



FLEX NET 4
E-MOBILITY



Methodische Ansätze zur CO₂-Bewertung von Elektromobilität und sonstigen Sektorenkopplungstechnologien

Robert Hinterberger, Johannes Hinrichsen, Stefanie Dedeyne
Graz, Februar 2020

Inhalte

- Sektorenkopplung – wofür?
- FlexNet4E-Mobility: Forschungsthema und Projektziele
- Problemstellung und methodischer Ansatz
- Bisherige Ergebnisse
- Nächste Schritte
- Exkurs: CO₂-Wirkung von Netzengpässen und Redispatch
- Zusammenfassung



Sektorenkopplung: Wofür?



FLEX NET 4
E-MOBILITY



 **DAI-Labor**
Distributed Artificial Intelligence Laboratory



 **Berlin**
Adlershof

new energy
CAPITAL INVEST

Sektorenkopplung - wofür?

Strom, Wärme, Verkehr

1. Erhöhung des Anteils von erneuerbaren Energien im Gesamtenergiesystem (d. h. Verwertung von “Überschussstrom“)
2. Reduktion von CO₂-Emissionen
3. Effizienzsteigerung des Energiesystems (Wirkungsgrade, Primärenergieverbrauch, Ressourceneffizienz, Wirtschaftlichkeit)

FlexNet4E-Mobility

- Zukunftsszenarien bezüglich Bedarfen nach unterschiedlichen Ladekonzepten in Berlin Adlershof (Normal- bis Ultraschnellladen/350 kW)
- Einfluss auf die unterschiedlichen Netzebenen und die Energievorkette (insb. Mittelspannung)
- Zielkonflikt der Vermeidung von Netzausbau auf Verteilnetzebene und maximaler EE-Verwertung (Netzengpassstrom)
- Zusammenwirken mit stationären Batteriespeichern
- Wirtschaftlichkeit und mögliche Geschäftsmodelle
- Impact Analysen (insb. CO₂-Wirkung von Betriebs-/Regelstrategien)

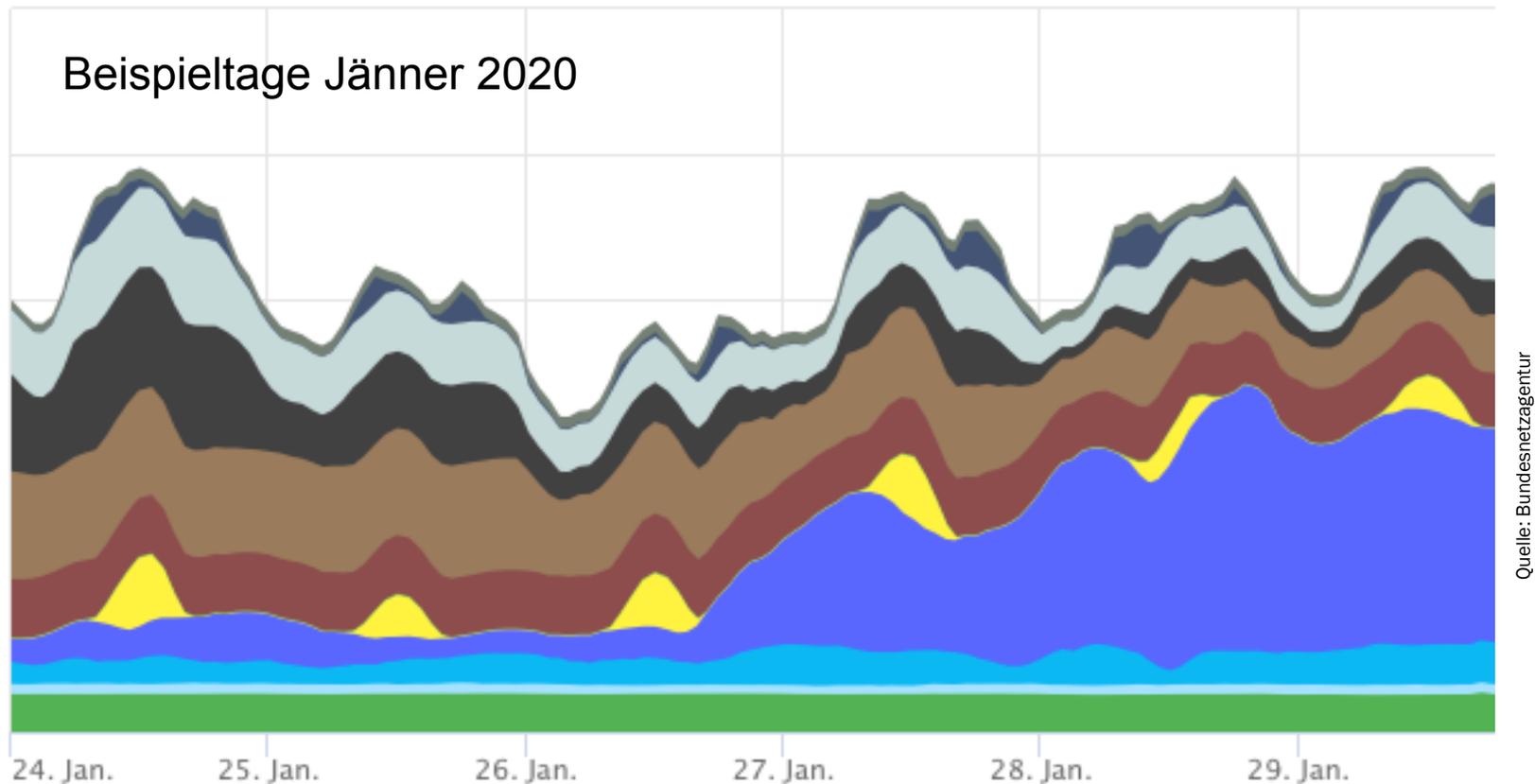


Unterschiedliche Betrachtungsweisen und Methoden bezüglich CO₂-Emissionen

- Nationaler oder europäischer Strommix (Jahresdurchschnitt)
- Ladestrom wird als erneuerbar angesehen (daher wird keine Bilanzierung vorgenommen)
 - Perspektivische Betrachtung
 - Lieferung Grünstrom, Zertifikate („green washing“)
 - CO₂-Zertifikate legen den CO₂-Reduktionspfad ohnehin fest
 - Zusätzliche, erneuerbare (dezentrale) Stromerzeugung
- Nationaler oder europäischer Strommix (stundenscharfe Betrachtung)
- Grenzbetrachtung der Stromerzeugung (stundenscharf)



Stromerzeugung in Deutschland, aufgelöst nach Erzeugungstypen



FLEX NET 4
E-MOBILITY



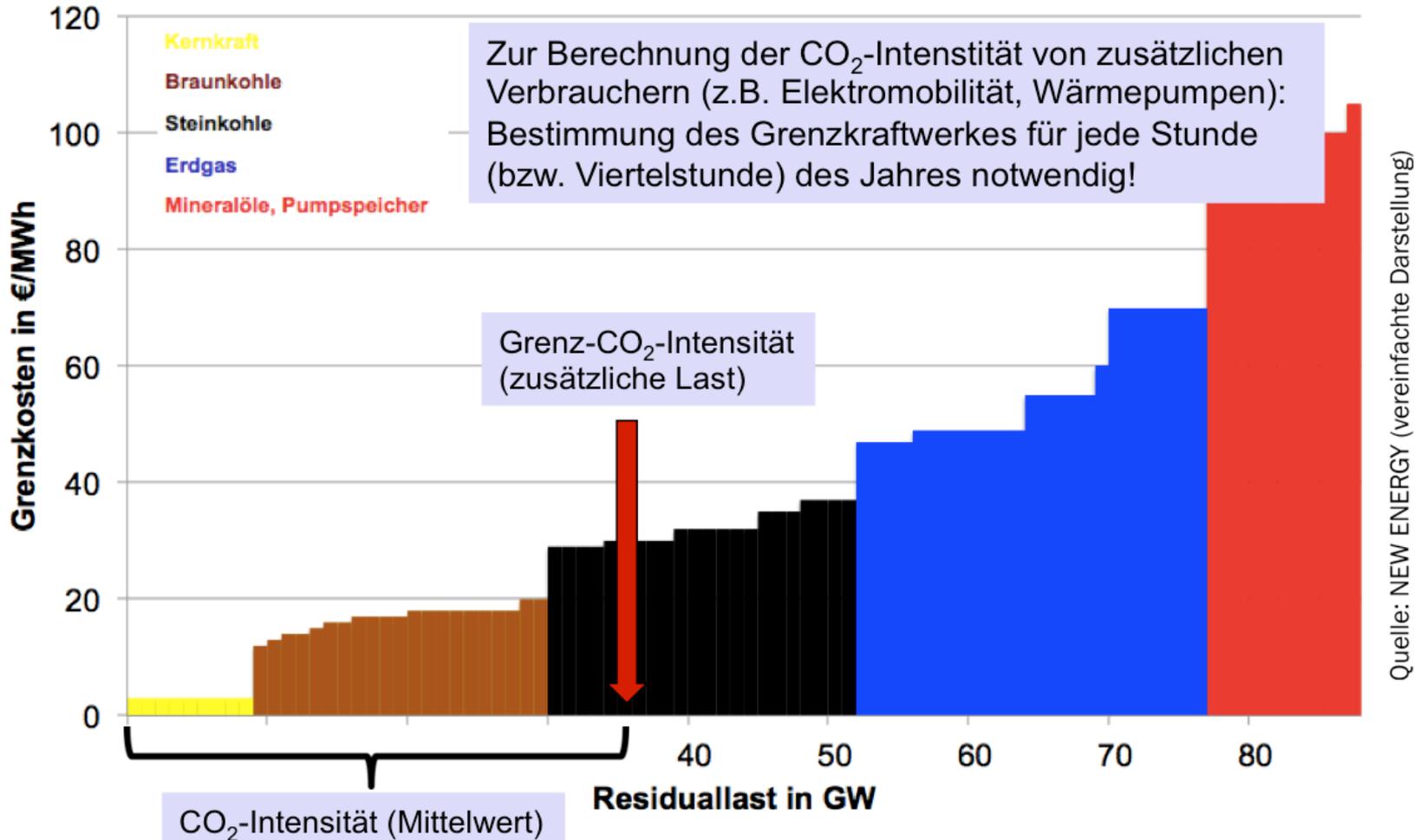
DAI-Labor
Distributed Artificial Intelligence Laboratory



Berlin
Adlershof

new energy
CAPITAL INVEST

Merit-Order des Kraftwerksparks



Methodischer Ansatz

- Erstellung eines (stark) vereinfachten Strommarkmodells
- Verwendung von EE-Einspeisung und Stromverbräuchen aus dem Referenzjahr 2017 → Ermittlung der stündlichen Residuallasten
- Kraftwerkspark entsprechend der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur, weitere Parameter (z. B. Emissionsfaktoren, Wirkungsgrade, etc.) entsprechend Umweltbundesamt und Fachliteratur
- Ermittlung von Zeitreihen für die CO₂-Emissionen (Grenzkraftwerksbetrachtung und Strommix) für das Referenzjahr
- Szenarienrechnung -„was wäre wenn“-Betrachtung, keine Prognose !
- Rein nationale Analyse (Deutschland), Import-/Exportsaldo als konstant angenommen



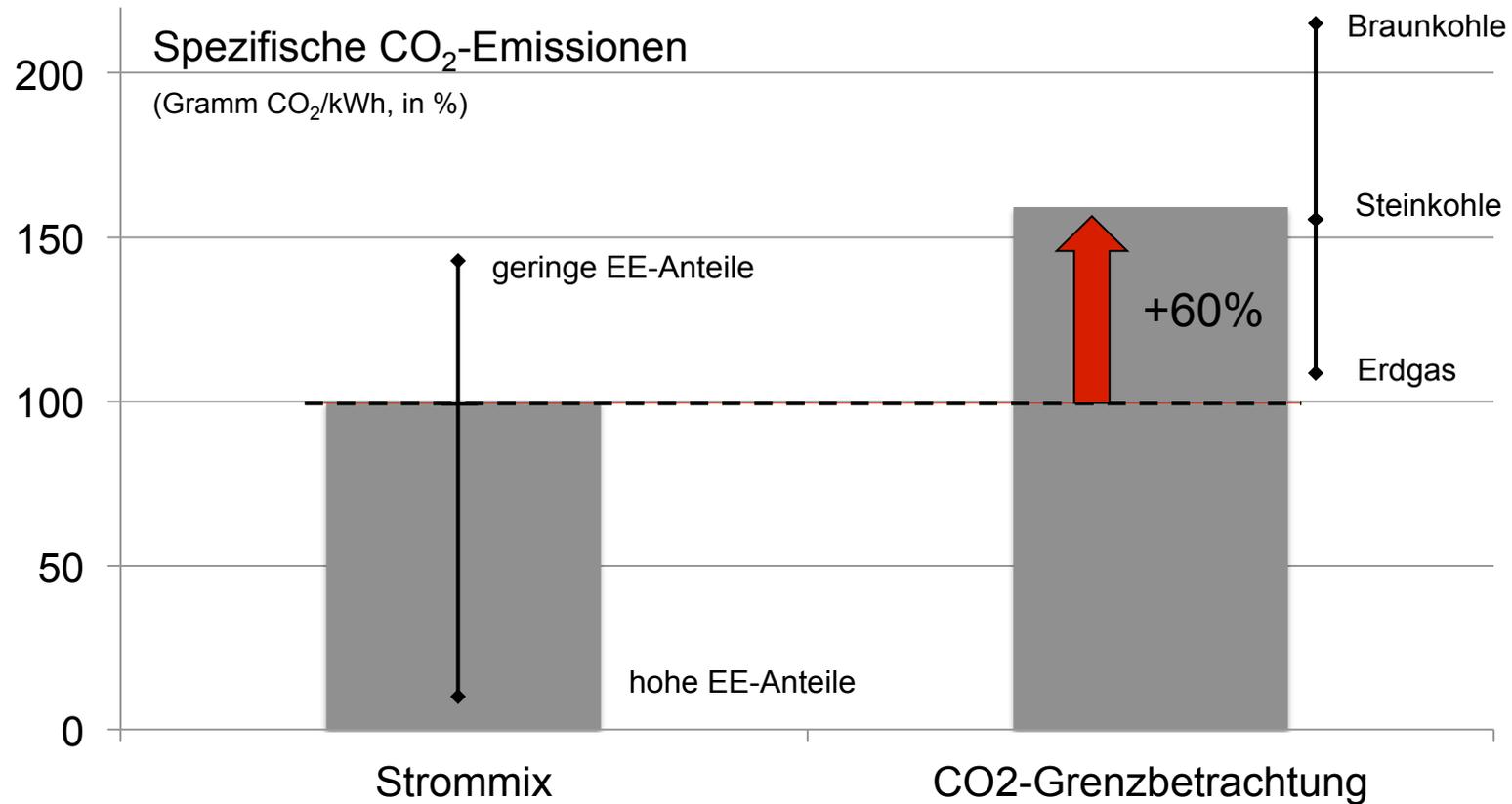
Methodische Herausforderungen

- Datenqualität
- Europäische Betrachtung - Stromexporte/-importe
 - Szenarien bzgl. zukünftigem Kraftwerkspark
 - Szenarien bzgl. Kuppelkapazitäten
- Berücksichtigung von must-run und Speicherkapazitäten
- Komplexität & Rechenleistung → Komplexitätsreduktion
- Grundlegende Wirkzusammenhänge sind jedoch bereits bei vereinfachten Modellen erkennbar



CO₂-Emissionen der Stromerzeugung in Deutschland – Ergebnisse des Methodenvergleichs

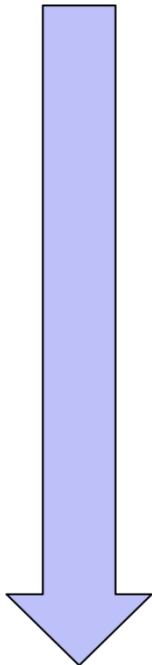
Referenzjahr 2017; Jahresdurchschnitt



Perspektivische Veränderungen im deutschen Kraftwerkspark

Rückbau

Ausbau



Quelle: Darkone/wikipedia/CC BY-SA 3.0
Quelle: Leon Liesener/wikipedia/CC BY-SA 3.0
Quelle: Slegmar.s/wikipedia/CC BY-SA 3.0

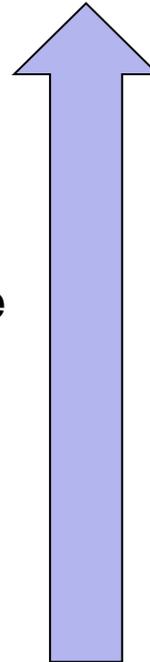


Status:

Kernkraft
9.516 MW
(2022)

Braunkohle
19.989 MW

Steinkohle
22.700 MW



Status:

Windkraft
45.460 MW (onshore)
4.132 MW (offshore)



PV
40.716 MW

Erdgas
24.241 MW

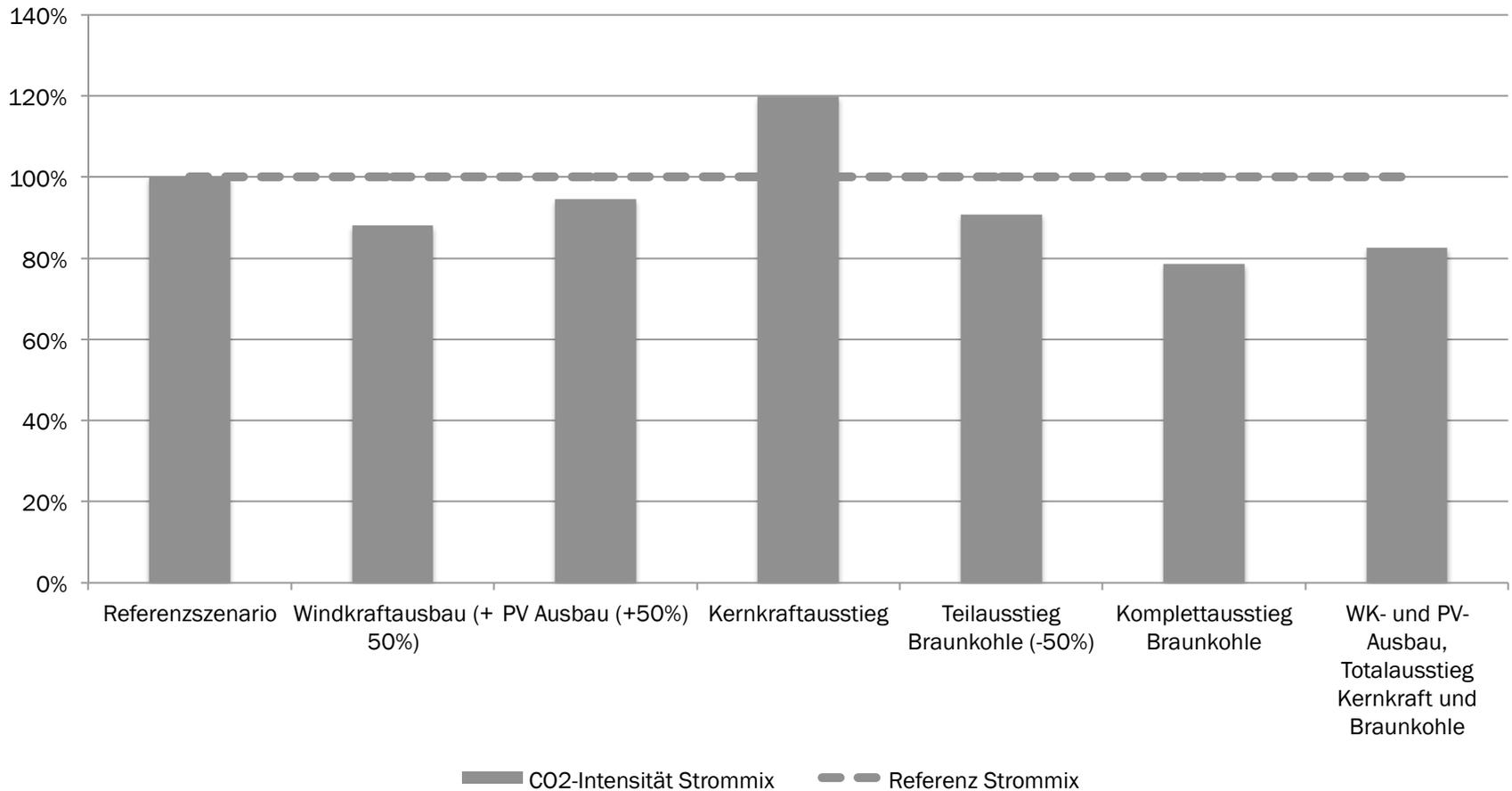
Quelle Zahlenwerte: Bundesnetzagentur
(Kraftwerkliste; Stand 2.2. 2018)



FLEX NET 4
E-MOBILITY

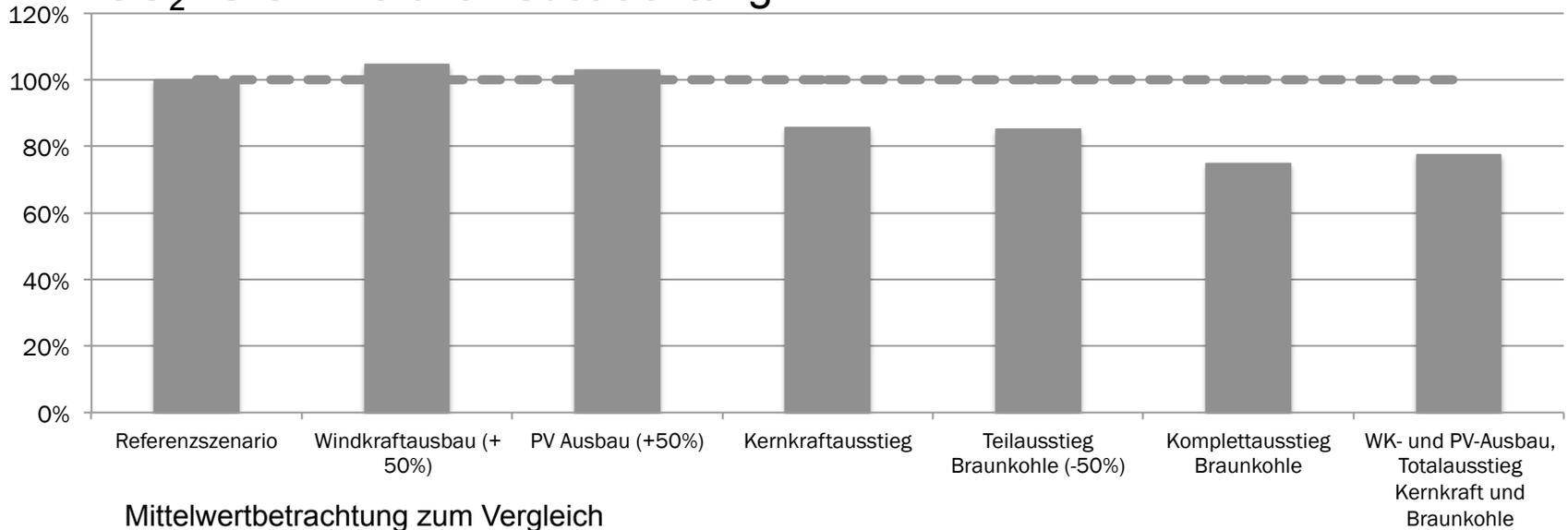


CO₂- Zukunftsszenarien (Strommix)

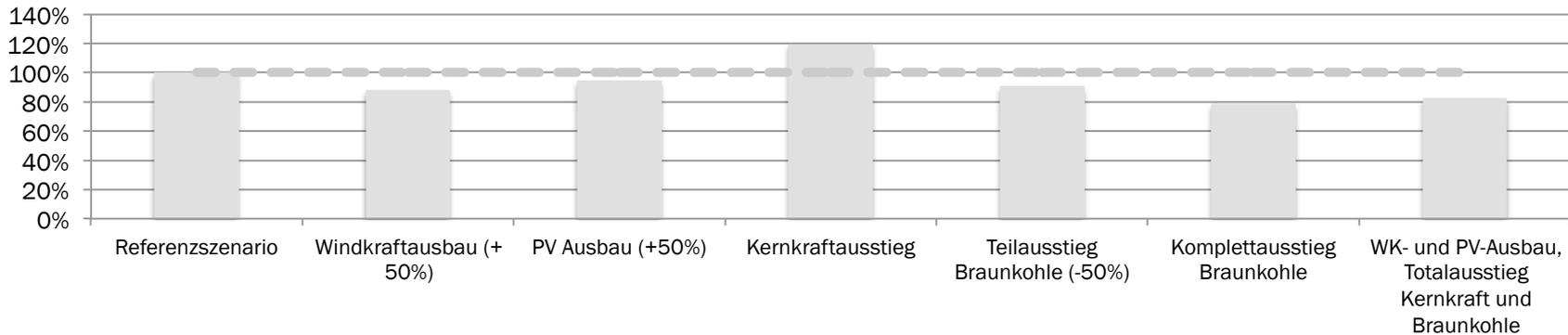


CO₂- Zukunftsszenarien (Grenzbetrachtung)

CO₂- Grenzkraftwerksbetrachtung



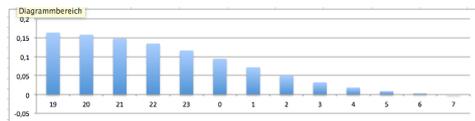
Mittelwertbetrachtung zum Vergleich



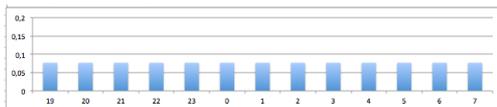
Ladekurven der unterschiedlichen Ladekonzepte und Betriebsstrategien

Langsam-Laden

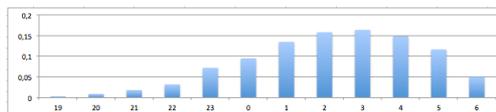
1: ungeregelt



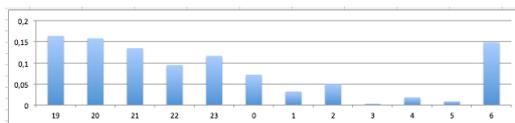
2: netzoptimiert



3: kostenoptimiert



4: CO₂- optimiert



Schnell-Laden

Kaufland Berlin Adlershof
Geöffnet 7:00 – 22:00 (Mo-Sa)



Mittwoch

Samstag



Sonntag

Sonntags geschlossen

Ultraschnell-Laden

Tankstelle Adlergestell 305, 12489 Berlin
Geöffnet 24h täglich



Mittwoch

Tankstelle Adlergestell 179, 12489 Berlin
Geöffnet 4:30 – 23:00 täglich



Montag



Sonntag

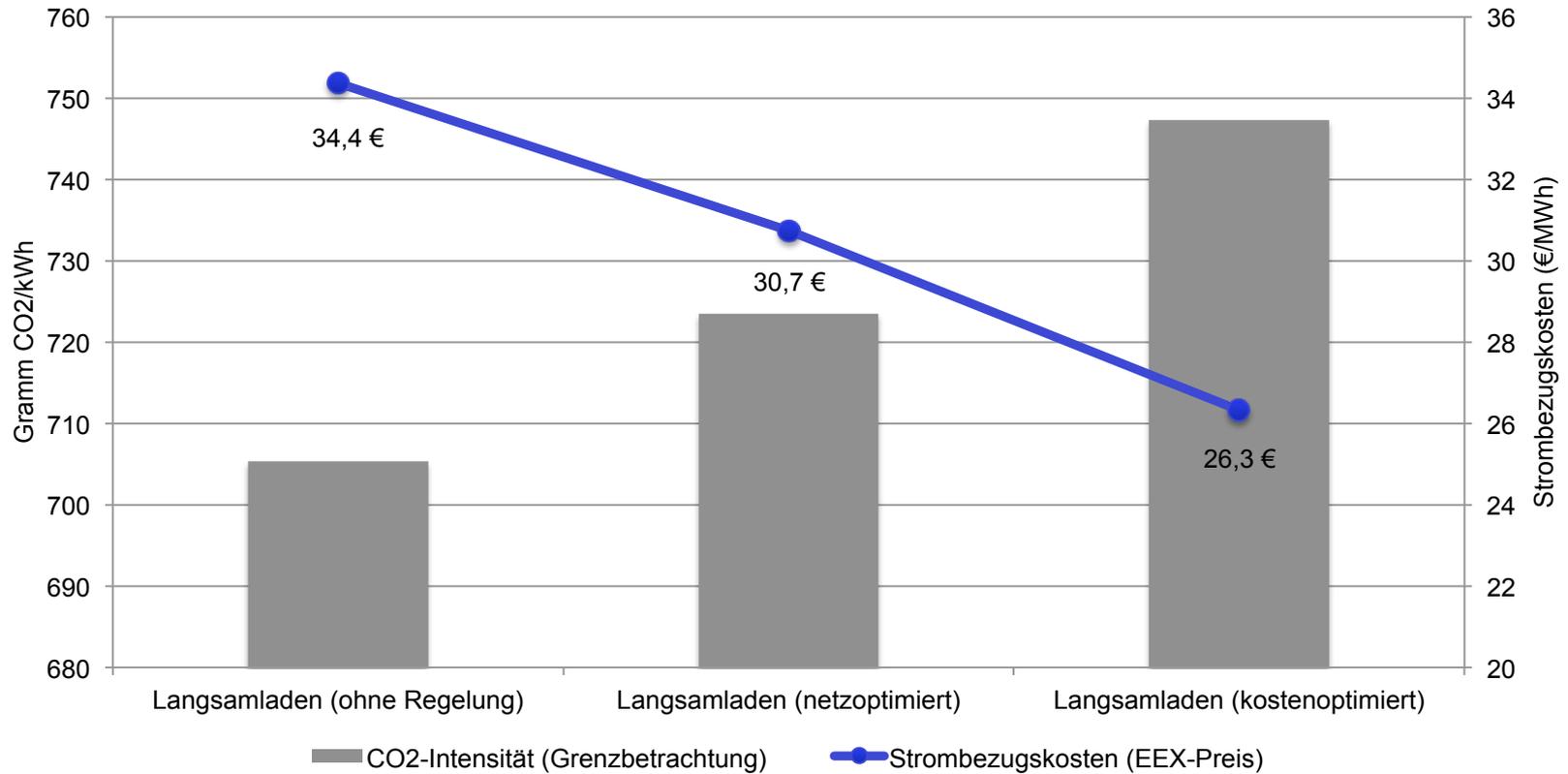
Quelle: google



FLEX NET 4
E-MOBILITY



Vergleich unterschiedlicher Ladestrategien → Zielkonflikte zwischen CO₂-Emissionen und Kosten



Bisherige Ergebnisse

- Für die Bewertung von Betriebs- und Regelstrategien sind stündlich aufgelöste CO₂-Emissionswerte unverzichtbar
- Grenzkraftwerksbetrachtung ergibt deutlich höhere CO₂-Emissionen als der stündlich aufgelöste Strommix
- Je nach gewählter CO₂-Berechnungsmethodik völlig unterschiedliche Optimierungsergebnisse – in welchen Stunden soll tatsächlich geladen bzw. Strom verbraucht werden?
- Weiterer Ausbau von EE-Anlagen verschlimmert diesen Zielkonflikt
- Grenzkraftwerksbetrachtung ist bei der Bewertung von zusätzlichen Stromverbrauchern, bei Stromeinsparmaßnahmen wie bei Lastverschiebemaßnahmen die sachgerechtere Bewertungsmethode



Nächste Schritte

- Detaillierte Bewertung unterschiedlicher Ladestrategien
- Methodische Weiterentwicklung des Fundamentalmodells (insb. des Einflusses von Importen/Exporten)
- Weiterentwicklung konzeptioneller Grundlagen, insbesondere im Quartierskontext (Speicher, dynamische Primärenergiefaktoren, etc.)
- Entwicklung von vereinfachten Berechnungsmethoden
- Pilothafte Anwendung auf Quartierskonzepte
- Analyse der Wechselwirkungen mit dem Emissionsrechtehandel
- Exkurs: Analyse von Redispatchmaßnahmen

Steigen oder sinken die CO₂-Emissionen durch den Ausbau der Stromnetze?



FLEX NET 4
E-MOBILITY



DAI-Labor
Distributed Artificial Intelligence Laboratory



Berlin
Adlershof

new energy
CAPITAL INVEST

Analyse ausgewählter Redispatchmaßnahmen in Deutschland

Am Beispiel der Netzengpässe an den Kuppelstellen zwischen 50Hertz Transmission und TenneT in 2017

- Redispatchmaßnahmen werden grundsätzlich kraftwerks- und viertelstundenscharf veröffentlicht (<https://www.netztransparenz.de>)
- Allerdings: Hochfahren von Kraftwerken im Ausland wird nicht veröffentlicht („Datenschutz“), direkte Zuordnung kaum möglich
- Leistungsreduktionen von rd. 1,9 TWh (2017), vorwiegend von Braunkohlekraftwerke (Ausnahmen u. a. Kiel, Rostock)
- Größter Teil der inländischen Leistungserhöhungen (> 70%) betrifft Steinkohlekraftwerke (ansonsten: Erdgas, Pumpspeicher)



FLEX NET 4
E-MOBILITY



DAI-Labor
Distributed Artificial Intelligence Laboratory



Berlin
Adlershof

new energy
CAPITAL INVEST

Beispielrechnung: Netzengpass 100 MW, netztechnische Wirksamkeit von 0,25

Brennstoff- und CO₂-Preise aus Szenarionanalysen der Übertragungsnetzbetreiber (2017)

400 MW Braunkohle 



Quelle: Leon Liesener/wikipedia/CC BY-3.0

400 MW Steinkohle 



Quelle: Darkone/wikipedia/CC BY- 2.5

Beispielhafte Kraftwerkskombination:

| Eingangsparameter | Braunkohle | Steinkohle |
|---|-----------------------------|-----------------------------|
| Brennstoffkosten | 3,1 €/MWh | 7,9 €/MWh |
| Wirkungsgrad | 0,35 | 0,38 |
| Spezifische CO ₂ -Emissionen | 407 kg CO ₂ /MWh | 337 kg CO ₂ /MWh |
| Grenzkosten Stromerzeugung | 26,4 €/MWh | 34,8 €/MWh |

| | Braunkohle | Steinkohle | Saldo |
|--|--------------|--------------|-------------|
| Zusatzkosten | - 10.559 €/h | + 13.924 €/h | + 3.365 €/h |
| CO ₂ -Saldo | - 465 t/h | + 355 t/h | - 110 t/h |
| Spezifische CO ₂ -Vermeidungskosten | | | 30,5 €/t |



FLEX NET 4
E-MOBILITY



Kosten und CO₂-Wirkung von Redispatch und Einspeisemanagement-Maßnahmen

- Entscheidender Kostenfaktor bezüglich von Maßnahmen nach § 13 (1) und (2) EnWG sind die netztechnischen Wirksamkeiten der jeweiligen Anlagenstandorte
- Redispatch von Braunkohlekraftwerken entspricht bzgl. von CO₂- und Kostenwirkung weitgehend einem vorgezogenen Braunkohleausstieg (jeweils in Zeiten von Netzengpässen). Im Unterschied zum eigentlichen Kohleausstieg steigen jedoch nicht die Energiepreise, sondern die Netzgebühren.
- Je ineffizienter die Redispatch-Maßnahmen aus Netzsicht, desto höher sind die erzielten CO₂-Reduktionen
- Engpassmanagement-Maßnahmen (Abregelung von EE-Anlagen) haben hingegen immer ungünstige CO₂-Auswirkungen



Redispatch

=

vorgezogener
Braunkohleausstieg



FLEX NET 4
E-MOBILITY



DAI-Labor
Distributed Artificial Intelligence Laboratory



Berlin
Adlershof

new energy
CAPITAL INVEST

Zusammenfassung

- Für die Bewertung von Betriebs- und Regelstrategien sind stündlich aufgelöste CO₂-Emissionswerte unverzichtbar
- Elektromobilität und weitere Sektorenkopplungstechnologien sind in einer Grenzkraftwerksbetrachtung mit deutlich höheren CO₂-Emissionen verbunden als in einer Durchschnittsbetrachtung
- Je nach gewählter CO₂-Berechnungsmethodik völlig unterschiedliche Optimierungsergebnisse
- Verzögerungen beim Netzausbau und sich daraus ergebende Redispatchmaßnahmen scheinen insg. eine positive CO₂-Wirkung zu haben
- Aufgrund des Merit-Order Prinzips und der Kraftwerksstandorte in D kann Redispatch als kosteneffiziente CO₂-Reduktionsmaßnahme angesehen werden



Danke für die Aufmerksamkeit

Robert Hinterberger

NEW ENERGY Capital Invest GmbH

Tel: +43 1 33 23 560 3060

Email: Robert.Hinterberger@energyinvest.at

Internet: <http://www.energyinvest.at>

Projektinformationen: <http://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/flexnet4e-mobility>

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Die ggst. Arbeiten wurden im Rahmen des Forschungsprojektes „FlexNET4E-Mobility“ durchgeführt, welches durch das Programm „Erneuerbar mobil“ des deutschen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gefördert wird.



FLEX NET 4
E-MOBILITY

