

# SCOPE

SEKTORENÜBERGREIFENDE EINSATZ- UND AUSBAUOPTIMIERUNG FÜR  
ANALYSEN DES ZUKÜNFTIGEN ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEMS



CO<sub>2</sub> ZIELE

# CHANCEN UND HERAUSFORDERUNGEN IM ZUKÜNFTIGEN ENERGIESYSTEM

## Zukünftige Herausforderungen im Energiesystem

Die Energiewende stellt das Energiesystem vor eine gewaltige Herausforderung. Vor dem Hintergrund der stetig zunehmenden Stromerzeugung aus dezentralen und fluktuierenden erneuerbaren Energiequellen müssen etablierte Strukturen und Geschäftsmodelle im Kontext sich ändernder Randbedingungen geprüft und ganze Geschäftszweige entsprechend der neuen Anforderungen weiterentwickelt werden.

In diesen Veränderungen liegen aber auch Chancen für neue Geschäftsfelder und die Etablierung effizienter Technologien. Um die Chancen der Energiewende ergreifen zu können, ist eine frühzeitige Analyse zukünftiger Entwicklungspfade und eine gezielte Weiterentwicklung der regulatorischen Rahmenbedingungen notwendig.

### Modellbasierte Analysen als Wegweiser

Für eine detaillierte Analyse möglicher Entwicklungen in Abhängigkeit von verschiedenen Annahmen bilden Energiesystemmodelle, kombiniert mit energiewirtschaftlichem Wissen und Erfahrungen, eine wichtige methodische Grundlage. Die hieraus gewonnen Erkenntnisse können als Basis für kurz-, mittel- und langfristige Entscheidungen dienen.

Am Fraunhofer IEE steht dazu eine umfangreiche Modellfamilie zur Verfügung, die durch ihre Modularität und Vielseitigkeit umfassende energiewirtschaftliche Fragestellungen adressieren kann. Ein wichtiges Tool in diesem Kontext, welches innerhalb verschiedener Projekte stets weiterentwickelt und auf die jeweilige Fragestellung angepasst wird, ist das Modell »SCOPE«, eine sektorenübergreifende Einsatz- und Ausbauoptimierung für Szenarien des zukünftigen Energiesystems, welches im Folgenden genauer beschrieben wird.

## Das Energiesystemmodell »SCOPE«

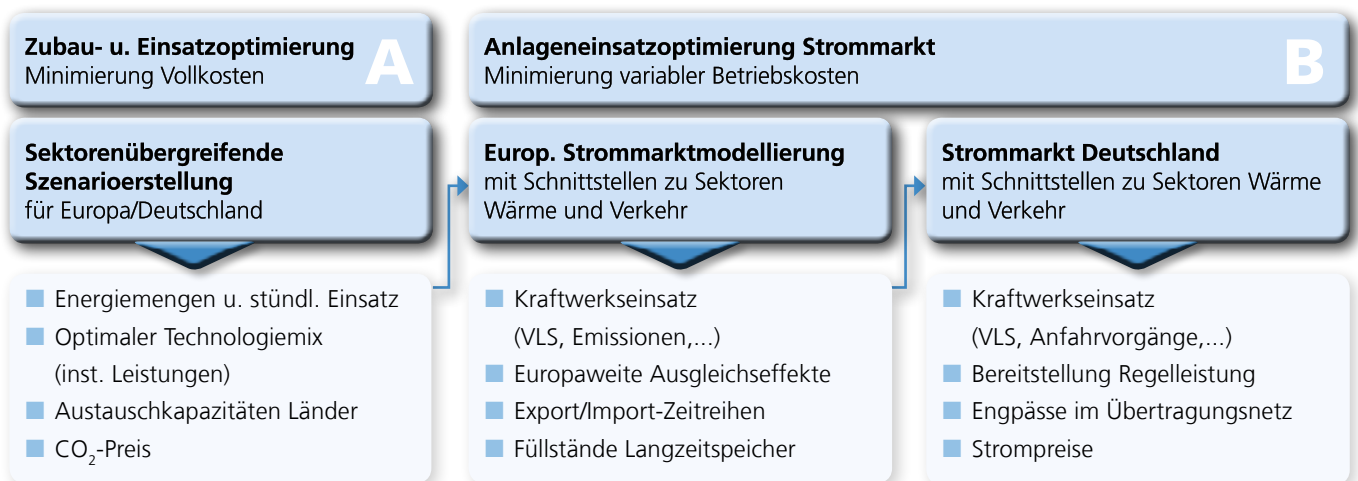
### Modellierungsansatz

Bei dem Modellierungsansatz »SCOPE« handelt es sich um ein modular aufgebautes Fundamentalmodell zur Erstellung und Analyse von länder- und sektorübergreifenden Energieszenarien. Das Modell bestimmt aus volkswirtschaftlicher Perspektive den grenzkostenminimalen Einsatz der abgebildeten Energieanlagen bei gleichzeitiger Deckung von Nachfrageprofilen aus den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. Optional können Investitionsentscheidungen über annuitätische Technologiekosten in der Zielfunktion berücksichtigt werden, um für zukünftige Szenarien einen kostenminimalen Technologiemix zu ermitteln.

### Inhaltlicher Umfang

Durch eine stundenscharfe Abbildung der Angebots- und Nachfragecharakteristiken eines Szenariojahres können sowohl die erneuerbaren Stromerzeuger als auch konventionelle Kraftwerke sowie der Einsatz von Speichertechnologien und Flexibilitätsoptionen detailliert abgebildet werden. Zur Stromerzeugung stehen verschiedenste konventionelle und erneuerbare Erzeugungstechnologien zur Verfügung. Die notwendige Flexibilität zur Integration der erneuerbaren Stromerzeugung wird über unterschiedliche Speichertechnologien, Lastmanagementoptionen und den europäischen Stromaustausch modelliert. In Abhängigkeit der Fragestellung werden die Sektoren Wärme und Verkehr mit ihren Schnittstellen zum Stromsektor in einem hohen Detaillierungsgrad mit abgebildet.

Neben der stündlichen Nachfragedeckung in allen Sektoren können weitere Randbedingungen auf das Zielsystem angewendet werden. So kann z. B. anstelle der Vorgabe eines festen CO<sub>2</sub>-Zertifikatepreises eine Obergrenze für die CO<sub>2</sub>-Emissionen einzelner Länder oder Sektoren zur Erfüllung bestimmter Klimaziele berücksichtigt werden.



## SCOPE – Modellkonfigurationen und mögliches Zusammenspiel

### Eingangsdaten

Als Datengrundlage für das Modell verfügt das Fraunhofer IEE über eine umfassende technische und ökonomische Datenbasis für Deutschland und den Europäischen Raum, die kontinuierlich erweitert und aktualisiert wird.

Diese umfasst insbesondere:

- Umfassende Datenbank zu thermischen Kraftwerken und erneuerbaren Stromerzeugungsanlagen
- Zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Potenziale und Zeitreihen der EE-Einspeisung (historisch und modellbasiert für zukünftige Szenarien)
- Detaillierte techno-ökonomische Datenblätter zu Energiespeichern und Flexibilitätsoptionen
- Umfassende Emissions- und Energiemengengerüste

### Technische Umsetzung

Scope ist in MATLAB umgesetzt, wobei zur Lösung der Optimierungsaufgabe der kommerzielle Solver IBM ILOG CPLEX integriert ist. Für eine schnelle Berechnung auch komplexer Optimierungsprobleme verfügt das IEE über einen leistungsstarken Rechencluster.

### Konfigurationsmöglichkeiten

Aufgrund der modularen Umsetzung von »SCOPE« kann das Modell stets individuell auf Ihre Fragestellungen und Anforderungen angepasst werden. So werden Detaillierungsgrad und Funktionalität des Modells genau in den für sie relevanten Systembereichen erhöht und die Rechenzeit durch Vereinfachungen in Randbereichen der Fragestellung handhabbar gehalten.

Zwei typische Modellkonfigurationen sind:

- A** Die Anwendung des Modells als kombinierte Zubau- und Einsatzoptimierung zur Erstellung von sektorenübergreifenden Zielszenarien des zukünftigen Energieversorgungssystems sowie die Bestimmung von Transformationspfaden auf Basis von Ober- und Untergrenzen der notwendigen Technologieentwicklungen zur Erreichung des Zielszenarios.
- B** Die Anwendung des Modells für eine möglichst realitätsnahe Abbildung der kurz- bis mittelfristigen Entwicklung auf dem Strommarkt zur Bewertung verschiedener Technologien (z. B. bezüglich Wirtschaftlichkeit und CO<sub>2</sub>-Minderungswirkung).

# KONFIGURATIONSMÖGLICHKEITEN DAS GROSSE GANZE... ODER DAS GANZE DETAIL

## A Szenarioentwicklung

Die Modellkonfiguration »SCOPE-Zubau« ermöglicht die Erstellung von sektorübergreifenden Zielszenarien zukünftiger Energiesysteme. Dabei kann die Modellumgebung so konfiguriert werden, dass sowohl Bestandsanlagen als auch Investitionsentscheidungen ein kostenoptimales Energiesystem bilden.

### Vorgehen

Die ermittelten Zielszenarien basieren dabei auf einer stündlichen, linearen Anlageneinsatzplanung (8760 h), die in einer geschlossenen Optimierung gleichzeitig Investitionsentscheidungen für alle Technologietypen treffen kann. Neben konventionellen und erneuerbaren Erzeugungs-, Speicher- und Übertragungstechnologien des Strommarktes umfasst das Modell auch Wärmeerzeugungstechnologien und weiterer Flexibilitätsoptionen.

Wesentliche Eingangsgrößen sind dabei die technischen und ökonomischen Parameter aller Technologieoptionen, detaillierte Emissions- und Energiemengengerüste sowie Potenziale und Beschränkungen für den möglichen Ausbau der verschiedenen Technologien. Übergreifende Randbedingung ist dabei das sektorübergreifende CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel, welches das Design des Zielszenarios wesentlich beeinflusst. Durch die stündliche Modellierung können auch Investitionsentscheidungen für Speicher und mit Nachfragetechnologien verbundene Flexibilitätseffekte abgebildet werden.

Daraus resultieren dem Szenario entsprechende zusätzliche Strombedarfe zur CO<sub>2</sub>-Reduktion im Wärme – und Verkehrssektor, sowie sektorübergreifende CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten.

### Typische Ergebnisgrößen

- Optimierter Technologiemix für die Sektoren Strom und Wärme
- Strom- und Endenergiebedarf zur Erreichung von CO<sub>2</sub>-Reduktionszielen

## B Strommarktsimulation

Die Modellkonfiguration »SCOPE-Strommarkt« zeichnet sich durch eine detaillierte Abbildung des bestehenden konventionellen Kraftwerksparks sowie die Einbindung von räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Zeitreihen der erneuerbaren Stromerzeugung aus.

### Vorgehen

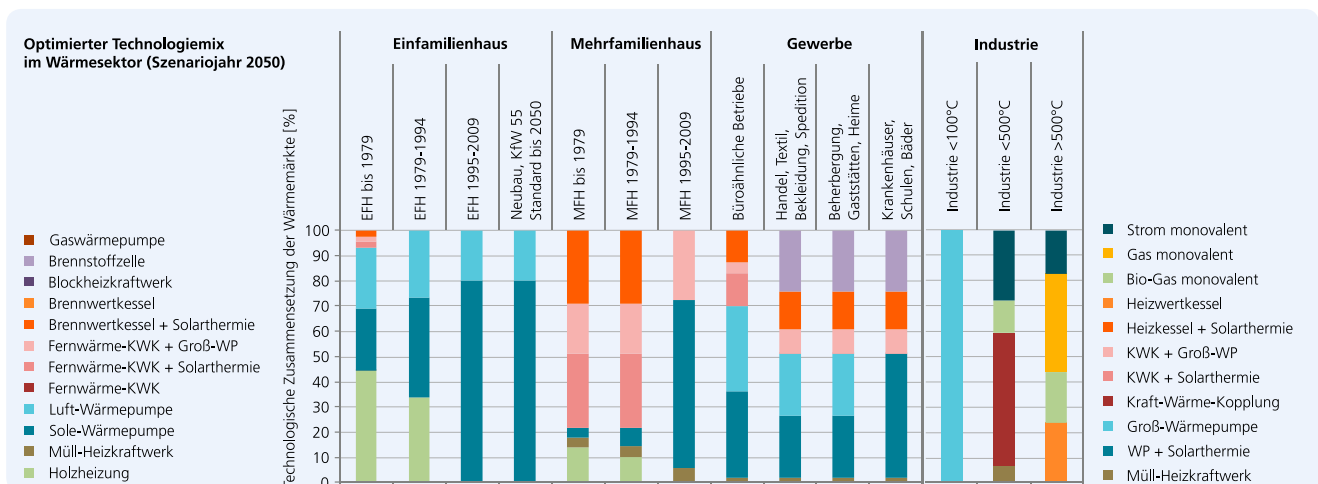
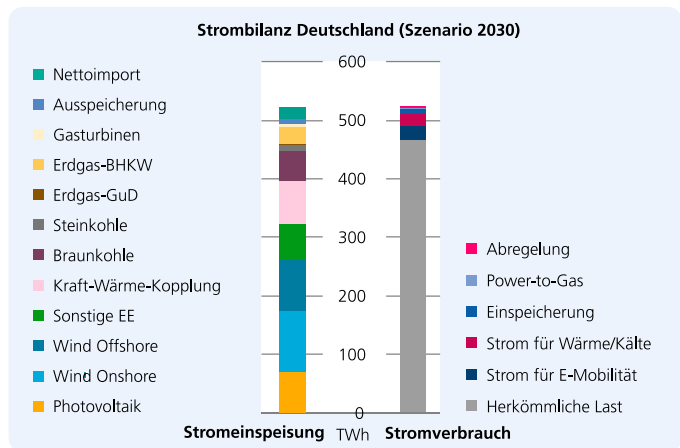
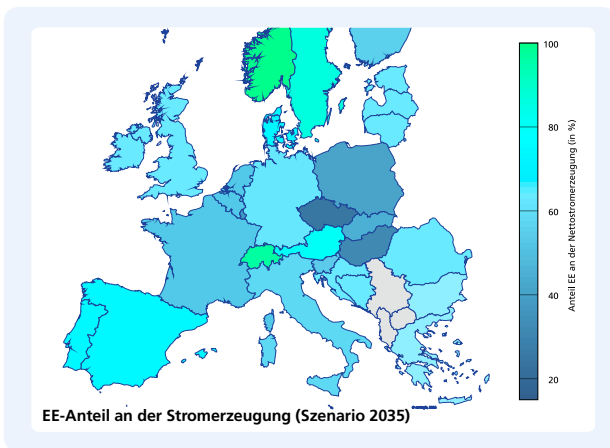
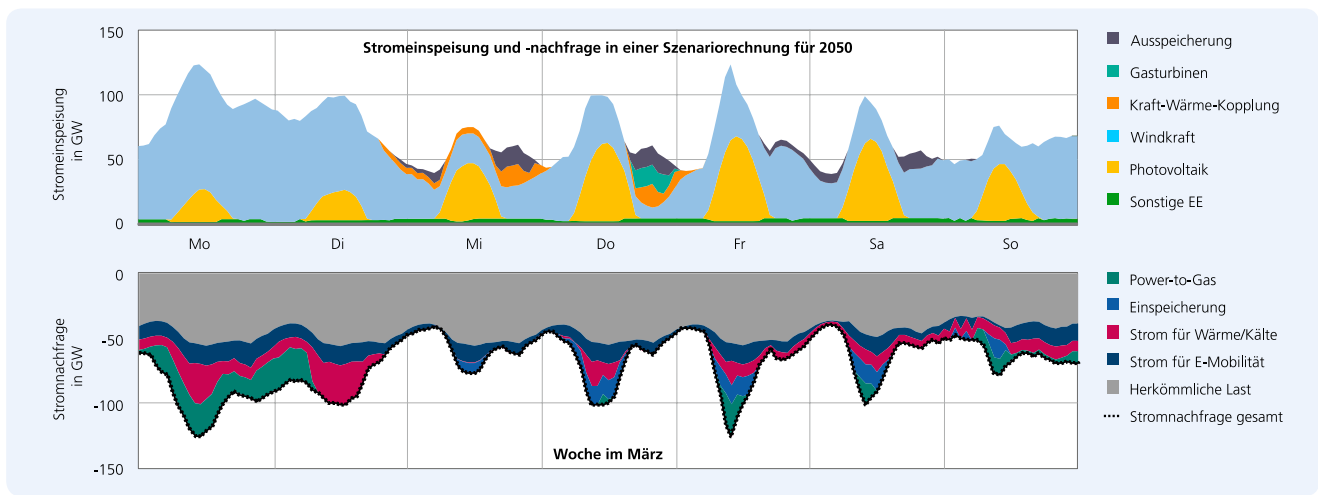
Die Marktsimulation findet typischerweise in zwei Schritten statt. Zunächst wird der Anlageneinsatz im europäischen Kontext bestimmt. Hierfür wird eine kontinuierliche, lineare Abstraktion des Modells angewendet, die es ermöglicht den europäischen Betrachtungsraum für ein Jahr (8760 h) geschlossen zu optimieren. Mit Hilfe dieser vorgelagerten Optimierungsberechnung werden Import/Export-Zeitreihen zwischen den europäischen Ländern und Füllstandskurven für Langzeitspeicher (insbesondere hydraulischer Speicherkraftwerkspark) ermittelt.

Hierauf aufbauend wird der Anlageneinsatz für Deutschland oder einzelne Regionen erneut berechnet. Die hierbei angewendete rollierende Planung ist an die Abläufe auf den Strommärkten angepasst und ermöglicht die Berücksichtigung von Unsicherheiten durch schrittweise aktualisierte Prognosedaten. Durch die in dieser Variante angewendete gemischtganzzahlige lineare Programmierung werden zusätzlich technische Mindestleistungen und Anfahrkosten des blockscharfen thermischen Kraftwerksparks berücksichtigt. Weiterhin können die Vorhaltung von Regelleistung oder begrenzte inländische Übertragungskapazitäten in die detaillierte Modellierung eingebunden werden.

### Typische Ergebnisgrößen

- Veränderung des Einsatzes von bestehenden und neuen thermischen Kraftwerken bei steigender EE Einspeisung
- Analysen zu Bedarf und Wirtschaftlichkeit von Energiespeichern und anderen Flexibilitätsoptionen
- Stündliche Strompreiszeitreihen für weiterführende Technologiebewertung

# GRAFISCHE AUSWERTUNGEN



# MASSGESCHNEIDERTE SIMULATIONEN UND ANALYSEN

## Fraunhofer IEE

Königstor 59  
34119 Kassel / Germany

### Kontakt:

Norman Gerhardt

Telefon: +49 561 7294 274

E-Mail: [norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de](mailto:norman.gerhardt@iee.fraunhofer.de)

[www.iee.fraunhofer.de](http://www.iee.fraunhofer.de)



## Unser Angebot

- In Zusammenarbeit mit Ihnen stimmen wir Annahmen ab und erstellen Energieszenarien, die mögliche Entwicklungen und Trends im Energiesystem aufzeigen (z. B. Entwicklung des EE-Anteils)
- Wir berechnen stündliche Strompreiszeitreihen für zukünftige Szenarien des Strommarktes und bewerten auf dieser Grundlage die Wirtschaftlichkeit verschiedener Technologien
- Wir ermitteln energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale durch die Anwendung verschiedener Dekarbonisierungsmaßnahmen im Energiesystem
- Wir bewerten Rahmenbedingungen und Einsatzmöglichkeiten neuer Technologien, insbesondere von Energiespeichern und weiteren Flexibilitätsoptionen (z. B. Power-to-Heat, Wärmepumpen, E-Mobilität)
- Wir analysieren Fragestellungen zum zukünftigen Marktdesign (z. B. Bewertung von verschiedenen regulatorischen Rahmenbedingungen)

## Expertisen

- Entwicklung des Straßenverkehrs und Rückkopplung mit dem Energiesystem (2016-2018; Auftraggeber BMUB) [www.energieversorgung-elektromobilitaet.de](http://www.energieversorgung-elektromobilitaet.de)
- Wärmewende 2030 (2016-2017; Auftraggeber Agora) [https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Heat\\_System\\_Benefit/143\\_Heat\\_System\\_benefits\\_WEB.pdf](https://static.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2017/Heat_System_Benefit/143_Heat_System_benefits_WEB.pdf)
- North Seas Offshore Network: Machbarkeit und Implikationen verschiedener Offshore-Netzkonzepte in der Nordseeregion (2014-2017; Auftraggeber BMWi) <https://www.iee.fraunhofer.de/de/projekte/suche/2017/nson.html>  
[publica.fraunhofer.de/documents/N-515115.html](https://publica.fraunhofer.de/documents/N-515115.html)
- Wie Deutschland sein Klimaziel noch erreichen kann (2018; Auftraggeber Greenpeace) [https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/energieszenario\\_fuer\\_2020.pdf](https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/energieszenario_fuer_2020.pdf)
- Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourcenschonend gestalten (2015-2019; Auftraggeber Umweltbundesamt) [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue\\_studie\\_cc\\_36-2019\\_wege\\_in\\_eine\\_ressourcenschonende\\_treibhausgasneutralitaet.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rescue_studie_cc_36-2019_wege_in_eine_ressourcenschonende_treibhausgasneutralitaet.pdf)
- Interaktion EE-Strom-Wärme und Verkehr (2012-2015; Auftraggeber BMWi) Wie kann ein zukünftiges Energiesystem unter den Anforderungen des Klimaschutzes aussehen? [publica.fraunhofer.de/documents/N-356297.html](https://publica.fraunhofer.de/documents/N-356297.html)