



# Modellierung flexibler Kälteversorgung in nationalen Energiesystemmodellen

Franziska Flachsbarth, Dr. Matthias Koch | Freiburg, den 26.08.2021

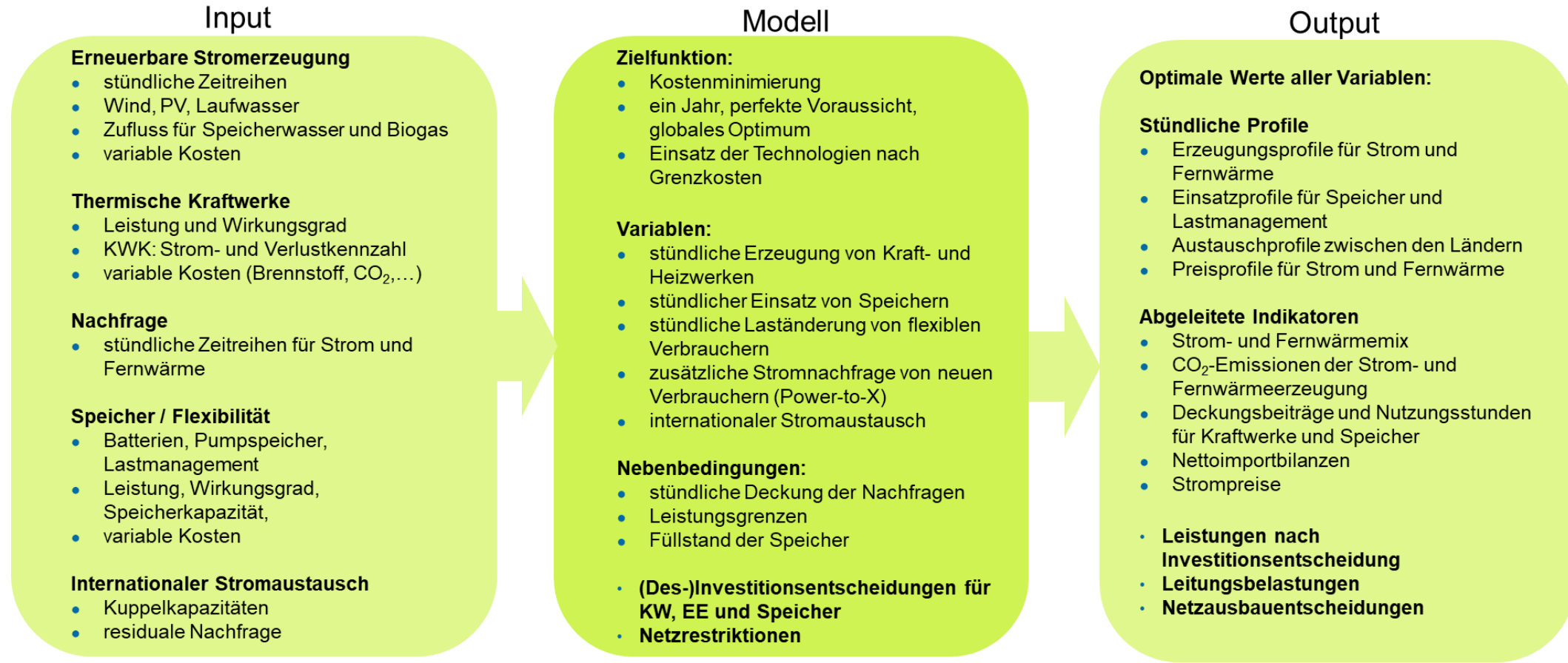
# Übersicht

- Das Strommarktmodell PowerFlex
- Modellierung von Flexibilität im Stromsystem
- Lastmanagementpotential von elektrischen Kälteanwendungen: Datengrundlagen
- Effekte von Flexibilität im Stromsystem

# Das Strommarktmodell PowerFlex

- Fundamentalmodell für den europäischen Stromsektor
- Kostenminimierung über 8760 h (ein Jahr) mit perfekter Voraussicht:
  - Deckung der stündlichen Strom- und Fernwärmenachfrage zu minimalen variablen Stromerzeugungskosten durch den Einsatz von
    - EE-Anlagen
    - Speicher
    - flexible Stromverbraucher
    - konventionelle Kraft- und Heizwerke
- Jedes Land ist über Kuppelleitungen mit den Nachbarländern verbunden
- Der Fokus ist auf die Abbildung von DE gelegt:
  - Detailliertere Eingangsdaten: blockscharfer KW-Park, regionale EE-Einspeisepprofile, Abbildung von Wärmenetzen, Übertragungsnetz

# Das Strommarktmodell PowerFlex



# Modellierung von Flexibilität im Stromsystem

## Batterien & Pumpspeicherkraftwerke:

Für jeden Zeitschritt gilt:



## Speicher-Balance:

$$\begin{aligned}
 & \text{Speicherfüllstand}(s, t) \\
 &= \text{Speicherfüllstand}(s, t - 1) * \eta_{v,t} + \text{Speicherbeladung}(s, t) * \eta_{in} \\
 &- \text{Speicherentladung}(s, t) / \eta_{out}
 \end{aligned}$$

## Restriktionen:

$$\begin{aligned}
 & \text{Speicherbeladung}(s, t) \leq \text{max. Beladeleistung}(s) \\
 & \text{Speicherentladung}(s, t) \leq \text{max. Entladeleistung}(s) \\
 & \text{Speicherfüllstand}(s, t) \leq \text{max. Speicherkapazität}(s)
 \end{aligned}$$

# Modellierung von Flexibilität im Stromsystem

## Lastmanagement:

Für jeden Zeitschritt gilt:



## Speicher-Balance:

$$\begin{aligned}
 & \text{Speicherfüllstand}(s, t) \\
 &= \text{Speicherfüllstand}(s, t - 1) * \eta_{v,t} + \text{Flexibler Stromverbrauch}(s, t) \\
 &- \text{ungesteuertes Stromverbrauchsprofil}(s, t)
 \end{aligned}$$

## Restriktionen:

$$\begin{aligned}
 & \text{Flexibler Stromverbrauch}(s, t) \leq \text{max. FlexPotential}(s, t) \\
 & \text{Flexibler Stromverbrauch}(s, t) \geq \text{minimale Nachfrage Flex}(s, t) \\
 & \text{Speicherfüllstand}(s, t) \leq \text{max. Verschiebedauern}(s, t)
 \end{aligned}$$

## Modellierungseffekt:

- Die verlagerte Last kann nur vorverlagert, nicht verzögert werden!

# Lastmanagementpotential von elektrischen Kälteanwendungen

- Wesentliche Lastmanagement-Positionen in PowerFlex:

Sektor	Kälteanwendung mit Lastmanagement-Potential	weitere Anwendungen mit Lastmanagement-Potential
Industrie	Gebäudeklimatisierung	Chlor-, Zement-, Papierindustrie
GHD	Gebäudeklimatisierung, Nahrungsmittelherstellung, Lebensmittel-EH, Kühlhäuser	Wasserwerke, Kläranlagen, Gewächshäuser
Haushalte	Gebäudeklimatisierung, allg. Geräte	Boiler, Wärmepumpen, (Elektromobilität)
share (%)	<b>30% - 45%</b>	<b>55% - 70%</b>

- absolutes Flexibilisierungspotential von Kälteanwendungen: „kontinuierlich zunehmend“
  - relatives Flexibilisierungspotential von Kälteanwendungen: in 2050 geringer als in 2030
  - Projektspezifisch: Aggregation zu „DSM“ // Modellierung der Einzelpositionen
- ➔ Mit zunehmender Bedeutung sollte über einen höheren Detailgrad bei der Datenerhebung und der modeltechnischen Abbildung nachgedacht werden!

# Lastmanagementpotential von elektrischen Kälteanwendungen: Datengrundlagen

- 11/2016: Projekt „Flex-Optionen“:
  - Grein et al., 2009: Modellstadt Mannheim. Nutzung von thermischen Speichern als Energiespeicher (AS1.06). Entwurf, Version 1.0 (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Hrsg.), Mannheim.
  - VDKL Verband Deutscher Kühllhäuser und Kühllogistikunternehmen e. V. (2009). Erhebung über die Höhe und die Strukturen der gesamten Kühl- und Tiefkühlagerkapazitäten in Deutschland.
  - König, H. et al. (Hrsg.) (2012). Effiziente Kältetechnik und solare Kühlung.
- 06/2017: Projekt „Heat Cold“:
  - Verbesserung der Datengrundlage für Klimatisierungsbedarfe privater Haushalte auf der Basis einer empirischen Erhebung
  - Herleitung der zukünftigen Strombedarfe; das Flexibilisierungspotential wird als gering eingeschätzt



# Lastmanagementpotential von elektrischen Kälteanwendungen: Datengrundlagen

## Exemplarisches Beispiel für Szenariojahr 2025:

	flexibilisierte Nachfrage (TWh)	max. Verschiebedauer (h)	Verlagerungsverluste (%/h)	Beladeleistung (GW)	Profil	variable Kosten (€/MWh)
Lastmanagement Haushalte (manuell)	1	24	0	0,4	Standardlastprofil für Haushalte	50
Klimatisierung GHD	1,5	0,5	0,5	3,2	Typisches saisonales (Mai - Oktober),	5
Kühlhäuser (GHD)	0,3	24	0,5	0,1	Bandlast	5
Lebensmittel-EH (GHD)	2,1	0,5	0,5	0,5	Bandlast	5
Nahrungsmittelherstellung (GHD)	6,2	1	0,5	1,5	Bandlast	5
Klimatisierung Industrie	1,6	0,5	0,5	1,1	Außentemperatur, 24h-Betrieb	150

# Lastmanagementpotential von elektrischen Kälteanwendungen: Datengrundlagen

## Exemplarisches Beispiel für Szenariojahr 2025:

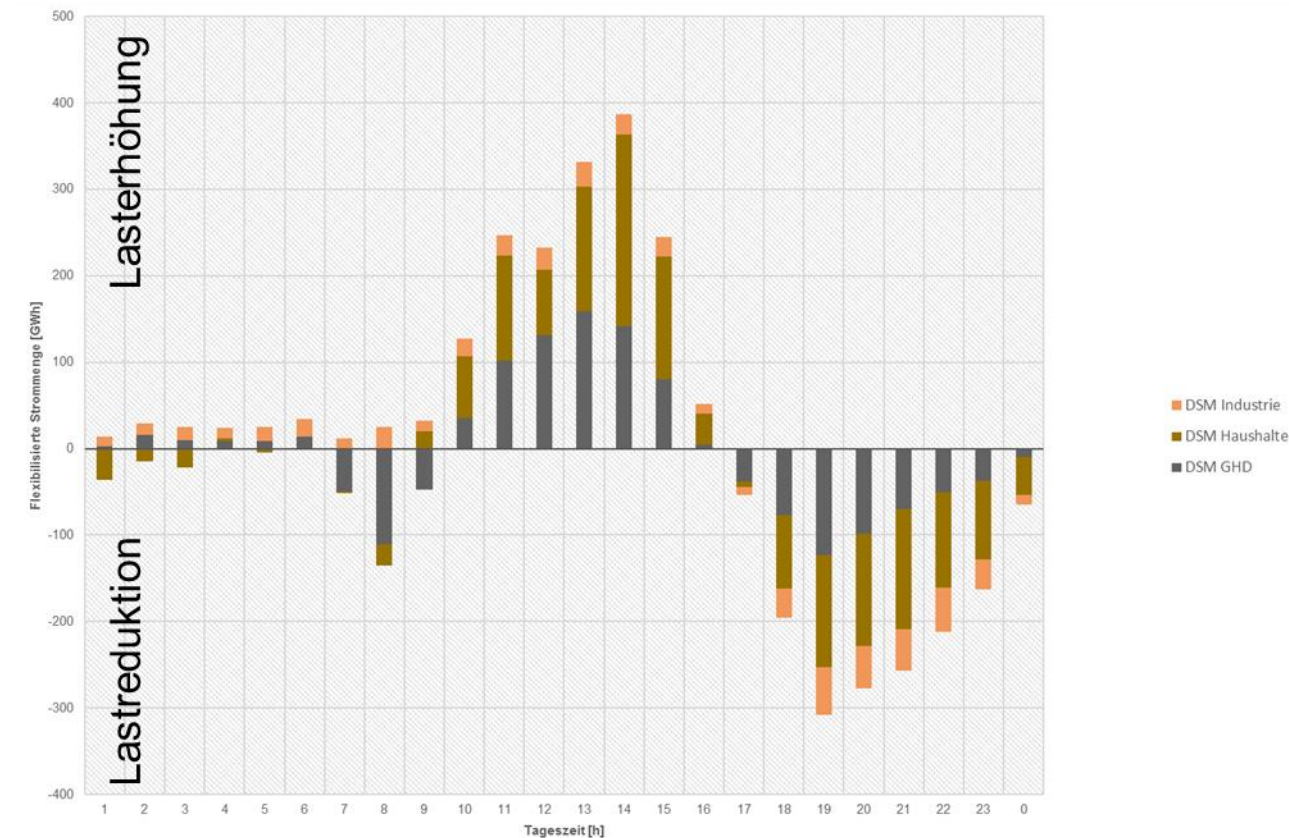
	flexibilisierte Nachfrage (TWh)	max. Verschiebedauer (h)	Verlagerungsverluste (%/h)	Beladeleistung (GW)	Profil	variable Kosten (€/MWh)
Lastmanagement Haushalte (manuell)	1	24	0	0,4	Standardlastprofil für Haushalte	50
Klimatisierung GHD	1,5	0,5	0,5	3,2	Typisches saisonales (Mai - Oktober),	5
Kühlhäuser (GHD)	0,3	24	0,5	0,1	Bandlast	5
Lebensmittel-EH (GHD)	2,1	0,5	0,5	0,5	Bandlast	5
Nahrungsmittelherstellung (GHD)	6,2	1	0,5	1,5	Bandlast	5
Klimatisierung Industrie	1,6	0,5	0,5	1,1	Außentemperatur, 24h-Betrieb	150

Klimatisierung von Büro/Verwaltung, Handel/Gewerbe, Hotel, Gast- und Sportstätten wird aggregiert betrachtet  
→ gleiches Profil!

# Effekte von Flexibilität im Stromsystem am Beispiel von enera

Der Einsatz von Flexibilitäten im Stromsystem führt dazu, dass...

- ... erneuerbare Energien erhöht in den Markt integriert werden können:
  - Die Nachfragekurve passt sich an das EE-Einspeiseprofil an.



# Effekte von Flexibilität im Stromsystem

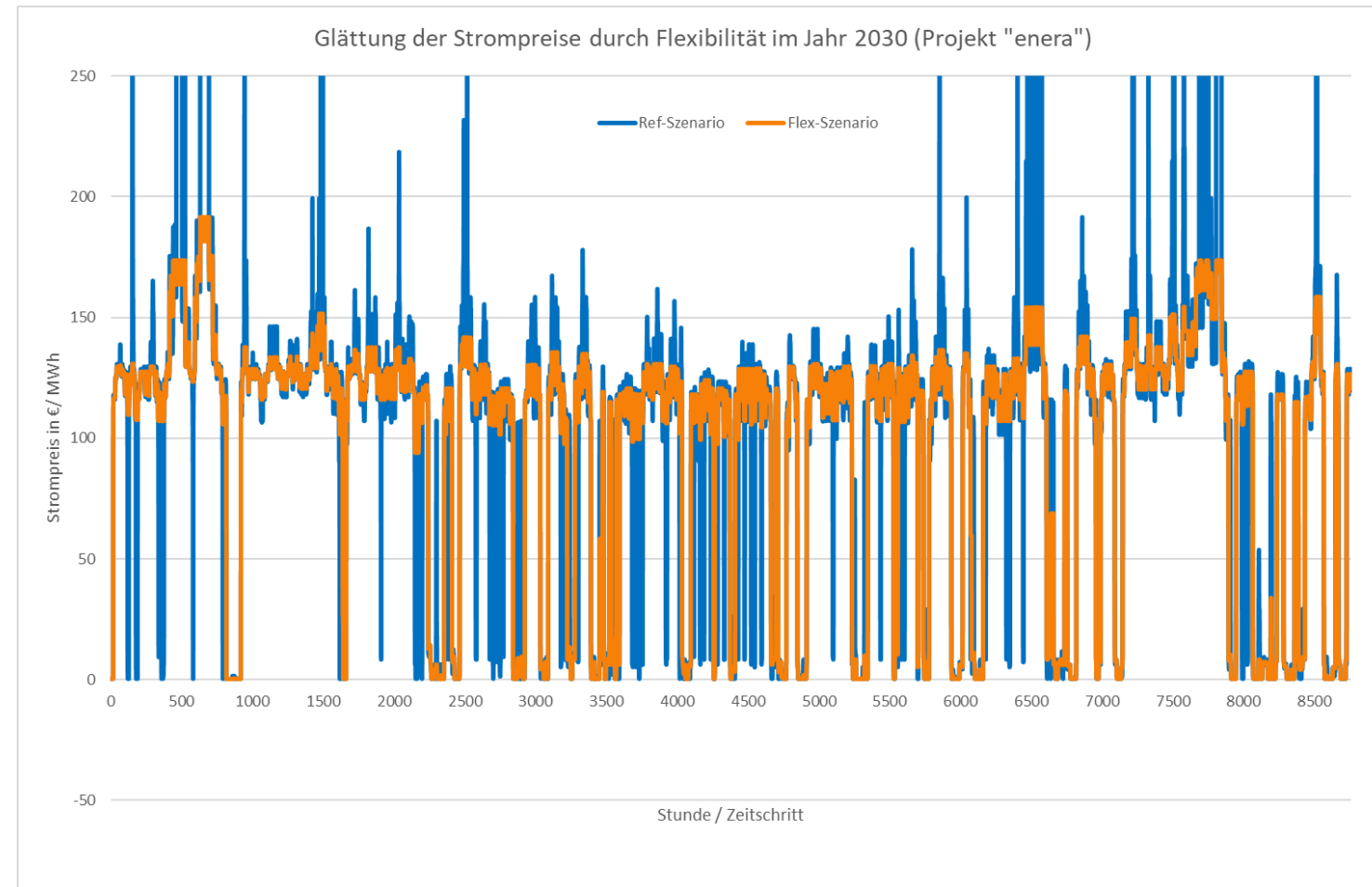
Der Einsatz von Flexibilitäten im Stromsystem führt dazu, dass...

- ... teurere Stromerzeugungstechnologien zugunsten von günstigeren weniger ausgelastet werden
- ... der Zielfunktionswert (Summe der variablen Stromerzeugungskosten) entsprechend sinkt
- ... der Bedarf an Kapazität sinkt

# Effekte von Flexibilität im Stromsystem am Beispiel von enera

## Der Einsatz von Flexibilitäten im Stromsystem führt dazu, dass...

- ... sich die Zeitreihen der Börsenstrompreise innerhalb einer Preiszone glätten
- ... Preisspitzen durch Lastreduktion oder Speicherentladung gekappt werden.
- ... niedrige Strompreise durch Lasterhöhung und Speicherbeladung steigen.
- ... die variablen Kosten der Stromerzeugung in Summe reduziert sind.
- ... der durchschnittliche Strompreis fällt (oder steigt).



# Ausblick

- Verbesserungspotential:
  - **Datengrundlagen**, insb. Stromverbrauchsprofile, max. Verschiebepotentiale und Kostenannahmen
  - Detailliertere Berücksichtigung von technischen Restriktionen

# Kontakt

## Rückfragen?

Matthias Koch

[m.koch@oeko.de](mailto:m.koch@oeko.de)

Franziska Flachsbarth

[f.flachsbarth@oeko.de](mailto:f.flachsbarth@oeko.de)

### Relevante Projekte:

- 07/2017: Klimatisierungsbedarf und dafür abgerufener Stromverbrauch für Wohngebäude in Deutschland von 2020 bis 2050
- 06/2017: Einbindung des Wärme- und Kältesektors in das Strommarktmodell PowerFlex zur Analyse sektorübergreifender Effekte auf Klimaschutzziele und EE-Integration (Projekt „Heat Cold“)
- 11/2016: Systematischer Vergleich von Flexibilitäts- und Speicheroptionen im deutschen Stromsystem zur Integration von erneuerbaren Energien und Analyse entsprechender Rahmenbedingungen (Projekt „Flex-Optionen“)
- 02/2013: Der zukünftige Wert von Smart Grids im deutschen Stromsystem – eine modellgestützte Szenarienanalyse von 2010 bis 2030 (Projekt „eTelligence“)