahmenbedingungen wie Sozioökonomie, Energiepreise, Klimaentwicklung
 - Abhängigkeiten
 - starke und schwache Einflussfaktoren, Stellschrauben
 - Wechselwirkungen (vermeintlich) einzelner Bereiche

Definitionen von verschiedenen Potenzialbegriffen folgen auf Folie 16 ff.



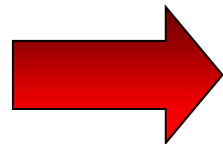
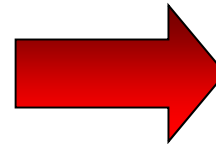
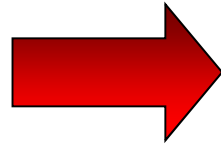
Die Definition der Szenarien folgt ab Folie 20 ff.

Begriffsklärungen

- Szenarien sind keine Prognosen.
- Prognosen sind keine Prophezeiungen.
- Szenarien treten in Rudeln auf und sind nur im Vergleich sinnvoll. („Garten der sich verzweigenden Pfade“)
- Szenarien sind eine Exploration des Feldes der Möglichkeiten.
- Szenarien ermöglichen „wenn-dann-Aussagen“ und „was muss geschehen, damit...-Aussagen“.
- Es geht nicht darum, das „Lieblingsszenario“ zu wählen.
- „Weiter wie bisher“ (WWB) ist eine Referenz, aber keine Prognose.

Bilanzgrenzen

- nationale Energiebilanz/Gesamtenergiestatistik
- nationale CO₂-Bilanz gemäss CO₂-Gesetz (ohne internationalen Flugverkehr, ohne Eigenverbrauch der Raffinerien)/Teile des THG-Inventars
- gemäss internationaler Konventionen (versch. Abgrenzungen), leider nicht vollständig kompatibel zu machen
- Die Energieperspektiven orientieren sich an der schweizerischen Gesamtenergiestatistik. Die Energieverbrauchswerte sind bis ins Jahr 2010 auf die Verbrauchswerte gemäss der Energiestatistik kalibriert.
- Berücksichtigt werden die Energieverbräuche der Sektoren Private Haushalte, Industrie, Dienstleistungen, Verkehr sowie der statistischen Differenz (inkl. Landwirtschaft). Die in dieser Arbeit ausgewiesenen CO₂-Emissionen werden aus diesen Endverbräuchen und den Emissionen aus dem Umwandlungssektor abgeleitet (Multiplikation der Energieverbräuche mit den Emissionsfaktoren gemäss BAFU).
- Die Abgrenzung der Energiestatistik ist leicht unterschiedlich von derjenigen des Treibhausgasinventars (z.B. Energiestatistik inkl. Flugverkehr Militär, Energieverbrauch Lichtenstein). Entsprechend unterscheiden sich die hier ausgewiesenen CO₂-Emissionen leicht von den Emissionen gemäss Treibhausgasinventar.



Bottom-up-Modell-Instrumentarium für Nachfrage und Kraftwerkspark: Grundprinzipien

- Nachfragesektoren
 - Private Haushalte
 - Industrie
 - Dienstleistungen
 - Verkehr inkl. Baustellen- und Werksverkehr
(Energie inkl. int. Flugverkehr, CO₂ exkl. int. Flugverkehr)
- Kapitalstock in Kohortenabbildungen
 - Investitionszyklen
 - Grundregel: no stranded investments
 - bei Ausnahmen: Kosten können ermittelt werden
 - z.B. Gebäude, Fahrzeuge, Produktionsanlagen
 - Mengentreiber, abhängig von sozioökonomischen Rahmenentwicklungen (Bevölkerung, BIP, BIP/Kopf)
 - Investitionen unterliegen in den Sektoren unterschiedlichen Rationalitäten

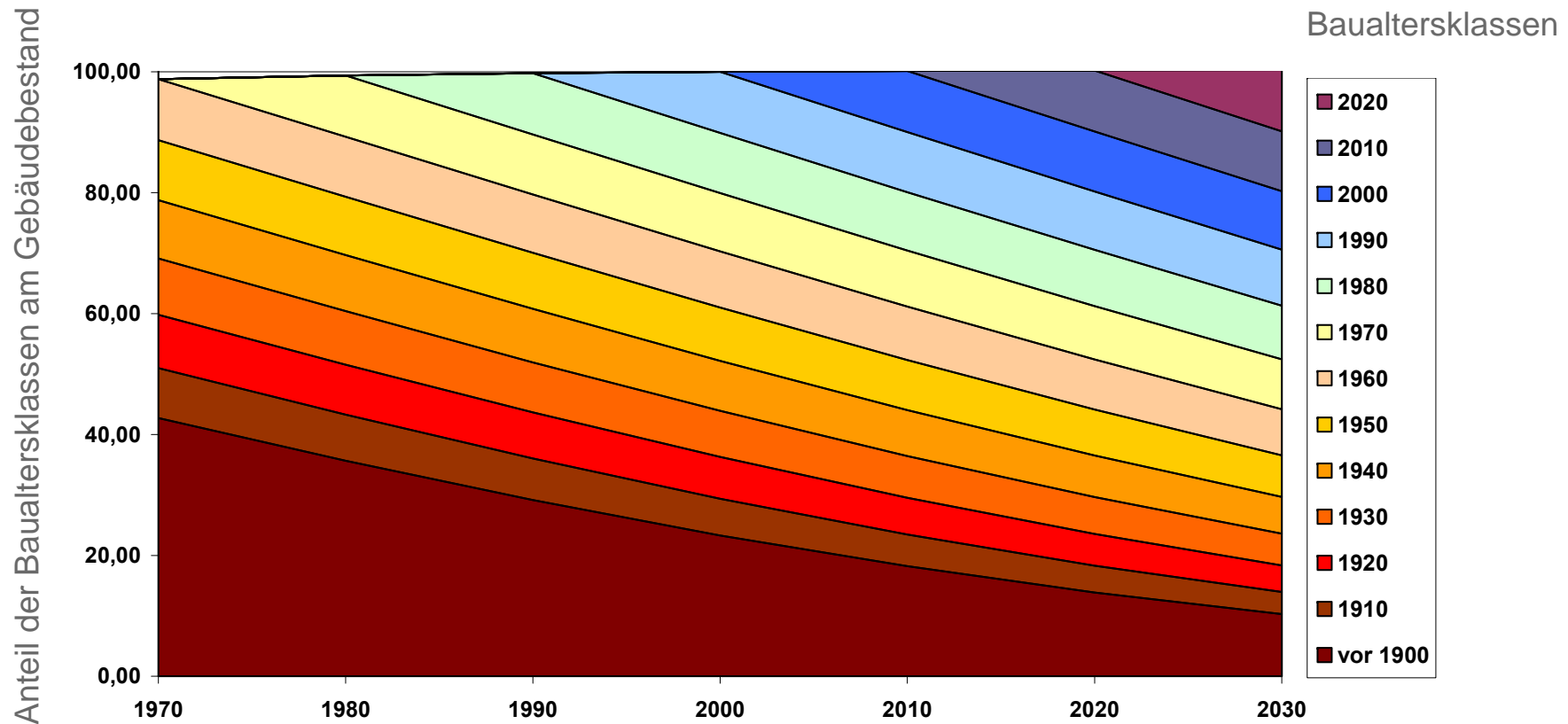
* Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Kapitel 2. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

Bottom-up-Modell-Instrumentarium für Nachfrage und Kraftwerkspark: Grundprinzipien II

- technischer Fortschritt (Details vgl. Anhang)
 - wird im Rahmen der Investitionszyklen umgesetzt: Neuer Kühlschrank kann energieeffizienter sein als der Alte; wird erst ausgetauscht nach Ablauf der technischen Lebensdauer (Verteilung)
 - ist politik- und szenarienabhängig (Instrumente, internationale Entwicklung)
 - es werden keine Technologiesprünge angenommen (obwohl es sie in der Vergangenheit regelmässig gab)
 - es werden heute bekannte und funktionsfähige Technologien berücksichtigt (Szenario NEP: besonders konsequente Umsetzung von energieeffizienten Querschnittstechnologien z.B. bei Pumpen, Druckluft, Abwärmenutzung)
- technisch massnahmenorientiert, keine Instrumentenauswahl !

Beispiel: Diffusion von technischen Standards in Gebäuden

Aufgrund der Lebensdauer der Gebäude verschwinden alte Gebäude nur langsam aus dem Gebäudebestand.



Primäre Datenquellen:

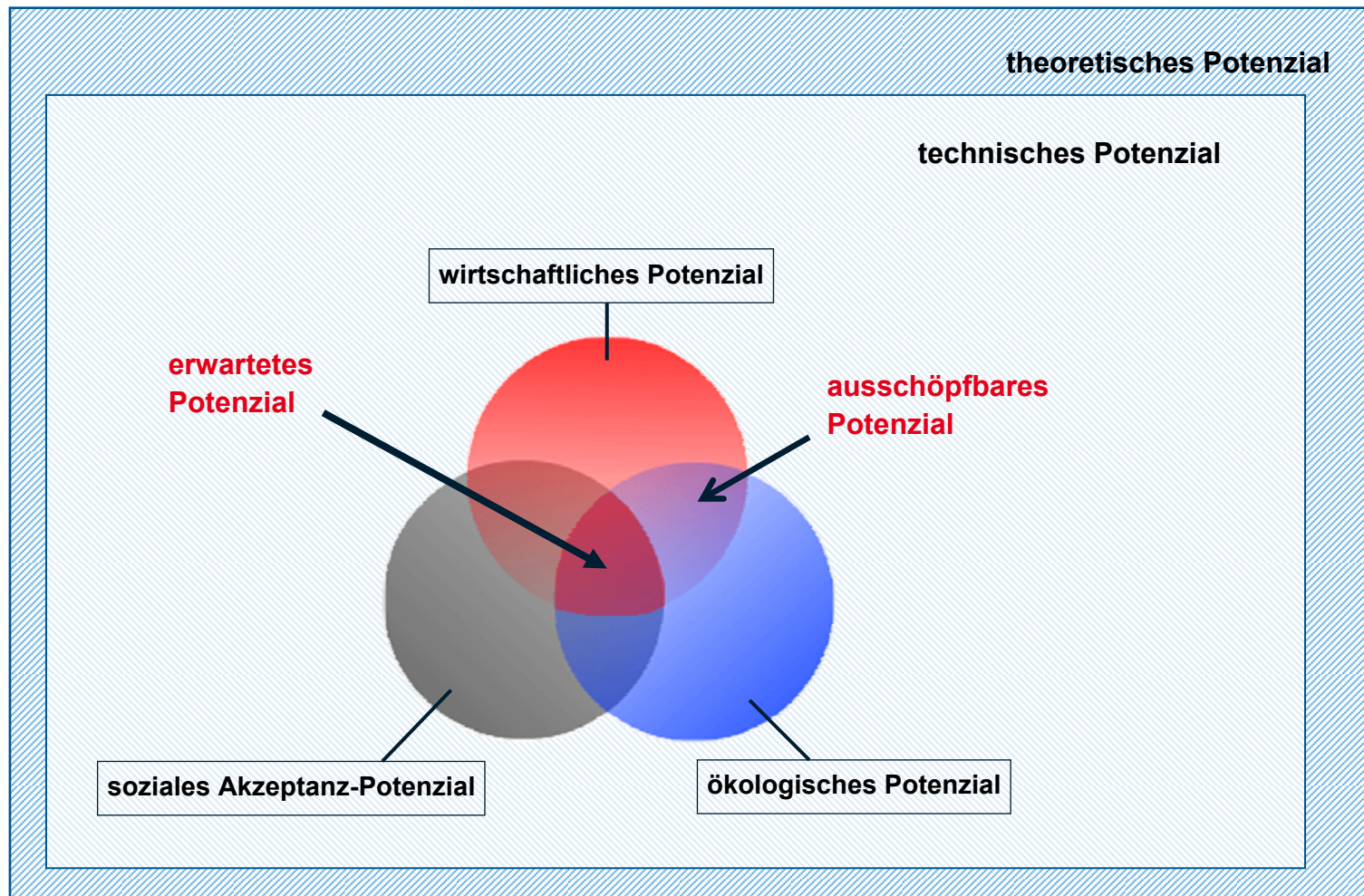
- öffentliche statische Daten (von statistischen Ämtern, z.B. BFS)
- nationale Energiestatistik
- Daten zum Energiehandel
- Daten von Netzbetreiber-Gesellschaften
- Auswertung von Marktdaten/Absatzstatistiken
- öffentliche Forschungs- und Studienberichte

Sekundäre Datenquellen:

- Verbandsdaten (z.B. von Branchenverbänden oder Unternehmensverbänden)
- Kraftwerksdaten
- eigene Analysen

Potenzialdefinitionen - in Bezug auf die Vermeidung von CO₂-Emissionen

- **Theoretisches Potenzial**
Beschreibt die innerhalb einer gegebenen Region zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. innerhalb eines bestimmten Zeitraums theoretisch (aus physikalischen Gründen grundsätzlich) reduzierbaren Emissionen.
- **Technisches Potenzial**
Derjenige Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist.
- **Ökologisches Potenzial**
Bezeichnet denjenigen Anteil des technischen Potenzials, dessen Nutzung zu keiner zusätzlichen permanenten (irreversiblen) Beeinträchtigung des Lebensraumes in Bezug auf dessen Diversität und Wechselwirkungen, sowohl zwischen den Lebewesen als auch zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt, führt.
- **Wirtschaftliches Potenzial**
Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, den man erhält, wenn diejenigen Massnahmen berücksichtigt werden, deren Gesamtkosten (Investition, Betrieb und allenfalls Entsorgung) in etwa gleich gross sind wie die Gesamtkosten der Referenzmassnahmen.
Beim wirtschaftlichen Potenzial kann weiter unterschieden werden zwischen dem gesamtwirtschaftlichen Potenzial und dem einzelwirtschaftlichen Potenzial.



- Ausschöpfbares Potenzial

Die Schnittmenge des ökologischen und des wirtschaftlichen Potenzials, welche innerhalb des technischen Potenzials liegt, wird als ausschöpfbares Potenzial definiert.

- Akzeptanz-Potenzial

Soziale Akzeptanz limitiert das ausschöpfbare Potenzial. Dieses Potenzial berücksichtigt beispielsweise, dass eine Fassade eines historischen Gebäudes aufgrund von kulturellen und ästhetischen Gründen nicht vollständig gedämmt wird. Welche Massnahmen sozial akzeptabel sind und welche nicht, ist interpretationsbedürftig und zeitabhängig.

- Erwartetes Potenzial

Unter dem erwarteten Potenzial wird die Schnittmenge des ökologischen, wirtschaftlichen und des sozialen Akzeptanz-Potenzials innerhalb des technischen Potenzials verstanden. Es kann auch als realisierbares Potenzial bezeichnet werden.

Das erwartete Potenzial wird in der Regel nicht sofort, sondern mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung umgesetzt. Gründe dafür sind beispielsweise Investitionszyklen von langlebigen Gütern oder ergänzende Wertvorstellungen von Akteuren, die zu einem umfassenden (nicht rein monetären) nutzenmaximalen Verhalten führen.

- Alle Potenziale können in bereits realisierte und nicht realisierte Potenziale unterteilt werden.
- Für die Beurteilung der zukünftigen CO₂-Vermeidungspotenziale sind realisierbare und noch nicht realisierte Potenziale von Bedeutung.
- Die in den Szenarien abgebildeten Emissionsreduktionen entsprechen den unter den getroffenen Szenarienannahmen im Zeitraum 2010 bis 2050 realisierten (erwarteten) Vermeidungspotenzialen.
- Die Annahmen in den Szenarien WWB, POM, NEP unterscheiden sich (z.B. Energiepreise, Umfang der Fördermittel) und ergeben dadurch unterschiedliche soziale und wirtschaftliche Potenziale, wodurch sich wiederum das realisierte (erwartete) Vermeidungspotenzial unterscheidet.

Die Textbausteine der Definition der Potenzialbegriffe basiert auf den Quellen:

BFE 2007. Die Energieperspektiven 2035 – Band 4. Exkurse. 5. Exkurs: Potenzialbegriffe, Michel Piot. BFE, Bern.

Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Anhang II, Exkurse, II.2-1.4 Potenzialdefinition für die Wärme-Kraft-Kopplung. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

| | Szenario „Weiter wie bisher“ (WWB) |
|-------------------------|--|
| Logik | explorativ („was geschieht, wenn...“) |
| Charakterisierung | <ul style="list-style-type: none"> - Fortführung der bisherigen (bis 2010) schweizerischen Energie- und Klimapolitik - moderate Fortführung der Weiterentwicklung von Effizienztechnologien - Einführung von Elektromobilität, aber keine Volldurchdringung bis 2050 |
| wesentliche Instrumente | <p>vorhandene energie- und klimapolitischen Instrumente weiterführen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - EnergieSchweiz wird mit 28 Mio. CHF p.a. weitergeführt - Gebäudeprogramm mit 200 Mio. CHF p.a. wird weitergeführt - CO₂-Abgabe wächst von 36 CHF/t auf 72 CHF/t in 2016 - Klimarappen auf Treibstoffe - Vorschriften und Standards im Baurecht werden weiterentwickelt und dem technischen Fortschritt nachgeführt – alle 10 Jahre Verschärfung der Grenz- und Zielwerte um ca. 10 % - Minergie-Standard für Neubauten ab ca. 2015 standardmässig umgesetzt, danach weiter Richtung Passivstandard - Wettbewerbliche Ausschreibungen für Energieeffizienz in der Wirtschaft mit wachsendem Budget bis auf 27 Mio. CHF p.a. bis 2015 - Flottengrenzwerte PW: 130 g CO₂/km bis 2015, 95 g CO₂/km bis 2030 - Effizienzsteigerung bei LNF und SNF |

* Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050, S. 82 ff. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

| | Szenario „Weiter wie bisher“ (WWB) |
|------------------------------|---|
| wesentliche Instrumente | Kostenorientierte Einspeisevergütung für erneuerbare Stromerzeugung ist eingeführt, Vergütungssätze werden in regelmässigen Abständen überprüft und an die Kostenentwicklung angepasst, Umlage wird schrittweise bis auf maximal 0.9 Rp/kWh erhöht |
| Paradigma Schweiz & weltweit | <ul style="list-style-type: none">- Energie- und Klimapolitik müssen gemacht werden, stehen aber nicht weit oben auf der Agenda der gesellschaftlichen Prioritäten; Wirtschafts-, Sozial-, Gesundheitspolitik sind wichtiger- es wird kein wesentliches Ressourcenproblem (weder bei den Quellen noch bei den Senken) wahrgenommen, die Investitionspräferenzen werden nicht fundamental verändert |
| Ziele | nicht explizit vorgegeben; Post-Kyoto-Ziel wird abgeprüft (als Auswertungskriterium) |
| Strom-Angebotsvarianten | <ul style="list-style-type: none">- C (Gaskombikraftwerke)- C&E (Gaskombikraftwerke und erneuerbare Energien)- C&D&E (Gaskombikraftwerke, WKK und erneuerbare Energien) <p>→ in dieser Studie als Referenz verwendet: Variante C (kostengünstigste inländische Variante)</p> |

| | Szenario „Neue Energiepolitik“ (NEP) |
|-------------------|--|
| Logik | Zielszenario („was muss geschehen, damit ein ambitioniertes Ziel erreicht wird“) |
| Charakterisierung | <ul style="list-style-type: none">- energieeffiziente Querschnittstechnologien werden systematisch umgesetzt- Raumwärme wird systematisch eingespart, deutliche Erhöhung der energetischen Sanierungsrate- Wärmepumpenstrategie- Effizienz vor Erneuerbaren; neue Schlüsseltechnologien werden gezielt zur Weiterentwicklung der technischen Energieeffizienz in allen Verbrauchsbereichen entwickelt- durch Vernetzung und z.B. Verkehrsflusssteuerung sowie Individualisierung von Angeboten ändern sich Lebens- und Arbeitsbedingungen, so dass insgesamt etwas weniger Flächen (insbesondere Büroflächen) und Verkehrsleistungen in Anspruch genommen werden- verstärkter Trend zur Schiene- verstärkte Elektromobilität, vor allem im PW- und urbanen Bereich (kurze Strecken, Lieferverkehre)- strategischer Einsatz von Biotreibstoffen für den Güterverkehr und Biomasse/Biogas für Prozesswärme- keine Komforteinbussen- neue gesellschaftliche Aushandlungsprozesse |

| | Szenario „Neue Energiepolitik“ (NEP) |
|------------------------------|--|
| wesentliche Instrumente | <ul style="list-style-type: none"> - keine Instrumentenvorgabe, aber Instrumente mit hoher Eingriffstiefe erforderlich - wichtig, dass langfristige Massnahmen frühzeitig angegangen werden (Gebäudesanierung) - bei höherem Einsatz erneuerbarer Energien Infrastrukturausbau Stromnetze erforderlich. |
| Paradigma Schweiz & weltweit | <ul style="list-style-type: none"> - Energie- und Klimapolitik erhalten sehr hohe Priorität weltweit - es werden internationale Vereinbarungen geschlossen - weltweiter Emissionshandel oder Ähnliches, um Carbon Leakage-Effekte zu vermeiden - abgestimmte kooperative weltweite Technologieoffensive. |
| Ziele | <ul style="list-style-type: none"> - weltweites Oberziel: Energiebedingte CO₂-Emissionen pro Kopf auf 1 - 1.5 t bis 2050 reduzieren - begrenzte Potenziale nachhaltiger Biomassen vorhanden, strategischer Einsatz; begrenzte Potenziale an erneuerbaren Energien Wasser, Wind, Biomasse, Geothermie. |
| Strom-Angebotsvarianten | <ul style="list-style-type: none"> - C (Gaskombikraftwerke) - C&E (Gaskombikraftwerke und erneuerbare Energien) - E (nur Erneuerbare und Importe) - C&D&E (Gaskombikraftwerke, WKK und erneuerbare Energien) <p>→ in dieser Studie verwendet: Variante C&E</p> |

| | Szenario „Politisches Massnahmenpaket “ (POM) |
|-------------------------|--|
| Logik | explorativ („was geschieht, wenn...“) |
| Charakterisierung | <ul style="list-style-type: none">- ab 2015 ambitionierte Schweizer Energie- und Klimapolitik- hohe Verstärkung vorhandener Instrumente- umgesetzte Massnahmen sind für Investoren im Rahmen der angebotenen Instrumente wirtschaftlich- Annahmen der bisherigen Technologieentwicklung, verstärkter Einsatz von Effizienztechnologien- Effizienz vor Erneuerbaren- paralleler Ausbau von Netz-Infrastruktur zu Erneuerbaren |
| wesentliche Instrumente | <ul style="list-style-type: none">- CO₂-Abgabe steigt bis auf 72 CHF/t in 2016, 96 CHF/t in 2018- Aufstockung Gebäudeprogramm auf 300 Mio. CHF p.a. in 2014, 600 Mio. CHF p.a. ab 2015 (Aufstockung wird finanziert aus der CO₂-Abgabe)- Wettbewerbliche Ausschreibungen mit 100 Mio. CHF p.a.- Effizienzboni auf CO₂-Abgabe und EE-Umlage- Optimierung Gebäudebetrieb- Förderung innovative Kühlungstechnologien, Förderung ORC-Anlagen- Klimarappen- Flottengrenzwerte PW: 130 g CO₂/km bis 2015, 95 g CO₂/km bis 2020, anschliessend Absenkung auf 35 g/km- Fortführung EnergieSchweiz mit leicht erhöhtem Budget- ein ambitioniertes FuE-Programm wird vorausgesetzt |

| | Szenario „Politisches Massnahmenpaket “ (POM) |
|------------------------------|--|
| Paradigma Schweiz & weltweit | <ul style="list-style-type: none">- Energie- und Klimapolitik müssen gemacht werden, stehen aber nicht weit oben auf der Agenda der gesellschaftlichen Prioritäten; Wirtschafts-, Sozial-, Gesundheitspolitik sind wichtiger- es wird über Ressourcenfragen diskutiert, aber aufgrund der Wirtschafts- und Finanzkrise gibt es keine schweren Ölpreispicks und nur mittlere Volatilität- keine internationale bindende Verpflichtung, keine harmonisierten Instrumente |
| Ziele | <ul style="list-style-type: none">- keine Zielvorgabe, Prüfung Post-Kyoto-Ziel (-20 % bis 2020) als Auswertungskriterium- Prüfung Zielerreichungsgrad 2050 |
| Strom-Angebotsvarianten | <ul style="list-style-type: none">- C (Gaskombikraftwerke)- C&E (Gaskombikraftwerke und erneuerbare Energien)- E (nur Erneuerbare und Importe)- C&D&E (Gaskombikraftwerke, WKK und erneuerbare Energien) <p>→ in dieser Studie verwendet: Variante C (als Referenz bei WWB, als kostengünstigste inländische Variante) und Variante C&E als Vergleichsvariante</p> |

01 Einleitung

02 CO₂-Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken

03 Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO₂-Reduktionen

04 Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren

05 Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten

06 Anhang

Anmerkungen zu den Abbildungen

- Beschrieben werden die Emissionen auf Ebene der Endverbrauchssektoren.
- Berücksichtigt werden ausschliesslich die energiebedingten CO₂-Emissionen, andere Treibhausgasemissionen werden nicht berücksichtigt.
- Die Emissionen der Elektrizitätserzeugung werden den Endverbrauchern der Elektrizität zugeschlagen.
 - Die Emissionen/Einsparungen werden dort angerechnet, wo auch die Investitionen anfallen.
 - Eine Ausnahme bildet die Betrachtung CO₂-Einsparpotenziale nach Sektoren. Hier wird der Erzeugungssektor explizit ausgewiesen.
- Emissionen der Fernwärme werden ebenfalls den Endverbrauchssektoren zugerechnet.
- Für die Fernwärme wird ein Emissionsfaktor von 50.4t/TJ angenommen (für den gesamten Zeitraum 2010 bis 2050). Dieser Wert entspricht dem Emissionsfaktor von Abfällen in KVA gemäss den Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars (Stand Oktober 2011).
- Bilanzierungskonvention: nationale Energiebilanz und nationales THG-Inventar gemäss internationaler Bilanzierungskonventionen
d.h., es erfolgt keine Lebenszyklusbetrachtung. Die Emissionen in den Vorketten werden nur soweit berücksichtigt als diese in der Schweiz liegen, im Gegenzug werden auch keine Emissionen mit Produkten exportiert. Für eine solche Bilanzierung liegt keine international abgestimmte konsistente Konvention und Methodik vor.

Anmerkungen zu den Abbildungen

3 Grundtypen von Abbildungen werden unterschieden

- Typ 1) Abbildung der absoluten energiebedingten CO₂-Emissionen im Zeitverlauf 2010 bis 2050 in Abhängigkeit des unterstellten Szenarios.
Die Emissionen werden nach Energieträgern, Verbrauchssektoren oder Verwendungszwecken differenziert.
- Typ 2) enthält 2 sich ergänzende Grafiken:
 - a) Darstellung der Emissionen in Abhängigkeit von den jeweiligen Szenarien (Liniengrafik, linke Achse)
 - b) Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. dem Zeitpunkt 2010 nach Energieträgern, Verbrauchssektoren oder Verwendungszwecken in Abhängigkeit des unterstellten Szenarios (Säulengrafik, rechte Achse). Jede Säule bildet jeweils die Veränderung in einem der 4 Szenarien ab (WWB, POM C, POM C&E, NEP). Positive Werte sind als Zunahme der Emissionen zu interpretieren, negative Werte als Reduktion. Die Summe der positiven und negativen Veränderungen entspricht der effektiven Veränderung in den Szenarien ggü. dem Jahr 2010.

Anmerkungen zu den Abbildungen

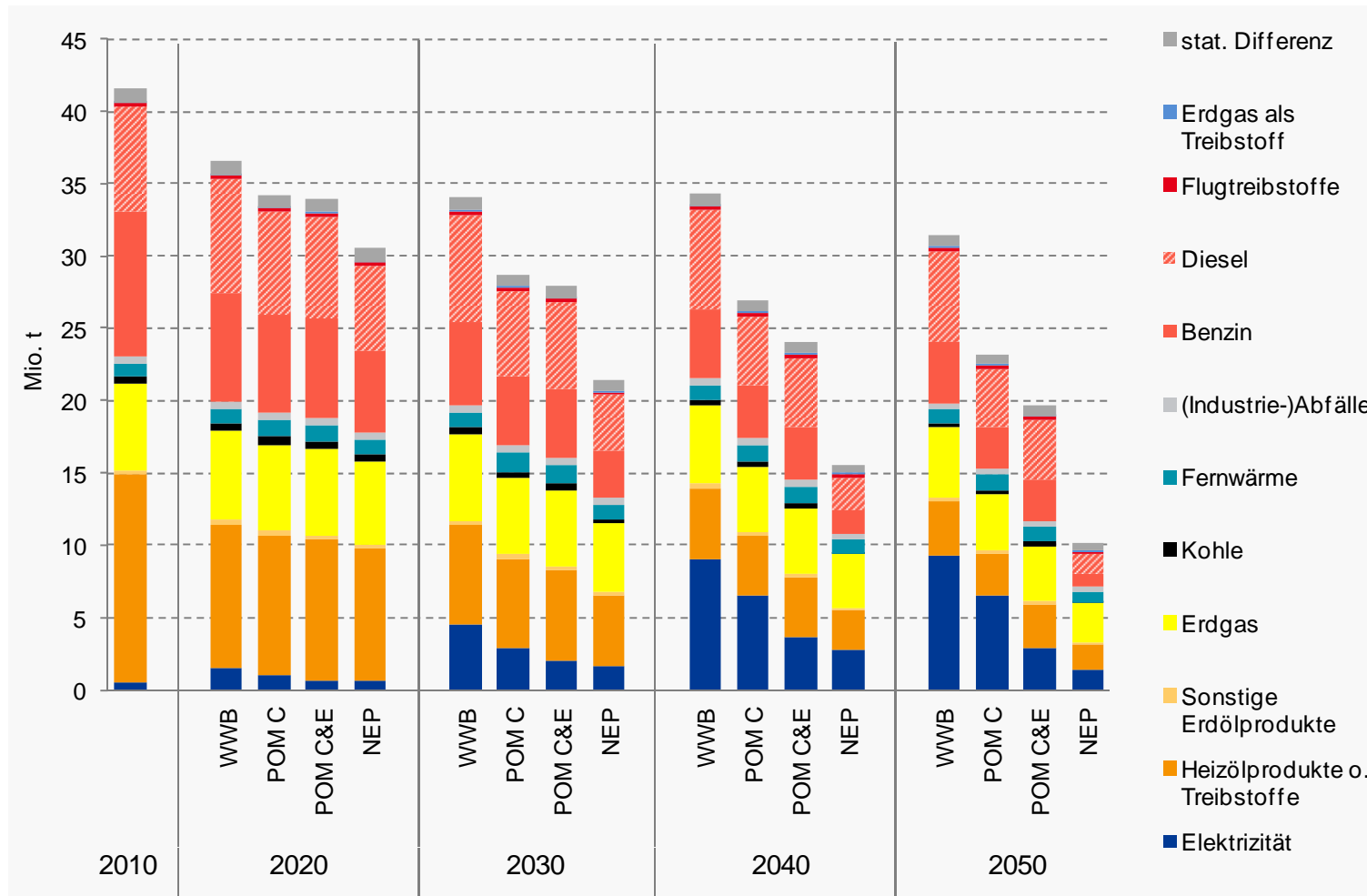
- Typ 3) enthält ebenfalls 2 sich ergänzende Grafiken:
 - a) Darstellung der Emissionen in Abhängigkeit vom jeweiligen Szenario (Liniengrafik, linke Achse)
 - b) Abbildung der zusätzlichen Reduktionen in den Szenarien POM Var. C, POM Var. C&E und NEP nach Energieträgern, Verbrauchssektoren oder Verwendungszwecken (Säulengrafik, rechte Achse). Mit „zusätzlich“ ist die Einsparung gegenüber dem nächstliegenden weniger ambitionierten Szenario gemeint. Also
 - POM C ggü. WWB (jeweils 1. Säule),
 - POM C&E ggü. POM C (jeweils 2. Säule) und
 - NEP ggü. POM C&E (jeweils 3. Säule).Folglich entsprechen die zusätzlichen Reduktionen den Differenzen zwischen den Linien (vom Typ 3.a).

Veränderung der CO₂-Emissionen nach Energieträgern

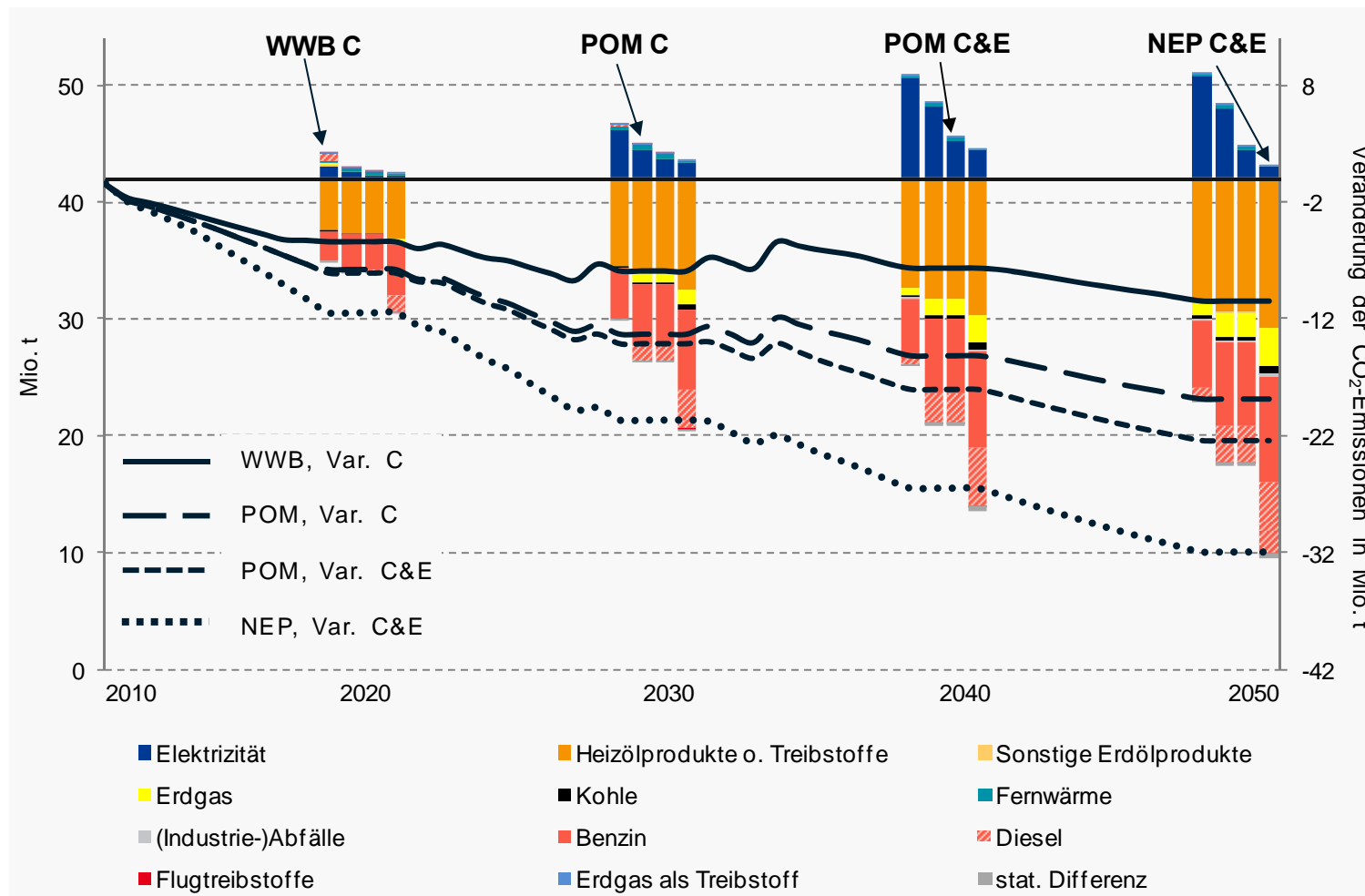
Die CO₂-Emissionen der Stromerzeugung sind dem Energieträger Strom zugerechnet.

- Im Jahr 2010 entfielen rund 35% der CO₂-Emissionen auf die Heizölprodukte, 24% auf Benzin, 17% auf Diesel und 14% auf Erdgas. Die Anteile der übrigen Energieträger waren gering.
- Der CO₂-Faktor von Strom nimmt im Zeitverlauf deutlich zu, insbesondere bei der Angebotsvariante C. Beispielsweise steigt im Szenario WWB Var. C der CO₂-Faktor von rund 2t CO₂/TJ Strom auf 37t CO₂/TJ Strom.
- Strom ist dadurch der einzige Energieträger, der die CO₂-Emissionen im Zeitraum 2010 bis 2050 in einem nennenswerten Umfang erhöht.
- Im Szenario WWB trägt anfänglich auch Diesel zu einer Zunahme der Emissionen bei. Ursache hierfür ist die Substitution von Benzin durch Diesel.
- Im Szenario WWB entfällt der Grossteil der Emissionsreduktion auf die Energieträger Heizöl und Benzin.
- Bei den zusätzlichen Einsparungen in den Szenarien POM und NEP gegenüber dem Szenario WWB sind auch die Energieträger Strom, Diesel und Gas von Bedeutung.
- Der Unterschied zwischen den Szenarien POM Var. C und POM Var. C&E liegt im unterschiedlichen Energieträgereinsatz bei der Stromerzeugung. Durch den vermehrten Einsatz von erneuerbaren Energieträgern sinkt in der Angebotsvariante C&E die CO₂-Intensität (CO₂-Faktor) der Stromerzeugung.

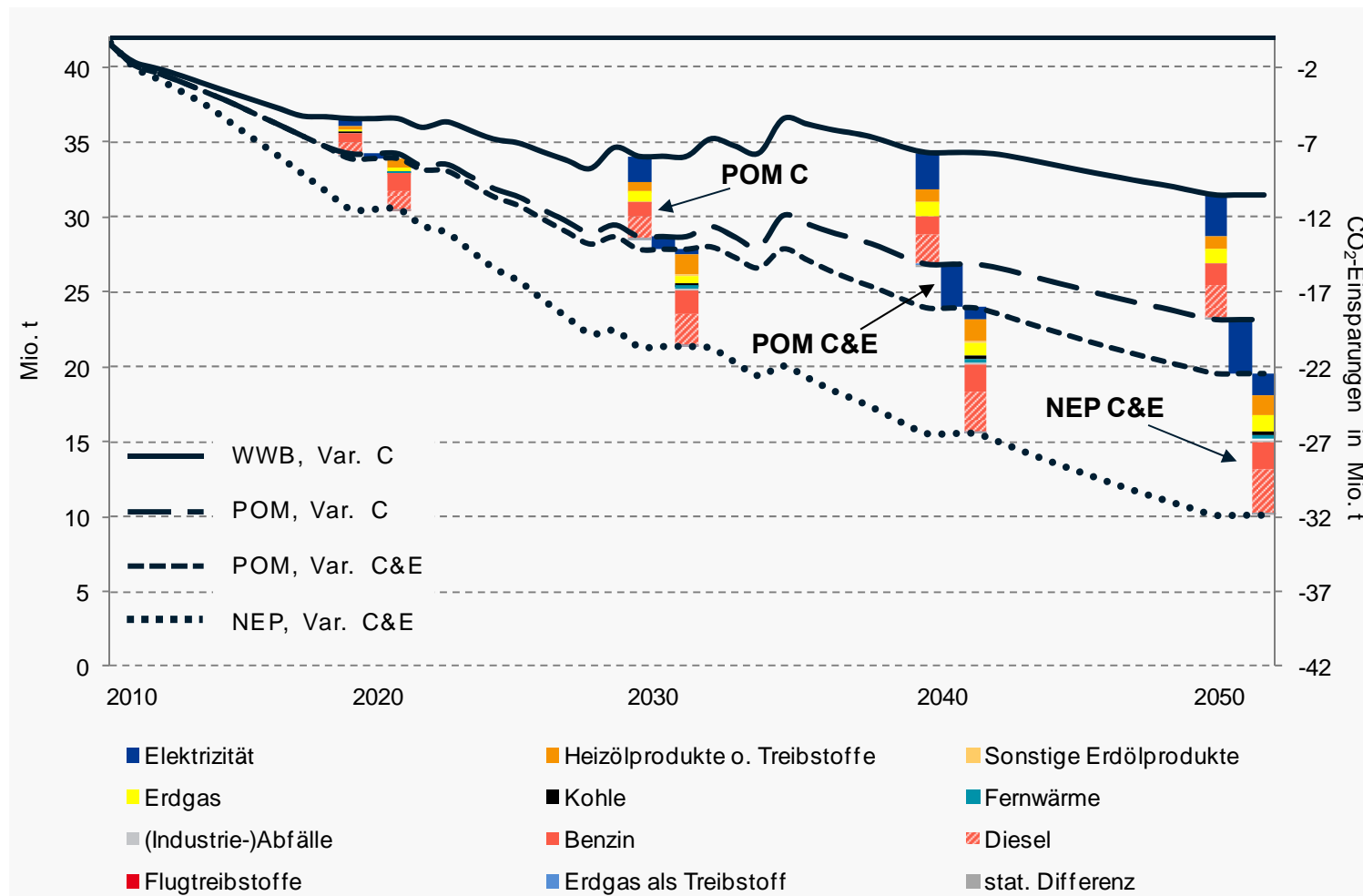
CO₂-Emissionen in den Szenarien nach Energieträgern (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Energieträgern (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen nach Energieträgern (Typ 3)

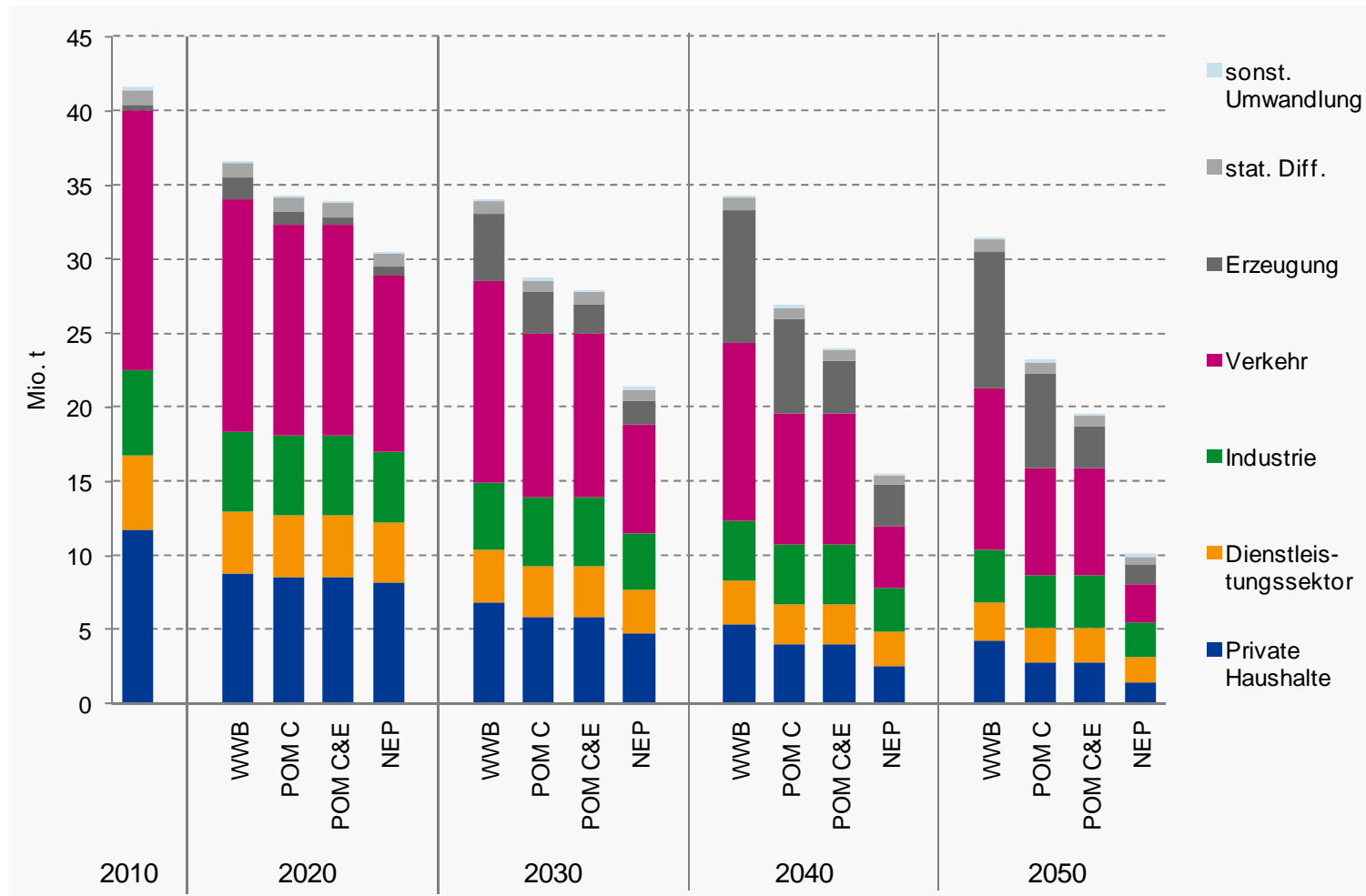


Veränderung der CO₂-Emissionen nach Sektoren

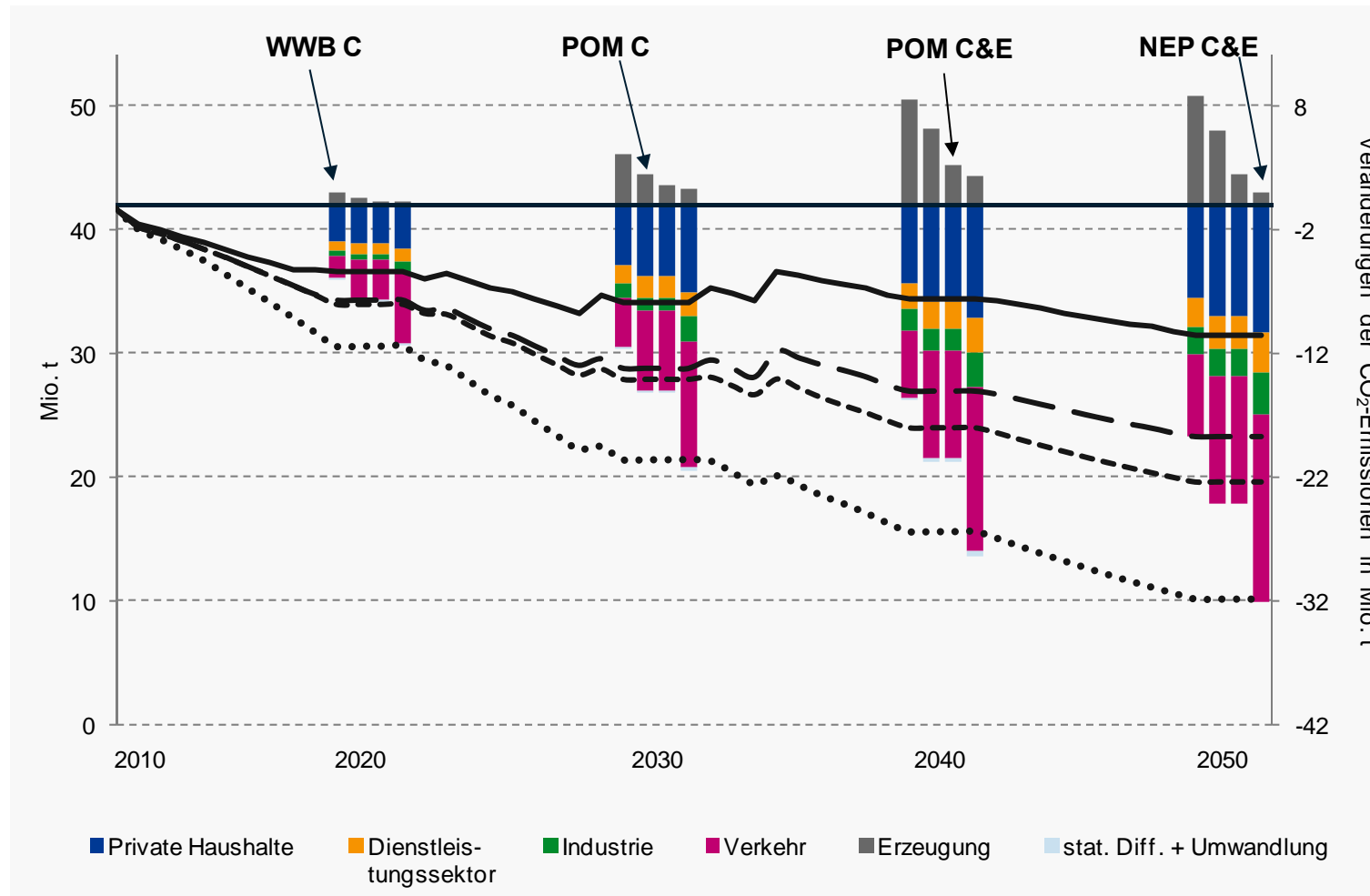
Bei dieser Betrachtung sind die Emissionen der Stromproduktion dem Erzeugungssektor zugerechnet und nicht den Verbrauchssektoren.

- Im Jahr 2010 entfielen rund 42% der energiebedingten CO₂-Emissionen auf den Verkehrssektor, 28% auf die Privaten Haushalte, 14% auf den Dienstleistungssektor und 12% auf den Industriesektor. Der Anteil des Umwandlungssektors (inkl. Stromerzeugung) ist mit rund 2% gering. Weitere 2% sind der „statistischen Differenz“ zuzurechnen.
- Der Umwandlungssektor beinhaltet hauptsächlich die Erzeugung von Strom, von geringer Bedeutung sind die Fernwärme und die „sonstige Umwandlung“ (vorwiegend Gas). Die Emissionen im Umwandlungssektor nehmen im Zeitverlauf 2010 bis 2050 zu, insbesondere bei der Erzeugung von Strom. Die CO₂-Intensität des Stroms steigt aufgrund des Einsatzes von Erdgas-betriebenen Anlagen.
- In den Verbrauchssektoren sind die Emissionen durchwegs rückläufig. In den Sektoren Verkehr und Private Haushalte sind die Reduktionen am grössten.
- Die zusätzlichen Einsparungen im Szenario POM gegenüber dem Szenario WWB entfallen vorwiegend auf die Sektoren Verkehr, Erzeugung und Haushalte.
- Die zusätzlichen Einsparungen im Dienstleistungssektor und im Industriesektor im Szenario POM sind vergleichsweise gering. Die Massnahmen in diesen Sektoren wirken vorwiegend auf den Stromverbrauch (indirekte Wirkung auf die Entwicklung der CO₂-Emissionen).
- Der Unterschied zwischen den Szenarien POM Var. C und POM Var. C&E erklärt sich durch den unterschiedlichen Energieträgereinsatz bei der Stromerzeugung.

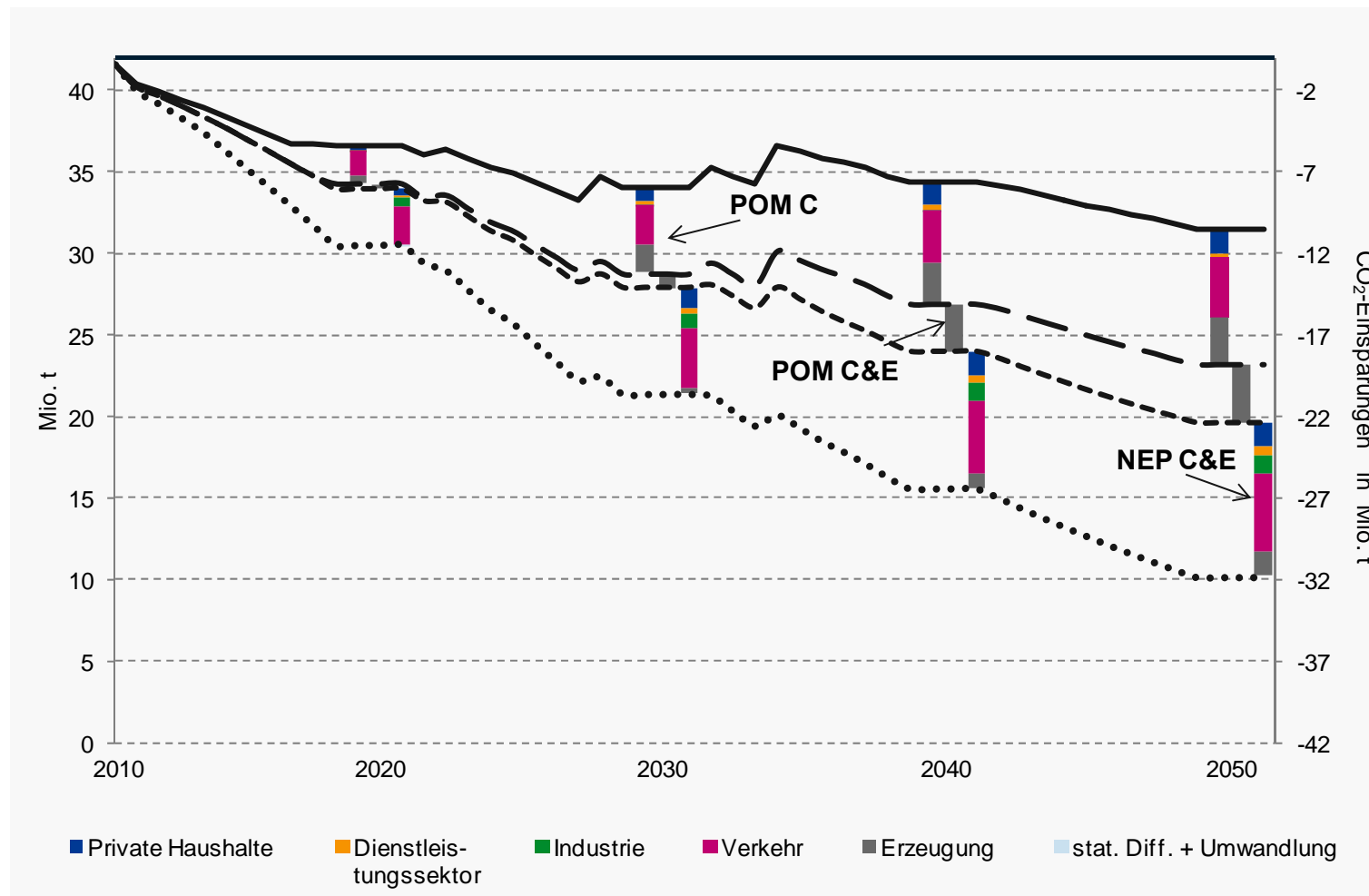
CO₂-Emissionen in den Szenarien nach Sektoren (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Sektoren (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen nach Sektoren (Typ 3)

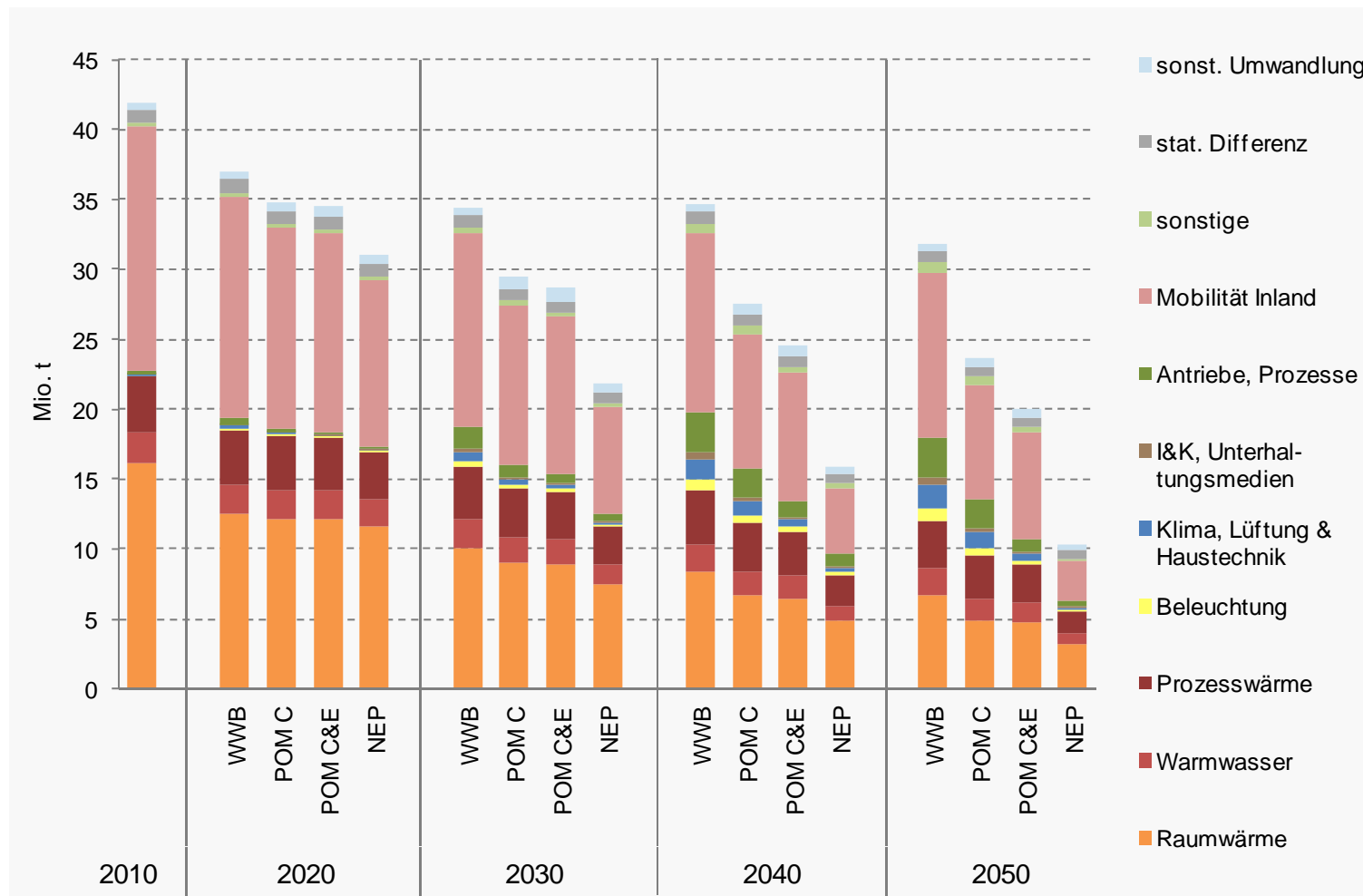


Veränderung der CO₂-Emissionen nach Verwendungszwecken

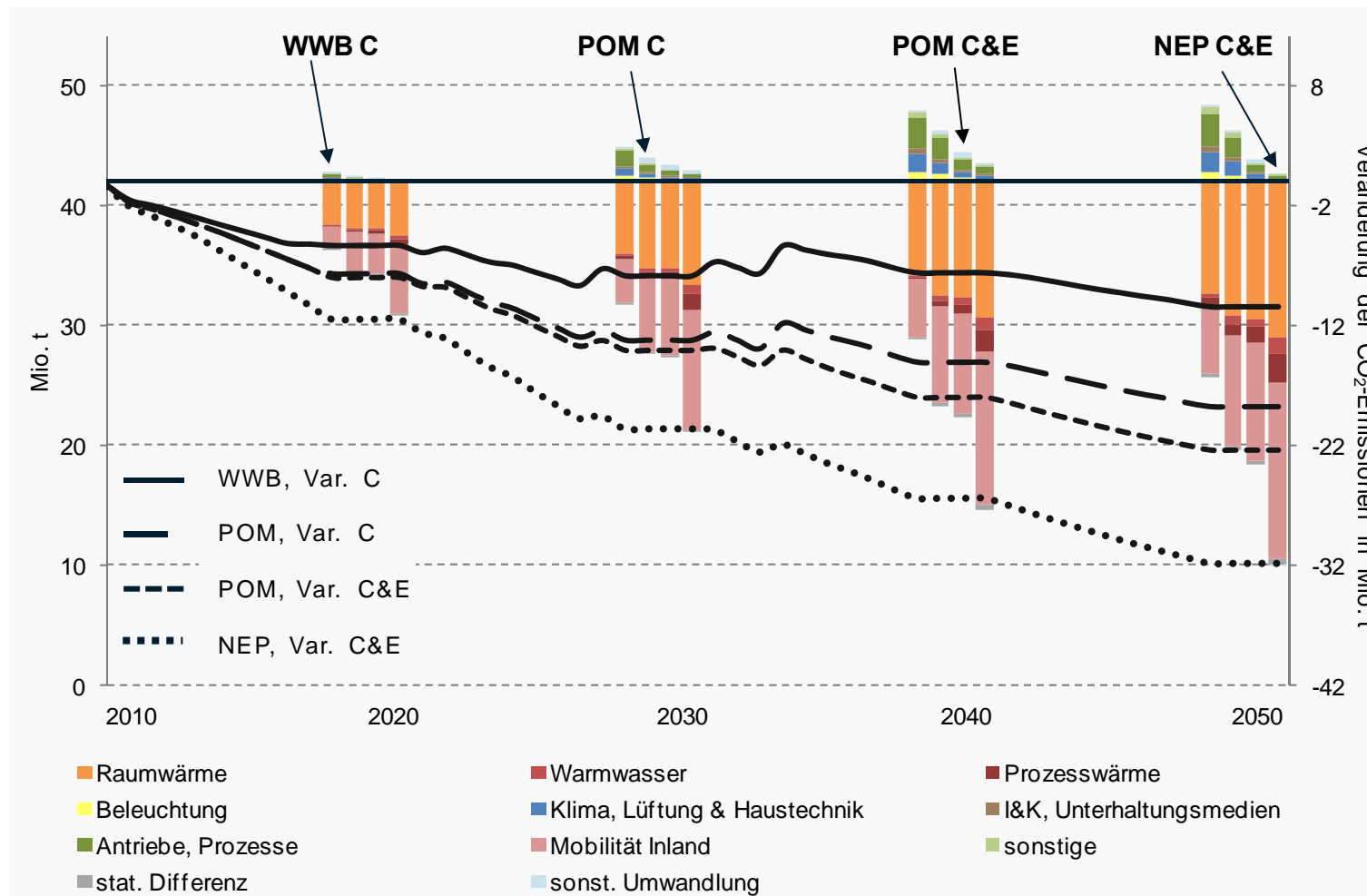
Bei dieser Betrachtung sind die Emissionen der Stromproduktion dem Stromverbrauch und damit den Verbrauchssektoren zugerechnet.

- Im Jahr 2010 entfielen rund 42% der CO₂-Emissionen auf die Mobilität, 39% auf die Raumwärme, 10% auf die Prozesswärme und 5% auf das Warmwasser. Die Anteile der übrigen Verwendungszwecke waren gering.
- Im Zeitverlauf 2010 bis 2050 zeigen sich die grössten CO₂-Reduktionen bei den Verwendungszwecken mit den höchsten Emissionen: Mobilität und Raumwärme.
- Zunahmen zeigen sich bei denjenigen Verwendungszwecken, die vorwiegend Strom verbrauchen. Die ansteigende CO₂-Intensität des Strom wirkt der technischen Effizienz entgegen und führt zu höheren Emissionen. Am grössten ist die Zunahme bei den Antrieben und Prozessen.
- Im Szenario POM entfallen rund 43% der zusätzlichen Einsparungen (ggü. WWB) auf die Mobilität, 22% auf die Raumwärme und 11% auf die Antriebe und Prozesse.
- Die Differenz in den Emissionen zwischen den Szenarien POM Var. C und POM Var. C&E ist nicht einem der Verwendungszwecke zuzurechnen, sondern dem Kraftwerkspark (unterschiedliche Erzeugungsstruktur).
- Rund 50% der zusätzlichen Einsparungen im Szenario NEP gegenüber dem Szenario POM Var. C&E entfallen auf die Mobilität, weitere 16% entfallen auf die Raumwärme, 12% auf die Prozesswärme.

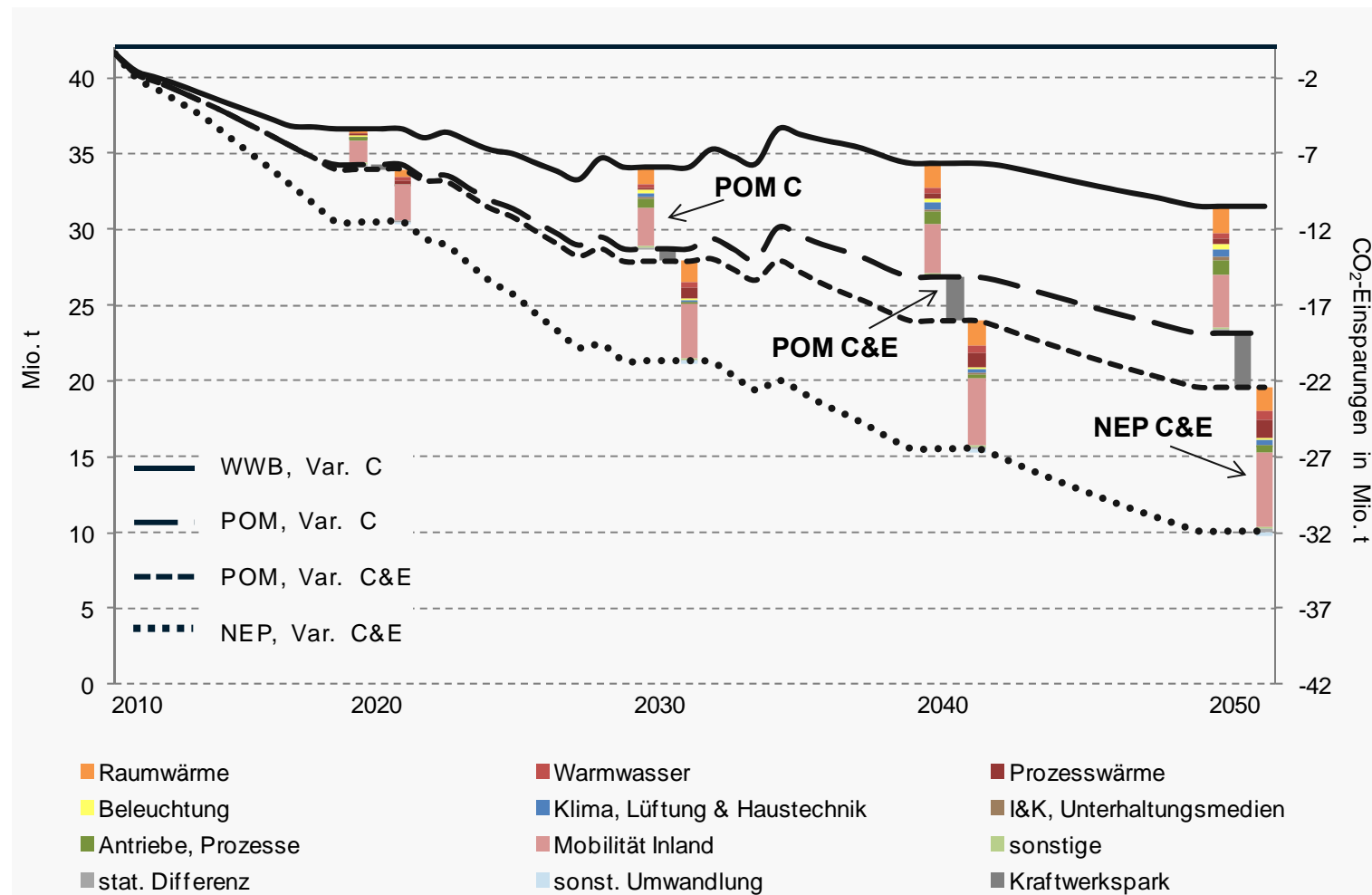
CO₂-Emissionen in den Szenarien nach Verwendungszwecken (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Verwendungszwecken (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen nach Verwendungszwecken (Typ 3)

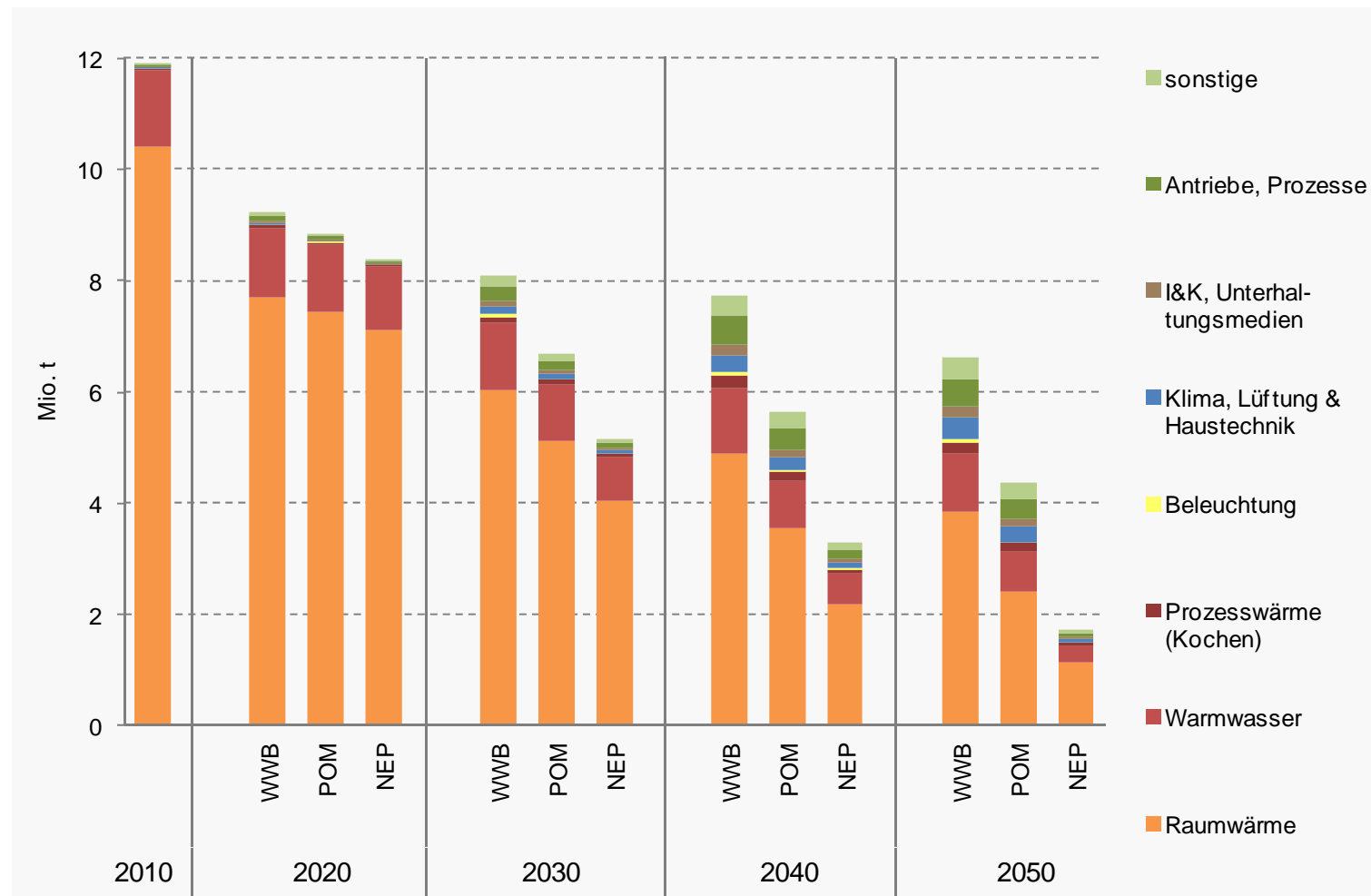


Veränderung der CO₂-Emissionen im Sektor Private Haushalte nach Verwendungszwecken

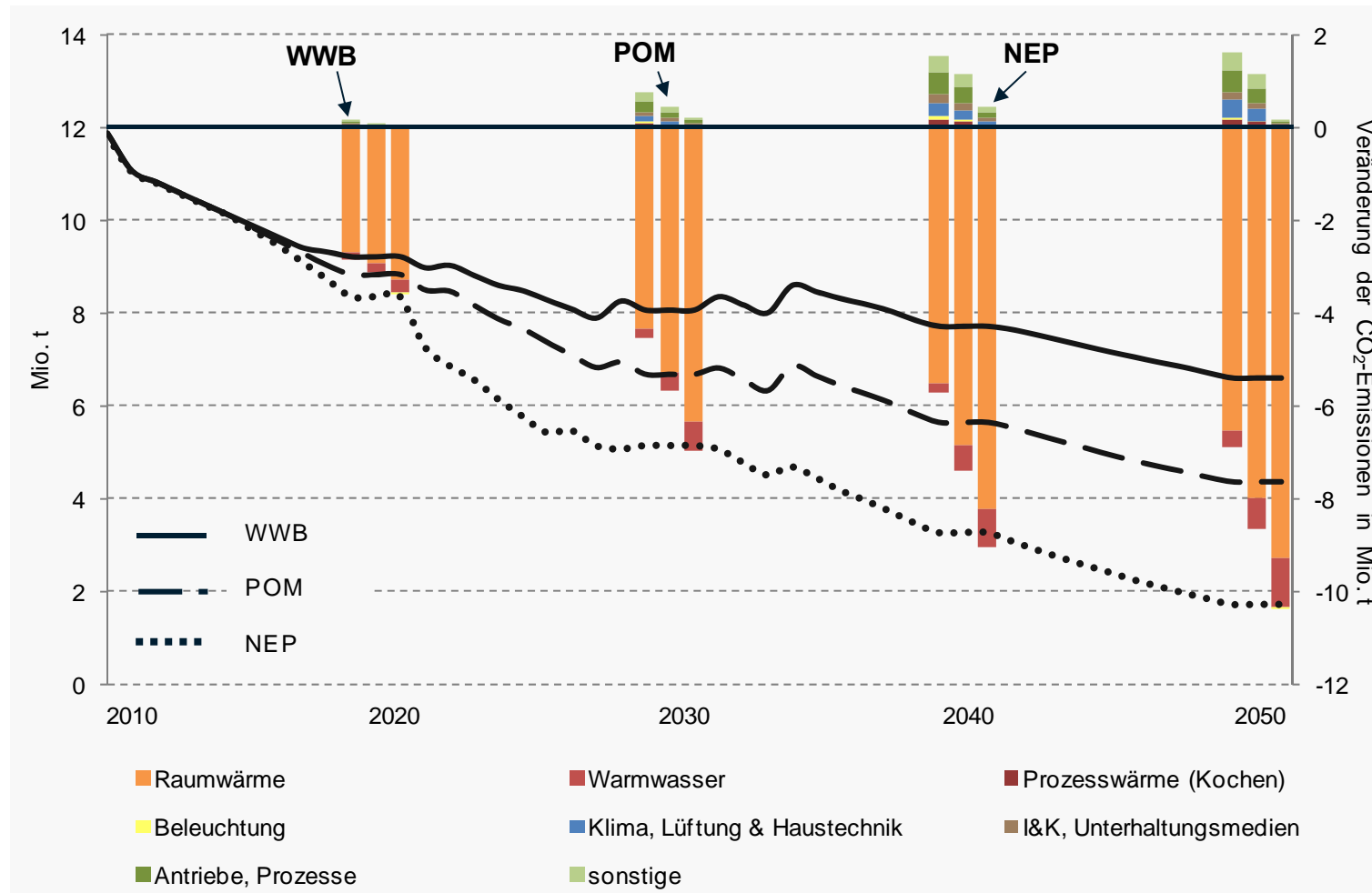
Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet.
Szenario POM: Nur Angebotsvariante C abgebildet.

- Im Jahr 2010 entfielen rund 88% der sektoralen CO₂-Emissionen auf die Raumwärme und 12% auf das Warmwasser, die übrigen Verwendungszwecke waren unbedeutend.
- Entsprechend entfallen im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2050 die Emissionsreduktionen fast ausschliesslich auf die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser.
- Eine Zunahme der Emissionen zeigt sich bei den Strom-basierten Verwendungszwecken. Die höhere CO₂-Intensität des Stroms führt zu höheren Emissionen. Am grössten sind die Zunahmen bei den Antrieben und Prozessen, Klima, Lüftung und Haustechnik sowie bei den sonstigen.
- Aufgrund der höheren Effizienz sind diese Zunahmen im Szenario POM und insbesondere im Szenario NEP weniger gross als im Szenario WWB.

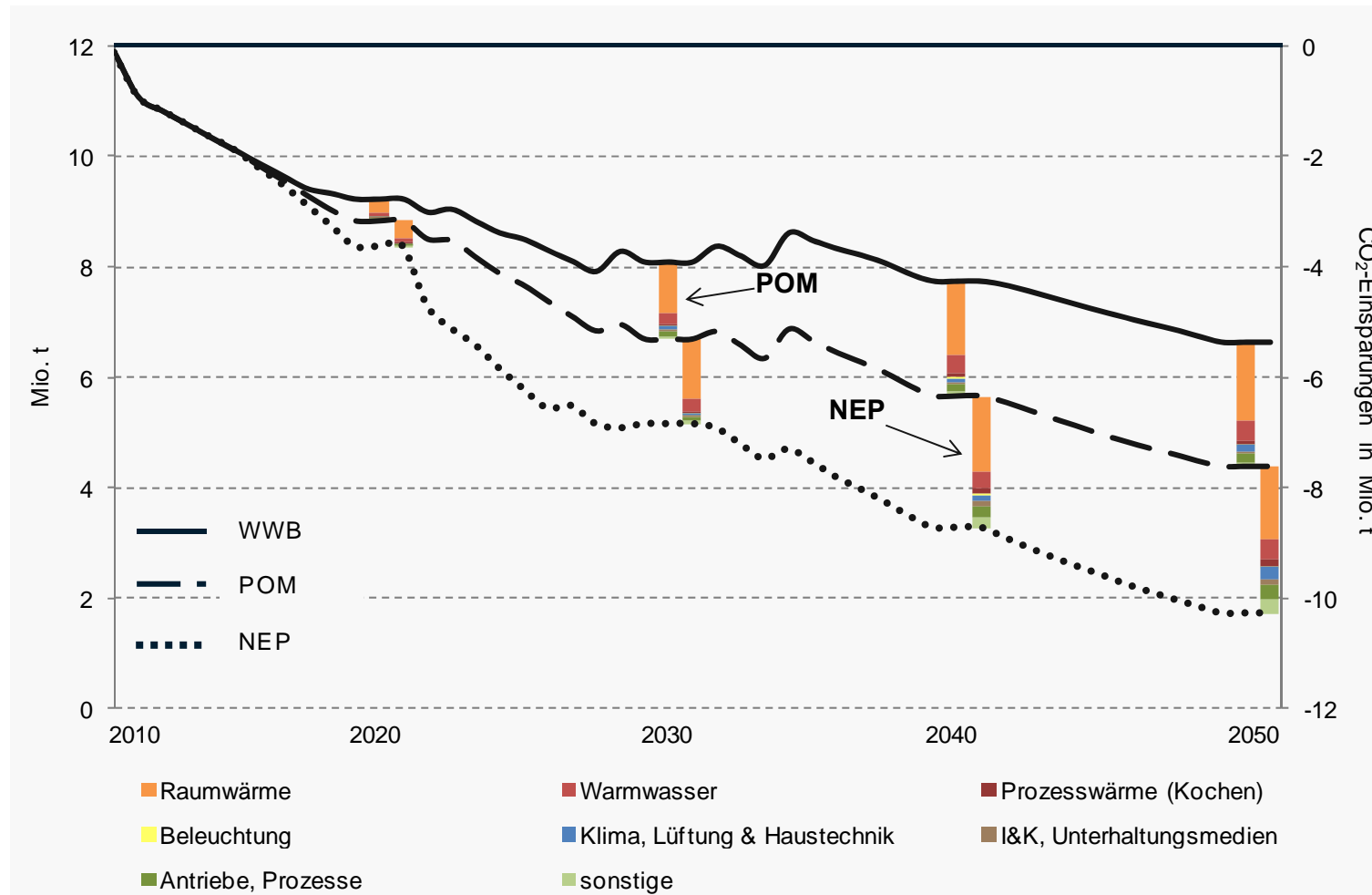
CO₂-Emissionen im Sektor Private Haushalte in den Szenarien nach Verwendungszwecken (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Private Haushalte nach Verwendungszwecken (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen im Sektor Private Haushalte nach Verwendungszwecken (Typ 3)



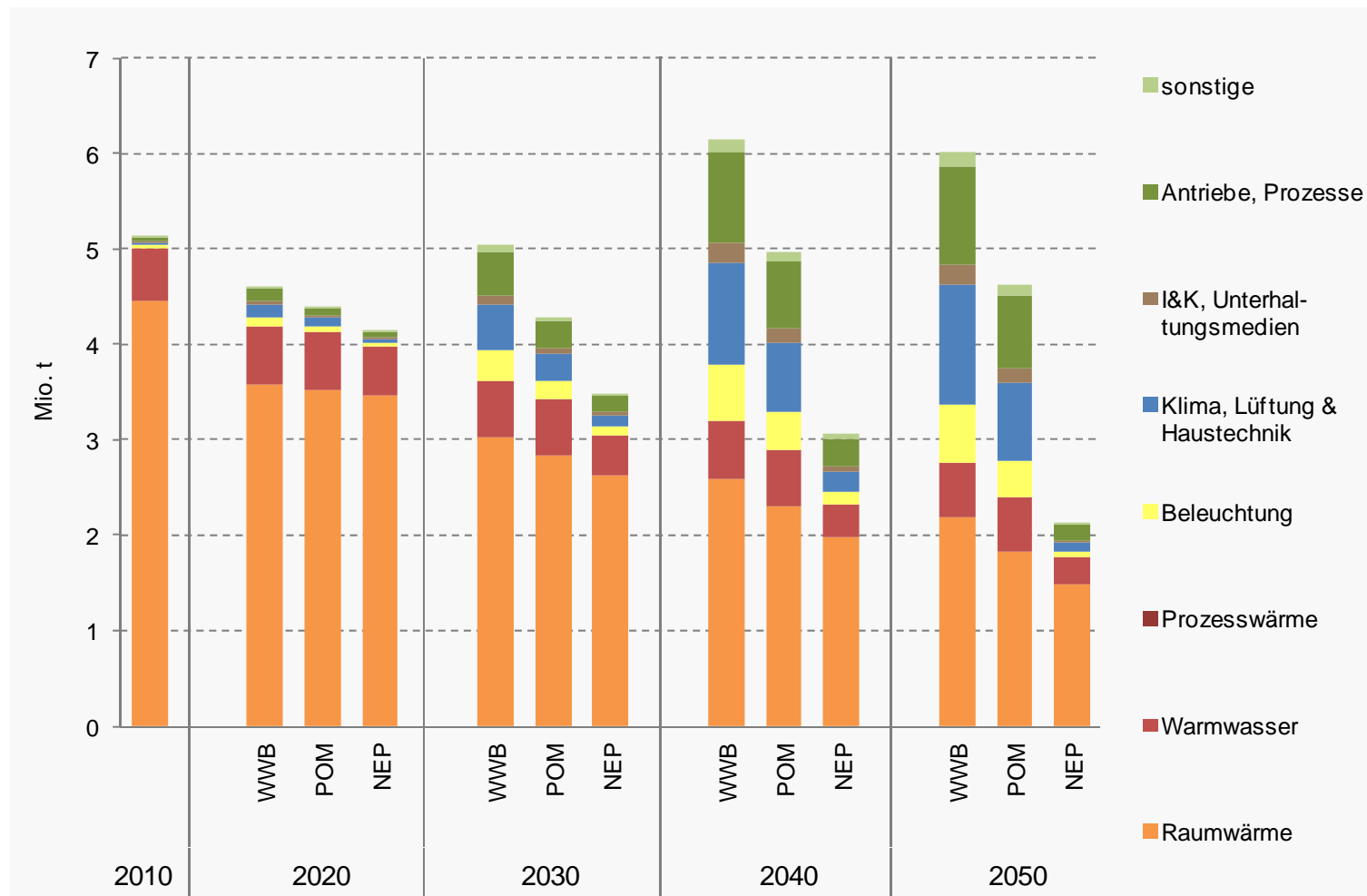
Veränderung der CO₂-Emissionen im Dienstleistungssektor nach Verwendungszwecken

Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet.

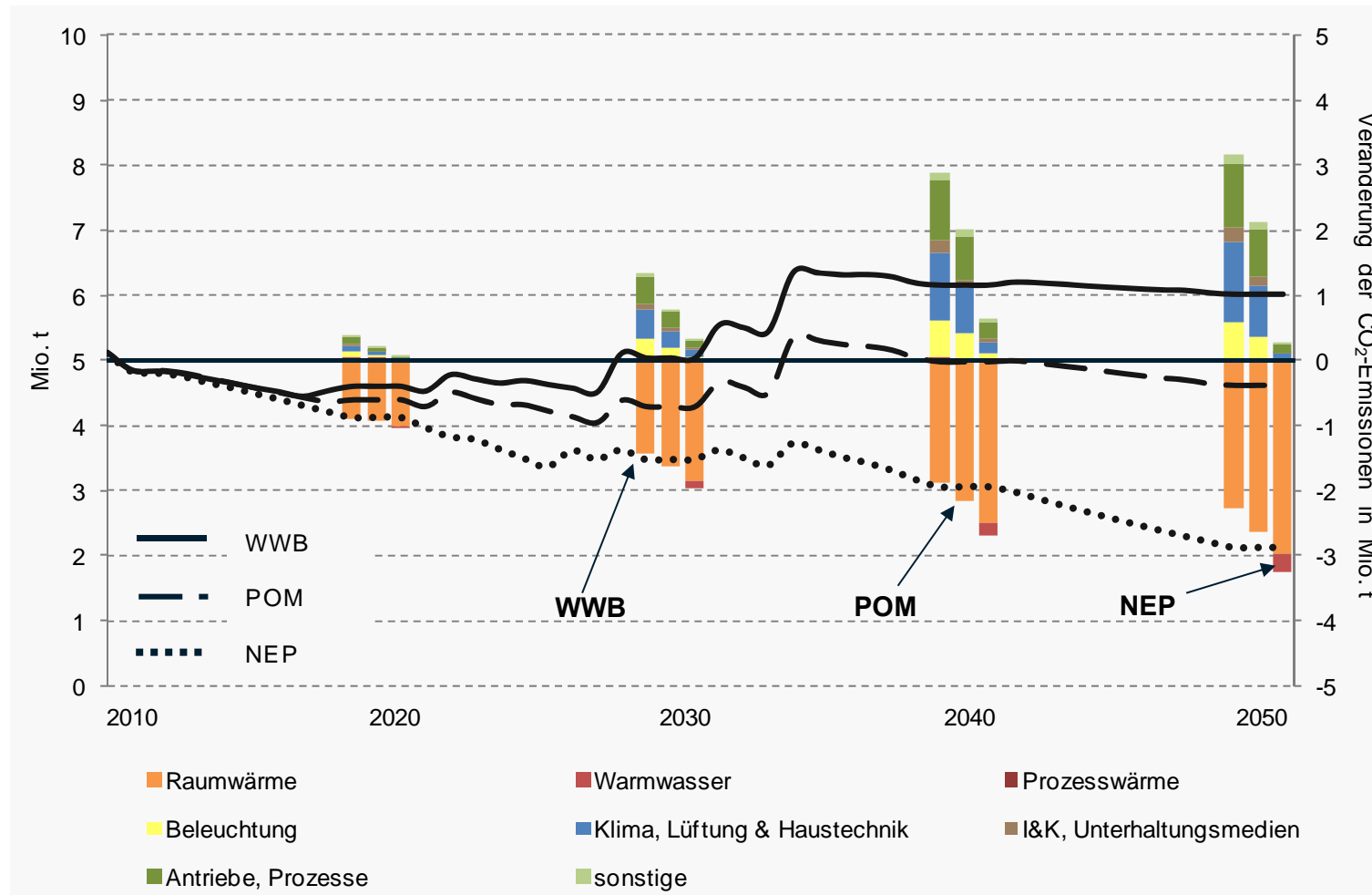
Szenario POM: Nur Angebotsvariante C abgebildet.

- Wie bei den Haushalten entfallen auch im Dienstleistungssektor die CO₂-Emissionen fast ausschliesslich auf die Verwendungszwecke Raumwärme und Warmwasser. Im Jahr 2010 betrug der Anteil der Raumwärme an den sektoralen CO₂-Emissionen 87%, derjenige des Warmwassers 11%.
- In den Szenarien WWB und POM (Var. C) werden nur bei der Raumwärme CO₂-Emissionen eingespart, bei allen anderen Verwendungszwecken nehmen die Emissionen zu.
- Die Zunahme ist unter anderem auf die höhere CO₂-Intensität des Stroms zurückzuführen.
- Die grössten Zunahmen zeigen sich bei den Verwendungszwecken Antriebe und Prozesse sowie Klima, Lüftung und Haustechnik.
- Im Szenario NEP sind die Emissionszunahmen geringer, einerseits aufgrund der höheren Effizienz der Anlagen, aber auch aufgrund der geringeren CO₂-Intensität des Stroms.

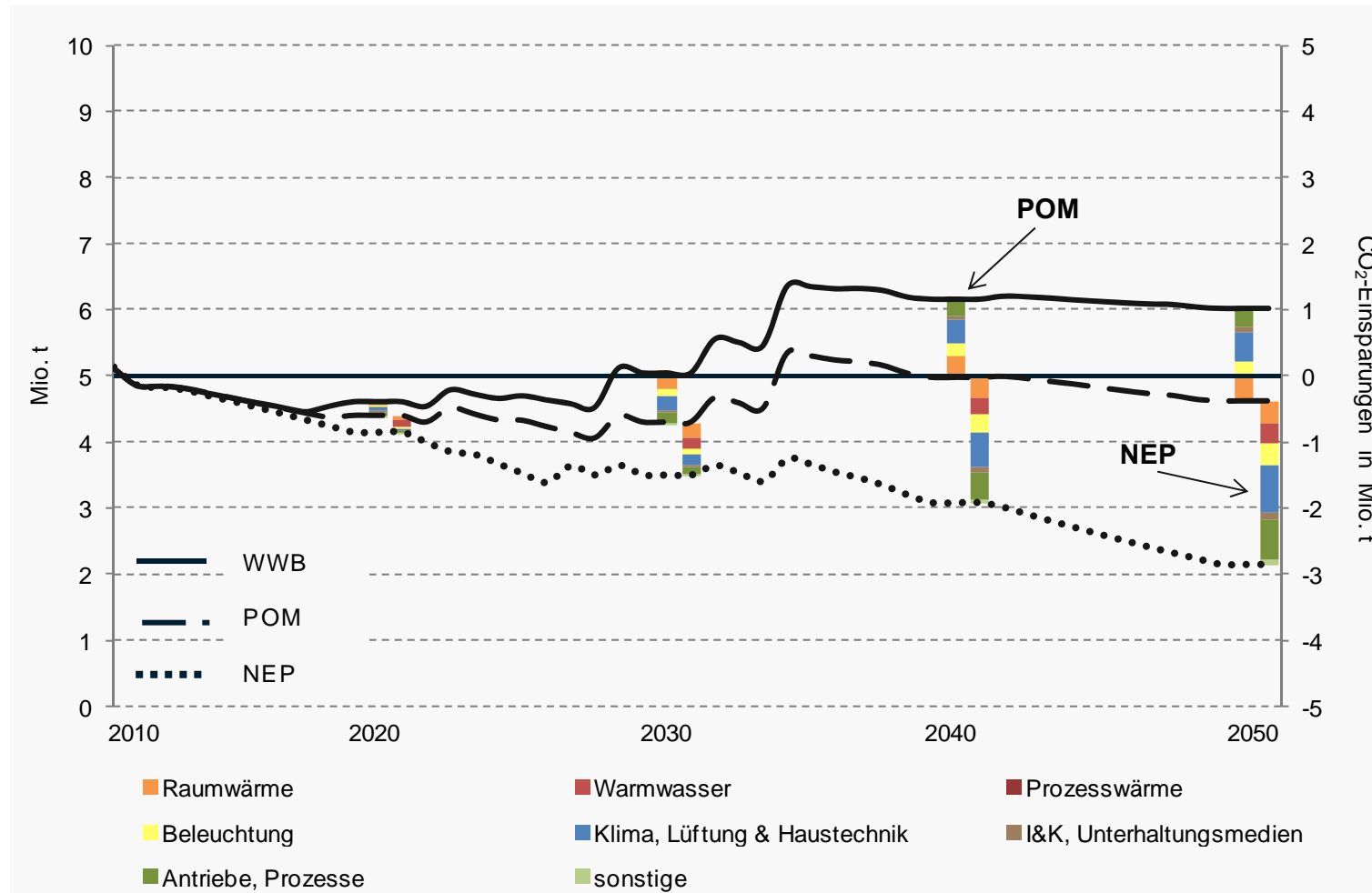
CO₂-Emissionen im Dienstleistungssektor in den Szenarien nach Verwendungszwecken (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Dienstleistungssektor nach Verwendungszwecken (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen im Dienstleistungssektor nach Verwendungszwecken (Typ 3)



Veränderung der CO₂-Emissionen im Industriesektor nach Verwendungszwecken

Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet.

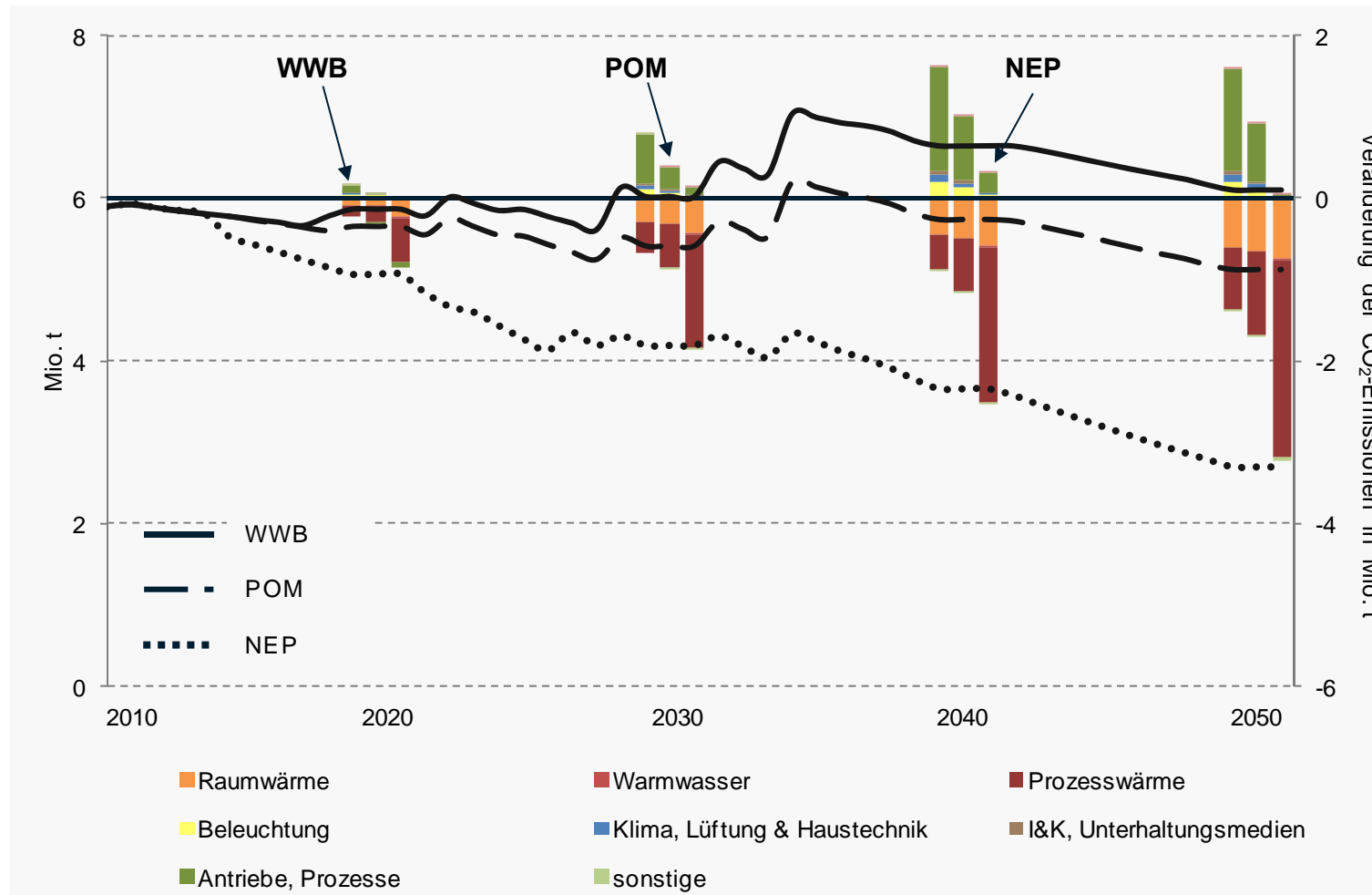
Szenario POM: Nur Angebotsvariante C abgebildet.

- Im Industriesektor entfällt der Grossteil der CO₂-Emissionen auf die Erzeugung von Prozesswärme. Im Jahr 2010 belief sich der Anteil der Prozesswärme auf 68%. Weitere 22% entfielen auf die Raumwärme.
- Die im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2050 erzielten Emissionsreduktionen sind auf diese beiden Verwendungszwecke (und die sonstigen) zurückzuführen. Die sonstigen Verwendungen beinhalten Verbräuche für die Elektrolyse, Aufwendungen zur Vermeidung von Umweltschäden (z.B. Elektrofilter), u.ä..
- Eine Zunahme der Emissionen zeigt sich insbesondere bei den Antrieben und Prozessen. Die Zunahme hängt unter anderem mit der höheren CO₂-Intensität des Stroms zusammen.
- Aufgrund der höheren Effizienz der Anlagen und der geringeren CO₂-Intensität des Stroms sind die Emissionszunahmen im Szenario NEP (Var. C&E) weniger gross als in den Szenarien WWB und POM (Var. C).

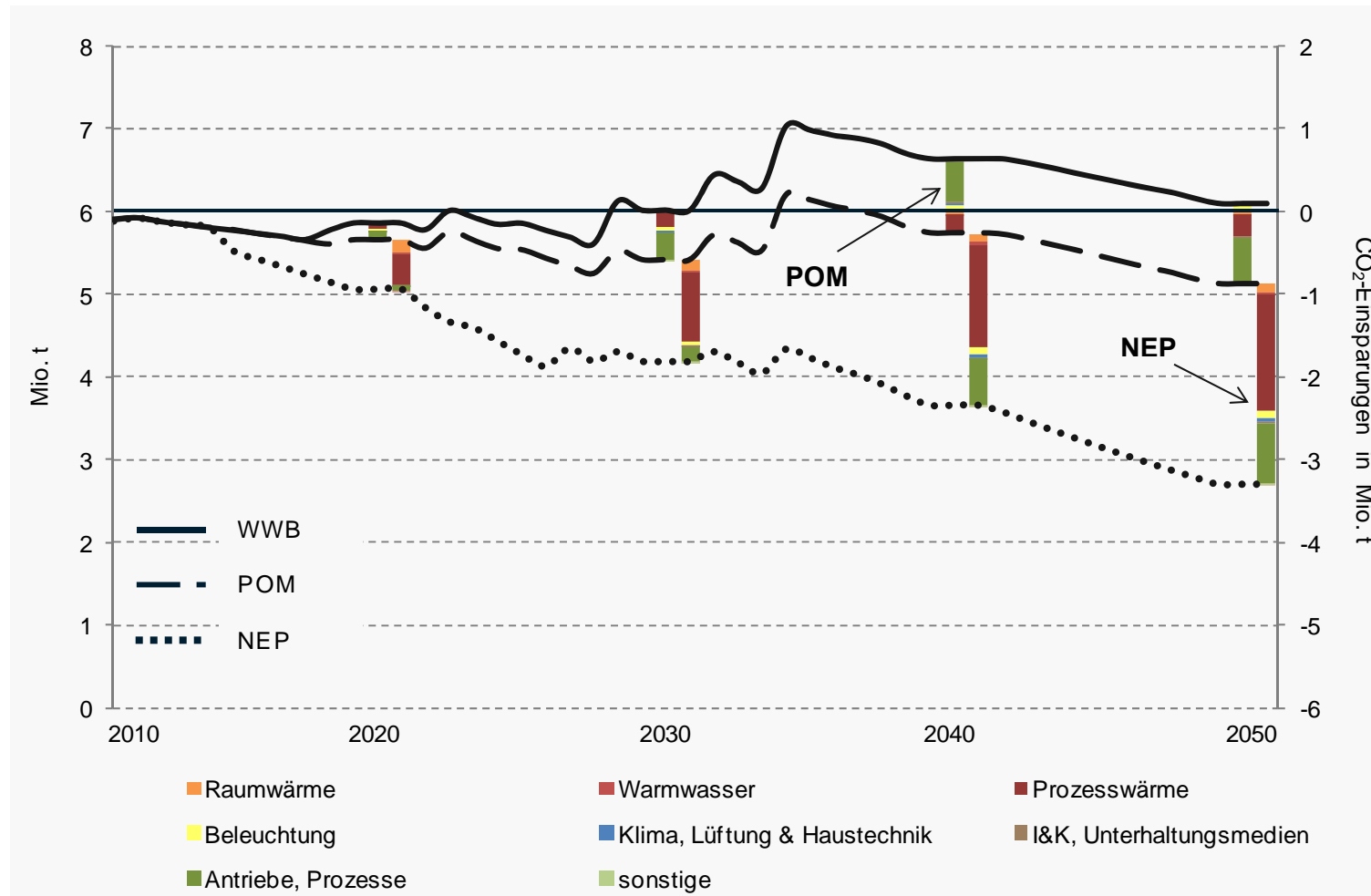
CO₂-Emissionen im Sektor Industrie in den Szenarien nach Verwendungszwecken (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Industrie nach Verwendungszwecken (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen im Sektor Industrie nach Verwendungszwecken (Typ 3)



Veränderung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor nach Verwendungszwecken

Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet.

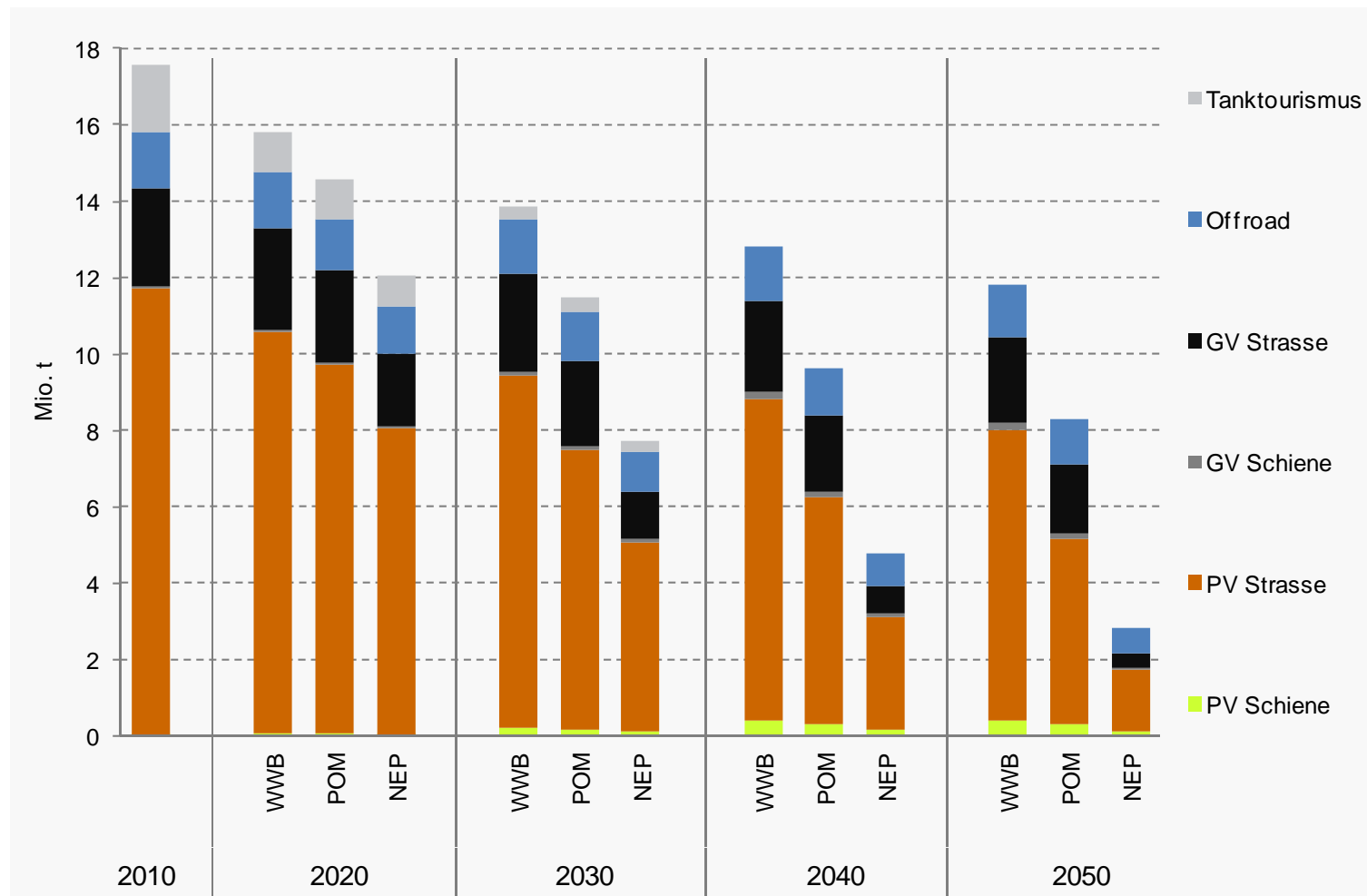
Szenario POM: Nur Angebotsvariante C abgebildet.

- Im Verkehrssektor entfielen im Jahr 2010 82% der CO₂-Emissionen auf den Strassenverkehr (67% auf den Personenverkehr und 15% auf den Güterverkehr). Weitere 8% entfielen auf den Offroad-Verkehr (oder Nonroad), 10% auf den Tanktourismus.
- Der Tanktourismus ist in den Szenarien definiert als Differenz zwischen Inlandabsatz und Inlandverbrauch. In allen Szenarien wird davon ausgegangen, dass diese Differenz ab 2035 verschwindet, respektive den Wert von 0 einnimmt.
- Im Betrachtungszeitraum 2010 bis 2050 entfallen die Emissionsreduktionen fast ausschliesslich auf den Strassenverkehr und den Tanktourismus. In den Szenarien WWB und POM ist der Rückgang beim Strassenverkehr hauptsächlich auf den Personenverkehr zurückzuführen, im Szenario NEP ist der relative Rückgang beim Güterverkehr gleich gross wie beim Personenverkehr.
- Die Emissionen des Schienenverkehrs waren im Jahr 2010 vernachlässigbar. Aufgrund der Entwicklung der CO₂-Intensität des Stroms steigen die Emissionen durch den Schienenverkehr im Betrachtungszeitraum. Die Mengen bleiben aber gering, die Anteile an den sektoralen Emissionen bleiben unter 5%.

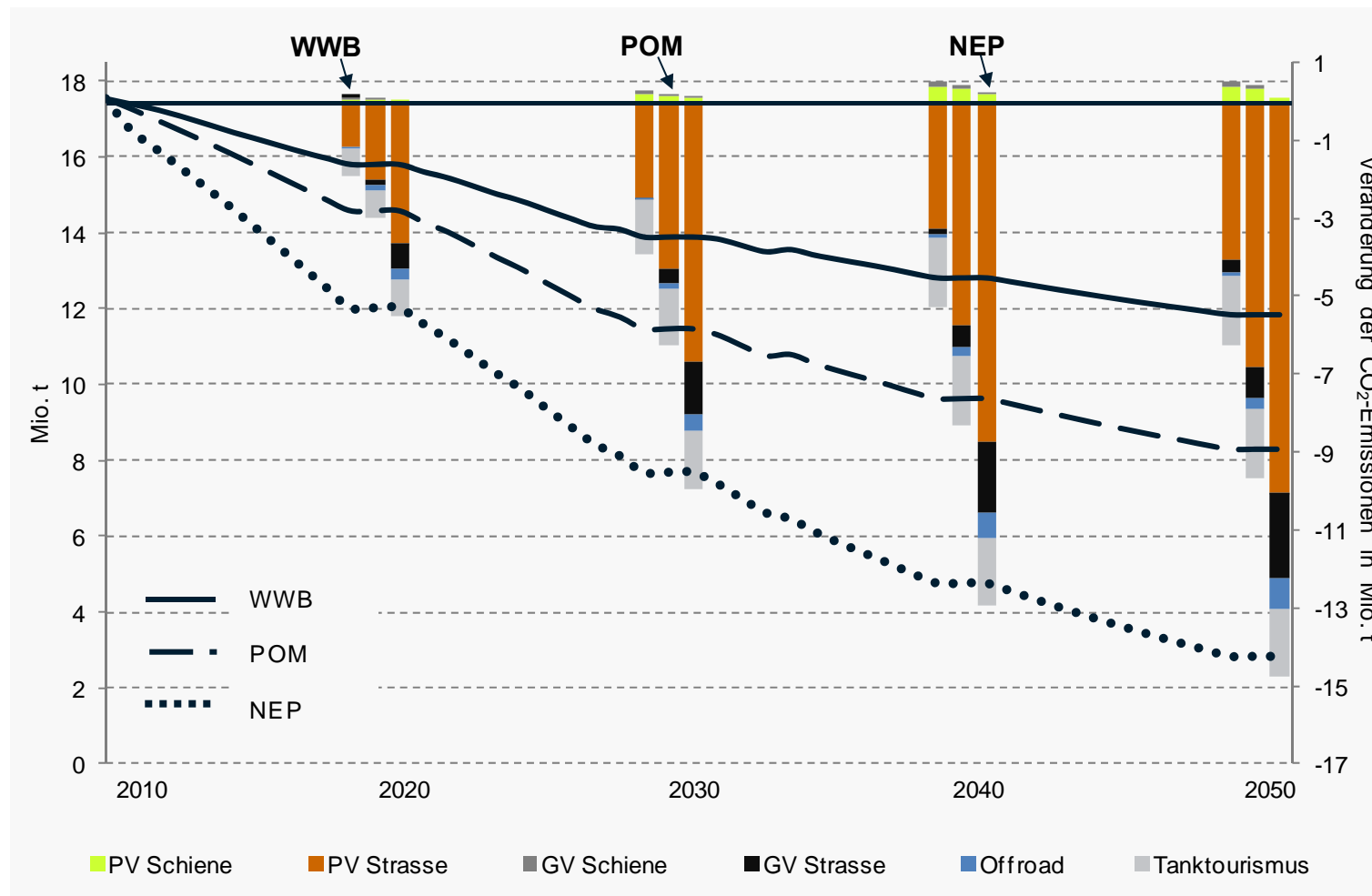
Veränderung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor nach Verwendungszwecken

- In den Szenarien WWB und POM unterscheiden sich die Verkehrsmengengerüste nicht, die Anzahl gefahrener Personenkilometer (Personenverkehr) und Tonnenkilometer (Güterverkehr) sind identisch.
- Im Szenario NEP wird hingegen von etwas geringeren Mengen an Personenkilometern (-7% in 2050) und Tonnenkilometern (-6% in 2050) ausgegangen.
- Zudem verschiebt sich im Szenario NEP der Modal-Split: Der Anteil des Schienenverkehrs nimmt stärker zu als in den Szenarien WWB und POM.

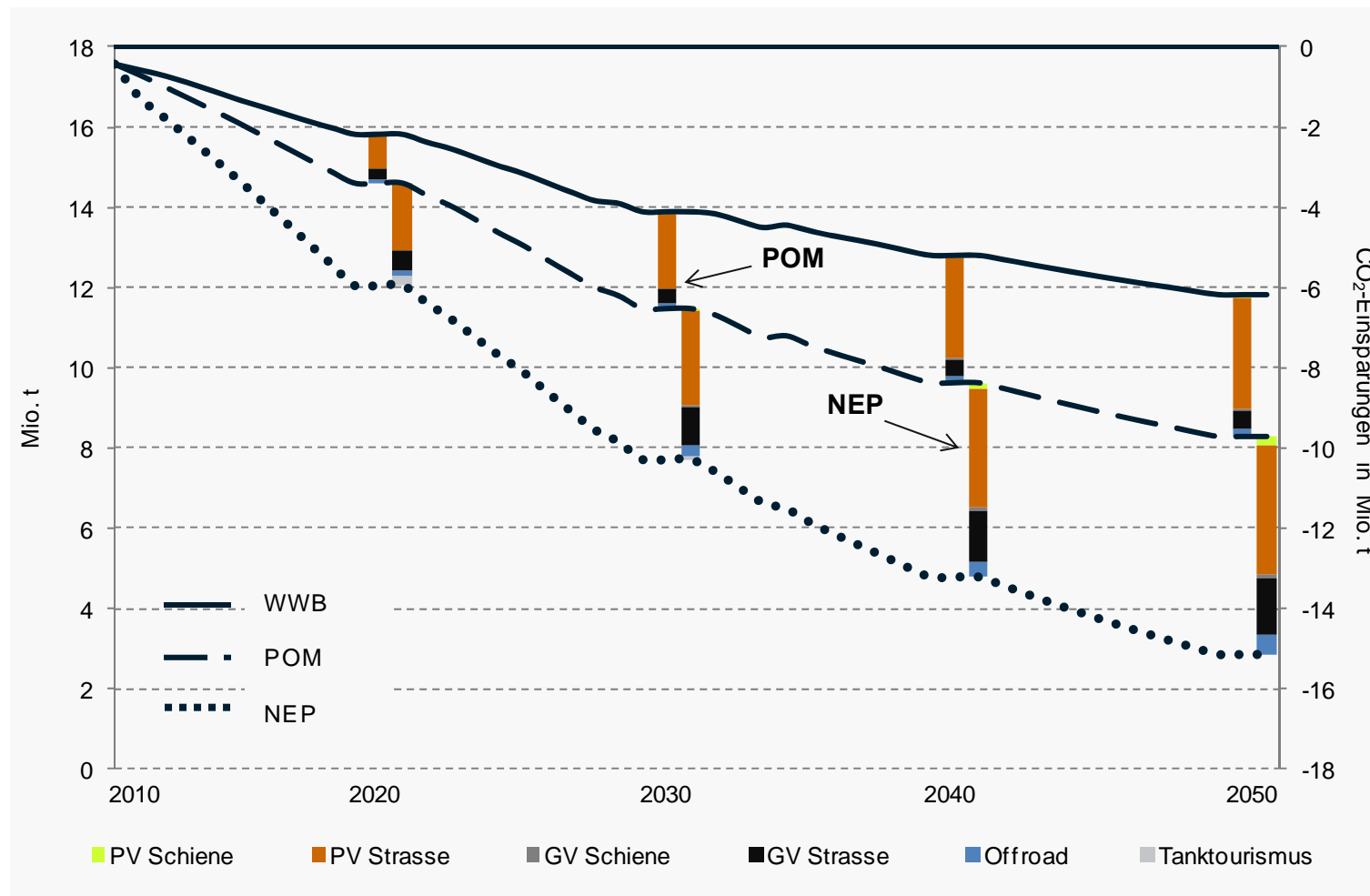
CO₂-Emissionen im Sektor Verkehr in den Szenarien nach Verwendungszwecken (Typ 1)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Verkehr nach Verwendungszwecken (Typ 2)



zusätzliche CO₂-Einsparungen im Sektor Verkehr nach Verwendungszwecken (Typ 3)



Fazit

- Die CO₂-Einsparungen entfallen hauptsächlich auf die Verwendungszwecke Raumwärme und Mobilität.
- Entsprechend verteilen sich die Einsparungen vorwiegend auf die Energieträger Heizöl, Benzin und Diesel, welche den Verbrauch bei diesen Verwendungszwecken dominieren.
- Die grosse Bedeutung der Verwendungszwecke Raumwärme und Mobilität widerspiegelt sich auch bei der Betrachtung der Einsparungen nach Sektoren: Die grössten Einsparungen zeigen sich im Verkehrssektor (Mobilität) und bei den Privaten Haushalten (rund 2/3 des Raumwärmeverbrauchs entfallen auf die Haushalte).
- In den Sektoren Industrie und Dienstleistungen wird hauptsächlich Strom eingespart.
- Der Einsatz von Erdgas zur Stromproduktion wirkt der Reduktion entgegen und führt im Szenario WWB zu einem Anstieg von annähernd 9 Mio. t CO₂.
- Massnahmen zur Reduktion des Stromverbrauchs sowie der vermehrte Einsatz von Erneuerbaren reduzieren diesen Anstieg erheblich:
 - Szenario POM Var. C: ~6 Mio. t CO₂
 - Szenario POM Var. C&E: ~3 Mio. t CO₂
 - Szenario NEP Var. C&E: ~2 Mio. t CO₂

01 Einleitung

02 CO₂-Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken

03 **Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO₂-Reduktionen**

04 Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren

05 Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten

06 Anhang

Motivation und Beschreibung der Komponenten

- Die Veränderung der CO₂-Emissionen soll auf die wichtigsten Bestimmungsfaktoren zurückgeführt werden, analog zu den Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs.*
- unterschiedene Bestimmungsfaktoren (=Komponenten):
 - Menge (z.B. BIP, Wohnfläche, Haushalte)
 - Effizienz/Technologie/Politik - wird weiter unterschieden in
 - Effizienz Gebäude
 - Effizienz Anlagen (inkl. Fahrzeuge)
 - Effizienz Geräte
 - Substitution - wird weiter unterschieden in
 - Substitution zu erneuerbaren Energieträgern (EE)
 - Substitution innerhalb der Nicht-Erneuerbaren (Substitutionen zwischen Heizöl, Gas, Fernwärme und Strom)
 - Elektrifizierung im Verkehrssektor
 - Substitution Kraftwerkspark (Substitutionen bei den Energieinputs zur Stromerzeugung wirken auf die Emissionen des Kraftwerksparks. Beinhaltet den Effekt, dass bei der Stromproduktion Kernenergie teilweise durch Gas ersetzt wird und dadurch bei der Stromproduktion mehr Emissionen entstehen.)

* vgl. z.B. BFE 2012. Ex-Post-Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 bis 2011 nach Bestimmungsfaktoren. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

Motivation und Beschreibung der Komponenten

- unterschiedene Bestimmungsfaktoren - Fortsetzung
 - Struktureffekte (insbesondere Strukturveränderungen in den Sektoren IND und DL)
 - Klima (Effekt des wärmer werdenden Klimas auf die Nachfrage nach Raumwärme und Raum-Klimatisierung)
 - Tanktourismus und internationaler Flugverkehr (Differenz zwischen Inlandabsatz gemäss Energiestatistik und effektivem Inlandverbrauch)
 - Nicht-Linearitäten / Joint-Effekte

Berechnungsansatz

- Berechnung der Komponenten mittels linearer Näherung: Ein Einflussfaktor wird zwischen den Jahren t_n und t_{n+1} verändert, während alle anderen Parameter konstant gehalten werden.
- Die sich daraus ergebende Veränderung der Emission $E_{n+1} - E_n$ quantifiziert den Effekt.
- Die Effekte der einzelnen Komponenten werden auf Ebene der Verwendungszwecke in den Verbrauchssektoren bestimmt und anschliessend addiert.
- Joint-Effekte (oder Nicht-Linearitäten) treten dann auf, wenn sich sowohl die Mengen- als auch die spezifische Verbrauchskomponente verändern (methodisch unvermeidbar).
- Über den Bestimmungsfaktor „Substitution Kraftwerkspark“ werden die Emissionen, die bei der Stromerzeugung entstehen, proportional zur Stromverbrauchsmenge auf die Verbrauchssektoren überwältzt.

Berechnungsansatz – Fortsetzung

- Das **Mengengerüst** (physikalische Größen, wie z.B. beheizte Flächen, Produktionsmengen in den Branchen) und die **Klimaentwicklung** (+1.8°C Durchschnittstemperatur bis 2050) sind als Szenariovorgaben (externe Rahmenbedingungen) in allen Szenarien identisch (Ausnahme Verkehrsmengengerüst).

In den Szenarien unterscheiden sich die **energetischen Effekte** dieser Bestimmungsfaktoren. Ursache ist der gewählte Ansatz zur Berechnung mittels Jahresschritten. Für jeden Bestimmungsfaktor wird der Einfluss in jedem Jahr berechnet und anschliessend über den Betrachtungszeitraum addiert. Dadurch ergibt sich eine „Pfadabhängigkeit“: Bei effizienteren Szenarien sind die zusätzlichen jährlichen Mengeneffekte kleiner als bei weniger effizienteren Szenarien. (Besser gedämmte Neubauten verbrauchen weniger Energie.) Diese Eigenheit gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Dummy-Beispiel:

Wohnfläche: t_0 : 100 Einheiten; t_1 : 105 Einheiten \rightarrow Menge +5%

Szenario A) spezifischer Verbrauch je Flächeneinheit: 10

Mengeneffekt Szenario A in t_1 : $10 \cdot 105 - 10 \cdot 100 = 50$

Szenario B) spezifischer Verbrauch je Flächeneinheit: 8

Mengeneffekt Szenario B in t_1 : $8 \cdot 105 - 8 \cdot 100 = 40$

In einer „effizienteren Welt“ (Szenario B) führt die gleiche Flächenzunahme nicht zur gleichen Verbrauchszunahme wie in der „weniger effizienten Welt“ (Szenario A). Die gleiche Mengentwicklung ergibt einen unterschiedlichen Mengeneffekt.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren

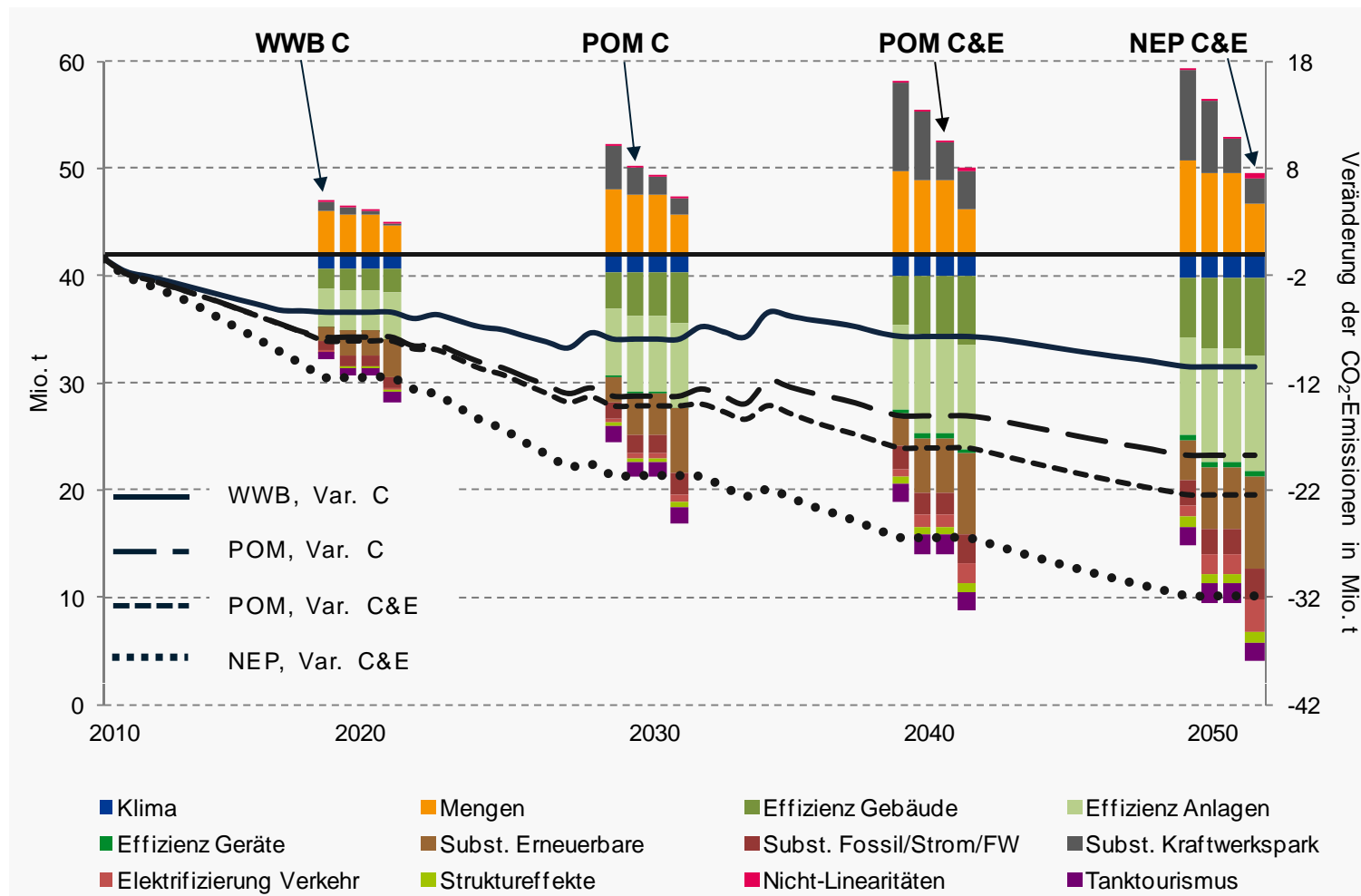
Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet (Faktor Kraftwerkspark).

- Die Mengenfaktoren und der Faktor Kraftwerkspark führen für sich genommen zu einer Ausweitung der CO₂-Emissionen.
- Rund 50% bis 55% der Reduktion sind auf den Bereich Effizienz/Technik/Politik zurückzuführen. Davon entfallen rund 35%-Punkte auf die Effizienz der Anlagen (inkl. Fahrzeuge) und 20%-Punkte auf die Effizienz Gebäudehülle. Die Elektrogeräte sind vergleichsweise unbedeutend.
- Weitere 30% bis 40% (abhängig von Szenario) der Reduktion entfallen auf die Substitutionen.
 - Der Anteil der Reduktion durch die Substitution zu erneuerbaren Energien beläuft sich auf 15% bis 25%.
 - Der Anteil der Substitutionen innerhalb der Gruppe der Nicht-Erneuerbaren liegt bei rund 8%.
 - Auf die Elektrifizierung von Fahrzeugen entfallen weitere 4% bis 9%.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren

- Im Industriesektor wirken die Struktureffekte emissionsreduzierend, im Dienstleistungssektor wirken sie emissionssteigernd. In den Sektoren Verkehr und Haushalte werden keine oder nur sehr kleine Struktureffekte ausgewiesen. Insgesamt haben die Struktureffekte einen Anteil von rund 3% an der Emissionsreduktion.
- Der Anteil des Faktors Klimaerwärmung an der Reduktion beläuft sich auf rund 7% bis 8%. Im Szenario NEP ist der Anteil etwas geringer (6%). Dabei ist berücksichtigt, dass das wärmere Klima die Nachfrage nach Raumkühlung erhöht.
- Die Reduktion durch den Faktor Tanktourismus ist in allen Szenarien gleich gross (Szenarioannahme: Ab 2035 entspricht der Inlandabsatz dem Inlandverbrauch).

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren (Typ 2)

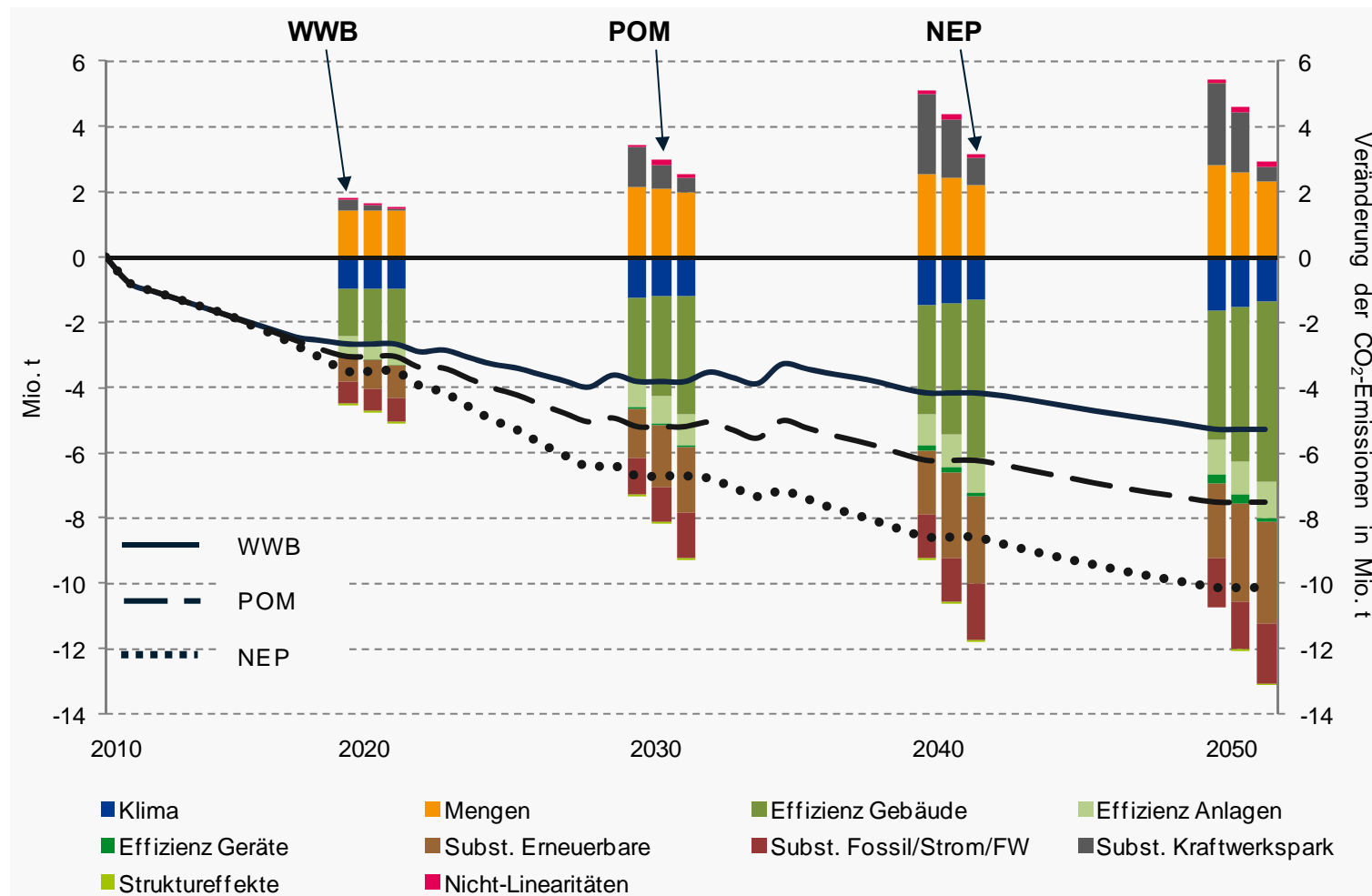


Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Sektor Private Haushalte

Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet (Faktor Kraftwerkspark).

- Analog zur Gesamtentwicklung führen auch bei den Privaten Haushalten die Mengenfaktoren und der Faktor Kraftwerkspark für sich genommen zu einer Ausweitung der CO₂-Emissionen.
- Die Verbesserung der Gebäudehülle (Effizienz Gebäude) trägt am meisten zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei (Anteil von rund 40% an den Einsparungen).
- Bedeutend sind auch die Substitutionen: Substitutionen zu den Erneuerbaren haben einen Anteil an den Reduktionen von rund 25%, die Substitutionen innerhalb der Gruppe der Nicht-Erneuerbaren von rund 15%.
- Die Steigerung der Effizienz der Raumwärme- und Warmwasseranlagen trägt rund 12% zur Reduktion der Emissionen bei.
- Der Anteil der Klimaerwärmung an den Reduktionen beläuft sich im Mittel auf rund 15% bis 20%, beim Szenario NEP ist der Anteil etwas geringer (12%).
- Der Anteil der Geräteeffizienz ist gering (3%).
- Die Struktureffekte haben bei den Haushalten keinen wesentlichen Einfluss.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Private Haushalte nach Bestimmungsfaktoren (Typ 2)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Dienstleistungssektor

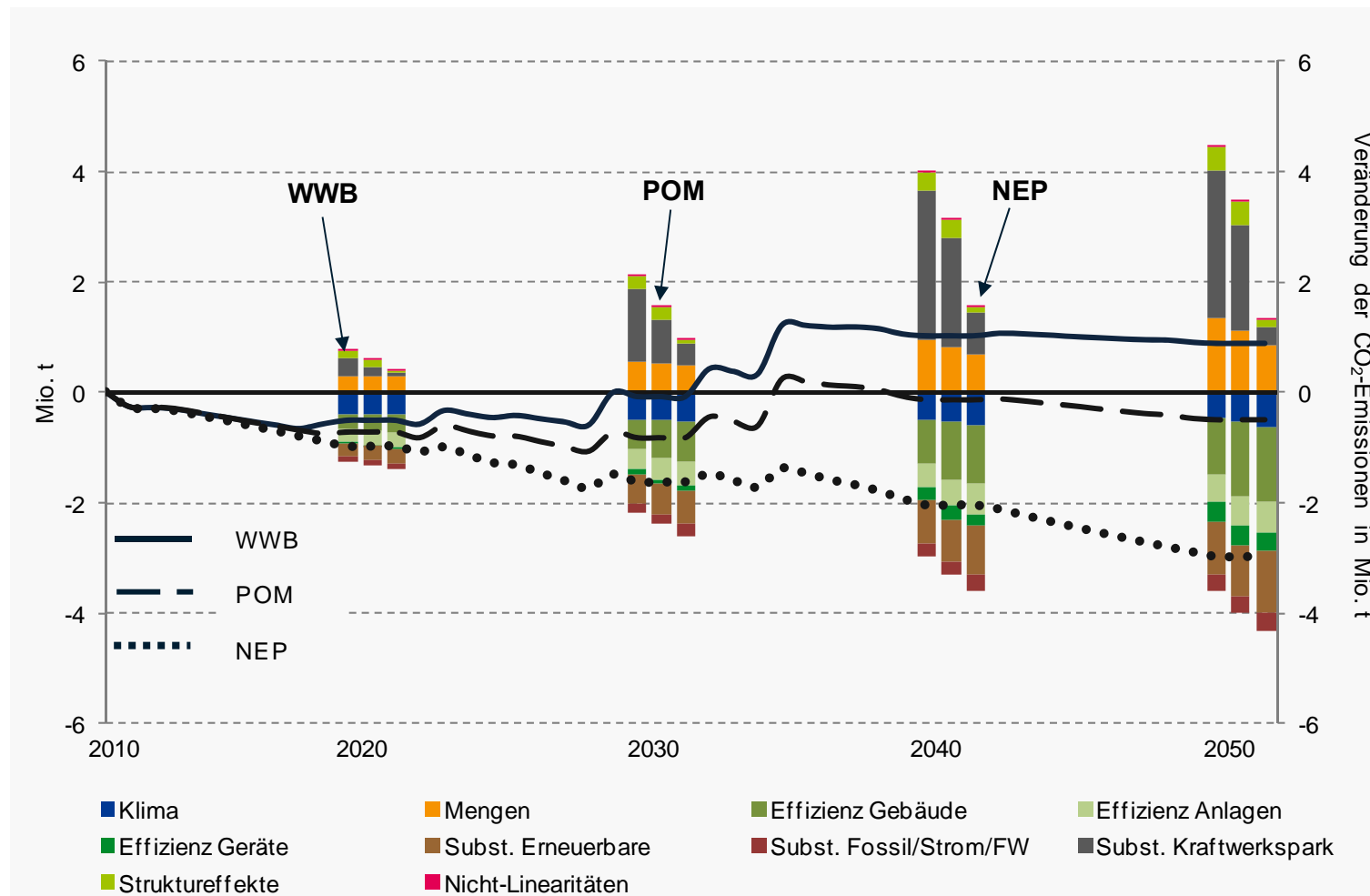
Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet (Faktor Kraftwerkspark).

- Im Dienstleistungssektor führen neben den Mengenfaktoren und dem Faktor Kraftwerkspark auch die Struktureffekte zu einem Anstieg der CO₂-Emissionen. Ursächlich für den Struktureffekt ist weniger der intersektorale Strukturwandel (unterschiedliches Wachstum der Branchen mit unterschiedlichen Energiekennzahlen), sondern der intrasektorale Strukturwandel. Darunter wird der Technisierungseffekt in Dienstleistungsgebäuden verstanden (die zunehmende Ausstattung von Gebäuden und Arbeitsplätzen mit Anlagen und Geräten), wie beispielsweise die Verlagerung von kleinen „Tante-Emma-Läden“ hin zu grossen Einkaufszentren. Dieser Effekt ist definitorisch nicht immer eindeutig von den Mengeneffekten abzugrenzen.
- Im Szenario WWB sind die emissionssteigernden Faktoren grösser als die reduzierenden Faktoren. Im Szenario POM sind die reduzierenden Faktoren leicht, im Szenario NEP deutlich grösser als die emissionssteigernden Faktoren.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Dienstleistungssektor – Fortsetzung

- Der Anteil der Substitution an der Reduktion der CO₂-Emissionen beläuft sich im Mittel auf rund 33%. Davon entfallen etwa 25%-Punkte auf die Substitutionen zu Erneuerbaren und ca. 8%-Punkte auf Substitutionen innerhalb der Gruppe der Nicht-Erneuerbaren.
- Der Reduktionsbeitrag durch die Verbesserung der Gebäudehülle (Effizienz Gebäude) beträgt ebenfalls rund 30%.
- Die Steigerung der Effizienz der Raumwärme- und Warmwasseranlagen trägt rund 13% zur Reduktion der Emissionen bei.
- Die Klimaentwicklung wirkt dämpfend auf den Raumwärmebedarf, erhöht aber den Bedarf an Raumkälte. Im Jahr 2050 beläuft sich der Anteil des Faktors Klimaerwärmung an der CO₂-Reduktion auf rund 14%.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Dienstleistungssektor nach Bestimmungsfaktoren (Typ 2)

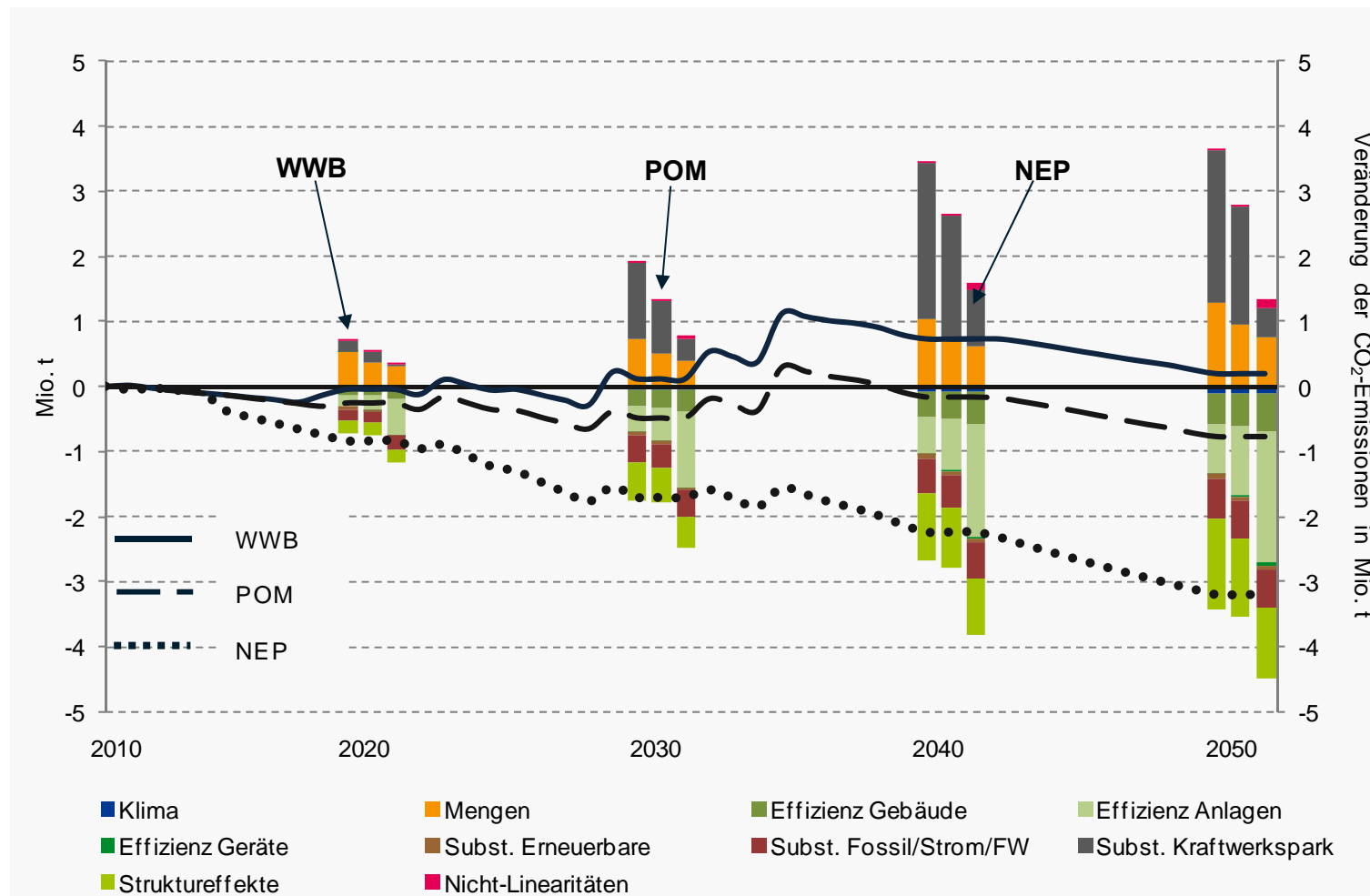


Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Industriesektor

Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet (Faktor Kraftwerkspark).

- Die Mengenfaktoren und der Faktor Kraftwerkspark wirken der Reduktion der CO₂-Emissionen entgegen.
- Im Szenario WWB reduzieren die Struktureffekte die Emissionen am stärksten (Anteil an der Reduktion knapp 40%). In den Szenarien POM und NEP ist die relative Bedeutung der Struktureffekte etwas weniger gross, die Anteile belaufen sich auf ca. 30%, respektive 20%.
- In den Szenarien POM und NEP trägt die Verbesserung der Anlageneffizienz am meisten zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei (im Szenario POM mit einem Anteil von rund 30%, im Szenario NEP von 45%).
- Bei der Substitution ist die Reduktionswirkung der Substitutionen innerhalb der Gruppe der Nicht-Erneuerbaren deutlich grösser als die Wirkung der Substitution hin zu erneuerbaren Energien (vorwiegend Prozesswärme: Ersatz von Heizöl und Kohle durch Gas und Strom).
- Im Industriesektor hat der Raumwärmeverbrauch einen relativ geringen Anteil am sektoralen Energieverbrauch. Entsprechend sind die Reduktionseffekte der Faktoren Effizienz Gebäudehülle und Klima geringer als in den Sektoren Haushalte und Dienstleistungen.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Industrie nach Bestimmungsfaktoren (Typ 2)



Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Verkehrssektor

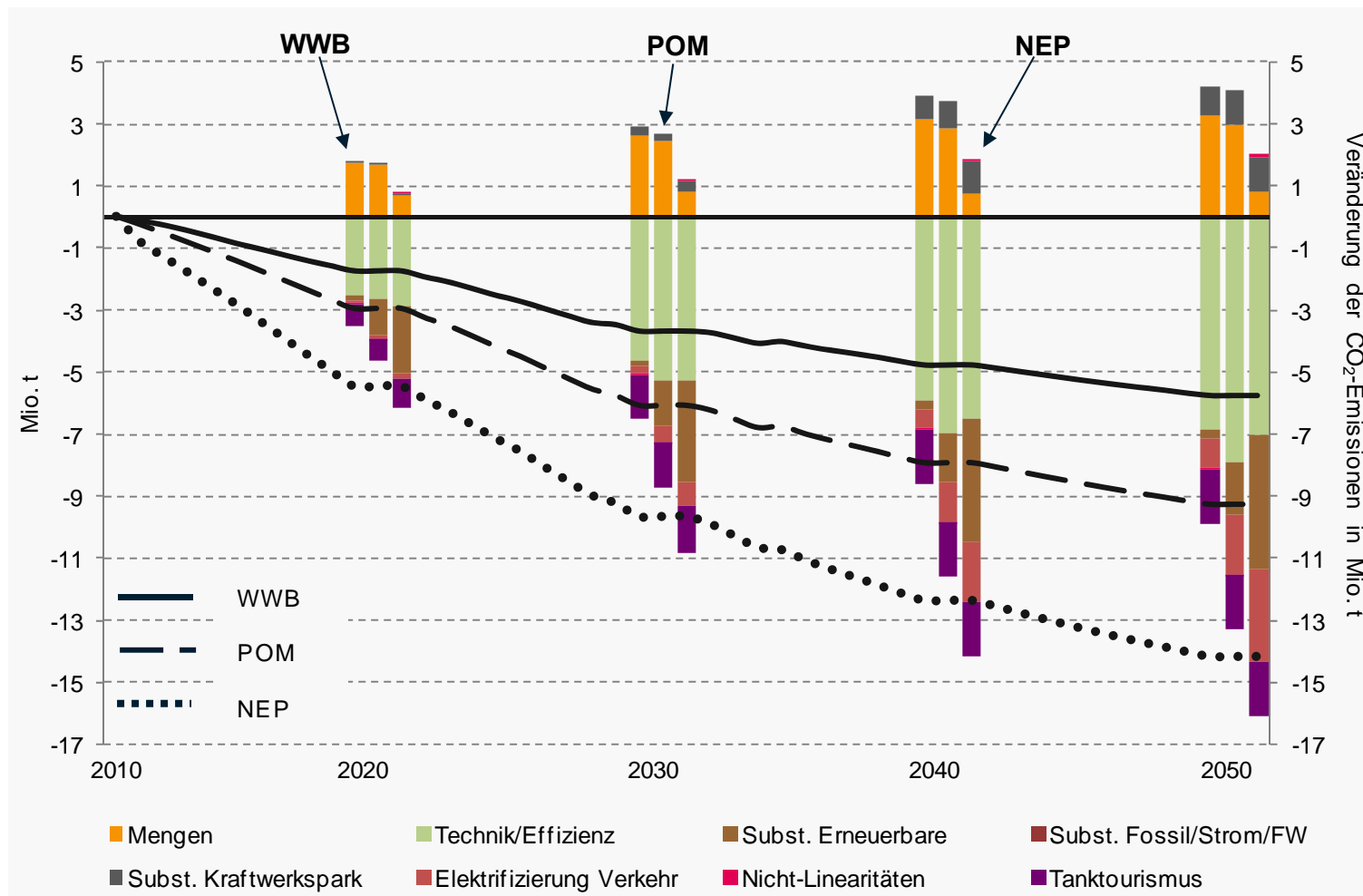
Die Emissionen der Stromproduktion sind dem Stromverbrauch zugerechnet (Faktor Kraftwerkspark).

- Auch im Verkehrssektor führen die Mengenfaktoren und der Faktor Kraftwerkspark für sich genommen zu einer Ausweitung der CO₂-Emissionen.
- Der Faktor Effizienz/Technik trägt am meisten zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei; der Reduktionsbeitrag ist in allen Szenarien etwa gleich hoch.
- Die Reduktion durch den Faktor Tanktourismus ist ebenfalls in allen Szenarien gleich gross (Szenarioannahme: Ab 2035 entspricht der Inlandabsatz dem Inlandverbrauch).
- Die zusätzlichen CO₂-Reduktionen in den Szenarien POM und NEP sind hauptsächlich auf die Substitution durch erneuerbare Energieträger und Strom (Elektrifizierung) zurückzuführen.
 - Im Szenario POM ist der Reduktionseffekt des Faktors Substitution durch Erneuerbare in etwa gleich gross wie derjenige des Faktors Elektrifizierung (je rund 14% der Reduktion).
 - Im Szenario NEP nimmt insbesondere der Effekt des Faktors Substitution durch Erneuerbare zu. Dessen Anteil steigt auf 27%, der Anteil der Elektrifizierung erhöht sich auf 19%.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 nach Bestimmungsfaktoren im Verkehrssektor – Fortsetzung

- Im Szenario NEP wird von etwas geringeren Mengen an Personenkilometern und Tonnenkilometern ausgegangen als in den Szenarien WWB und POM. Entsprechend wirkt der Mengeneffekt weniger stark emissionssteigernd.
- Zudem verschiebt sich im Szenario NEP der Modal-Split (Verkehrsmittelwahl): Der Anteil des Schienenverkehrs nimmt sowohl beim Personen- als auch im Güterverkehr stärker zu als in den Szenarien WWB und POM. Folglich nimmt der Effekt der Elektrifizierung stärker zu.

Veränderung der CO₂-Emissionen ggü. 2010 im Sektor Verkehr nach Bestimmungsfaktoren (Typ 2)



Fazit

- Die Emissionen werden überwiegend bei den Verwendungszwecken Raumwärme und Mobilität reduziert, entsprechend sind diejenigen Bestimmungsfaktoren von Bedeutung, welche diese Verwendungszwecke adressieren.
- Rund 55% der Reduktion sind auf den Bereich Effizienz/Technik/Politik zurückzuführen. Dabei entfallen etwa 35%-Punkte auf die Effizienz der Anlagen (insbesondere Fahrzeuge) und 20%-Punkte auf die Verbesserung der Gebäudehülle.
- Weitere 30% bis 40% der Reduktion (abhängig von Szenario) sind den Substitutionen zuzurechnen. Dabei hat die Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger die grösste Bedeutung (Heizungen und Warmwasseranlagen auf Basis erneuerbarer Energien, „Biotreibstoffe“).
- Auf das wärmer werdende Klima und die damit verbundene Reduktion der Nachfrage nach Raumwärme sind rund 6% - 8% der Reduktion zurückzuführen.
- Struktureffekte sind nur in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen von Bedeutung - im Industriesektor tragen sie zur Reduktion der Emissionen bei (Anteil an der sektoralen Reduktion zwischen 25% - 40%), im Dienstleistungssektor zur Erhöhung der Emissionen.
- Die Ausweitung der Mengenfaktoren (Bevölkerung, BIP, u.a.) erhöht für sich betrachtet die Emissionen bis ins Jahr 2050 im Bereich von rund 8.7 Mio. t CO₂ (WWB) und 4.6 Mio. t CO₂ (NEP).

01 Einleitung

02 CO₂-Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken

03 Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO₂-Reduktionen

04 Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren

05 Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten

06 Anhang

Betrachtung auf Ebene der Verbrauchssektoren

- Motivation: Die Mehrkosten in den Szenarien POM und NEP sollen ins Verhältnis zu den zusätzlich eingesparten CO₂-Emissionen gesetzt werden.

Definition und Herleitung der Kosten:

- Bei den betrachteten Kosten handelt es sich um die **direkten** gesamtwirtschaftlichen Kosten.
- Berechnet werden die Differenzkosten zwischen den Szenarien.
- Hierfür werden in den einzelnen Sektoren die Differenzinvestitionen für die Umsetzung der Massnahmen abgeschätzt (~Mehr-Investitionen).
- Die Differenzinvestitionen werden in Annuitäten umgerechnet.
- Den Annuitäten der Mehr-Investitionen werden die durch die Massnahmen eingesparten Energieträgerimporte in Grenzübergangskosten gegenüber gestellt.
- Bei der Stromerzeugung werden die Vollkosten der Erzeugung in den jeweiligen Szenarien und Varianten miteinander verglichen. Diese schliessen die Brennstoffkosten ein.

Details zur Berechnung und den Ergebnissen der direkten gesamtwirtschaftlichen Kosten finden sich im Bericht zu den Energieperspektiven, Kapitel 5.6, Seite 168 ff.*

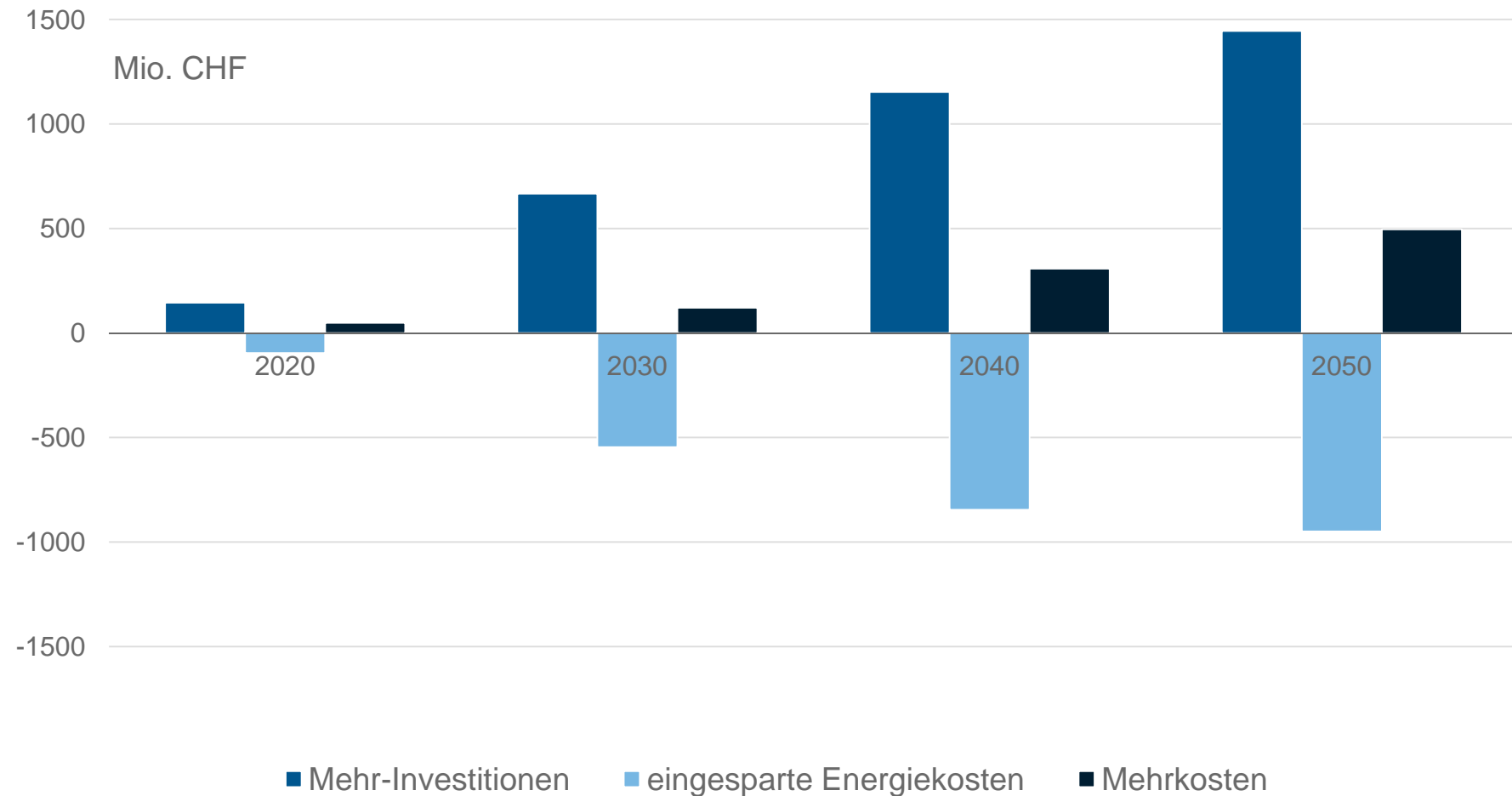
* Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

Einschränkungen

- Es können auf dieser Ebene keine Angaben zu volkswirtschaftlichen Kosten im Sinne von Kreislauf- und Zweitrundeneffekten gemacht werden.
- Unter anderem sind Entzugseffekte, möglicher zusätzlicher Strukturwandel, Opportunitätskosten und der Nutzen des Abwartens nicht quantifiziert.
- Externalitäten über CO₂-Preise hinaus sind ebenfalls nicht berücksichtigt.
- Die Differenzkosten auf Sektorebene berücksichtigen auch Kosten von Massnahmen, die nicht unmittelbar zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen. Es handelt sich dabei um Massnahmen, die den Stromverbrauch reduzieren und/oder eine vom Ausland unabhängige und/oder kernenergiefreie Stromproduktion fördern.
- Wird angenommen, dass diese Massnahmen die in GuD-Kraftwerken erzeugte Strommenge verringern (die ohne diese Massnahmen erzeugt werden müssten), tragen sie indirekt ebenfalls zur Reduktion der CO₂-Emissionen bei.
- Bei den nachfolgenden Abschätzungen wird deshalb die vermiedene Menge Strom mit dem Faktor 88.7 t CO₂/TJ gewichtet (entspricht den CO₂-Emissionen für Strom aus einem neuen GuD-Kraftwerk mit einem Gesamtwirkungsgrad von 62%).
- Der Nutzen dieser Massnahmen wird durch die Berücksichtigung der indirekt eingesparten CO₂-Emissionen jedoch nur unvollständig erfasst. Deshalb können die ausgewiesenen Mehrkosten nicht als Vermeidungskosten betrachtet werden.

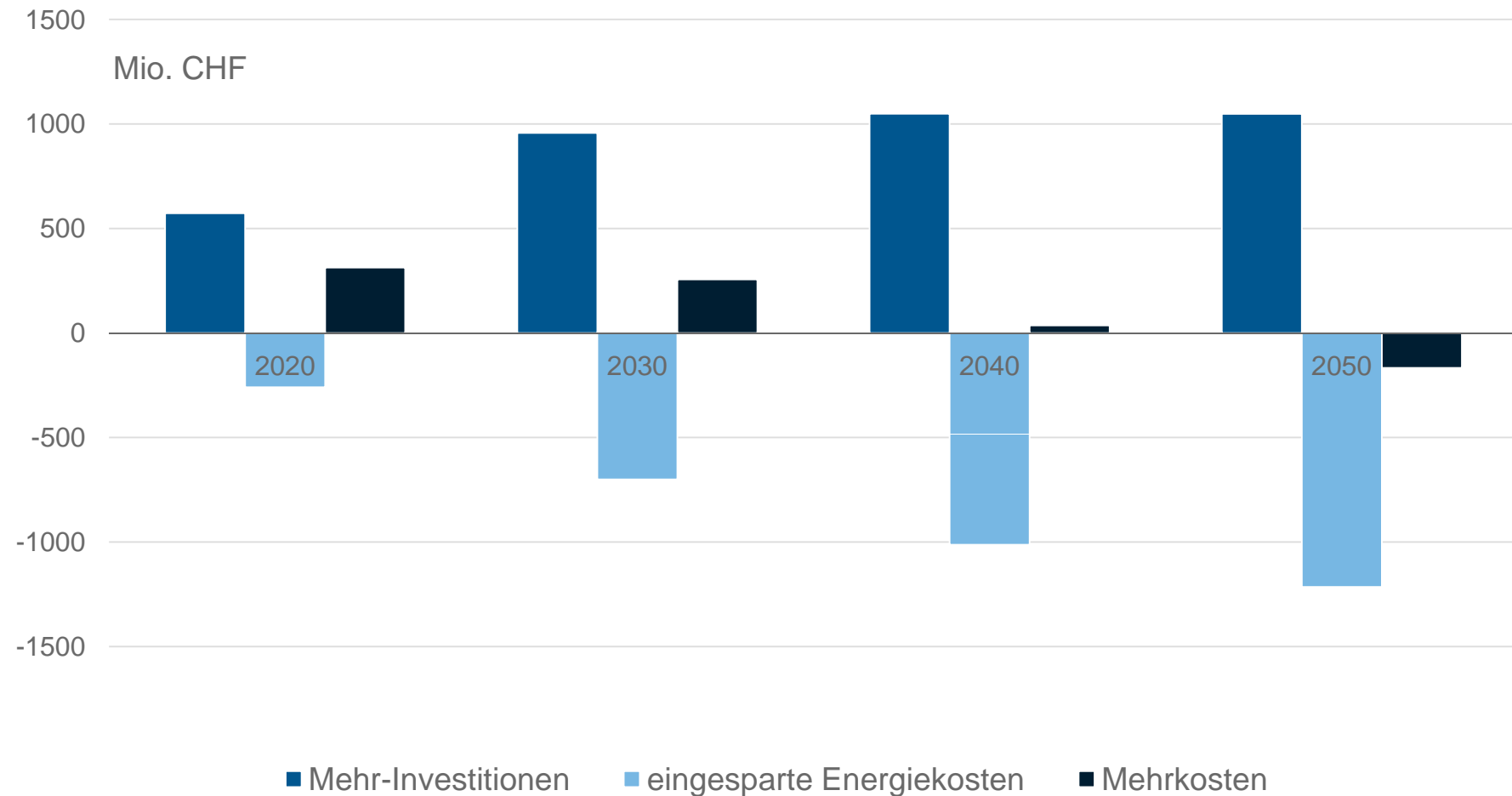
Mehr-Investitionen in Annuitäten, eingesparte Energieimportkosten und resultierende jährliche Mehrkosten

Szenario POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Private Haushalte**



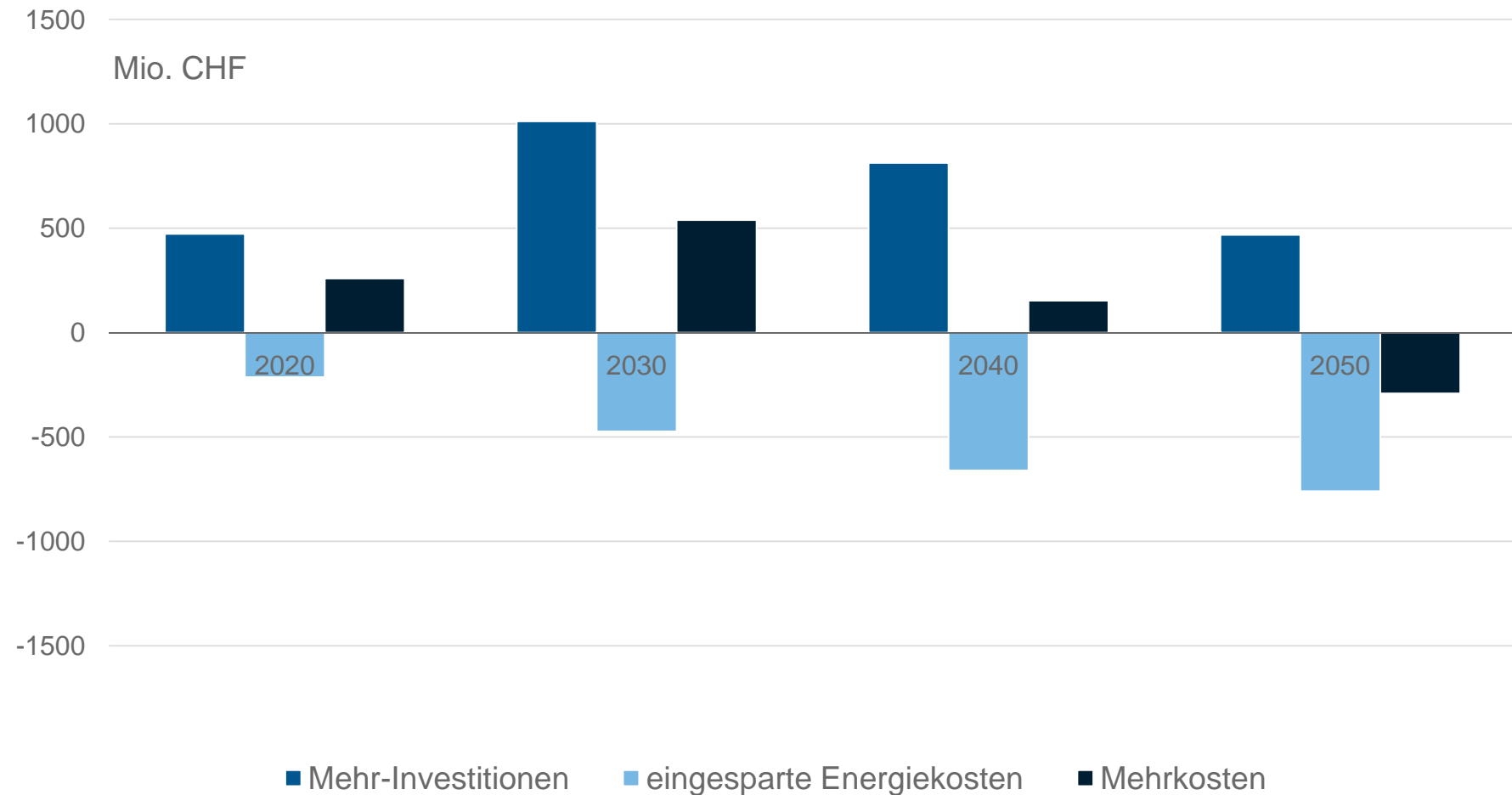
Mehr-Investitionen in Annuitäten, eingesparte Energieimportkosten und resultierende jährliche Mehrkosten

Szenario POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Dienstleistungen und Industrie**



Mehr-Investitionen in Annuitäten, eingesparte Energieimportkosten und resultierende jährliche Mehrkosten

Szenario POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Verkehr**



Kostenentwicklung in den Verbrauchssektoren (POM Var. C ggü. WWB Var. C)

Haushalte

- Rund 2/3 der zusätzlichen Investitionen im Zeitraum 2010 bis 2050 entfallen auf den Bereich Raumwärme, darunter 40% auf die Sanierungen, 13% auf den Neubau und weitere 14% auf die Heizungsanlagen. Weitere rund 10% der zusätzlichen Investitionen sind je den Bereichen Warmwasser und Klima, Lüftung und Heiztechnik zuzurechnen. Die restlichen zusätzlichen Investitionen verteilen sich auf die Bereiche Beleuchtung, Elektrogeräte und Kochen.
- Im Bereich Raumwärme (Gebäudehülle und Anlagen) werden den Investitionen Lebensdauern zwischen 20 bis 35 Jahren unterstellt. Aufgrund dieser langen Lebensdauern verteilen sich die Investitionen bei der Umrechnung in Annuitäten auf viele Jahresscheiben. Entsprechend sind die jährlichen zusätzlichen Investitionen zu Beginn vergleichsweise klein, diese kumulieren sich aber im Zeitverlauf.
- Rund 50% der zusätzlichen Investitionen im Szenario POM gegenüber dem Szenario WWB entfallen auf den Zeitraum 2010 bis 2040, die restlichen 50% auf den Zeitraum 2040 bis 2050. Ursachen sind hier die annuitätische Betrachtungsweise (Kumulierung der Jahresscheiben) sowie die Verläufe der Grenzkosten und Grenznutzen der energetischen Massnahmen.

Kostenentwicklung in den Verbrauchssektoren (POM Var. C ggü. WWB Var. C)

Industrie und Dienstleistungen

- Annähernd 50% der zusätzlichen Investitionen im Zeitraum 2010 bis 2050 werden durch die wettbewerblichen Ausschreibungen ausgelöst, weitere 40% durch das Gebäudeprogramm.
- Zum Unterschied zum Sektor Private Haushalte wird in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen von einer kürzeren Lebensdauer der Investition ausgegangen (10 bis 20 Jahre). Damit ist der zeitliche Verlauf der annuitätischen Investitionen in diesen Sektoren anders als im Haushaltssektor: Die Anfangsinvestitionen sind höher, hingegen wird ab 2035 nahezu ein Plateau erreicht.
- Für das Instrument wettbewerbliche Ausschreibungen stehen im Szenario POM pro Jahr 73 Mio. CHF mehr Fördermittel zur Verfügung als im Szenario WWB. Im Lauf der Zeit wird das Instrument besser eingeführt und es wird von einer besseren Durchdringung der effizienteren Technologien ausgegangen, so dass die Förderquoten allmählich absinken (bei gleicher Fördermenge können mehr zusätzliche Massnahmen ausgelöst werden).
- Im Gebäudebereich wird davon ausgegangen, dass 20% der Fördermittel aus dem Gebäudeprogramm in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen eingesetzt werden. Damit stehen pro Jahr ca. 80 Mio. CHF mehr Fördermittel zur Verfügung als im Szenario WWB. Die Investitionswirkung ist etwas geringer als bei den Haushalten, da die Wirtschaftlichkeitsanforderungen der Investoren als strenger angenommen werden.

Kostenentwicklung in den Verbrauchssektoren (POM Var. C ggü. WWB Var. C)

Verkehr

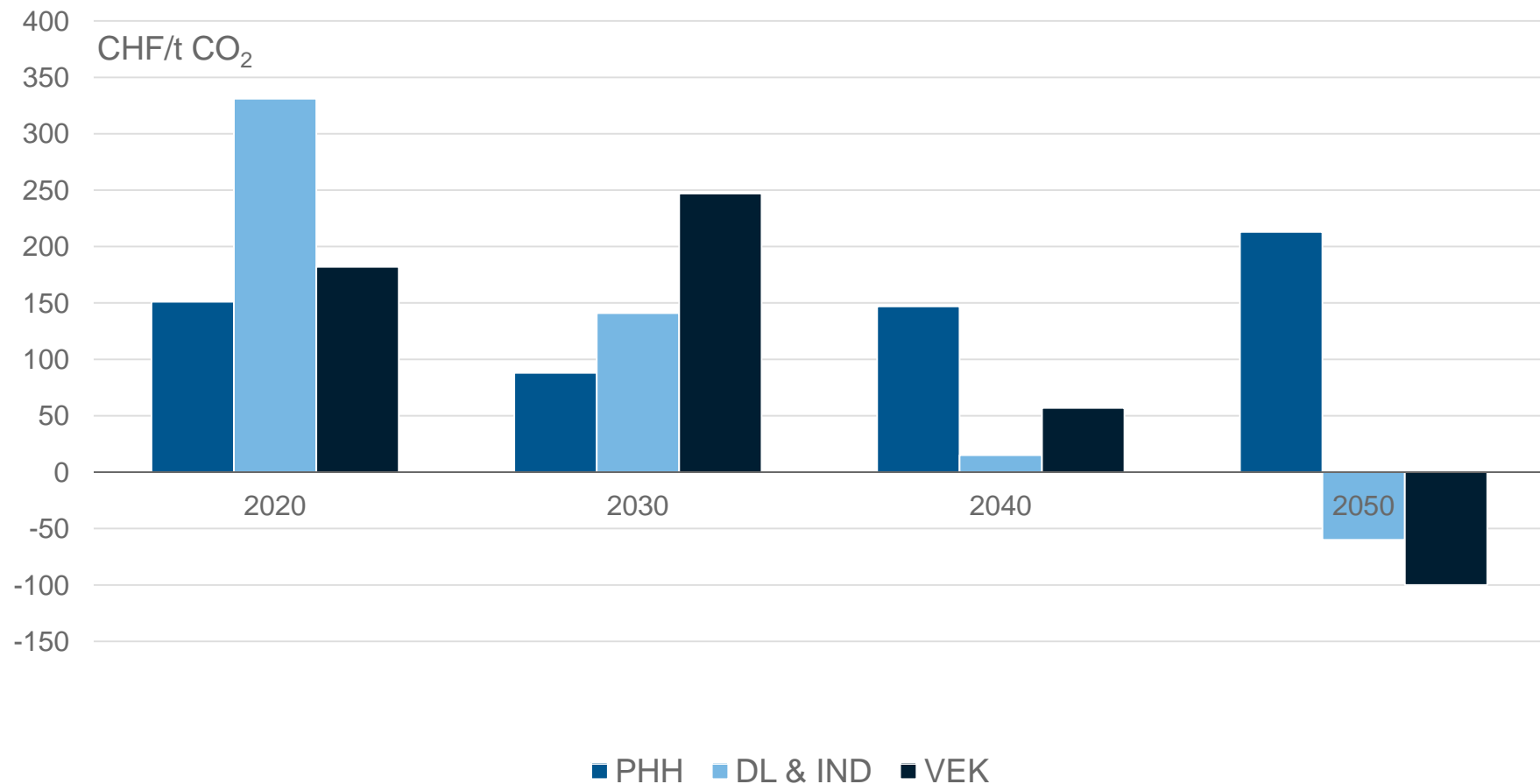
- Bei den zusätzlichen Investitionen im Szenario POM gegenüber dem Szenario WWB spielen im Verkehrssektor vor allem zwei Faktoren eine wesentliche Rolle:
 - Die verstärkte Effizienz, die namentlich im Bereich der Personenwagen höhere Produktionskosten erwarten lässt.
 - Die Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf Elektromobilität, was einerseits Mehraufwendungen auf der Fahrzeugebene zur Folge hat und andererseits eine neue Ladeinfrastruktur voraussetzt.
- Erhöhte Effizienzanforderungen: Für das Jahr 2020 werden die Kosten je Fahrzeug auf rund 40 CHF je zusätzlich reduziertem g CO₂/km geschätzt. Da zukünftige weitere Absenkungen tendenziell teurer werden, erhöhen sich die spezifischen Kosten bis 2050 auf 60 CHF je reduziertem g CO₂/km. Für die gesamte Flotte ergeben sich daraus im Jahr 2020 zusätzliche Investitionen (in Annuitäten) von rund 200 Mio. CHF. Bis ins Jahr 2030 steigen die zusätzlichen Investitionen auf rund 350 Mio. CHF an. Da im Szenario POM die Flotte an Benzin- und Diesel-Fahrzeugen kleiner wird als im Szenario WWB, beginnen die zusätzlichen Investitionen ab 2030 kleiner zu werden. Im Jahr 2050 liegen die jährlichen zusätzlichen Investitionen bei rund 280 Mio. CHF.

Kostenentwicklung in den Verbrauchssektoren (POM Var. C ggü. WWB Var. C)

Verkehr - Fortsetzung

- Elektromobilität - Fahrzeuge: Bei der Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf Elektromobilität wird anfänglich von einer mittleren Differenz von rund 15'000 CHF je Fahrzeug ausgegangen, was einem Mehrpreis von rund 50% entspricht. Im Zeitverlauf wird von rückläufigen Differenzkosten ausgegangen (2050 noch 1'500 CHF). Aus der Überlagerung von zunehmender Anzahl an Elektrofahrzeugen und abnehmendem spezifischen Mehrpreis ergeben sich zusätzliche Investitionen, welche im Zeitraum 2030 mit rund 560 Mio. CHF am höchsten sind und anschliessend deutlich zurückgehen. Im Jahr 2050 liegen die jährlichen zusätzlichen Investitionen bei rund 150 Mio. CHF.
- Elektromobilität - Ladeinfrastruktur: Für die Kostenschätzung der Ladestationen wird unterstellt, dass jedes Elektrofahrzeug eine entsprechende Ladeinfrastruktur benötigt. Dadurch entspricht die Anzahl an Ladevorrichtungen der Anzahl der Elektrofahrzeuge. Zu diesen privaten Ladeeinrichtungen werden noch 10% öffentliche Ladeeinrichtungen hinzugerechnet. Kostendegressionen werden keine erstellt. Die Entwicklung der zusätzlichen Investitionen ergibt sich somit durch die Entwicklung an zusätzlichen Elektrofahrzeugen im Szenario POM gegenüber dem Szenario WWB. Das Maximum der jährlichen zusätzlichen Investitionen für die Ladeinfrastruktur wird im Jahr 2035 mit 120 Mio. CHF erreicht. Anschliessend verringern sich die jährlichen zusätzlichen Investitionen auf rund 40 Mio. CHF im Jahr 2050.

Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Szenario POM Var. C ggü. WWB Var. C



Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Ergebnisse - POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Haushalte**

- Bis 2040 bewegen sich die durch die Massnahmen verursachten Kosten im Bereich von 100 - 150 CHF je t CO₂.
- Die Kosten für alternative Heizungs- und Warmwasseranlagen (u.a. Solarthermie, WP) sinken stärker als die Kosten der konventionellen Heizöl und Gasanlagen, was mittelfristig zu einer leichten Reduktion der Differenzkosten führt.
- Längerfristig steigen die Kosten auf über 200 CHF je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ an. Dies ist insbesondere auf die Gebäudesanierungen zurückzuführen ist, wo die Kosten je zusätzlichen eingesparter Energieeinheit ansteigen. Zudem sind die „schlechten“ Gebäude, an denen sich mit vergleichsweise geringem Aufwand viel Energie einsparen lässt, bis dahin mehrheitlich energetisch saniert.

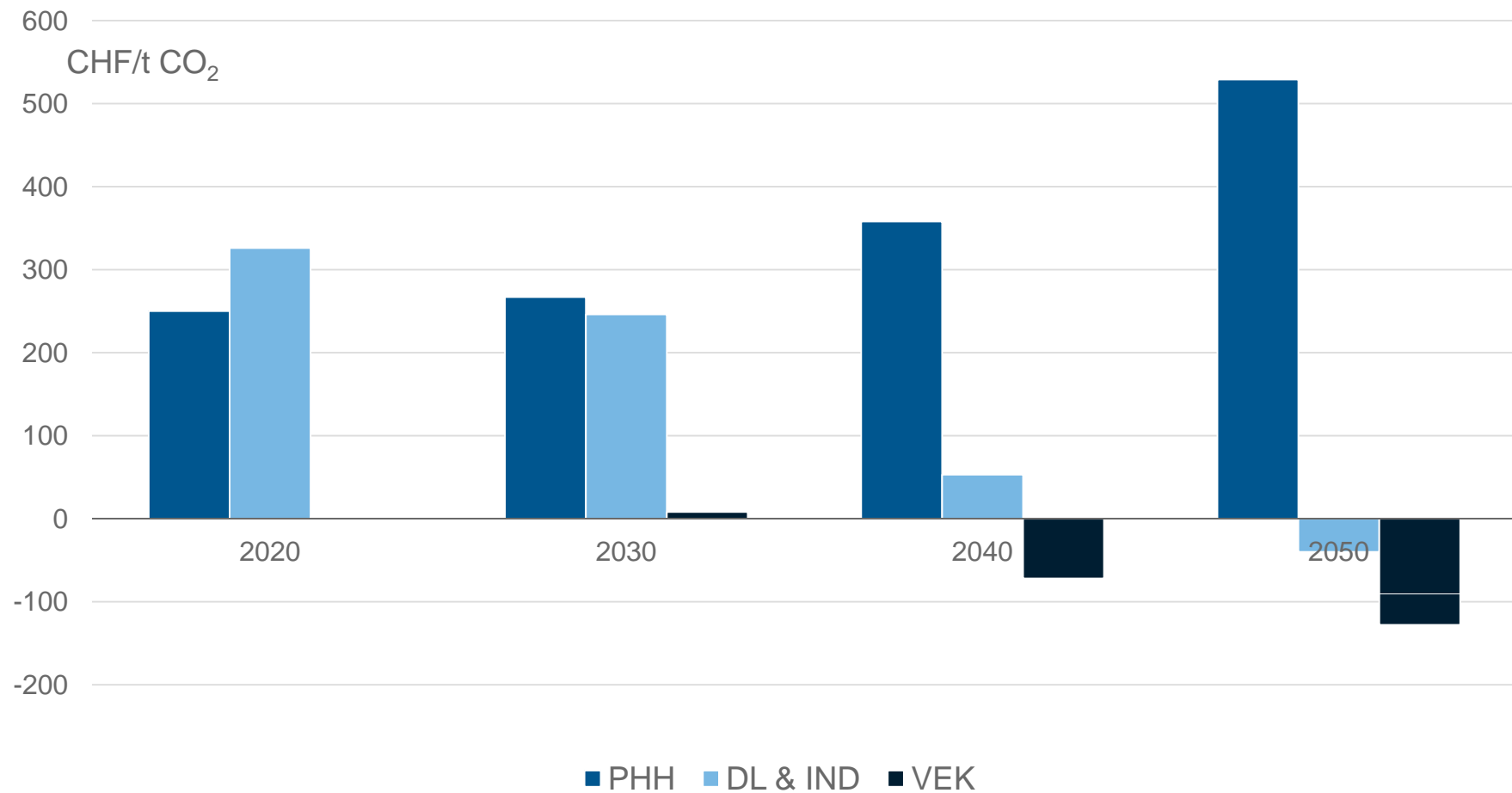
Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Ergebnisse - POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Industrie und Dienstleistungen**

- Die Massnahmen in den Sektoren Industrie und Dienstleistungen zielen vorwiegend auf die Reduktion des Stromverbrauchs ab (wettbewerbliche Ausschreibungen). CO₂-Einsparungen werden deshalb hauptsächlich indirekt durch die Vermeidung von Emissionen aus GuD-Kraftwerken erzielt.
- Die Kosten je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ sind anfänglich hoch und liegen im Bereich von rund 330 CHF.
- Aufgrund des technischen Fortschritts wird mittel- und längerfristig von deutlich abnehmenden Differenzkosten je (indirekt) vermiedener Tonne CO₂ ausgegangen. Im Jahr 2030 liegen die Kosten je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ bei 140 CHF, bis ins Jahr 2050 sinken die Kosten auf -60 CHF.

Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Ergebnisse - POM Var. C ggü. WWB Var. C - **Verkehr**

- Mittelfristig führt die verstärkte Effizienz zu steigenden Produktionskosten, insbesondere im Bereich der konventionellen Personenwagen. Zu steigenden Kosten führt auch die Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf Elektromobilität, was Mehraufwendungen auf der Fahrzeugebene zur Folge hat und eine neue Ladeinfrastruktur voraussetzt.
- Mittelfristig liegen die Kosten je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ im Bereich von rund 180 - 250 CHF (Zeitraum 2020 bis 2030).
- Längerfristig nehmen die Kosten je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ deutlich ab, so dass die eingesparten Energiekosten die zusätzlichen Kosten übertreffen. Für das Jahr 2050 ergeben sich Kosten je zusätzlich vermiedener Tonne CO₂ um -100 CHF. Dies ist hauptsächlich auf den technischen Fortschritt bei den Elektrofahrzeugen zurückzuführen.

Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Szenario NEP Var. C&E ggü. WWB Var. C



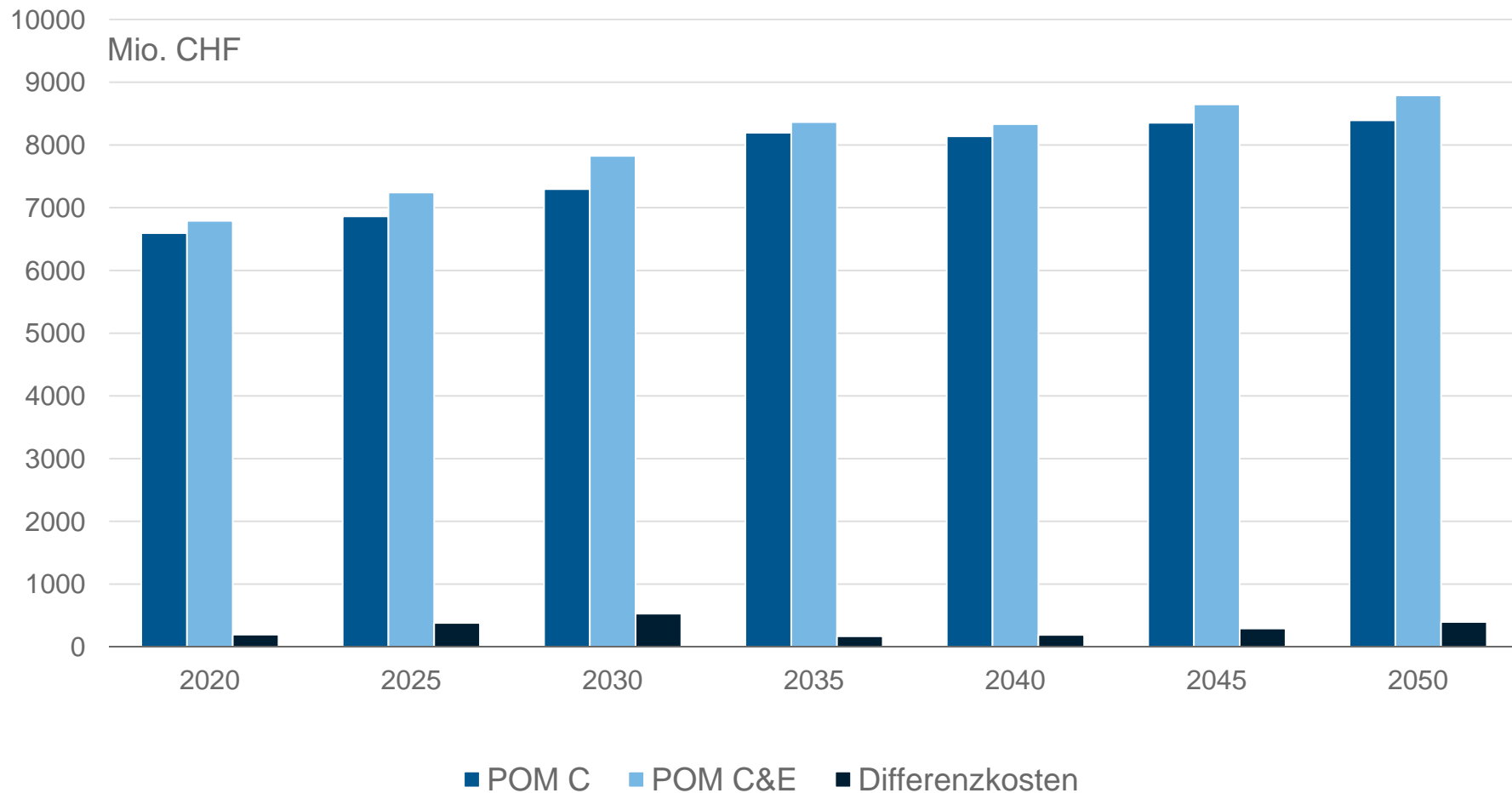
Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂: Ergebnisse - NEP Var. C&E ggü. WWB Var. C

- Haushalte
 - Die Differenzkosten je zusätzlich eingesparter Tonne CO₂ sind höher als im Szenario POM, vor allem aufgrund des verbreiteten Einsatzes von vergleichsweise teurer Solarthermie zur Erzeugung von Warmwasser (und Raumwärme). Längerfristig steigen die Kosten aufgrund der hohen Sanierungstiefe deutlich an (Sanierungstiefe: Umfang der Sanierungsmassnahme; sie beeinflusst die durch die Sanierungsmassnahme erzielte Energieeinsparung).
- Industrie und Dienstleistungen
 - Die Differenzkosten je zusätzlich eingesparter Tonne CO₂ sind höher als im Szenario POM. Es werden zusätzliche Massnahmen umgesetzt, die teurer sind als die Massnahmen im Szenario POM Var. C. Langfristig zeigt sich jedoch auch im Szenario NEP eine deutliche Reduktion der Differenzkosten je eingesparter t CO₂ (technischer Fortschritt).
- Verkehr
 - Die Differenzkosten je zusätzlich eingesparter Tonne CO₂ sind geringer als im Szenario POM, was hauptsächlich darauf zurückzuführen ist, dass verstärkt kleinere, billigere und emissionsärmere Fahrzeuge nachgefragt werden.

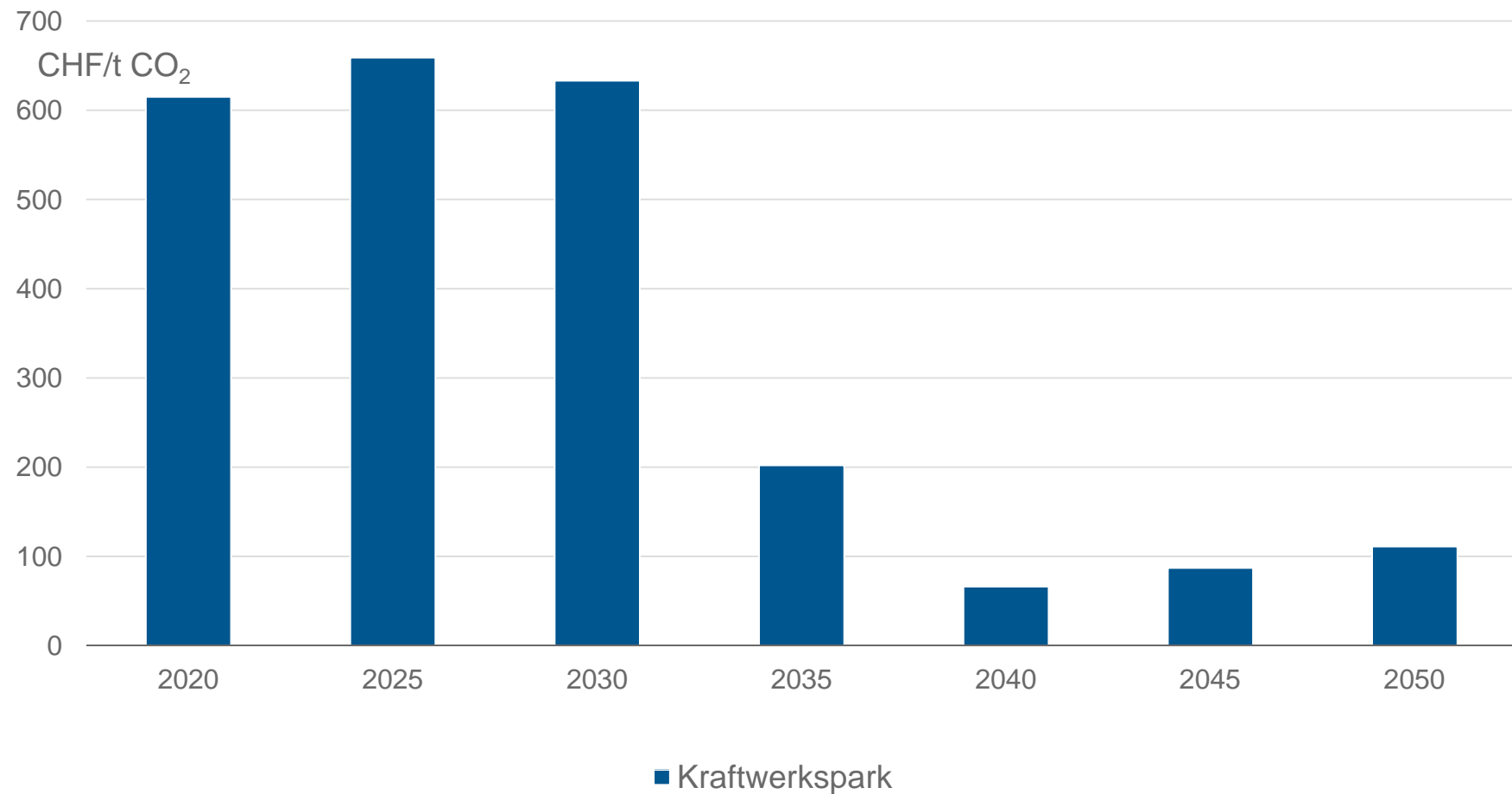
Erzeugungssektor – Kraftwerkspark

- Betrachtet werden die Differenzkosten zwischen den Varianten POM Var. C und POM Var. C&E.
- Beide Kraftwerksparks erzeugen die gleiche Strommenge (identische Nachfrageszenarien), die Differenzkosten ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Erzeugungsstruktur.
- Verglichen werden die Kosten des gesamten Kraftwerksparks inkl. der eingesetzten Brennstoffkosten.
 - Die Gestehungskosten des Kraftwerksparks der Szenarien POM Var. C und POM Var. C&E sind in der Abbildung auf Folie 96 dargestellt, ebenso die sich daraus ergebenden jährlichen Differenzkosten.
- Den Differenzkosten wird die Differenz der CO₂-Emissionen gegenübergestellt.
 - Werden die jährlichen Differenzkosten geteilt durch die im Szenario POM Var. C&E jährlich zusätzlich eingesparten CO₂-Emissionen, ergeben sich die Kosten je eingesparter Tonne CO₂ (Abbildung auf Folie 97).
- Bei der Interpretation gilt es zu berücksichtigen:
 - Bestandseffekte (Zugang und Abgang von Anlagen im Zeitverlauf),
 - Auslastungseffekte bei GuD-Anlagen.

Jährliche Gestehungskosten des Kraftwerksparks Szenario POM Var. C, POM Var. C&E und Differenz zwischen den Szenarien



Kraftwerkspark - Differenzkosten je zusätzlich vermiedener t CO₂ Szenario POM C&E ggü. POM C



Erzeugungssektor – Kraftwerkspark

Ursachen für die starke Reduktion der Differenzkosten je t CO₂ nach 2030:

- Der Zubau der Erneuerbaren erfolgt vorwiegend nach 2030 bei teilweise stark abnehmenden Investitionskosten (insbesondere bei Photovoltaik).
- Der Gaspreis steigt im Betrachtungszeitraum an.
- Die Gestehungskosten der Erneuerbaren sind ab 2030/2040 weitgehend geringer als jene von GuD-Anlagen.
- Die Auslastung der errichteten GuD-Anlagen wird nach 2035 reduziert.
- Langfristig nehmen die Differenzkosten je t CO₂ wieder leicht zu, was unter anderem auf die steigenden durchschnittlichen Gestehungskosten der Wasserkraft zurückzuführen ist.

Betrachtung einzelner Erzeugungstechnologien

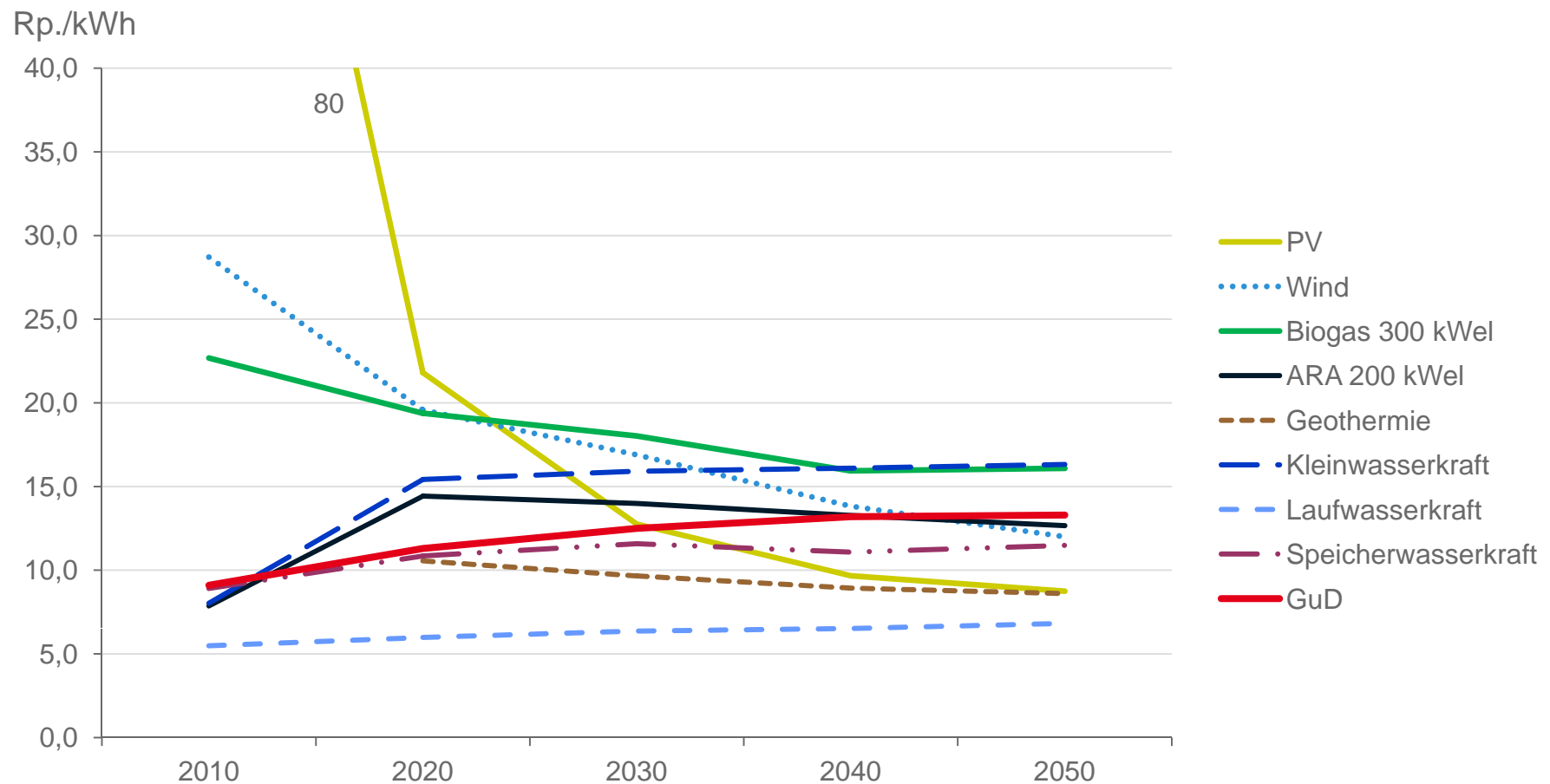
- Abgebildet sind die Gestehungskosten je erzeugter kWh Strom (Rp./kWh).
- Die Gestehungskosten basieren auf den Durchschnittswerten des gesamten Anlagenparks der unterschiedenen Technologien, z.B. Mittelwert aller Windkraftwerke, die zum Zeitpunkt t in Betrieb sind.
- Die Gestehungskosten basieren auf den Ergebnissen des Szenarios POM Var. C&E.

Erkenntnisse

Unter den Annahmen des Szenarios POM Var. C&E:

- sind die Gestehungskosten der Lauf- und der Speicherkraftwerke und bei den Geothermieranlagen tiefer als bei den GuD-Kraftwerken (bei den Kosten der Geothermie bestehen jedoch grössere Unsicherheiten),
- liegen ab 2030 auch die Gestehungskosten der Photovoltaik unter denjenigen der GuD-Anlagen,
- weisen ab 2045 die Windkraftwerke tiefere Gestehungskosten auf als die GuD-Anlagen.

Gestehungskosten einzelner Erzeugungstechnologien je kWh (Szenario POM C&E)



Quelle: Prognos 2012. Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

Strom aus Erneuerbaren als Ersatz von Strom aus GuD-Anlagen

- Wird vermehrt Strom aus Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energieträgern erzeugt, kann bei gleichbleibender Stromnachfrage die Erzeugung aus Gaskraftwerken reduziert werden (POM Var. C → POM Var. C&E).
- Dadurch werden CO₂-Emissionen reduziert (weniger GuD-Anlagen und/oder kürzere Volllaststunden der Anlagen).
- Die Differenz zwischen den Gestehungskosten der GuD-Anlagen und den Gestehungskosten der Anlagen auf Basis von erneuerbaren Energien können in diesem Zusammenhang auch als Vermeidungskosten interpretiert werden.

Vorgehen für die Bestimmung der Vermeidungskosten

- Umrechnung der Differenz der Gestehungskosten (Rp./kWh) in Kosten je vermiedener Tonne CO₂ (CHF/t CO₂).
- Die Referenzemissionen von rund 0.31 kg CO₂/kWh entsprechen den Emissionen einer GuD-Anlage mit einem Wirkungsgrad von 62% (Emissionsfaktor Gas: 55 t CO₂/TJ).
- Auch für diese Betrachtung gilt: Die Gestehungskosten basieren auf dem gebauten Bestand der Technologien, d.h. es sind durchschnittliche Gestehungskosten der Anlagenparks.

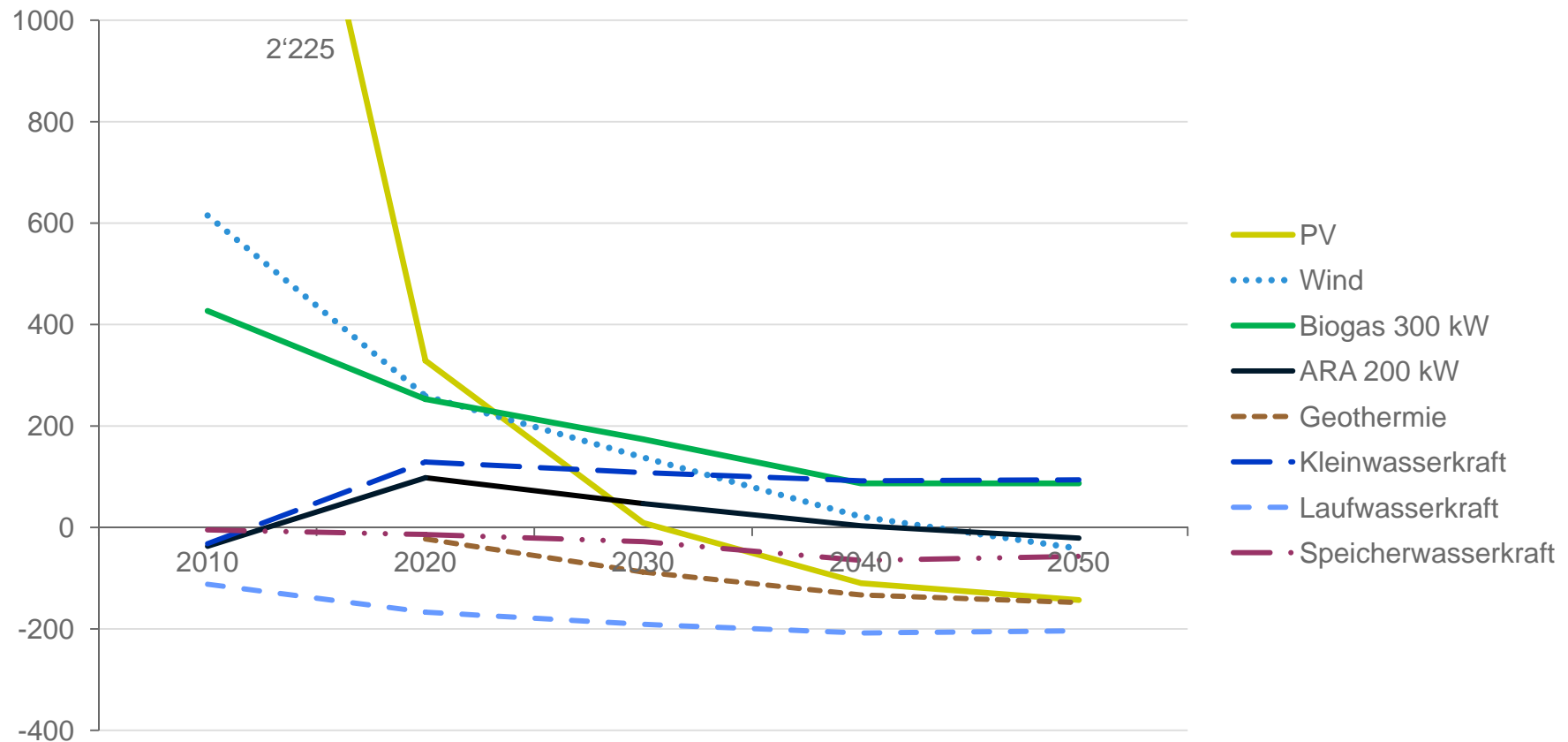
Beispielrechnung der Differenzkosten je Tonne CO₂ für einzelne Erzeugungstechnologien

Unter den Annahmen des Szenarios POM Var. C&E:

- 1 TJ Strom aus einem GuD-Kraftwerk verursacht 88.7 t CO₂:
 - CO₂-Emissionsfaktor Erdgas: 55 t/TJ
 - Vorgabe Gesamtwirkungsgrad GuD-Anlage: 62%
 - $\rightarrow 55 \text{ t/TJ} / 0.62 = 88.7 \text{ t CO}_2 \text{ je TJ Strom}$
- 1 TJ = 277'778 kWh \rightarrow 1 kWh Strom aus einem GuD-Kraftwerk verursacht 0.3194 kg CO₂ (88.7 t CO₂ / 277'778 kWh = 0.3194 kg CO₂/kWh)
- 1 t CO₂ entstehen bei der Erzeugung von 3'131 kWh (1'000 kg / 0.3194 kg/kWh)
- Gestehungskosten in 2020 gemäss den Berechnungen im Rahmen der Energieperspektiven:
 - Photovoltaik: 21.8 Rp/kWh
 - GuD: 11.3 Rp/kWh
 - Differenzkosten je kWh: 21.8 Rp. - 11.3 Rp. = 10.5 Rp.
- \rightarrow Differenzkosten je 1 t CO₂: 3'131 kWh * 0.105 CHF/kWh = 329 CHF

Kosten um eine t CO₂ aus einer GuD-Anlage zu Vermeiden in Abhängigkeit von verschiedenen alternativen Erzeugungstechnologien (Szenario POM C&E)

CHF/t CO₂



Erkenntnisse (Szenario POM Var. C&E)

- Lauf- und Speicherkraftwerke weisen geringere Gestehungskosten auf als Gaskraftwerke, folglich ergeben sich negative Vermeidungskosten. Das Zubaupotenzial ist jedoch gering.*
- Entsprechend der Entwicklung der Gestehungskosten reduzieren sich die Vermeidungskosten der Photovoltaikanlagen von über 2'000 CHF/t CO₂ auf rund 300 CHF/t CO₂ in 2020. Nach 2030 ergeben sich negative Vermeidungskosten.
- Die Vermeidungskosten der Windenergieanlagen liegen anfänglich bei rund 600 CHF/t CO₂, ab 2020 bei ca. 250 CHF/t CO₂. Ab 2045 ergeben sich negative Vermeidungskosten.
- Die Vermeidungskosten der Biogasanlagen sind bis 2030 etwa gleich hoch wie diejenigen der Windenergieanlagen. Nach 2030 liegen sie leicht höher (bei rund 90 CHF/t CO₂).
- Die Vermeidungskosten von Strom aus ARA verändern sich im Zeitverlauf nur wenig, sie liegen im Mittel bei rund 50 CHF/t CO₂.

→ Bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt sind die Kosten für die Netzinfrastruktur und die Aufrechterhaltung des Gesamtsystems (z.B. Kosten für die Regelenergie).

* vgl. dazu BFE 2012. Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050. BFE, Bern.

Fazit

- Im Sektor Private Haushalte steigen die Differenzkosten der Massnahmen je reduzierter Tonne CO₂ im Zeitverlauf an. In den übrigen Verbrauchssektoren verringern sich die Differenzkosten je reduzierter Tonne CO₂.
- Die Abnahme der Differenzkosten ist hauptsächlich auf den technischen Fortschritt und Skaleneffekte zurückzuführen. Dadurch werden die Einsparungen zu geringeren Kosten erzielt (z.B. Fortschritt bei der Entwicklung von Batterien/Elektromobilität).
- Im ambitionierteren Szenario NEP sind die Differenzkosten je Tonne CO₂ in der Regel höherer als im Szenario POM (höhere Sanierungstiefe, Umsetzung teurerer Massnahmen). Eine Ausnahme bildet der Verkehrssektor (Umstieg auf kleinere, emissionsärmere aber auch billigere Fahrzeuge).
- Beim Erzeugungssektor wurde der Ersatz von Strom aus GuD-Anlagen durch Strom aus erneuerbaren Energiequellen betrachtet. Hier zeigt sich nach 2030 eine starke Reduktion der Mehrkosten. Dies ist hauptsächlich auf die deutlich abnehmenden Investitionskosten bei den alternativen Technologien und auf den Anstieg des Gaspreises zurückzuführen.
- Bei den einzelnen Technologien zur Stromerzeugung zeigen sich anfänglich grössere Kostenunterschiede. Diese konvergieren bis 2030 weitgehend.
- Die Gestehungskosten von PV liegen ab 2030, diejenigen von Wind ab etwa 2045 unter denjenigen von GuD-Anlagen.

- | | |
|----|---|
| 01 | Einleitung |
| 02 | CO ₂ -Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken |
| 03 | Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO ₂ -Reduktionen |
| 04 | Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren |
| 05 | Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten |
| 06 | Anhang |

Aussagekraft der Fallbeispiele

- Sie zeigen die Vermeidungskosten einer Massnahme unter den getroffenen Annahmen auf.
- Sie dienen der Identifikation und der Ausgestaltung von Einzelmassnahmen.

Was können Fallbeispiele nicht?

- Sie lassen keine Rückschlüsse auf das Gesamtpotenzial der Massnahmen zu, da beispielsweise Wechselwirkungen mit anderen Massnahmen oder der technologische Fortschritt nicht berücksichtigt werden können.
- Es können keine Aussagen zu den gesamtwirtschaftlichen Kosten der Massnahmen gemacht werden. Diese können erheblich von den Kosten unter den Standardannahmen abweichen (u.a. wegen der unterschiedlichen Präferenzen der Investoren, den indirekten Kosten, Opportunitätskosten u.a.)^{*}.

^{*} Vergleiche dazu Ecoplan 2012. THG-Vermeidungskosten und -potenziale in der Schweiz. Literaturanalyse und Konzeption für weitere Erhebungen. Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Bern.

Auswahl der Fallbeispiele

- Es wurden Beispiele aus verschiedenen Endverbrauchssektoren und der Stromerzeugung ausgewählt.
- Die Beispiele bilden unterschiedliche Investitionsrationalitäten ab.
- Die Massnahmen sind bereits heute umsetzbar und in der Regel relativ kurzfristig umsetzbar.
- Ausgewählt wurden Beispiele, welche im gesellschaftlichen Fokus stehen und in den Szenarien grosse Beiträge leisten (Gebäudesanierung, Elektromobilität).
- Das Beispiel Fernwärme wurde ausgewählt, weil es explizit im Postulat Girod genannt wird.

Allgemeine Annahmen zur Berechnung der Kosten

- Die eingesparten Energiekosten werden von den Kosten der Massnahmen abgezogen.
 - Ergibt sich ein positiver Wert, ist die Massnahme unter den gegebenen Annahmen wirtschaftlich.
 - Ergibt sich ein negativer Wert, ergeben sich nicht amortisierbare Mehrkosten (NAM).
- getroffene Standardannahmen:
 - Zins für Annuitäten/Diskontraten: 5%
 - Energiepreise: gemäss den Energieperspektiven 2012, teilweise Preise unterschiedlicher Verbrauchergruppen verwendet
 - Subventionen werden bei den Berechnungen berücksichtigt.

In der Praxis wird ein rational handelnder Investor vorhandene Subventionen anfordern. Förderungen gibt es in der Regel ja nur dort, wo eine Investition ohne Förderung für den privaten Investor nicht rentabel ist. Die Beispiele zeigen also, wie sich die Förderung auf die Erschliessung der Potenziale auswirkt.

Heizungersatz in einem Wohngebäude

- Ersatz der Heizung im Rahmen einer anstehenden Heizungssanierung
- verglichen werden die Optionen
 - Heizöl Brennwert (Referenzsystem)
 - Wärmepumpe (Sole/Wasser)
- verglichen wird der Einsatz in 2 Gebäudetypen
 - Einfamilienhaus
 - mittleres Mehrfamilienhaus
- Sensitivitäten werden berechnet für
 - CO₂-Faktor des Strommixes
 - Preisniveau für Heizöl
- Energiepreise gemäss Energieperspektiven (Mittelwert der Jahre 2010 - 2030)
 - Heizöl: 109 CHF/ 100 Liter
 - Elektrizität: 25.7 Rp./kWh

Kennwerte der unterschiedenen Typengebäuden

| | | Gebäude 1 | Gebäude 2 |
|---|------------------------|------------------|----------------------------|
| Charakterisierung | | Einfamilienhaus | mittleres Mehrfamilienhaus |
| Anzahl Wohnungen | | 1 | 8 |
| Wohnfläche | m ² EBF | 160 | 800 |
| Personen | | 3 | 15 |
| Warmwasserbedarf Pro-Kopf | kWh/a | 670 | 670 |
| spez. Heizwärmebedarf | kWh/m ² EBF | 87 | 66 |
| jährlicher Wärmebedarf insgesamt | kWh | 15'870 | 62'700 |
| spez. jährlicher Wärmebedarf (RW&WW) | kWh/m ² EBF | 100 | 78 |

Kennwerte und Energiekosten der unterschiedenen Heizungsanlagen

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus |
|---|------------|------------------------|-------------------------|
| Heizöl-Brennwert | | | |
| Nutzungsgrad (inkl. Verteilverluste) | % | 92.4 | 92.4 |
| jährlicher Heizölverbrauch | l | 1'720 | 6'785 |
| jährliche Energiekosten | CHF | 1'870 | 7'385 |
| Erd-Wärmepumpe (Sole/Wasser) | | | |
| Leistungsklasse | kW | ~10 | ~30 |
| Jahresarbeitszahl (JAZ) | | 3.15 | 3.15 |
| jährlicher Elektrizitätsverbrauch | kWh | 5'015 | 19'810 |
| jährliche Energiekosten | CHF | 1'290 | 5'100 |
| Differenz der jährlichen Energiekosten | CHF | 580 | 2'290 |

Kapitalkosten

- Umlegung der Investitionen auf jährlich gleichmässige Beträge mittels Annuitäten
 - verwendete Annahmen:
 - Zins: 5%
 - Lebensdauer der Anlage: 20 Jahre
- Annuität: 8.0%

Unterhaltskosten

- Heizöl Brennwert: Service und Reparatur, Kaminreinigung, Tankreinigung
- Wärmepumpe: Service und Reparatur

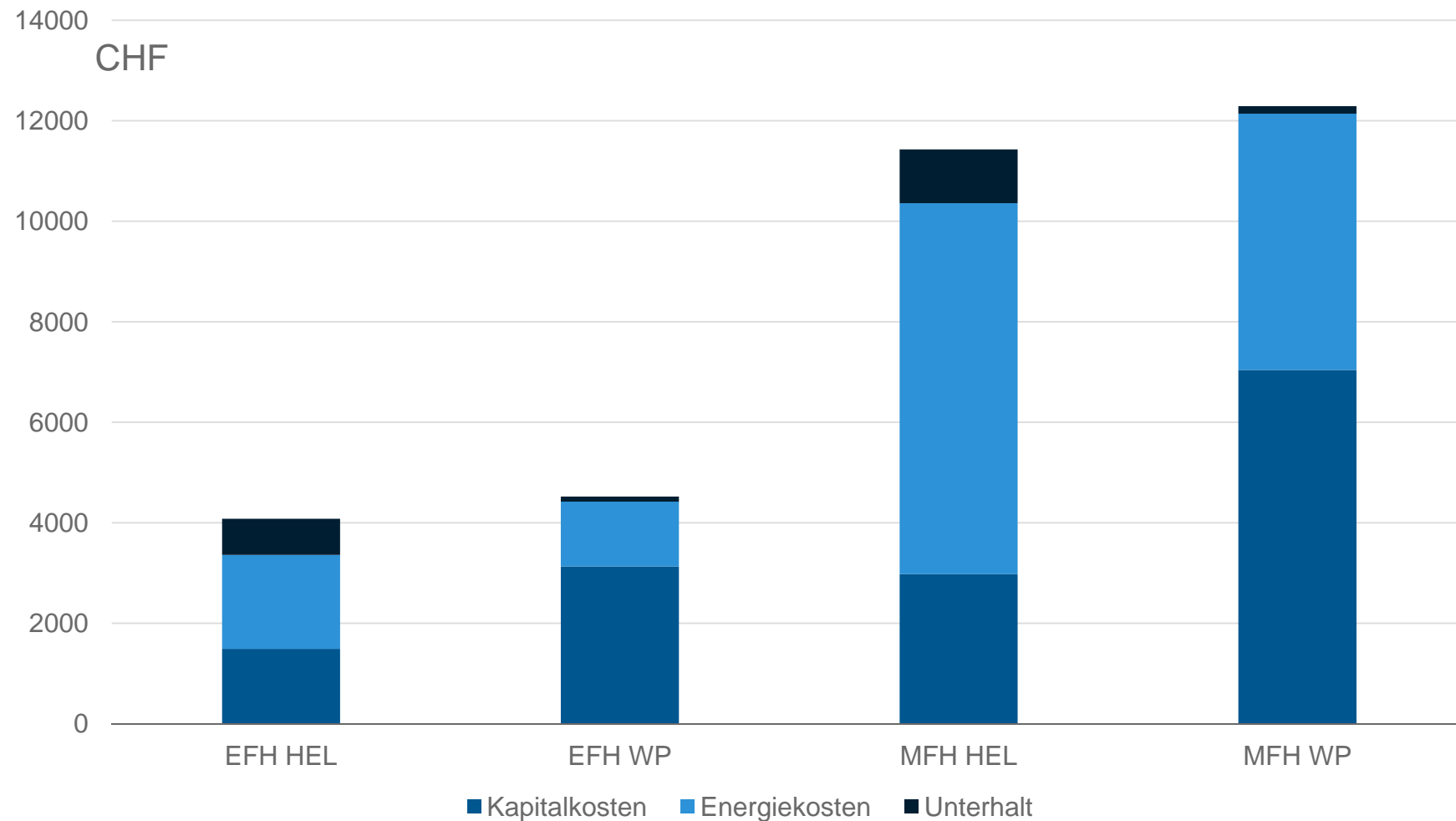
Jahreskosten: Summe der jährlichen Kapital-, Unterhalts- und Energiekosten

Vermeidungskosten: Differenz der durchschnittlichen Jahreskosten (in CHF) / jährliche eingesparte Menge an CO₂ (in t)

Jahreskosten der Heizungsanlagen

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus |
|-------------------------------------|------------|------------------------|-------------------------|
| Heizöl-Brennwert | | | |
| Energiekosten | CHF | 1'870 | 7'385 |
| Kapitalkosten | CHF | 1'490 | 2'975 |
| Unterhaltskosten | CHF | 720 | 1'070 |
| Jahreskosten | CHF | 4'080 | 11'430 |
| Erd-Wärmepumpe (Sole/Wasser) | | | |
| Energiekosten | CHF | 1'290 | 5'100 |
| Kapitalkosten | CHF | 3'130 | 7'040 |
| Unterhaltskosten | CHF | 100 | 150 |
| Jahreskosten | CHF | 4'520 | 12'290 |
| Differenz der Jahreskosten | CHF | 440 | 860 |

Zusammensetzung der Jahreskosten nach Gebäudetyp und Anlagentyp



Wärmepreis und CO₂-Emissionen

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus |
|---|------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Wärmepreis | | | |
| Heizöl-Brennwert | Rp./kWh | 23.8 | 16.8 |
| Wärmepumpe | Rp./kWh | 26.3 | 18.1 |
| CO₂-Emissionen (pro Jahr) | | | |
| Heizöl-Brennwert | t/a | 4.6 | 18.0 |
| Wärmepumpe | t/a | 0.1 | 0.4 |
| Vermeidungskosten Wärmepumpe | CHF/ t CO₂ | 100 | 50 |

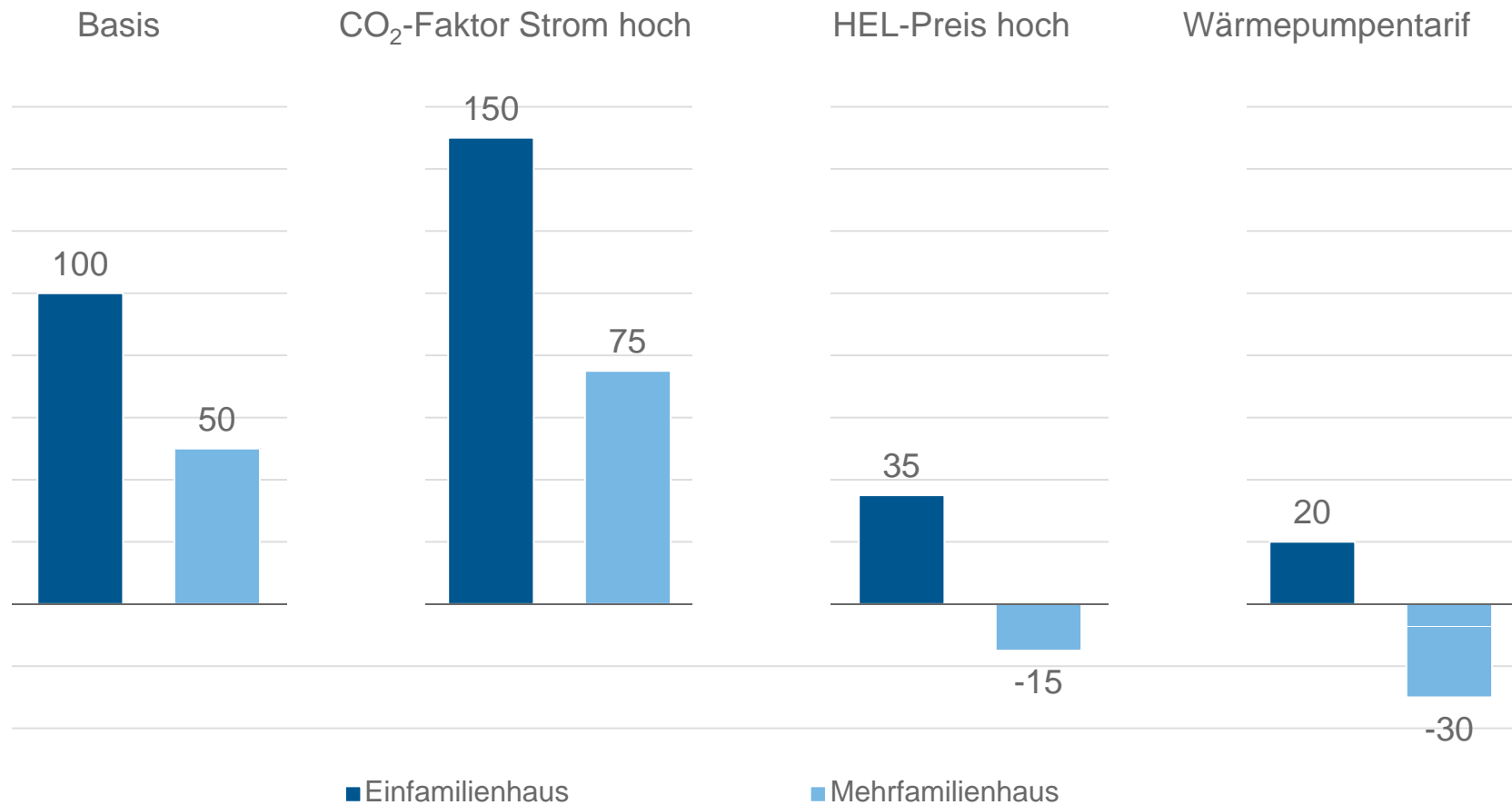
Annahme CO₂-Faktor Strom: 5.5 t / TJ

entspricht dem Strommix der Jahre 2010 - 2030 gemäss Szenario POM Var. C

Variation der Annahmen

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus |
|--|-----------------------------|------------------------|-------------------------|
| Strommix: Strom aus GuD-Kraftwerk | | | |
| CO₂-Faktor Strom | t / TJ | 92 | 92 |
| eingesparte CO₂-Emissionen | t/a | 2.9 | 11.5 |
| Vermeidungskosten Wärmepumpe | CHF/t CO₂ | 150 | 75 |
| Preisentwicklung Heizöl gemäss Sz NEP | | | |
| Heizölpreis | CHF/100 l | 125 | 125 |
| Differenz der Jahreskosten | CHF | 160 | -250 |
| Vermeidungskosten Wärmepumpe | CHF/t CO₂ | 35 | -15 |
| Strom Wärmepumpentarif | Rp./kWh | 18.7 | 18.7 |
| jährliche Energiekosten | CHF | 940 | 3710 |
| Differenz der Jahreskosten | CHF | 90 | -530 |
| Vermeidungskosten Wärmepumpe | CHF/t CO₂ | 20 | -30 |

CO₂-Vermeidungskosten in CHF/t CO₂ nach Gebäudetyp und in Abhängigkeit des Emissionsfaktors von Strom sowie der Energiepreise



Fazit Heizungersatz

- Bei der Wärmepumpe (hier Sole/Wasser) ergeben sich tiefere Energie- und Unterhaltskosten, dafür höhere Kapitalkosten als bei der Variante mit Heizöl.
- Unter den getroffenen Standardannahmen sind die Jahreskosten der Variante Heizöl geringer als bei der Wärmepumpe: Beim Einfamilienhaus um 440 CHF (EFH) und beim Mehrfamilienhaus um 860 CHF. Daraus ergeben sich CO₂-Vermeidungskosten zwischen 50-100 CHF/t CO₂.
- Wird den Berechnungen ein stärkerer Anstieg des Heizölpreises zugrunde gelegt (auf 125 CHF/100l anstelle von 109 CHF/100l), so sind die Jahreskosten der beiden Systeme in etwa gleich hoch. Die Vermeidungskosten liegen unter diesen Annahmen zwischen -15 bis +35 CHF/t CO₂.
- Wenn der Strom für den Betrieb der Wärmepumpe zu einem geringeren Preis bezogen werden kann, z.B. aufgrund eines Wärmepumpentarifs, liegen die Jahreskosten der Variante Wärmepumpe in etwa gleich hoch oder gar tiefer als bei der Variante Heizöl. In diesem Fall ergeben sich Vermeidungskosten im Bereich von -30 bis +20 CHF/t CO₂.

Energetische Sanierung eines Wohngebäudes

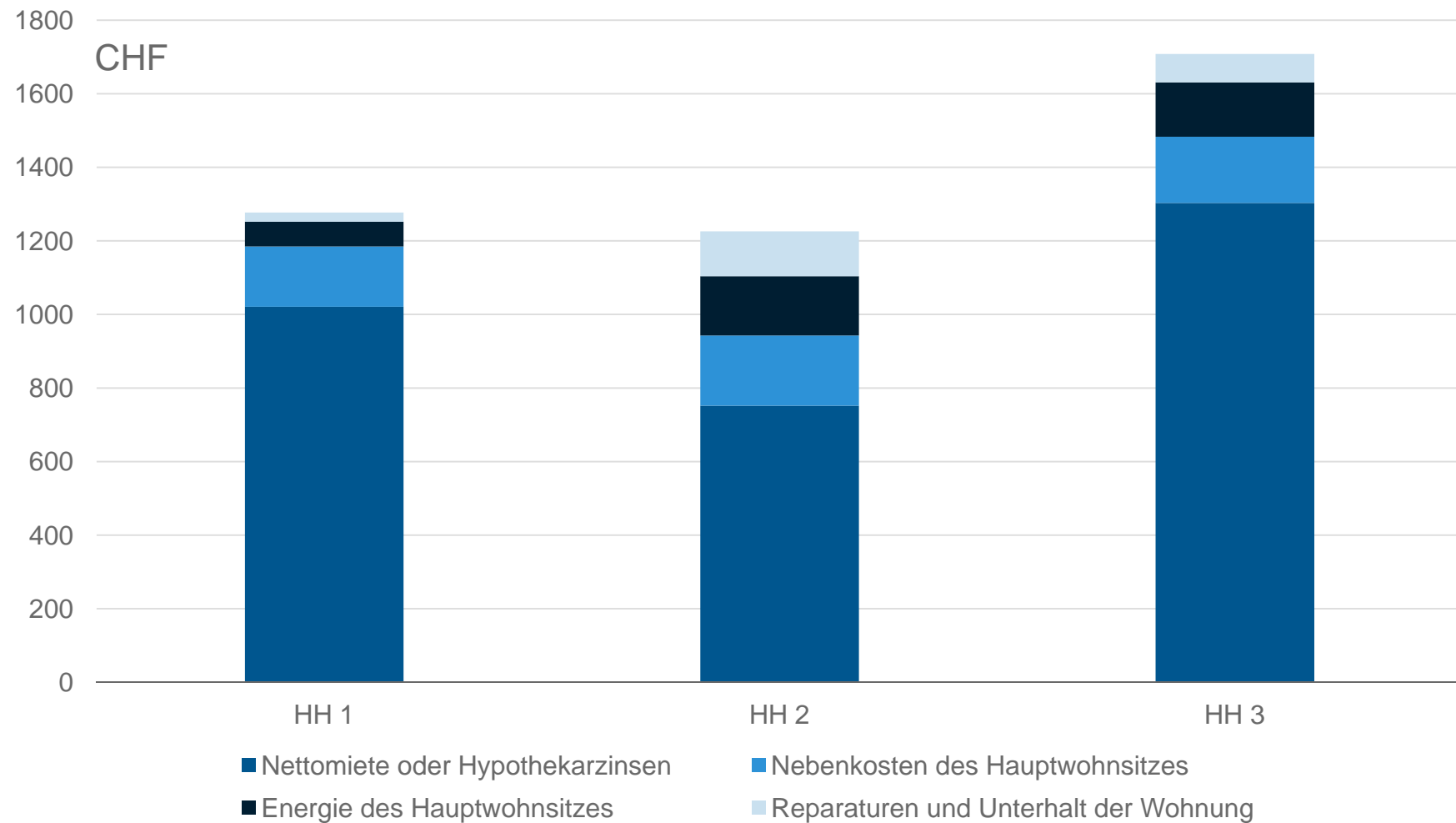
- Vollsanierung des Gebäudes: Sanierung von Fenster, Dach, Fassade, Keller, ohne Ersatz der Heizung
- Zeitpunkt der Sanierung: heute
- unterschieden werden
 - 3 Gebäudetypen:
 - Einfamilienhaus
 - mittleres Mehrfamilienhaus (8 Wohneinheiten (WE))
 - grosses Mehrfamilienhaus (35 WE)
 - 3 Haushaltstypen, gemäss Haushaltsbudgeterhebung vom BFS:
 - Einpersonen-Haushalt unter 65 Jahren
 - Paar ab 65 Jahren ohne Kinder
 - Paar mit Kindern
 - Mieter und Selbstnutzer

monatliche Konsumausgaben für Wohnen und Energie, in CHF und in % des Gesamtkonsums

| | HH-Typ 1 | | HH-Typ 2 | | HH-Typ 3 | |
|---|--|--------------|--------------------------------------|--------------|----------------------|--------------|
| Charakterisierung | Einperso- nen Haus- halte unter 65 Jahren | | Paare ab 65 Jahren ohne Kinder | | Paare mit Kindern | |
| Personen im Haushalt | 1 | | 2 | | 4 | |
| Nettomiete oder Hypothekarzinsen | 1'021 | 25.4% | 752 | 14.7% | 1303 | 18.7% |
| Nebenkosten des Hauptwohnsitzes | 164 | 4.1% | 191 | 3.7% | 180 | 2.6% |
| Energie des Hauptwohnsitzes | 67 | 1.7% | 161 | 3.1% | 148 | 2.1% |
| davon Gas, Brennstoffe, Heizung | 24 | 0.6% | 87 | 1.7% | 57 | 0.8% |
| Reparaturen und Unterhalt | 25 | 0.6% | 122 | 2.4% | 77 | 1.1% |
| Summe Wohnkosten Hauptwohnsitz | 1'277 | 31.8% | 1'226 | 24.0% | 1'708 | 24.5% |
| Konsum insgesamt | 4'020 | 100% | 5'115 | 100% | 6'982 | 100% |

Quelle: BFS, Haushaltsbudgeterhebung 2006-2008, 2010 und eigene Berechnungen

Konsumausgaben für Wohnen und Energie nach Haushaltstyp



Kenngrössen der unterschiedenen Gebäudetypen und Sanierungserfolg

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus mittel | Mehrfamilienhaus gross |
|--|------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Gebäudefläche | m ² EBF | 160 | 800 | 2'755 |
| Anzahl Wohnungen im Gebäude | | 1 | 8 | 35 |
| Wohnungsgrösse | m ² EBF | 160 | 100 | 79 |
| Verhältnis Aussenfläche zu EBF | | 2.23 | 1.42 | 1.18 |
| spez. Heizenergiebedarf | | | | |
| vor Sanierung | kWh/m ² EBF | 170 | 129 | 111 |
| nach Sanierung | kWh/m ² EBF | 72 | 54 | 49 |
| Sanierungserfolg (=Reduktion Energiebedarf) | | -57% | -58% | -56% |
| jährliche eingesparte Energie | kWh | 15'590 | 59'800 | 172'220 |
| spez. jährlich eingesparte Energiekosten | CHF/m ² EBF | 10.6 | 8.1 | 6.8 |

Sanierungskosten und Umlage auf die Wohnkosten

- Sanierungskosten der Bauteile gemäss Studie von econcept *
- Förderbeiträge des Gebäudeprogramms werden berücksichtigt (und bei der Mieterhöhung berücksichtigt)
- für Selbstnutzer: Energetische Mehrkosten in Annuitäten umgelegt
 - Zins: 5%
 - mittlere Lebensdauer der Bauteile: 34 Jahre
 - → Annuität: 6.2%
- für Mieter: 65% der Vollkosten werden auf die Mieten umgelegt
 - mittlere Lebensdauer der Bauteile: 34 Jahre
 - Hypozins: 2.25%
 - Risikozuschlag: 0.5%
 - Unterhaltszuschlag: 10%
- eingesparte Energie wird mit 10.9 Rp./kWh bewertet
(Mittel Preis Heizöl 2010 - 2030 gemäss Energieperspektiven, Preis real 2010)

* econcept, Amstein + Walthert AG, TEP-Energy, 2011. CO₂ -Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten, im Auftrag des Bundesamtes für Energie.

Sanierungskosten und Umlage auf die Wohnkosten

| | | Einfamilienhaus | Mehrfamilienhaus mittel | Mehrfamilienhaus gross |
|--|-----|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| spez. Sanierungskosten | | | | |
| Vollkosten je m² Bauteilfläche (BTF) | CHF | 281 | 216 | 224 |
| energiebedingte Mehrkosten je m² BTF | CHF | 121 | 94 | 92 |
| Förderbeitrag Gebäudeprogramm | CHF | 9'400 | 29'520 | 84'330 |
| Sanierungskosten mit Förderung | | | | |
| Vollkosten | CHF | 90'660 | 214'920 | 642'840 |
| energiebedingte Mehrkosten | CHF | 33'510 | 76'690 | 214'960 |
| | | Selbstnutzer | Selbstnutzer | Mieter |
| jährliche energ. Mehrkosten: Annuitäten | CHF | 2'070 | 4'740 | |
| jährliche Mehrkosten umlagefähig | CHF | | | 19'990 |
| Zunahme der jähr. Wohnkosten je WO | CHF | 2'070 | 593 | 571 |
| je m² EBF | CHF | 12.9 | 5.9 | 7.3 |

Veränderung der monatlichen Kosten für Wohnen und Energie: EFH

| | | | HH-Typ 1 | HH-Typ 2 | HH-Typ 3 |
|------------------------------|---------------------------------------|-----|--|--------------------------------------|----------------------|
| | | | Einpersonen Haushalte unter 65 Jahren | Paare ab 65 Jahren ohne Kinder | Paare mit Kindern |
| Einfamilien- haus | Reduktion der Energiekosten | CHF | 141 | 141 | 141 |
| | Erhöhung Miete / Zins | CHF | 173 | 173 | 173 |
| | Veränderung der Wohnkosten | CHF | 31 | 31 | 31 |
| | Wohnkosten insgesamt neu | CHF | 1'308 | 1'257 | 1'739 |
| | Anteil W&E am Konsum insgesamt neu | % | 32.5% | 24.6% | 24.9% |
| | Veränderung des Konsumanteils | % | +0.8% | +0.6% | +0.4% |

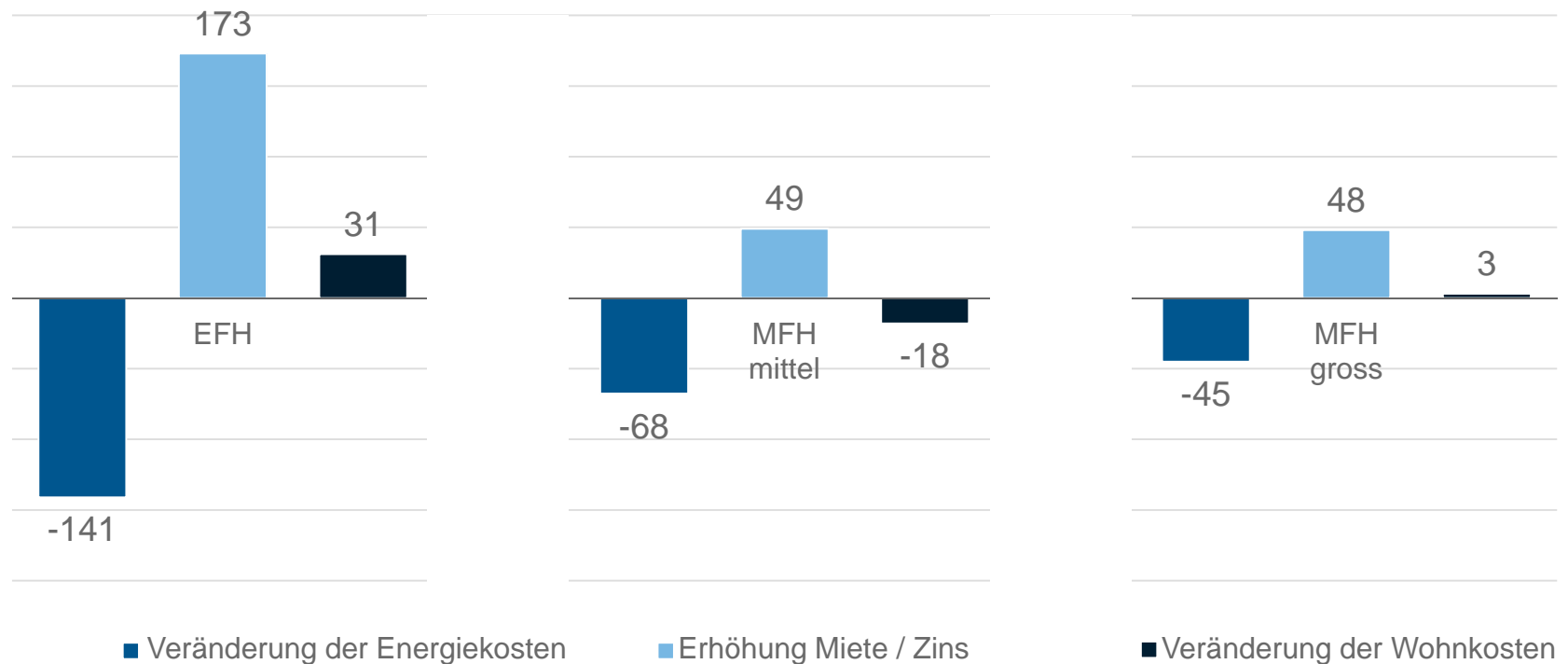
Veränderung der monatlichen Kosten für Wohnen und Energie: MFH mittel

| | | | HH-Typ 1 | HH-Typ 2 | HH-Typ 3 |
|--------------------------------------|---------------------------------------|-----|--|--------------------------------------|----------------------|
| | | | Einpersonen Haushalte unter 65 Jahren | Paare ab 65 Jahren ohne Kinder | Paare mit Kindern |
| Mehrfamilien- haus mittel | Reduktion der Energiekosten | CHF | 68 | 68 | 68 |
| | Erhöhung Miete / Zins | CHF | 49 | 49 | 49 |
| | Veränderung der Wohnkosten | CHF | -18 | -18 | -18 |
| | Wohnkosten insgesamt neu | CHF | 1'259 | 1'208 | 1'690 |
| | Anteil W&E am Konsum insgesamt neu | % | 31.3% | 23.6% | 24.2% |
| | Veränderung des Konsumanteils | % | -0.5% | -0.4% | -0.3% |

Veränderung der monatlichen Kosten für Wohnen und Energie: MFH gross

| | | | HH-Typ 1 | HH-Typ 2 | HH-Typ 3 |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----|--|--------------------------------------|----------------------|
| | | | Einpersonen Haushalte unter 65 Jahren | Paare ab 65 Jahren ohne Kinder | Paare mit Kindern |
| Mehrfamilien- haus gross | Reduktion der Energiekosten | CHF | 45 | 45 | 45 |
| | Erhöhung Miete / Zins | CHF | 48 | 48 | 48 |
| | Veränderung der Wohnkosten | CHF | 3 | 3 | 3 |
| | Wohnkosten insgesamt neu | CHF | 1'280 | 1'229 | 1'711 |
| | Anteil W&E am Konsum insgesamt neu | % | 31.8% | 24.0% | 24.5% |
| | Veränderung des Konsumanteils | % | +0.07 | +0.06 | +0.04 |

Veränderung der monatlichen Kosten für Wohnen und Energie



Fazit Gebäudesanierung

- Das Ergebnis ist stark abhängig vom energetischen Zustand der Gebäude vor der Sanierung sowie den Annahmen zu Zins, Sanierungskosten und der Entwicklung der Energiepreise.
- Unter den gewählten Annahmen zeigen sich die Sanierungsmassnahmen bei den Mehrfamilienhäusern als wirtschaftlich. Beim grossen MFH ergeben sich für die Mieter jedoch minimale Mietaufschläge ($\sim +0,2\%$).
- Falls der Förderbeitrag nicht an die Mieter weitergegeben wird, ergeben sich Mietpreissteigerungen im Bereich von rund 1%.
- Die Sanierungsmassnahmen führen unter den getroffenen Annahmen beim Einfamilienhaus zu Mehrkosten von 30 CHF/Monat. Die Wohnkosten steigen dadurch um rund 2%. Der Anteil der Wohnkosten am Konsum erhöht sich um 0.4% bis 0.8%.
- Unter den gewählten Annahmen liegen die CO₂-Vermeidungskosten im Bereich von
 - -120 CHF/t CO₂ bis +90 CHF/t CO₂ (inkl. Förderung) und
 - -5 CHF/t CO₂ bis +230 CHF/t CO₂ (exkl. Förderung).

ORC-Anlage Grundlagen

- Organic Rankine Cycle (ORC) ist ein Verfahren zur Verstromung von (Ab-)Wärme.
- Er verwendet ein organisches Arbeitsmittel (Silikonöl, Kohlenwasserstoffe) statt Wasser und kann deshalb bei geringerer Temperatur und geringerem Druck betrieben werden.
- Das ORC-Verfahren erschliesst Abwärmequellen von 90 - 500°C.
- Der elektrischer Wirkungsgrad beträgt bis 22%.
- Der Stromeigenverbrauch des Verfahrens ist relativ gering (rund 6% des Stromertrages).
- Die Restwärme (30 - 90°C) des ORC-Prozesses selbst kann z.B. zum Heizen weitergenutzt werden.
- Lebensdauer : 15 Jahre
- In Produktionsstätten mit grossem Prozesswärmebedarf können ORC-Anlagen wirtschaftlich eingesetzt werden:
 - Zementwerken
 - Giessereien
 - Werkstätten der Metallverarbeitung
 - Glasereien
 - Ziegeleien
 - Grossbäckereien

Voraussetzungen für den Betrieb einer ORC-Anlage

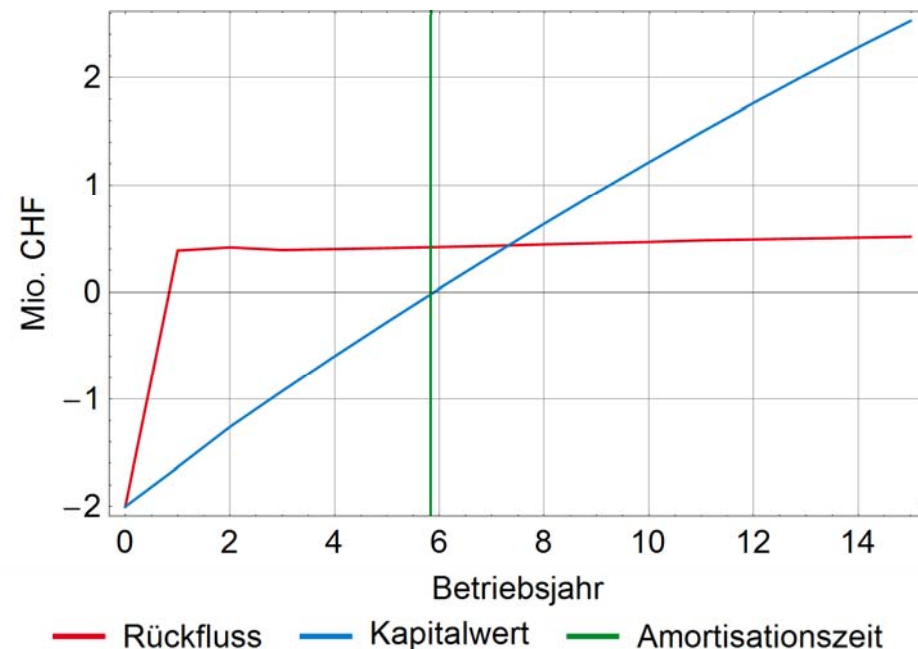
- kontinuierliche und hohe Verfügbarkeit von Abwärme
- unkomplizierter Zugang zur Abwärme
- möglichst nur ein Abwärmestrom
- keine abrasive/korrosive Abwärme (kein Chlor, kein Russ)
- Abwärme muss bis zur Amortisation bereitgestellt werden
- darf keine Konkurrenz zur Prozessoptimierung sein (letztere hat immer Vorrang)

Annahmen

- Zinssatz (Diskontrate): 5%
- Referenz der Einsparung: Schweizer Strommix 2010
 - Strompreis: 15 Rp./kWh (Verbrauchstyp VI)
 - CO₂-Emission: 7 g CO₂/kWh
- durch ORC-Anlage eingesparter Strom reduziert Strombezug aus öffentlichem Netz
 - Stromeigenverbrauch abgezogen

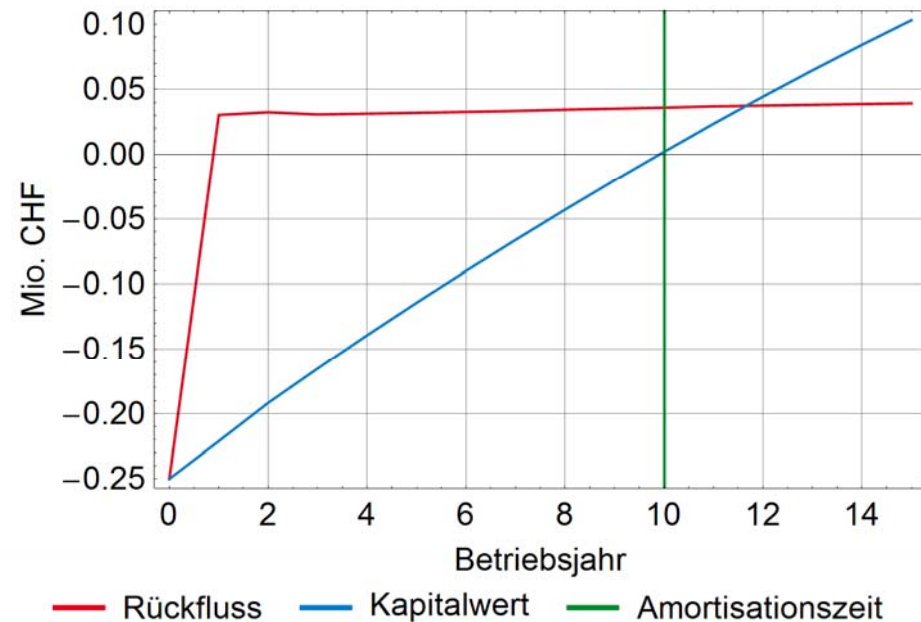
Beispiel 1: Glaserei, Herstellung von Hohlglas für Verpackungen

- optimistische Annahmen zum Abwärmepotenzial, konservative zur ORC-Anlage
 - Abluft: $T = 400^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{th}} = 3 \text{ MW}$, Verfügbarkeit 8'500 h/a (Glasschmelzwanne ganzjährig beheizt)
 - Investitionskosten 2 Mio. CHF, Betriebskosten 0.2 Mio. CHF/a, elektrischer Wirkungsgrad 17 %
- Kapitalwert nach 15 Jahren 2.5 Mio. CHF
- Amortisation innert 6 Betriebsjahren
- Stromproduktion 4.3 GWh/a → Einsparung 30 t CO₂/a



Beispiel 2: Grossbäckerei, Verarbeitung von 10'000 t Mehl pro Jahr

- konservative Annahmen zum Abwärmepotenzial, optimistische zur ORC-Anlage
 - Abluft: $T = 250^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{th}} = 500 \text{ kW}$, Verfügbarkeit 3'000 h/a (nur 1/3 des Tages wird gebacken)
 - Investitionskosten 250'000 CHF, Betriebskosten 10'000 CHF/a, elektrischer Wirkungsgrad 22%
- Kapitalwert nach 15 Jahren 100'000 CHF
- Amortisation innert 10 Betriebsjahren
- Stromproduktion 300 MWh/a → Einsparung 2 t CO_2/a



Fazit ORC-Anlage

- Wo prozessbedingt Abwärme anfällt, rentieren sich moderne ORC-Anlagen innert weniger Jahre. Die Vielfalt der industriellen Prozesse erfordert jedoch ein kundenspezifisches ORC-Anlagendesign.
- ORC-Anlagen sind auch bei konservativen Annahmen (entweder bezüglich des Abwärmepotenzials oder der Anlagentechnik) noch wirtschaftlich.
 - Bei geeignetem Abwärmepotenzial und gleichzeitig modernsten ORC-Anlagen werden Amortisationszeiten von 3 Jahren erreicht.
 - Gleiches gilt, wenn die Nutzwärme aus dem ORC-Prozess zum Heizen verwendet werden kann.
- ORC-Anlagen sind derzeit noch eine Nischenanwendung. Mit wachsendem Einsatz sind aber sinkende Investitionskosten zu erwarten.

Elektro-PW Vergleich Gesamtbetriebskosten

**Mitsubishi Colt 5-Door,
1.3 MPI Goal**



- 95 PS, Benzin
- 5-Gang manuell
- 5.1 l/100 km
- 17'699 CHF

Mitsubishi i-MiEV



- 67 PS, Batterieelektrisch
- 1-Gang Automat, 3 Fahrmodi
- 13.5 kWh/100 km
- 24'999 CHF

Annahmen zu Energiepreisen und Fahrleistungen

- Jahresfahrleistung: 5'000 km / a
- Benzinpreis: 1.69 CHF/l
- Strompreis: 15 Rp./kWh (Annahme Spezialtarif)

Annahmen zu Wertminderung und Zinsen

- Abschreibung: 10% des Katalogpreises p.a.
- Wertminderung: 2% des Katalogpreises / 10'000 km
- Kapitalverzinsung: 5% des Katalogpreises p.a.

Annahmen zu sonstigen fixen Kosten pro Jahr*

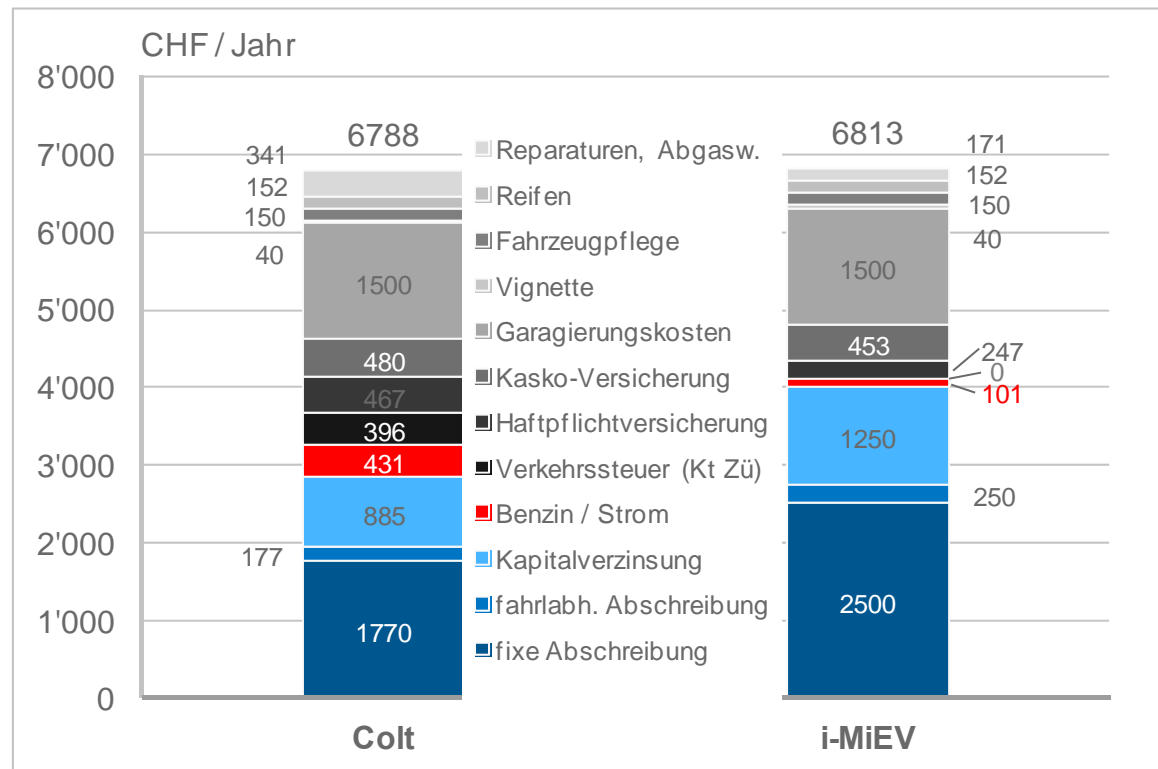
- Verkehrssteuer: 396 CHF / 0 CHF für Elektro-PW (Beispiel Kanton Zürich)
- Haftpflichtversicherung: 467 CHF Colt / 247 CHF i-MiEV
- Kasko-Versicherung: 480 CHF Colt / 453 CHF i-MiEV
- Garagierungskosten: 1'500 CHF
- Vignette: 40 CHF
- Fahrzeugpflege: 150 CHF

Annahmen zu sonstigen variablen Kosten pro 10'000 km

- Kosten Reifen: 455 CHF / Reifen
- Lebensdauer Reifen: 30'000 km

* e'mobil 2012. „Ist ein Elektrofahrzeug wirklich teuer?“, Fachstelle für Elektrofahrzeuge, Verband e'mobile, Bern, Stand: 04/2012, <http://www.e-mobile.ch/>

Gesamtbetriebskosten - Detail



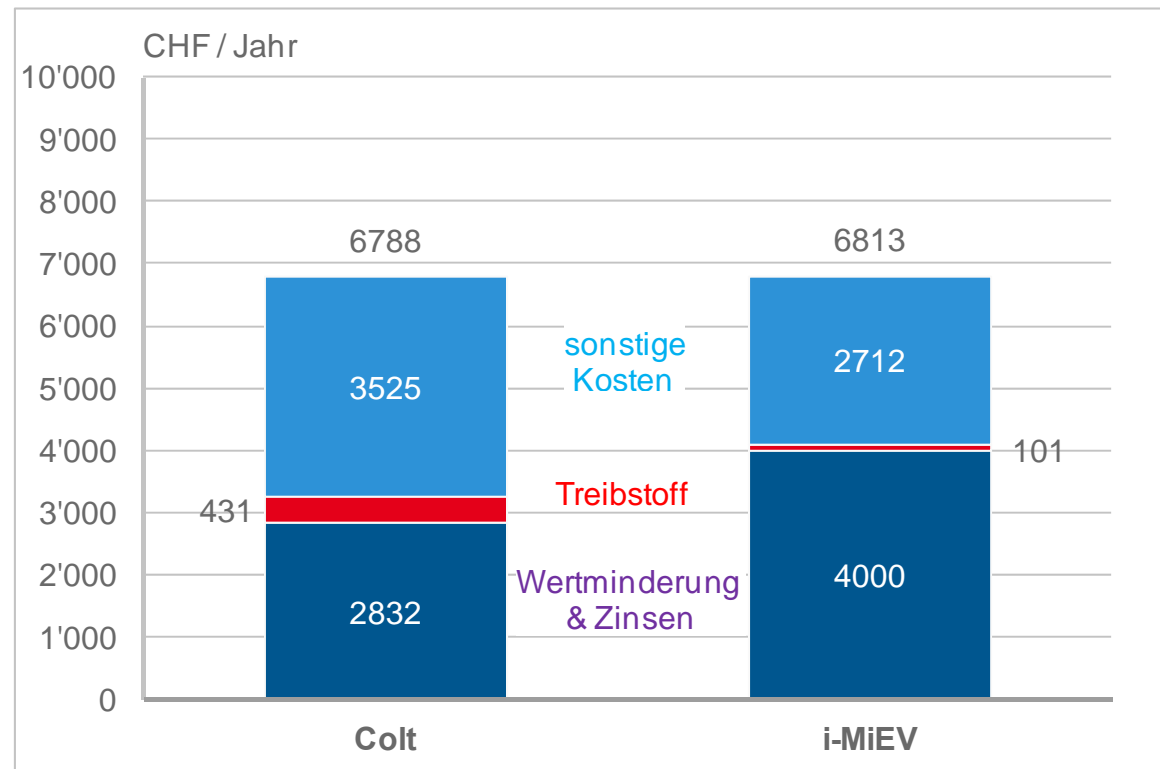
Gesamtbetriebskosten (Referenz)

- Gesamtbetriebskosten sehr ähnlich
- Beim Elektro-PW Investitionskosten deutlich höher
- Anteil der Kosten für Energie, insbesondere beim i-MiEV in Referenz sehr gering
- Kostenvorteil des i-MiEV bei Reparaturen, Abgaswartung und Service deutlich grösser als Stromkosten
- sonstige Kosten hoch und unterschiedlich

Alternativszenarien Energiepreisen und Fahrleistungen

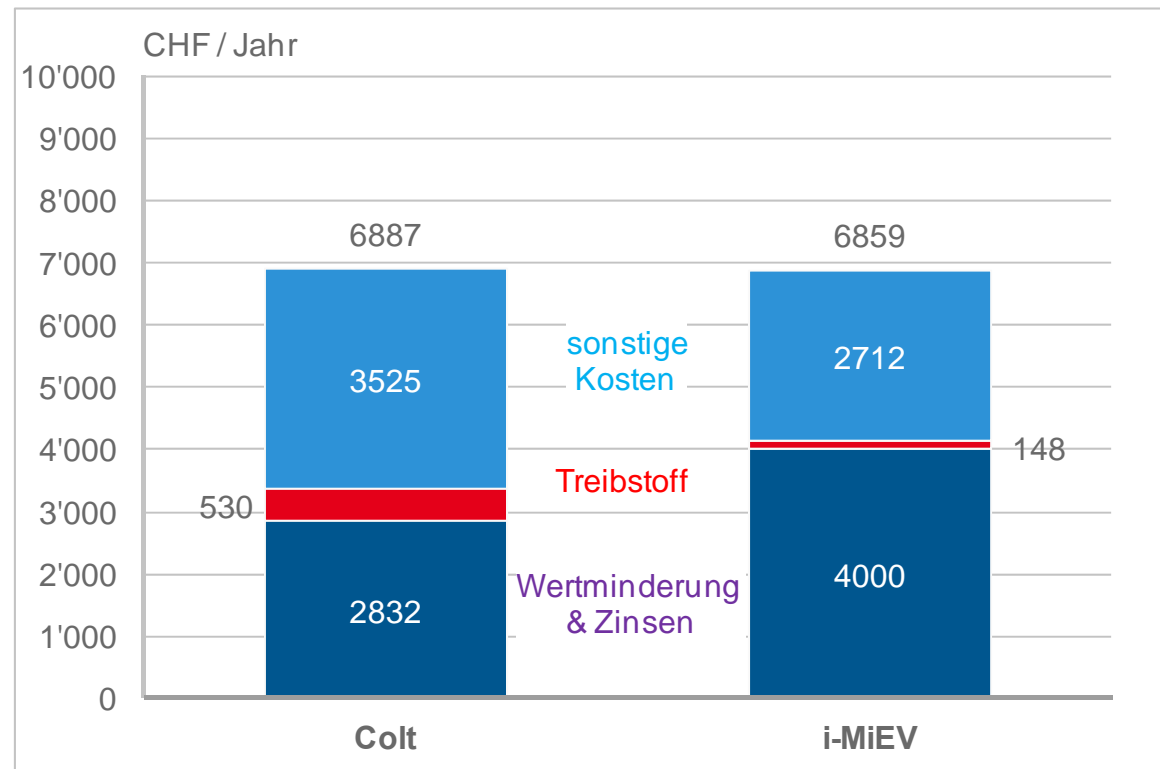
| | Referenz | hohe Energiepreise | hohe Fahrleistung | hohe Energiepreise & hohe Fahrleistung |
|--------------------|------------|--------------------|-------------------|--|
| Jahresfahrleistung | 5'000 km | 5'000 km | 12'000 km | 12'000 km |
| Benzinpreis | 1.69 CHF/l | 2.08 CHF/l | 1.69 CHF/l | 2.08 CHF/l |
| Strompreis | 15 Rp./kWh | 22 Rp./kWh | 15 Rp./kWh | 22 Rp./kWh |

Referenz



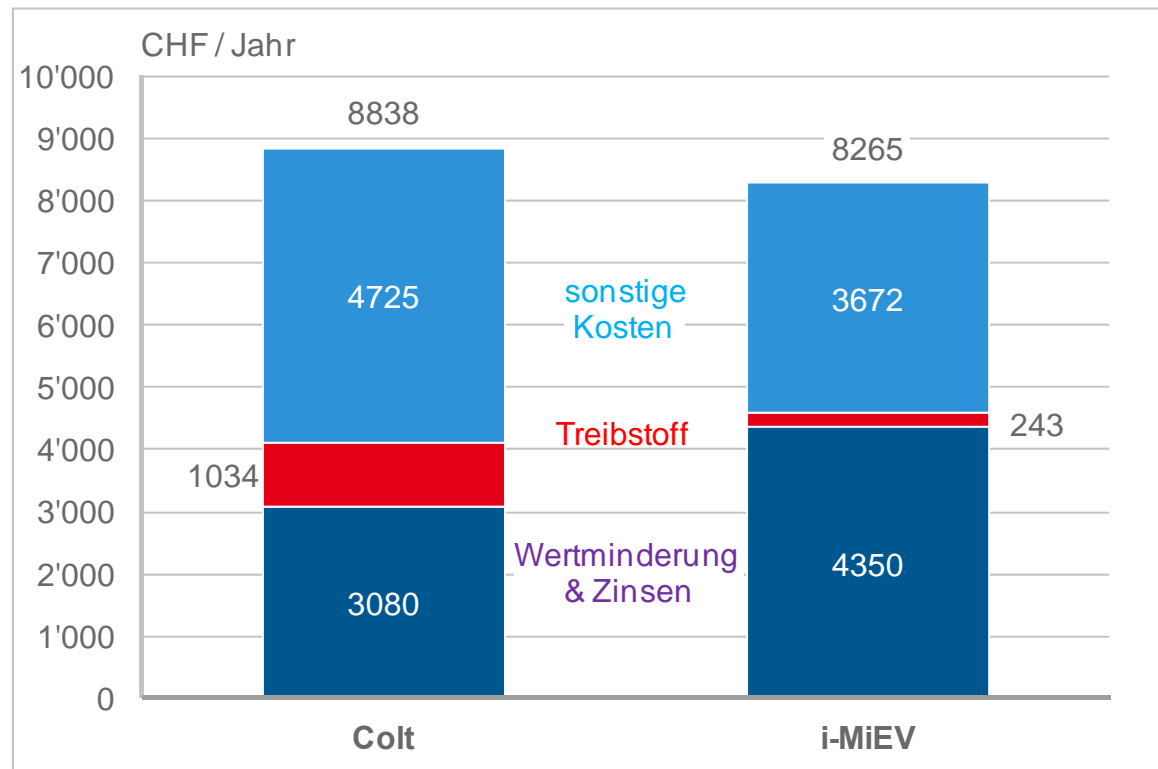
- i-MiEV leicht höhere Gesamtbetriebskosten

Hohe Energiepreise



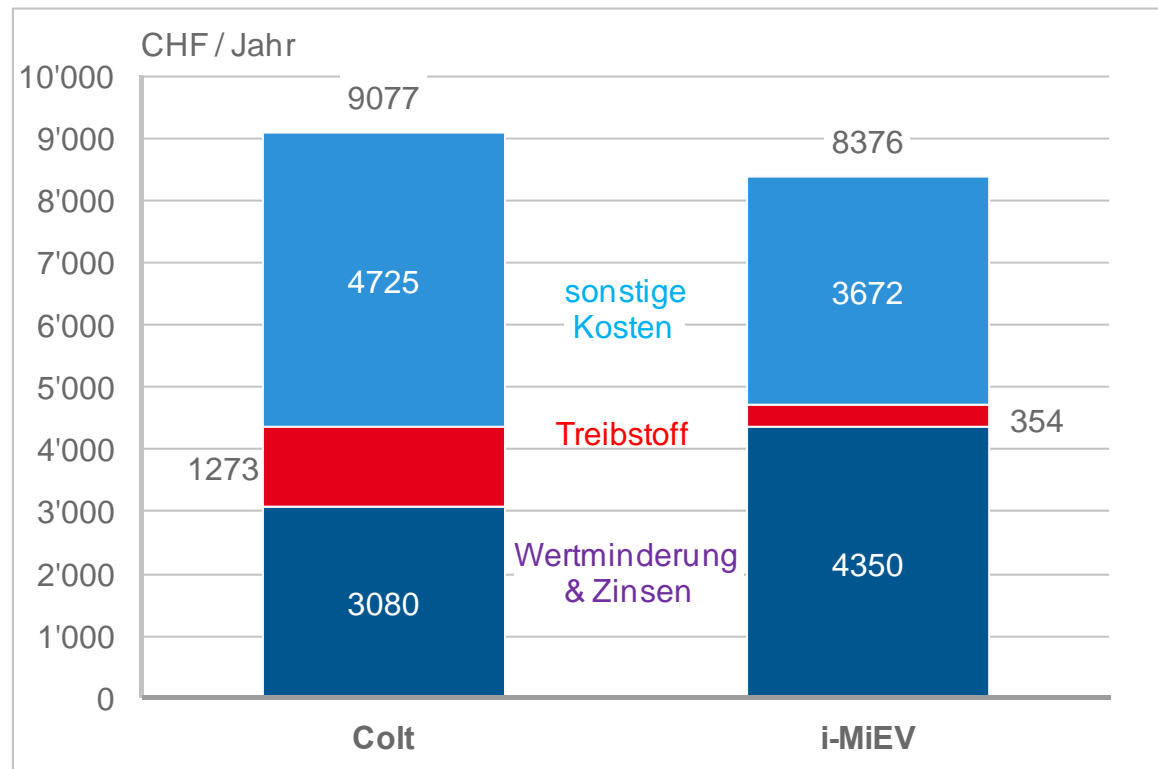
- moderat angehobene Energiepreise (2.08 CHF/l)
=> i-MiEV leicht niedrigere Gesamtbetriebskosten

Hohe Fahrleistung



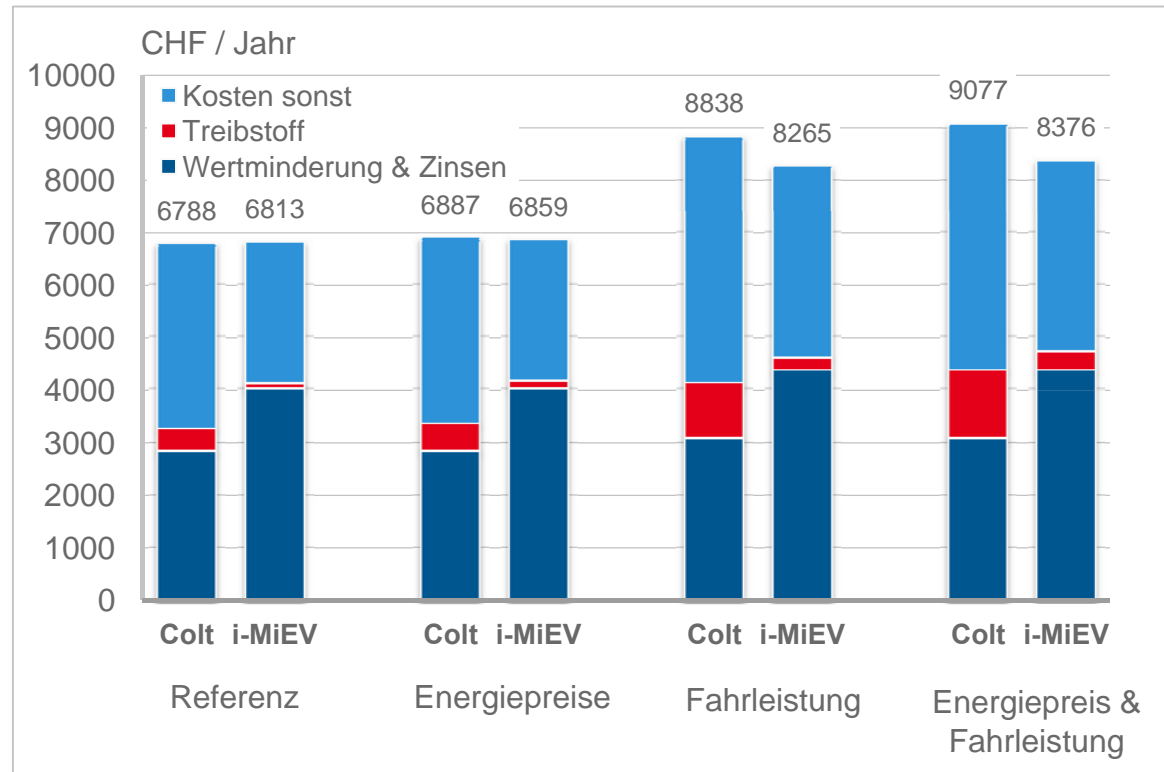
- bei höheren Fahrleistungen (12'000 Fzkm, durchschnittlicher PW)
 - Treibstoffkosten (Benzin) relevanter Kostenfaktor
 - Benzin-PW deutlich höhere Gesamtbetriebskosten

Hohe Energiepreise und hohe Fahrleistung



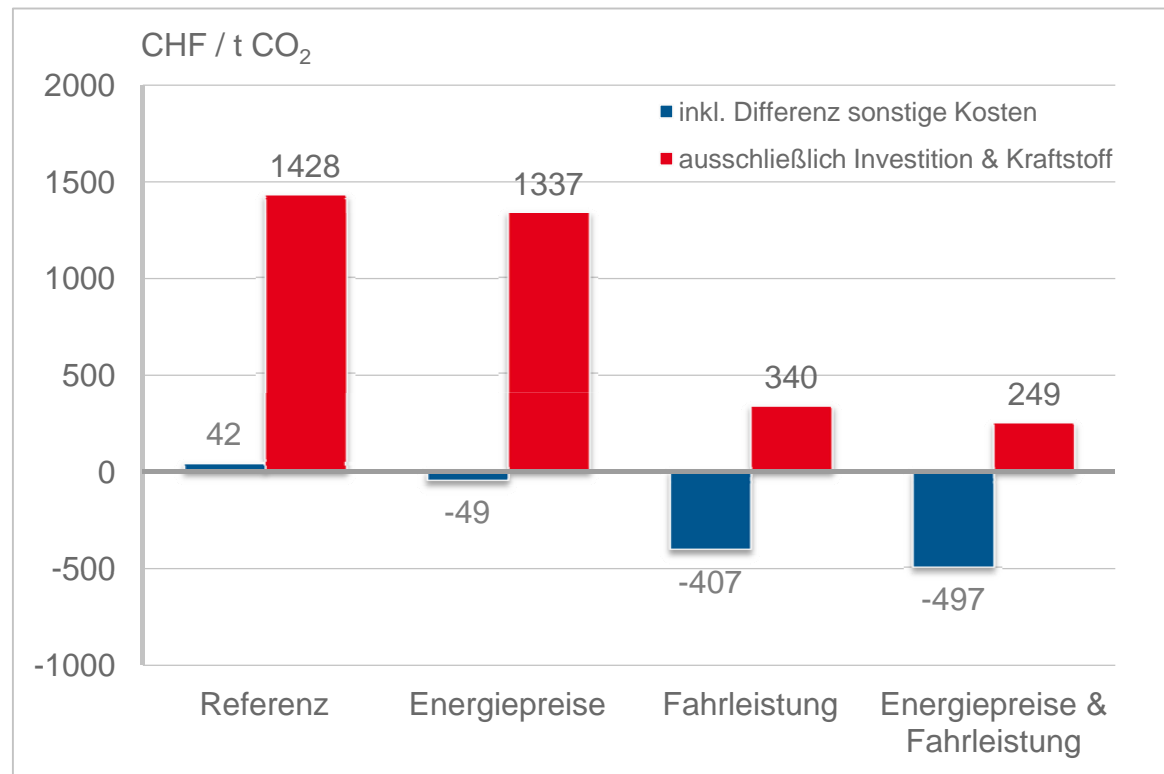
- Benzin-PW deutlich höhere Gesamtbetriebskosten
- Wertminderung & Zinsen bleiben bei Colt weiterhin geringer
- Unterschied bei sonstigen Kosten ausschlaggebend.

Szenarienvergleich



- Benziner für verschiedene Rahmenbedingungen teurer
- Kostenvergleich wird deutlich von Fahrleistung bestimmt
- Entscheidend sind Kostenunterschiede bei Service, Abgaswartung, Reparatur, Steuern und Versicherungen.

CO₂-Minderungskosten



- Deutlich variierende CO₂-Minderungskosten je nach Fahrleistung und Energiepreisen
- Emissionsfaktor Benzin: 23 g/l , Emissionsfaktor Strom: 7 g/kWh (Schweizer Produktionsmix 2010)
- Keine Berücksichtigung der Emissionen durch Fahrzeugproduktion

Fazit Elektro-PW

- Gesamtbetriebskosten für Elektro-PW in Beispielen meist tiefer.
- Beim Benzin-PW sind die Anfangsinvestition deutlich niedriger.
- Beim Elektro-PW sind die variablen Kosten tiefer, insbesondere die Energiekosten. Entscheidend sind aber auch die Kosten für Reparatur, Service und Abgaswartung.
- Die Wirtschaftlichkeit steigt mit der Fahrleistung an. Bei hohen jährlichen Fahrleistungen sind die Elektro-PW teilweise aber weniger geeignet als Benzin-PW (Reichweite der Batterien bei langen Fahrstrecken).
- Vorteile der Elektro-PW ausschlaggebend bei
 - Versicherungen,
 - Steuern (können je nach Kanton sehr unterschiedlich hoch sein).
- In Abhängigkeit der Annahmen variieren die CO₂-Minderungskosten zwischen 1'400 und - 500 CHF / t CO₂.

Photovoltaikanlage

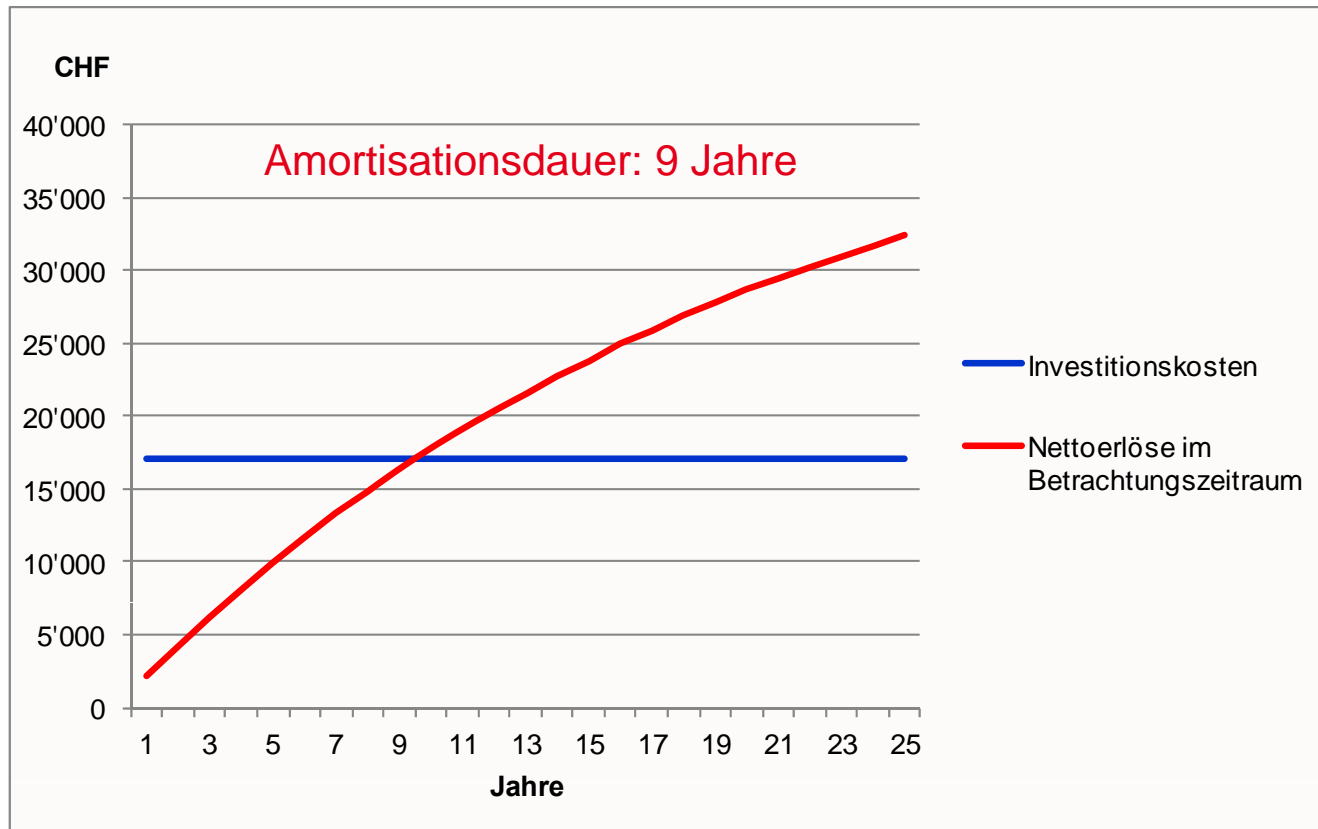
Rahmendaten:

- Installierte Leistung: 6 kW (Einfamilienhaus), Fläche: 50 m²
- Fördermechanismen:
 - 1) KEV: Vergütung aus dem Jahr 2012
 - 2) Investitionskostenzuschuss: 30% der Investitionskosten
- Investitionskosten: Für drei Investitionszeitpunkte 2012, 2020 und 2025*
- KEV:
 - Basiswert: 36.1 Rp./kWh
 - zukünftig sinkende KEV-Vergütung aufgrund sinkender Investitionskosten (Absenkung orientiert sich an der Degression der Investitionskosten)
- Investitionskostenzuschuss:
 - konstant bei 30% der Investitionskosten
 - Solarstrom, welcher ins Netz eingespeist wird, wird mit einem Marktpreis in Höhe von 70% des Strompreises im Szenario POM der Energieperspektiven vergütet, mit Abnahmegarantie
- Methodik: Amortisationsrechnung und Berechnung des Kapitalwerts, keine Berücksichtigung von Stromkosten (fallen in jedem Fall an)

* Quellen: Werte gemäss Strommodell der Energieperspektiven: Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050. Erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Energie, Bern.

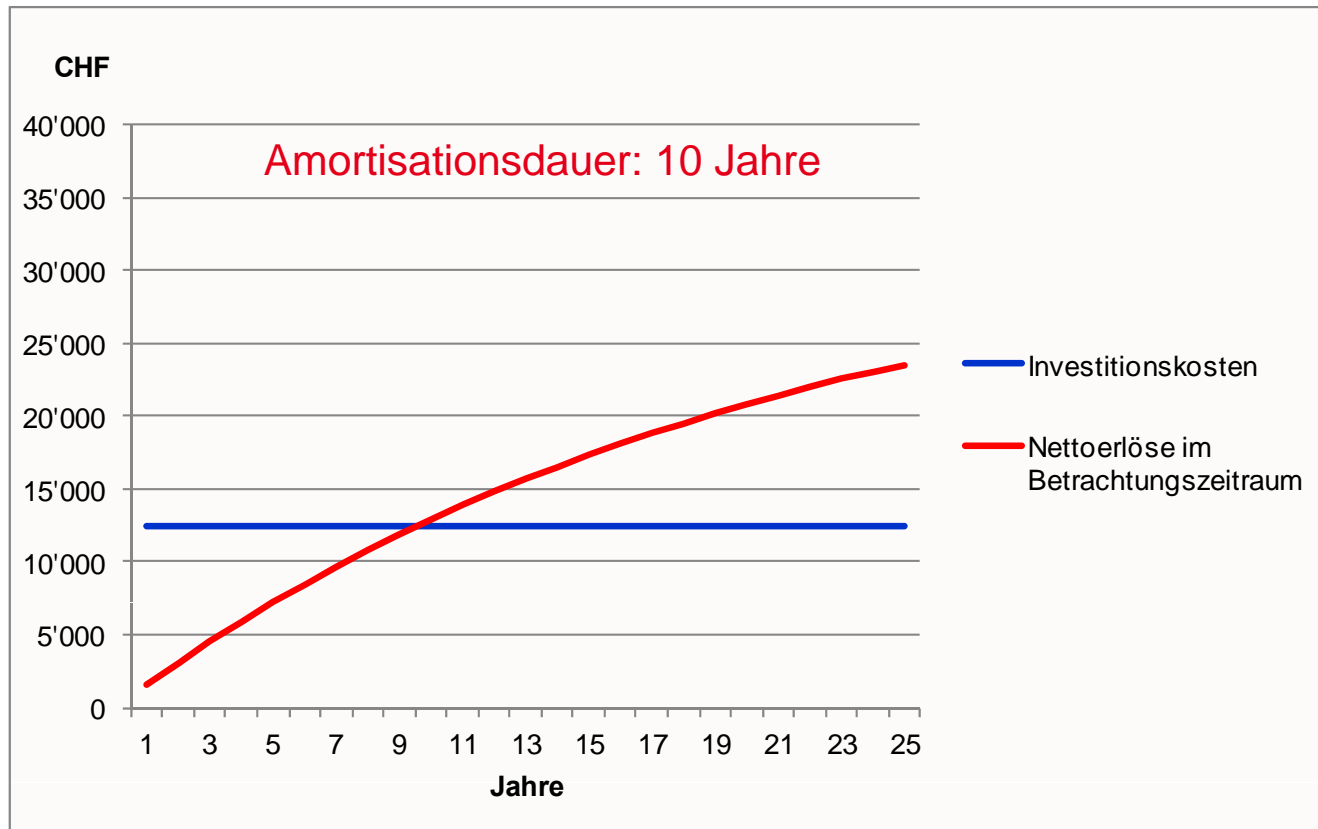
www.solarserver.de

Investition im Jahr 2012 Fördermechanismus: KEV



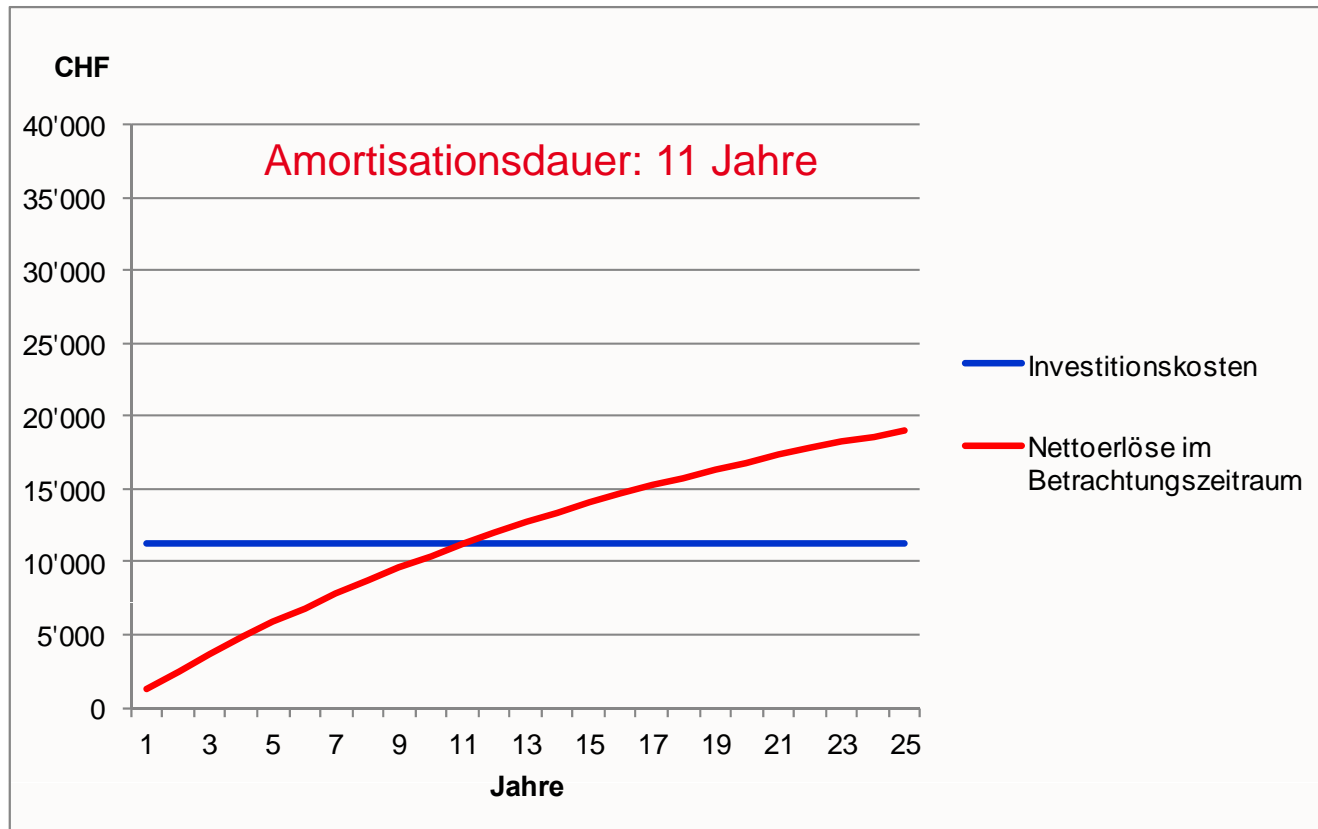
- Investitionskosten: 2'850 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- KEV-Vergütung: 36.1 Rp./kWh

Investition im Jahr 2020 Fördermechanismus: KEV



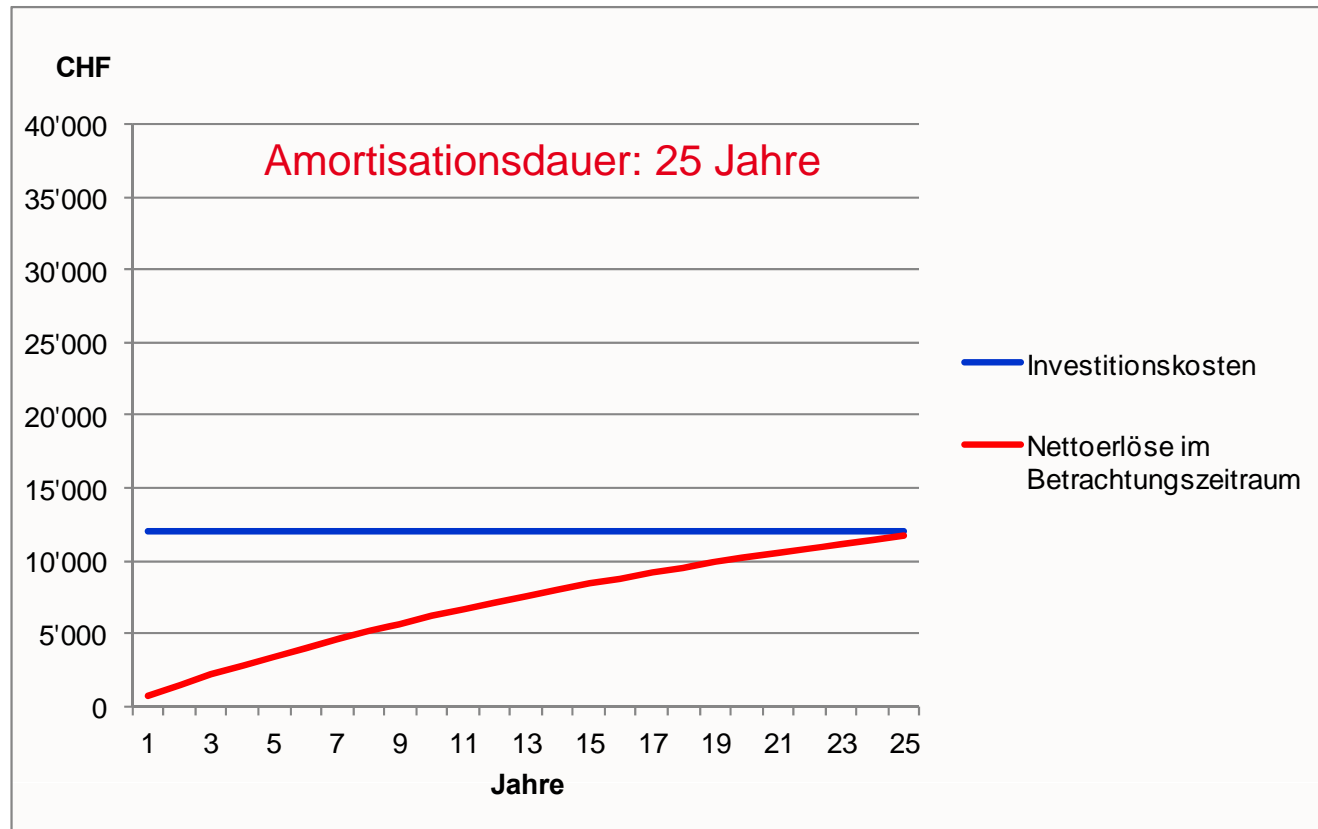
- Investitionskosten: 2'100 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- KEV-Vergütung: 26.3 Rp./kWh

Investition im Jahr 2025 Fördermechanismus: KEV



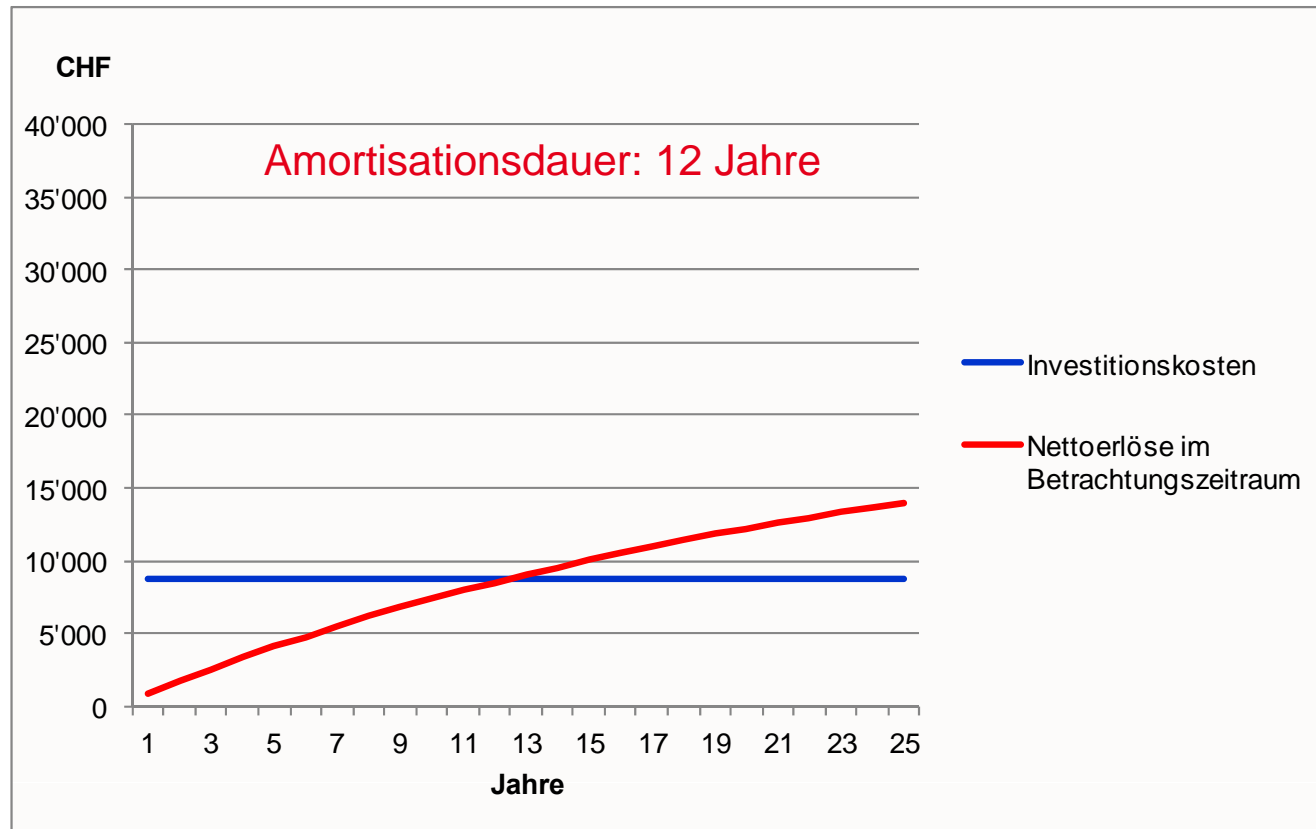
- Investitionskosten: 1'900 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- KEV-Vergütung: 23.9 Rp./kWh

Investition im Jahr 2012 Fördermechanismus: Investitionskostenzuschuss



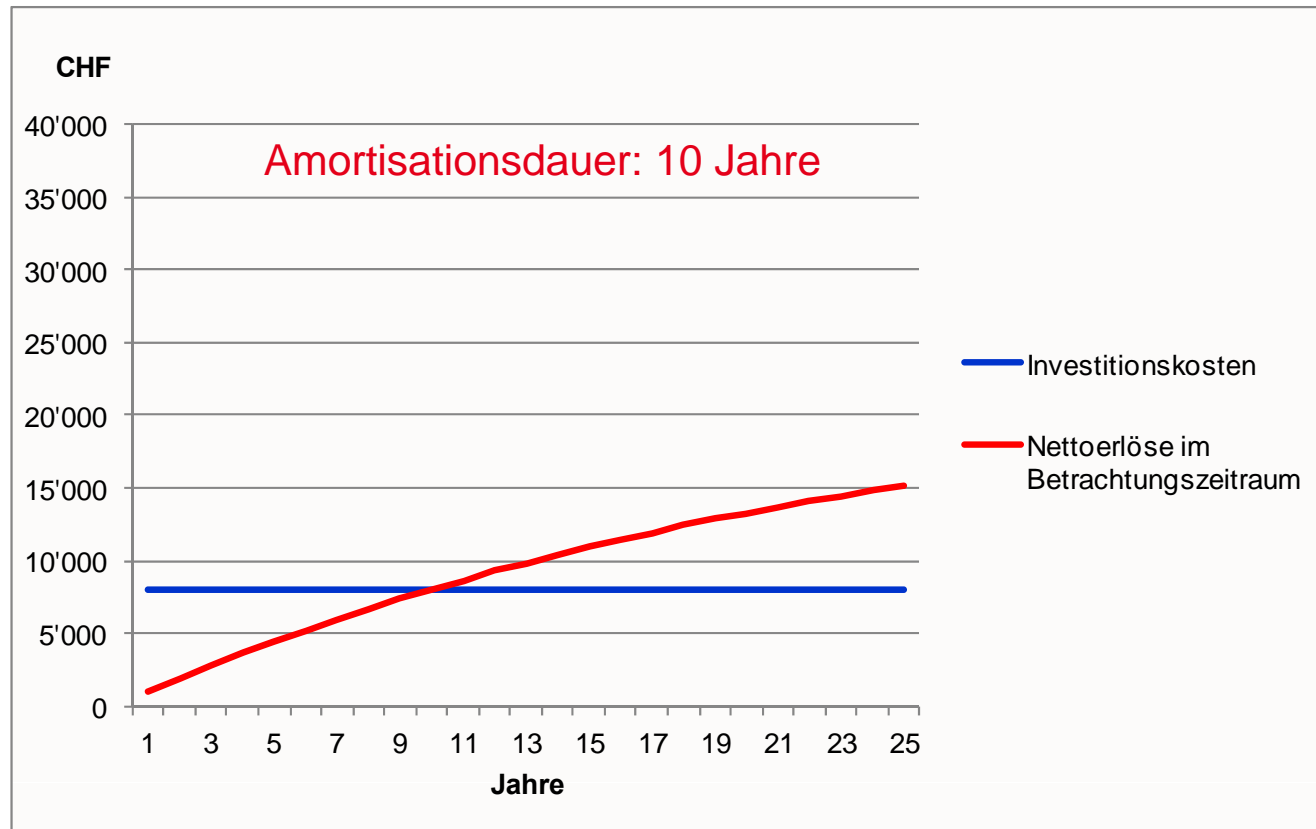
- Investitionskosten: 2'850 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- Investitionskostenzuschuss: 30% der Investitionskosten

Investition im Jahr 2020 Fördermechanismus: Investitionskostenzuschuss



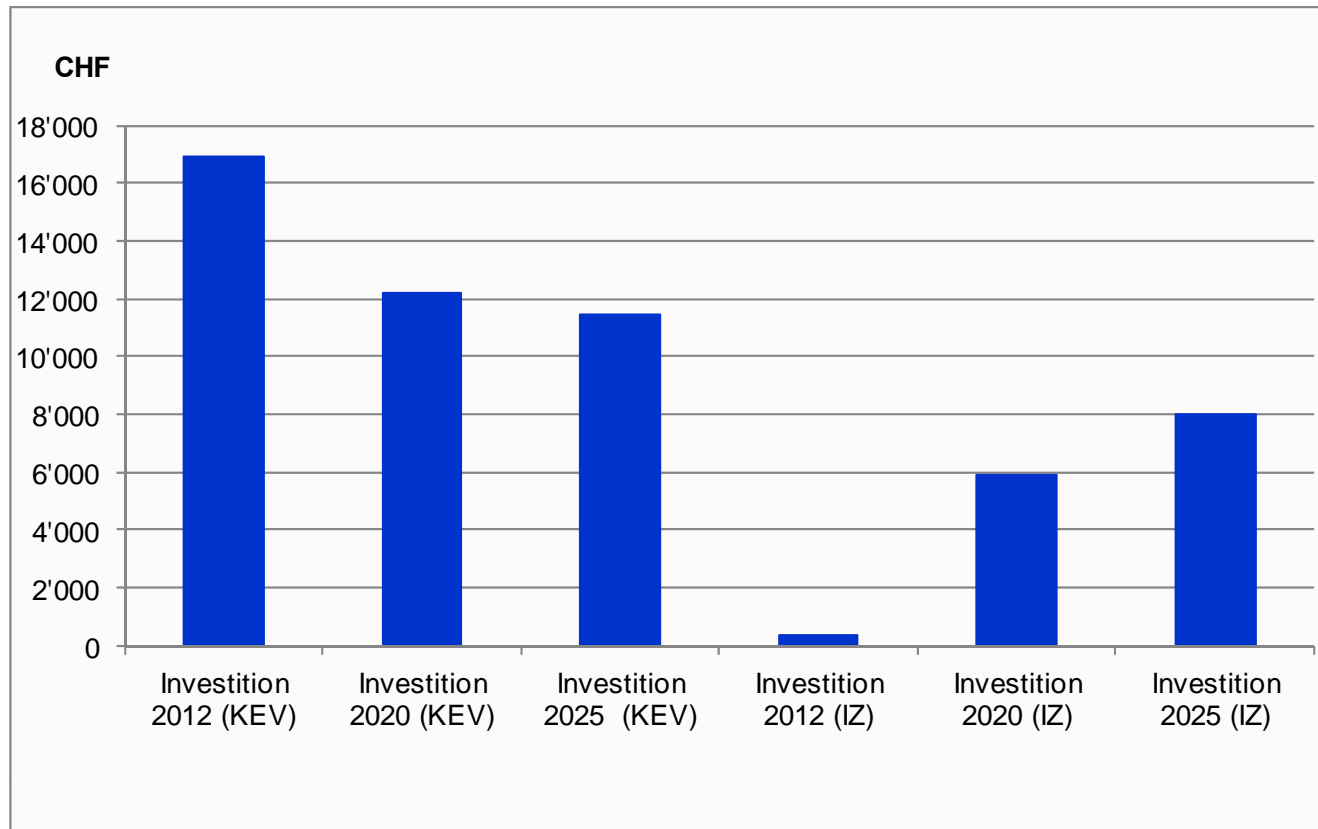
- Investitionskosten: 2'100 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- Investitionskostenzuschuss: 30% der Investitionskosten

Investition im Jahr 2025 Fördermechanismus: Investitionskostenzuschuss



- Investitionskosten: 1'900 CHF/kW
- Abschreibungsdauer: 25 Jahre, Zinssatz (real): 5%
- Investitionskostenzuschuss: 30% der Investitionskosten

Vergleich Kapitalwert



Fazit PV

- Gegenwärtig (Basisjahr 2012) ist die Investition unter der bestehenden KEV-Vergütung aus Sicht des privaten Investors wirtschaftlicher als bei einem Investitionskostenzuschuss von 30%.
- Aufgrund der sinkenden Investitionskosten ist zukünftig eine Reduktion der KEV-Vergütung zu erwarten. Lt. Modellierung kann die KEV-Vergütung bis 2025 unter 23.9 Rp./kWh sinken und die Wirtschaftlichkeit bleibt weiterhin gewährleistet.
- Ein Investitionskostenzuschuss von 30% (Annahme: zukünftig konstant), weist aufgrund der geringeren Vergütung des eingespeisten Stroms eine geringere Wirtschaftlichkeit (geringerer Kapitalwert) der Investition auf als eine auf Basis der Investitionskostenenkung angepasste KEV-Vergütung.
- Die Amortisationsdauer ist unter den getroffenen Annahmen bei einem Investitionskostenzuschuss aufgrund der geringeren Anfangsinvestition jedoch zukünftig ungefähr gleich hoch wie unter einem KEV-Mechanismus.
- Im Beispiel wurde davon ausgegangen, dass der erzeugte Strom ins Netz eingespeisen wird. Beim Förderregime Investitionskostenzuschuss kann der Eigenverbrauch des Stroms die Wirtschaftlichkeit erhöhen.
- Auch beim Investitionskostenzuschuss ist zu überlegen, ob aufgrund der weiter sinkenden Investitionskosten periodisch eine Reduktion des Zuschusses zu implementieren ist.

Verstärkter Einsatz von Fernwärme in Wohngebäuden

- Ausbau der Fernwärme ersetzt fossile Raumwärme- und Warmwassersysteme
- betrachtet werden die Ausbau-Szenarien in den Energieperspektiven
- grundsätzlich: Kein Bau neuer (grosser) Fernwärmenetze, sondern Anschluss an bestehende Netze, ggf. Verdichtung bestehender Netze
- Definition FW: „Grosse“ Fernwärme gem. Energiestatistik (d.h. i.W. in städtischen Gebieten mit KVA und Zufeuerung), keine lokale Nahwärme
- Definition des ausgewiesenen Vermeidungspotenzials: In den Szenarien realisiertes Potenzial, unter der Annahme, dass die Fernwärme Ölheizungen ersetzt (Referenzsystem).
- Emissionsfaktoren:
 - Heizöl: 73.7 t CO₂/TJ
 - Fernwärme: 50.4 t CO₂/TJ
- Die Wechselwirkung mit anderen Massnahmen wird berücksichtigt: Die zunehmende energetische Qualität der Gebäudehülle reduziert das Vermeidungspotenzial der Fernwärme.

Vermiedene CO₂-Emissionen im Szenario WWB

- Die mit Fernwärme beheizte Wohnfläche erhöht sich im Szenario WWB auf 55 Mio. m² EBF (+210% ggü. 2010).
- Gleichzeitig nimmt der durchschnittliche Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser der mit Fernwärme versorgten Wohngebäude ab, von rund jährlich 430 MJ/m² EBF auf 205 MJ/m² EBF (-52%).
- Der Fernwärmeverbrauch in Wohngebäuden steigt im Zeitraum 2010 bis 2050 um 3.8 PJ.
- Werden dadurch Ölheizungen ersetzt, reduzieren sich die CO₂-Emissionen um rund 0.1 Mio. t.

Szenario WWB

| | | 2010 | 2020 | 2035 | 2050 |
|---|-------------------------|------|------|------|------|
| Wohnfläche mit Fernwärme | Mio. m ² EBF | 17.7 | 31.2 | 46.3 | 55.0 |
| zusätzliche WF mit FW ggü. 2010 | m ² EBF | 0.0 | 13.5 | 28.7 | 37.3 |
| spez. Energieverbrauch RW & WW (FW) | MJ/m ² EBF | 430 | 345 | 260 | 205 |
| zusätzlicher Energieverbrauch FW ggü. 2010 | PJ | 0.0 | 3.1 | 4.6 | 3.8 |
| vermiedene CO₂-Emissionen | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.07 | 0.1 | 0.1 |

FW: Fernwärme

WF: Wohnfläche

RW: Raumwärme

WW: Warmwasser

Vermiedene CO₂-Emissionen in den Szenarien POM und NEP

- Im Szenario POM steigt die mit Fernwärme beheizte Wohnfläche um 320% auf 74 Mio. m².
- Der durchschnittliche Energiebedarf für Raumwärme und Warmwasser der mit Fernwärme versorgten Wohngebäude reduziert sich um 60% auf 165 MJ/m² EBF.
- Unter der Annahme, dass durch die zusätzlichen Fernwärmeverbrauch Heizöl ersetzt wird, vermindern sich die CO₂-Emissionen im Betrachtungszeitraum um 0.1 bis 0.2 Mio. t.
- Langfristig ist dies nur unwesentlich mehr als im Szenario WWB.

- Im Szenario NEP ist das Vermeidungspotenzial kleiner als im Szenario POM.
 - Der Gebäudebestand ist im Szenario NEP besser gedämmt, der spezifische Energiebedarf der mit Fernwärme versorgten Wohngebäude sinkt auf 115 MJ/m² EBF.
 - Aufgrund der geringen Heizwärmebedarfe verliert die Fernwärme langfristig an Attraktivität. Der Einsatz von Fernwärme ist im Szenario NEP weniger verbreitet. Die mit Fernwärme beheizte Wohnfläche vergrößert sich zwischen 2010 und 2050 um 250%.

Szenario POM

| | | 2010 | 2020 | 2035 | 2050 |
|--|-------------------------|------|------|------|------|
| Wohnfläche mit Fernwärme | Mio. m ² EBF | 17.7 | 36.2 | 65.4 | 73.9 |
| zusätzliche WF mit FW ggü. 2010 | m ² EBF | 0.0 | 18.6 | 47.8 | 56.2 |
| spez. Energieverbrauch RW & WW (FW) | MJ/m ² EBF | 430 | 345 | 240 | 165 |
| zusätzlicher Energieverbrauch FW ggü. 2010 | PJ | 0.0 | 4.9 | 8.2 | 4.8 |
| vermiedene CO₂-Emissionen | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| vermiedene CO₂-Emissionen ggü. WWB | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.04 | 0.1 | 0.02 |

FW: Fernwärme

WF: Wohnfläche

RW: Raumwärme

WW: Warmwasser

Szenario NEP

| | | 2010 | 2020 | 2035 | 2050 |
|--|-------------------------|------|-------|------|------|
| Wohnfläche mit Fernwärme | Mio. m ² EBF | 17.7 | 33.4 | 58.0 | 61.8 |
| zusätzliche WF mit FW ggü. 2010 | m ² EBF | 0.0 | 15.7 | 40.3 | 44.1 |
| spez. Energieverbrauch RW & WW (FW) | MJ/m ² EBF | 430 | 330 | 200 | 115 |
| zusätzlicher Energieverbrauch FW ggü. 2010 | PJ | 0.0 | 3.5 | 4.0 | -0.4 |
| vermiedene CO₂-Emissionen | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.01 |
| vermiedene CO₂-Emissionen ggü. POM | Mio. t CO ₂ | 0.0 | -0.03 | -0.1 | -0.1 |

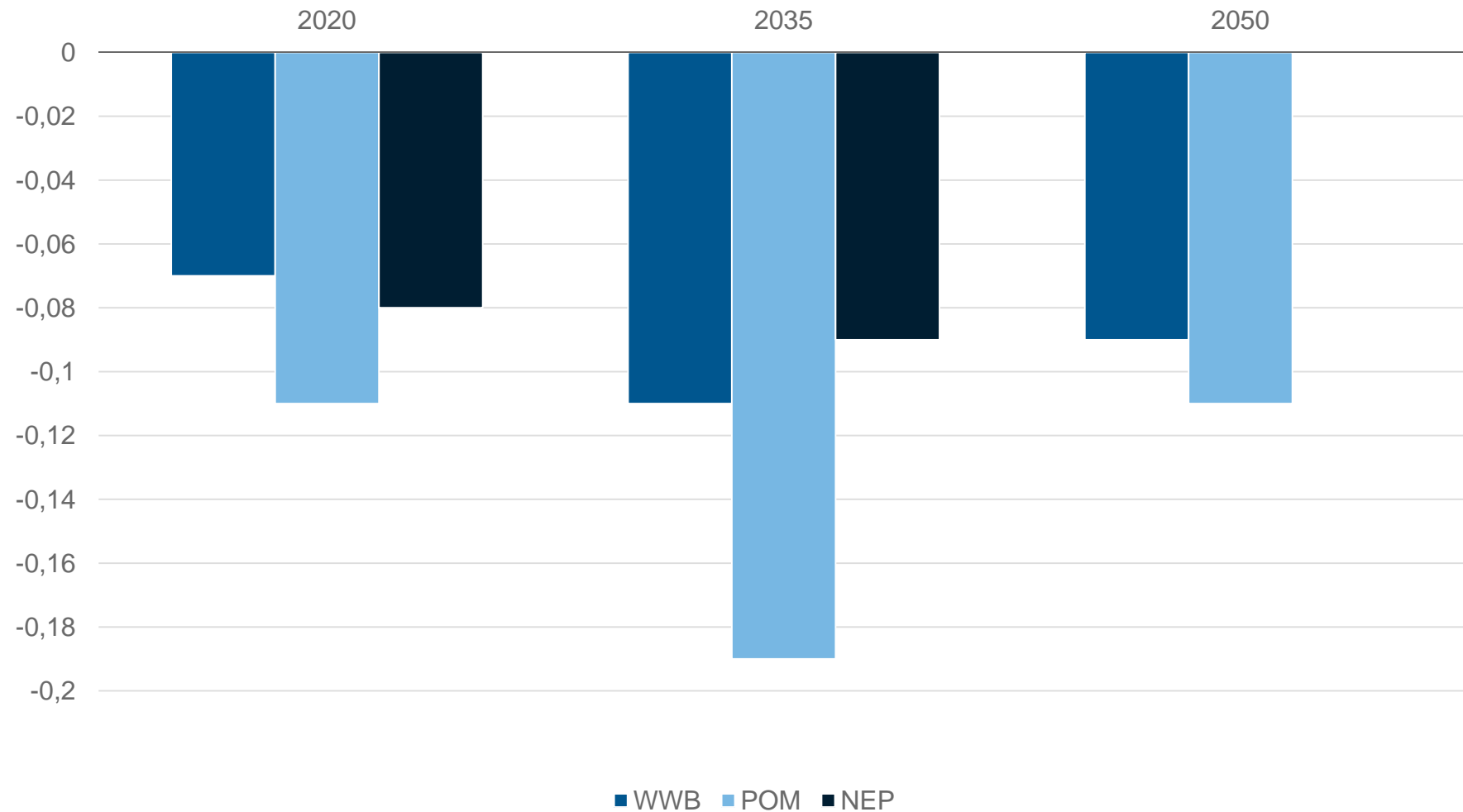
FW: Fernwärme

WF: Wohnfläche

RW: Raumwärme

WW: Warmwasser

Vermeidungspotenzial ggü. 2010, in Mio. t CO₂ in Abhängigkeit des Szenarios



Szenario POM - Fernwärme auf Basis von erneuerbaren Energien

| | | 2010 | 2020 | 2035 | 2050 |
|--|-------------------------|------|------|------|------|
| Wohnfläche mit Fernwärme | Mio. m ² EBF | 17.7 | 36.2 | 65.4 | 73.9 |
| zusätzliche WF mit FW ggü. 2010 | m ² EBF | 0.0 | 18.6 | 47.8 | 56.2 |
| spez. Energieverbrauch RW & WW (FW) | MJ/m ² EBF | 430 | 345 | 240 | 165 |
| zusätzlicher Energieverbrauch FW ggü. 2010 | PJ | 0.0 | 4.9 | 8.2 | 4.8 |
| vermiedene CO₂-Emissionen | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.3 | 0.5 | 0.3 |
| vermiedene CO₂-Emissionen ggü. WWB | Mio. t CO ₂ | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.2 |

FW: Fernwärme

WF: Wohnfläche

RW: Raumwärme

WW: Warmwasser

Fazit Fernwärme in Wohngebäuden

- Der CO₂-Faktor von Fernwärme ist geringer als derjenige von Heizöl. Der Ersatz von Heizungen und Warmwasseranlagen auf Basis von Heizöl durch Fernwärme reduziert deshalb die CO₂-Emissionen.
- Energetische Sanierungen der Gebäudehülle reduzieren den Energiebedarf für Raumwärme. Das Reduktionspotenzial der Fernwärme wird dadurch kleiner.
- Im Szenario POM wird zwar deutlich mehr Wohnfläche mit Fernwärme beheizt als im Szenario WWB. Da aber gleichzeitig der spezifische Raumwärmebedarf aufgrund der besseren energetischen Qualität der Gebäudehülle zurückgeht, ist das zusätzliche Reduktionspotenzial gegenüber dem Szenario WWB gering.
- Aufgrund der geringen Heizwärmebedarfe verliert im Szenario NEP die Fernwärme langfristig an Attraktivität. Das Vermeidungspotenzial ist kleiner als im Szenario POM.
- Würde die Fernwärme ausschliesslich mittels erneuerbaren Energien betrieben, würde sich das Vermeidungspotenzial vergrössern (Emissionsfaktor der Fernwärme wäre dann 0 t CO₂/TJ, anstelle von 50.4 t CO₂/TJ).
- Würde die zusätzliche Fernwärme anstelle von Heizölanlagen gasbefeuerte Anlagen ersetzen, wäre das Vermeidungspotenzial kleiner.
- Das Potenzial der Fernwärme insgesamt liegt geringfügig höher, da Fernwärme auch in Nicht-Wohngebäuden eingesetzt werden kann.

Fazit Fallbeispiele

- Die Fallbeispiele zeigen, dass es in vielen Bereichen rentable Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen gibt.
- Die effektiven Vermeidungskosten der Massnahmen hängen stark von den spezifischen Gegebenheiten und den persönlichen Präferenzen ab. Eine Variation der Standardannahmen kann so zu deutlichen Veränderungen der berechneten Vermeidungskosten führen.
- Anhand von Fallbeispielen können deshalb keine Aussagen zu den gesamtwirtschaftlichen Kosten der Massnahmen gemacht werden.
- Da bei den Fallbeispielen Wechselwirkungen mit anderen Massnahmen nicht berücksichtigt werden, lassen sich auch keine Rückschlüsse auf das Gesamtpotenzial der Massnahmen ziehen.

- | | |
|----|---|
| 01 | Einleitung |
| 02 | CO ₂ -Einsparpotenziale nach Energieträgern, Sektoren und Verwendungszwecken |
| 03 | Komponentenzerlegung - Ursachen für die CO ₂ -Reduktionen |
| 04 | Reduktion und Kosten der Massnahmen auf Ebene der Verbrauchssektoren |
| 05 | Fallbeispiele - betriebswirtschaftliche Kosten |
| 06 | Anhang |

Anhang

Grundzüge der Modellierung des technischen Fortschritts

Technische Ebene

■ Grundprinzipien

- Es werden nur Technologieentwicklungen angenommen und einbezogen die bereits bekannt und erprobt sind. (Prognos ist für eher konservative Technologieannahmen bekannt.)
- Grundsätzlich werden keine Technologiesprünge angenommen (wie z.B. Internet, Smartphones, Eisenbahn). Dennoch ist selbstverständlich zu erwarten, dass es - gerade angesichts der derzeit schnellen Diffusion neuer Technologien - solche geben wird. Diese können jedoch nicht prognostiziert werden, daher wäre ein Einbezug spekulativ und wenig hilfreich.

■ Abbildung

- Für einen Verwendungszweck sind immer unterschiedliche technische Lösungsmöglichkeiten mit unterschiedlichen spezifischen Energieverbräuchen auf dem Markt. Diese entwickeln sich im Lauf der Zeit weiter.
- Die Datenbanken bilden dieses Marktgeschehen ab (seit Jahrzehnten der Marktentwicklung nachgeführt) und enthalten Anlagenmix unterschiedlicher technischer Spezifikationen (z.B. deutlich zu sehen an der Entwicklung eines hohen Anteils von A-Klasse-Geräten in den letzten Jahren).

Technische Ebene

- konkrete Ergebnisse, Beispiele:
 - Veränderung des spezifischen Energieverbrauchs bei einer Energiedienstleistung (z.B. Wirkungsgradsteigerung von Heizungen)
 - Durchdringung von besseren Technologien im Produktmix, z.B. Wärmerückgewinnung bei Duschen
 - Produktstruktur verändert sich im Lauf der Zeit - z.B. mehr LED-Leuchtmittel im Leuchtmittelmix

Umsetzung im Mengengerüst

- Grundsätzlich wird eine neue Anlage erst dann eingesetzt, wenn die alte abgeschrieben ist. Die Investitionszyklen werden nicht verändert.
- Bei Gebäudesanierungen werden die Raten im Rahmen der allgemeinen Renovationszyklen gehalten. D.h. es werden „Pinselsanierungen“ zu energetischen Sanierungen gemacht.
- Lernkurven führen dazu, dass bei stärkerer Durchdringung neuer Technologien deren Preise sinken können (z.B. Photovoltaik, Hochleistungswärmedämmung, E-Fahrzeuge). Je nach dem Einsatz in den Szenarien verändern sich somit die mittleren Kosten.

Umsetzung in den Szenarien

- Je nach Szenariendefinition erfolgen Anlagenzubauten und Anlagenersatz in unterschiedlicher technischer/ energetischer Qualität, z.B. von Instrumenten, Energiepreisrelationen oder veränderten Investitionsprioritäten getrieben (Auswahlkriterien bei Datenbankzugriff).
- Konkret: Szenario WWB setzt die beobachteten Entwicklungen der letzten Jahre fort, wo möglich gestützt auf Evaluationen der aktuell eingesetzten Instrumente.
- Szenario POM setzt auf Szenario WWB auf und setzt entsprechend der Instrumentenvorgaben die jeweiligen Standards um.
 - Der Pool an eingesetzten Technologien ist im Szenario POM der gleiche wie bei WWB.
 - Die Hauptinstrumente sind Förderinstrumente mit definierter Wirkung (z.B. Gebäudeprogramm, mit Standardverschärfungen und Aufstockung gegenüber WWB) sowie Marktinstrument CO₂-Abgabe und Neubau- sowie Gerätevorschriften.
 - Es wird jeweils berechnet, wie viel Mengen (z.B. sanierte m²) auf gefordertem Standard mit Hilfe des (definiert ausgestatteten) Fördertopfes pro Jahr umgesetzt werden können. Für Mitnahmeeffekte wird ein pauschaler Abschlag von ca. 30 % angesetzt.
 - Bei Vorschriften werden die jeweils ersetzten oder neuen Geräte auf neuem Standard (mit Realisierungsabschlägen) umgesetzt.
 - Die Berechnung der Wirkung der CO₂-Abgabe wurde auf S. 199 beschrieben.

Umsetzung in den Szenarien

- Szenario NEP:
 - Einsatz der jeweils besten Querschnittstechnologie (im Rahmen der Investitionszyklen) mit Übergangsphase.
 - Besonders innovative Technologien mussten nicht „gezogen“ werden.
 - Stärkerer Fortschritt vor allem bei E-Mobilität und Hochleistungsdämmstoffen.

Neue Energiepolitik

Methodische Schritte:

- konsequente Umsetzung aktuell vorhandener Technologie bei Ersatz und Zubau (Referenz)
 - konsequente Umsetzung best-practice-Technologie
 - jeweils mit moderater Weiterentwicklung (state-of-the-art)
 - Beachtung physikalischer Grenzen
 - Einsatz innovativer Technologien und Werkstoffe, z.B. spezifische Oberflächen, IR-Laser, verschärfte Leichtbautechnologie, neue statische Lösungen (nur eingeschränkt gezogen)
-
- veränderte Produkt- und Produktionsformen, Organisationsformen
 - Veränderung Rahmenbedingungen (Suffizienz)

Notwendige Voraussetzungen:

- Internationale Harmonisierung von Zielen und energiepolitischen Instrumenten
- Beschleunigte Technologie-Umsetzung
- Die Energieforschung wird im globalen Wettbewerb verstärkt.
- Instrumente mit hoher Eingriffstiefe notwendig.



diese beiden Schritte müssen **nicht** gezogen werden (und wurden auch nicht gezogen)!



Almut Kirchner

Principal

prognos | Henric Petri-Str. 9 | CH-4010 Basel

Tel: +41 61 327 33 31

Fax: +41 61 327 33 00

E-Mail: almut.kirchner@prognos.com

Andreas Kemmler

Projektleiter

prognos | Henric Petri-Str. 9 | CH-4010 Basel

Tel: +41 61 327 33 97

Fax: +41 61 327 33 00

E-Mail: andreas.kemmler@prognos.com