

Evolution und Vergleich der CO₂-Bewertungsmethoden von Wärmepumpen



Jochen CONRAD, Simon GREIF, Anika REGETT, Britta KLEINERTZ
 Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. | Am Blütenanger 71, 80995 München | +49 89 158121-54 | jconrad@ffe.de

Motivation

Um die Relevanz von Power-to-Heat-Technologien zur Dekarbonisierung des Energiesystems zu bewerten, ist ein Vergleich der mit den Wärmebereitstellungstechnologien verbundenen Treibhausgas (THG)-Emissionen notwendig. Analog zur Allokation des Brennstoffeinsatzes von Kraft-Wärme-Kopplungs (KWK)-Anlagen auf die Produkte Strom und Wärme, gibt es eine Vielzahl von Methoden zur Bestimmung der durch Power-to-X-Technologien verursachten Emissionen. Im Folgenden werden vier Evolutionsstufen der Methoden vorgestellt und anhand des Beispiels der Wärmepumpe miteinander verglichen. Die Ergebnisse sind Teil des Projekts Dynamis - Dynamische und intersektorale Maßnahmenbewertung zur kosteneffizienten Dekarbonisierung des Energiesystems (FKZ: 03ET4037A).

Gefördert durch:

 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
 aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Ergebnisse

1. Jahresmittelwert-Methode

„Jedem Verbraucher werden unabhängig von dem zeitlichen Verlauf des Verbrauchs rückwirkend die gleichen Emissionen für den Strombezug zugerechnet.“

$$\text{Emissionen WP}_t = W_{el,t} \times EF_{\text{Strommix},t}$$

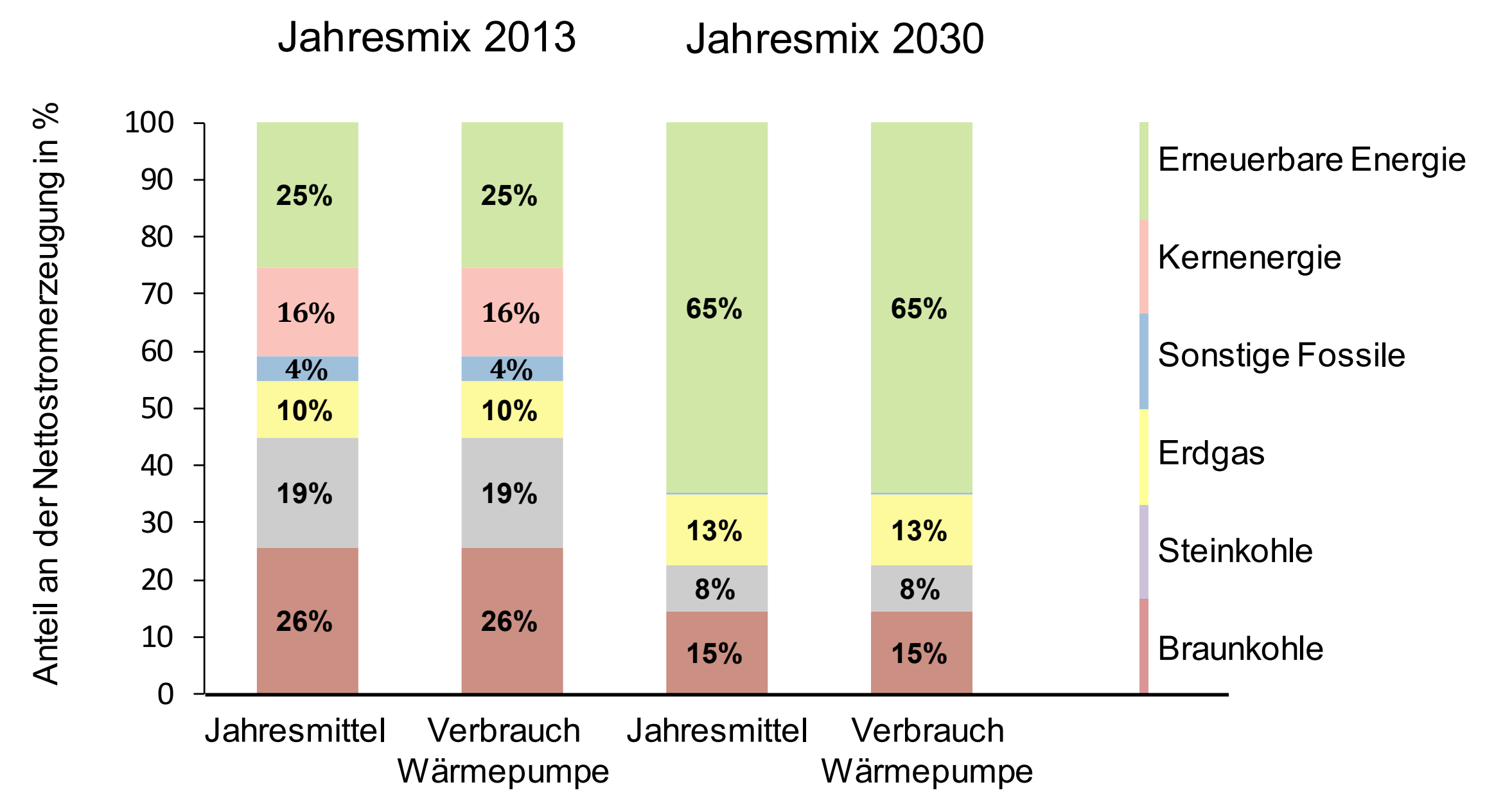
$E_{WP,t}$: Emissionen der Wärmepumpe im Jahr t
 $W_{el,t}$: Stromverbrauch der Wärmepumpe im Jahr t
 $EF_{\text{Strommix},t}$: Emissionsfaktor des Strommixes im Jahr t (Brennstoffbedarf des Kraftwerksparcs x spez. Emissionsfaktoren der Brennstoffe)

Vorteile

- Etablierte Methode
- Anwendbarkeit auf andere Verbraucher
- Geringe Komplexität
- Datenverfügbarkeit

Nachteile

- Keine Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs
- Vernachlässigung von Systemrückwirkungen



2. Stundenmittelwert-Methode

„Jedem Verbraucher werden in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs rückwirkend die Emissionen für den Strombezug zugerechnet.“

$$\text{Emissionen WP}_t = \sum_{n=1}^{8760} W_{el,n} \times EF_{\text{Strommix},n}$$

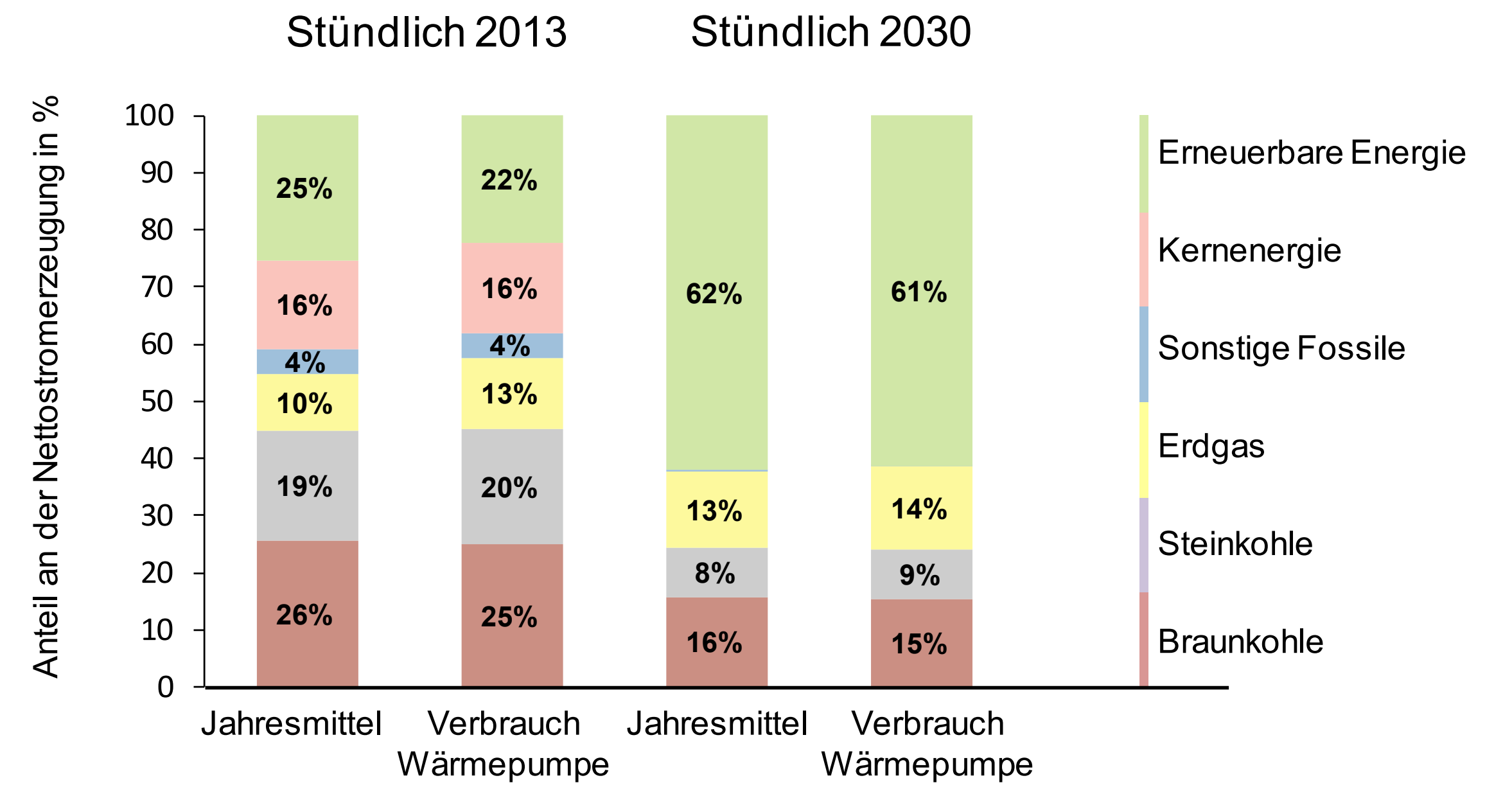
$W_{el,n}$: Strombezug der Anlage in der Stunde n des Jahres t
 $EF_{\text{Strommix},n}$: Emissionsfaktor des Strommixes in der Stunde n des Jahres t

Vorteile

- Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs

Nachteile

- Datenverfügbarkeit (stündliche Auflösung)
- Vernachlässigung von Systemrückwirkungen



3. Grenzkraftwerk-Methode

„Jedem Verbraucher werden in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs die durch die Erhöhung des Strombedarfs um eine marginale Einheit zusätzlich entstehenden Emissionen für den Strombezug zugerechnet.“

$$\text{Emissionen WP}_t = \sum_{n=1}^{8760} W_{el,n} \times EF_{\text{Grenzkraftwerke}}$$

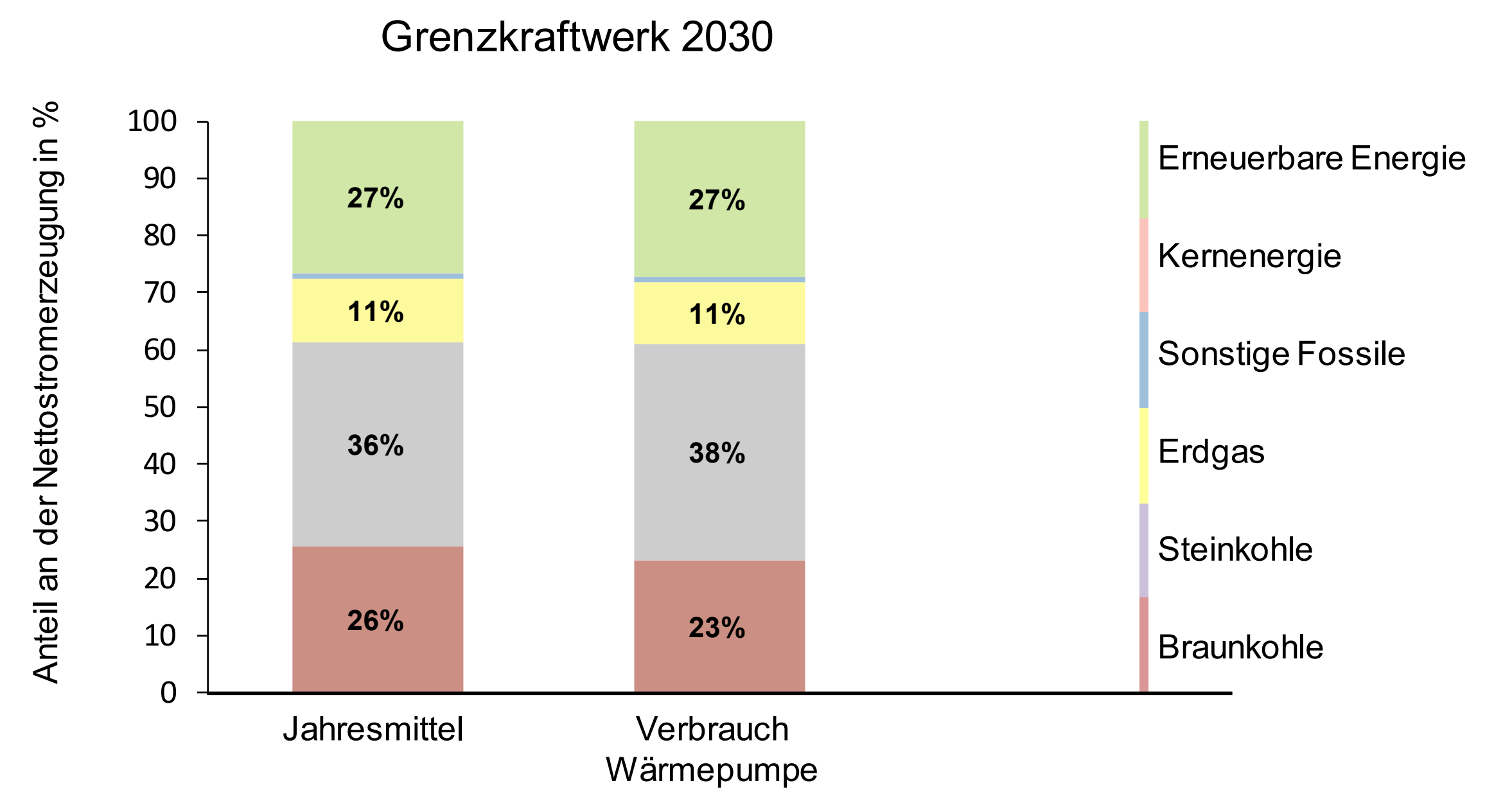
$W_{el,n}$: Strombezug der Anlage in der Stunde n des Jahres t
 $EF_{\text{Grenzkraftwerke}}$: Emissionsfaktor des Grenzkraftwerks in der Stunde n des Jahres t (Grenzkraftwerk kann mittels Strompreis anhand der Merit-Order der Kraftwerke bestimmt werden)

Vorteile

- Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs
- Berücksichtigung des Merit-Order-Effekts

Nachteile

- Datenverfügbarkeit (Strompreiszeitreihen, Grenzkosten & Emissionen der Kraftwerke)
- Anwendbar nur für eine geringfügige Lasterhöhung



4. Szenarienbasierte Simulationen

„Jedem Verbraucher werden in Abhängigkeit des zeitlichen Verlaufs des Verbrauchs die durch die absolute Erhöhung des Strombedarfs zusätzlich entstehenden Emissionen für den Strombezug zugerechnet.“

$$E_{WP, \text{zusätzlich},t} = E_{WP, \text{Szenario},t} - E_{\text{Referenzszenario},t}$$

$E_{WP, \text{zusätzlich},t}$: Emissionen der zusätzlichen Wärmepumpen im Jahr t
 $E_{WP, \text{Szenario},t}$: Mittels simuliertem Kraftwerkseinsatz (Energiesystemmodell) ermittelte Gesamtemissionen der Stromerzeugung im Jahr t für ein Szenario mit verstärktem Wärmepumpen-Ausbau
 $E_{\text{Referenzszenario},t}$: Mittels simuliertem Kraftwerkseinsatz (Energiesystemmodell) ermittelte Gesamtemissionen der Stromerzeugung im Jahr t für ein Szenario mit moderatem Wärmepumpen-Ausbau

Vorteile

- Berücksichtigung des zeitlichen Verlaufs
- Berücksichtigung des Merit-Order-Effekts
- Anwendbar für deutliche Lasterhöhungen

Nachteile

- Datenverfügbarkeit (Beschreibung des Energiesystems)
- Unsicherheit bezüglich zukünftiger Entwicklungen
- Beeinflussbarkeit durch Szenarienwahl
- Komplexität des Modells

Fazit

Analog zu den KWK-Allokationsmethoden existiert auch bei der Allokation der Emissionen von Power-to-X-Technologien keine universelle und zu favorisierende Methode. Die Wahl der Methode sollte entsprechend der Art der Fragestellung erfolgen.

Technologiebewertung

Aufteilung der Gesamtemissionen auf einzelne Verbraucher (Methode 1 & 2)

Energiesystembewertung

Bewertung der durch die zusätzlichen Verbraucher entstehenden Veränderungen (Methode 3 & 4)

Zur Bewertung von CO₂-Verminderungsmaßnahmen unter Berücksichtigung ihrer Auswirkungen auf das Energiesystem stellen szenarienbasierte Simulationen die geeignete Methode in Dynamis dar.

Vergleich Emissionsfaktoren für den Strombezug von Wärmepumpen

