

Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Master Technische Kybernetik
Übersichtsvortrag
Spezialisierungsfach

Energiewirtschaft und Energiesysteme

Wintersemester 2024/25

Prof. Dr.
Kai
Hufendiek

IER

Frankfurter Allgemeine

„LAGE KANN SEHR ERNST WERDEN“

Netzentur warnt: Gasverbrauch steigt zu stark

AKTUALISIERT AM 06.10.2022 - 12:03



Auch in der vergangenen Woche war der Gasverbrauch höher als in den Vorjahren. Das gilt vor allem für private Haushalte. Die Bundesnetzagentur warnt und ruft nochmals zum Sparen auf.

Quelle: <https://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/gasverbrauch-steigt-zu-stark-laut-bundesnetzagentur-18366730.html>

Investment in clean energy this year is set to be twice the amount going to fossil fuels



News
06 June 2024

Global spending on clean energy technologies and infrastructure on track to hit \$2 trillion in 2024 even as higher financing costs hinder new projects, notably in emerging and developing economies

World Energy Investment 2024

Explore report

Quelle: <https://www.iea.org/news/investment-in-clean-energy-this-year-is-set-to-be-twice-the-amount-going-to-fossil-fuels>

Heizungsgesetz

Bundestag verabschiedet Gebäudeenergiegesetz

Monatlang stritt die Ampel über das Gebäudeenergiegesetz. Das Bundesverfassungsgericht verbot in einem Eilverfahren eine Verabschiedung vor der Sommerpause. Nun verabschiedete der Bundestag die Reform. Die Opposition lehnt das Heizungsgesetz ab.

08.09.2023



Das Für und Wider von Wärmepumpen ist einer der Streitpunkte in der Debatte um das Gebäudeenergiegesetz. (picture alliance / dpa / Doreen Garud)

Quelle:

<https://www.deutschlandfunk.de/heizung-habeck-erdwaerme-gas-oe1-102.html>

Suche

Politik Gesellschaft Wirtschaft Kultur Wissen Digital Campus Arbeit Entdecken Sport ZEITmagazin mehr

CO2-Emissionen

EU-Kommission will soziale Folgen der Klimapolitik beachten

Das strengere Klimaziel könnte Ärmere stärker belasten, sagt Kommissionsvize Frans Timmermans. Die Politik müsse darum gegensteuern.

17. September 2020, 18:42 Uhr / Quelle: ZEIT ONLINE, dpa, ae / 46 Kommentare

Quelle:

<https://www.zeit.de/politik/deutschland/2020-09/co2-emissionen-eu-kommission-frans-timmermans-klimaschutz>

Agenda

- Bedeutung der Energiesystemanalyse
- Zukünftige Entwicklungen im Energiesystem
- Lehrangebot IER

Agenda

- Bedeutung der Energiesystemanalyse
- Zukünftige Entwicklungen im Energiesystem
- Lehrangebot IER

Herausforderungen an ein zukünftiges Energiesystem

Nachhaltigkeit

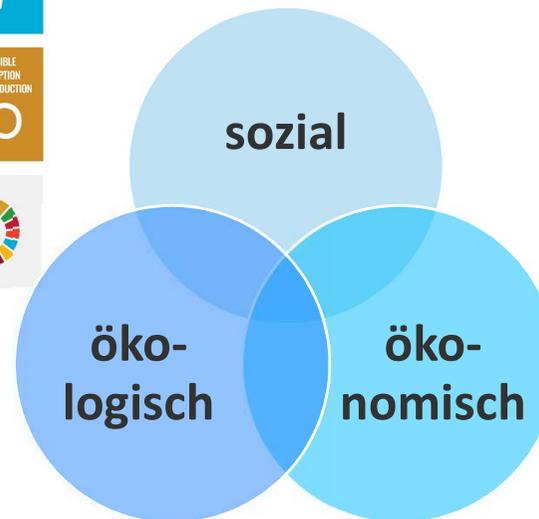
SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



3 Dimensionen der Nachhaltigkeit:
Gleichberechtigt und
gleichwertig behandelt

Umweltinanspruchnahme nur soweit
die Regeneration möglich

- Umweltschutz
- Klimaschutz



Keine Eskalation von Konflikten

- Verteilungsgerechtigkeit
- Generationengerechtigkeit
- Akzeptanz
- Präferenz

Nutzung ökonomischer Faktoren auf
dauerhaft möglichem Niveau

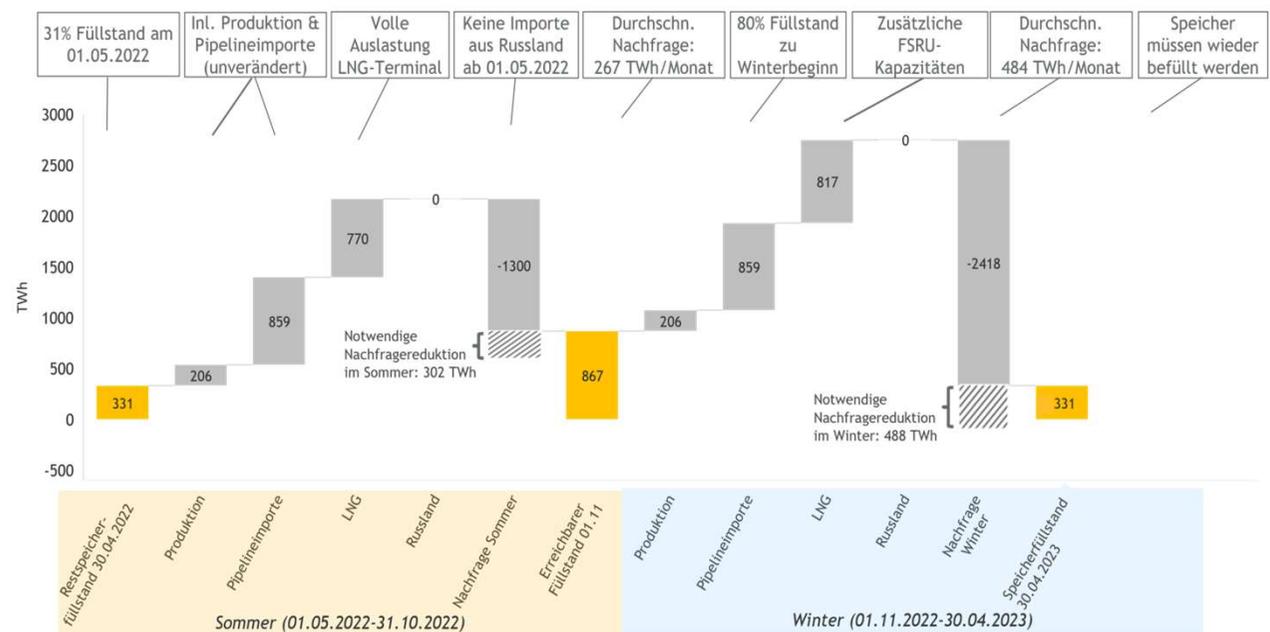
- Wirtschaftlichkeit
- Kapitalbedarf
- Versorgungssicherheit

Wegfall Gasimporte aus Russland in Europa - Optionen

Gasimporte aus Russland sind nicht durch alternative Quellen zu schließen

- Betrachtung muss Europa einbeziehen
- Ergebnisse der Kurzanalyse des EWI Köln mit wichtigen Einschränkungen
 - Mögliche Netzengpässe nicht berücksichtigt (außer Spanien & Portugal)
 - LNG Verfügbarkeit nicht gesichert
 - Wettereinfluss
- Günstiger Fall: Verbleibende Gaslücke ca. 800 TWh (20%)

Quelle: EWI Kurzanalyse 2.5.2022 abgerufen unter: <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/aktuelles/gasanalyse/>



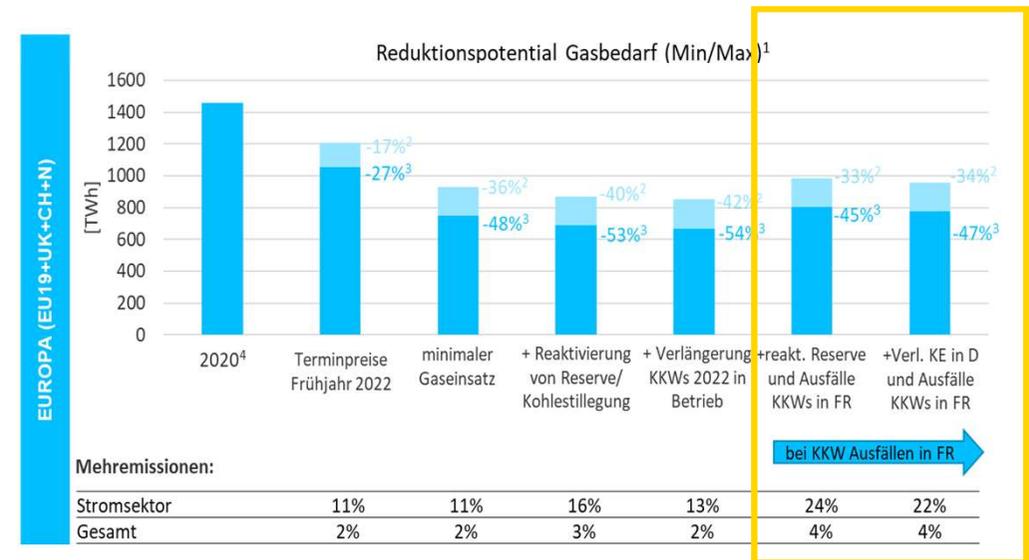
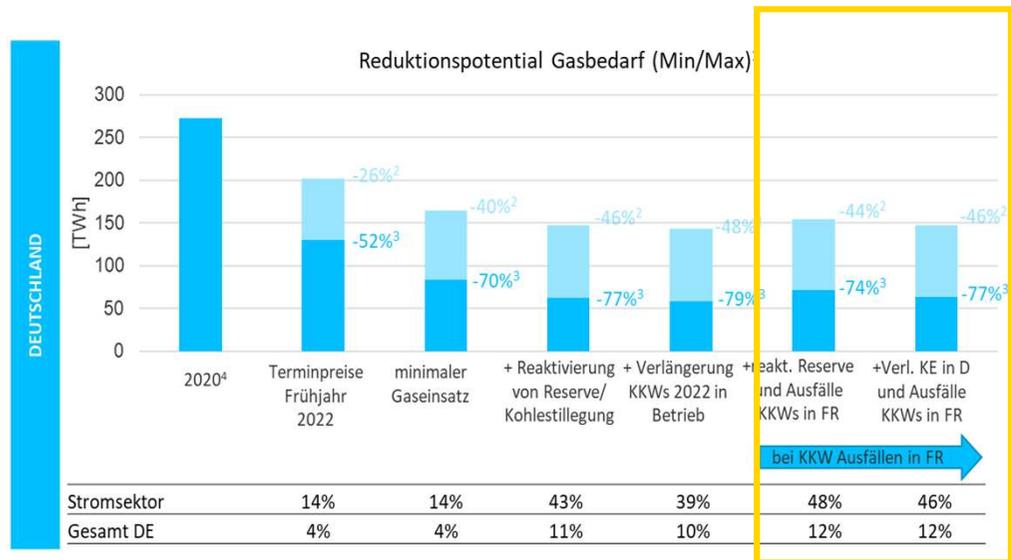
Optionen zum Schließen der Gaslücke:

- Erschließung von Ersatzquellen bei der Belieferung, insbesondere LNG (in EWI Kurzanalyse bereits enthalten)
- Nutzung möglicher Energieträgersubstitution (Erdgas durch Öl, Kohle und Kernenergie)
- Reduktion der Nachfrage

Flexibilität im Strom-/Fernwärmesektor (inkl. Industriekraftwerke)

Auswirkungen geringere Verfügbarkeit Kernkraftwerke in Frankreich

- Annahme andauernder Verfügbarkeitsprobleme der französischen Kernkraftwerke in Q1 und Q2 von zusätzlich -10 bis -4 GW⁵
 - Erhöht Gasbedarf in D bzw. EU für Verstromung **erheblich** (8 TWh in D bzw. 110 TWh in Europa entspricht ca. 3 bzw. 8 %-Punkte)
 - Dennoch bei unterstellter Kältewelle analog Jahr 2012 in zahlreichen Stunden **keine Lastdeckung** in F und teilweise in B möglich
 - **Weiterbetrieb der Kernkraftwerke in D** verringert fehlende Lastdeckung und Gasbedarf wieder (6 bzw. 24 TWh, ca. 2-3 %-Punkte)



^{1, 2, 3, 4} Fußnoten vgl. Folien 10 und 11

⁵ Eigene Annahme: Schrittweise Abnahme erhöhte Nichtverfügbarkeit auf Basis REMIT Daten und Prognose EQ Case study 22/08/2022 <https://www.energyquantified.com/blog/french-nuclear-outages-winter-2022-23-and-power-balance-outlook>

Transformationspfade Energiewende

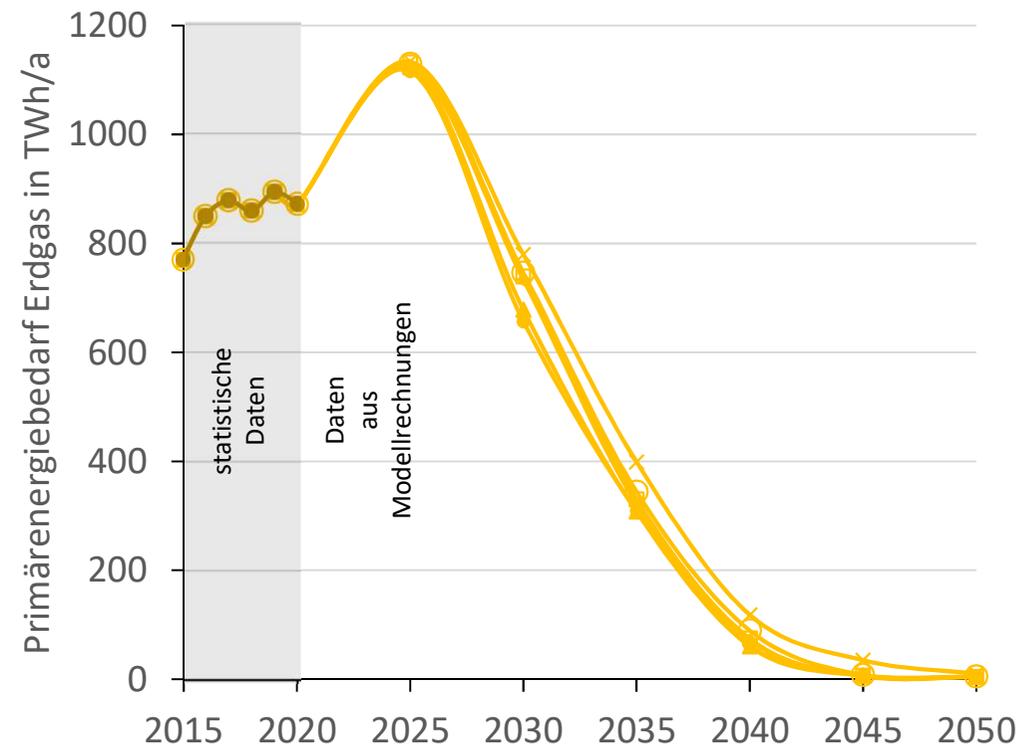
Umbau zu einem erneuerbaren Energiesystem über Zwischenlösung Erdgas

- Klimaschutzziele des KSG 2021 und EU Green Deal erfordern erhebliche Transformation bereits bis 2030
- Mehrzahl der existierenden Transformationsszenarien setzen auf
 - massiven Ausbau erneuerbare Erzeugung
 - schnelle Konversion von Kohle zu Gas



Vorübergehend erheblich ansteigender Bedarf von Erdgas als Primärenergie

- Kritisch im Hinblick auf Versorgungssicherheit
- Hochlauf und Wirtschaftlichkeit alternativer Erdgasinfrastrukturen auf Zeitachse schwierig

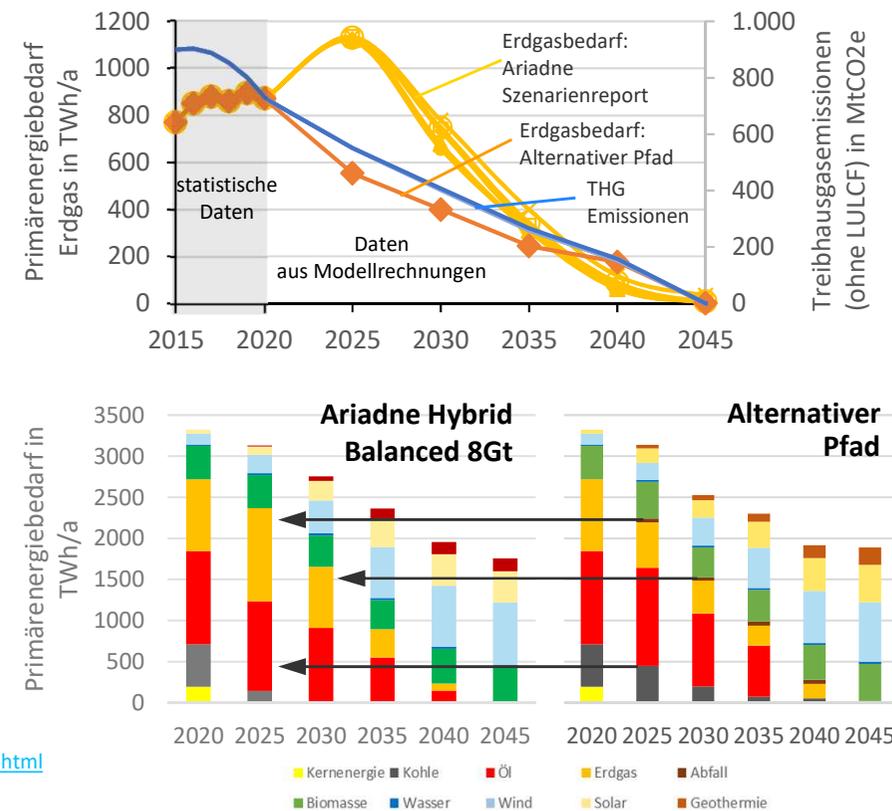


Datenquellen: BMWi Energiedaten 2022 <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>
Ariadne Szenarienexplorer <https://ariadneprojekt.de/news/szenarienexplorer/>

Anpassungsoptionen der mittel- bis langfristigen Transformationspfade

Reduktion Erdgasbedarf bei gleichbleibenden zeitintegralen Treibhausgasemissionen

- Klassische Transformationspfade weisen hohen Erdgasbedarf im Zeitbereich 2025 – 2030 auf
 - Beschleunigter Kohleausstieg durch Umstieg von Kohle auf Erdgas in Stromerzeugung und KWK
- Alternativer Transformationspfad mit deutlich reduziertem Erdgasbedarf
 - Kohleausstieg verzögert und direkter Umstieg auf Großwärmepumpen und Solar bei Fernwärme
 - Zunächst verzögerte Elektrifizierung Wärme und Verkehr dadurch Einsparung fossiler Brennstoffe
 - Ähnliche THG-Minderungen zeitintegral möglich



Datenquellen: Statistische Daten: BMWi Energiedaten 2022 <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Themen/energiedaten.html>

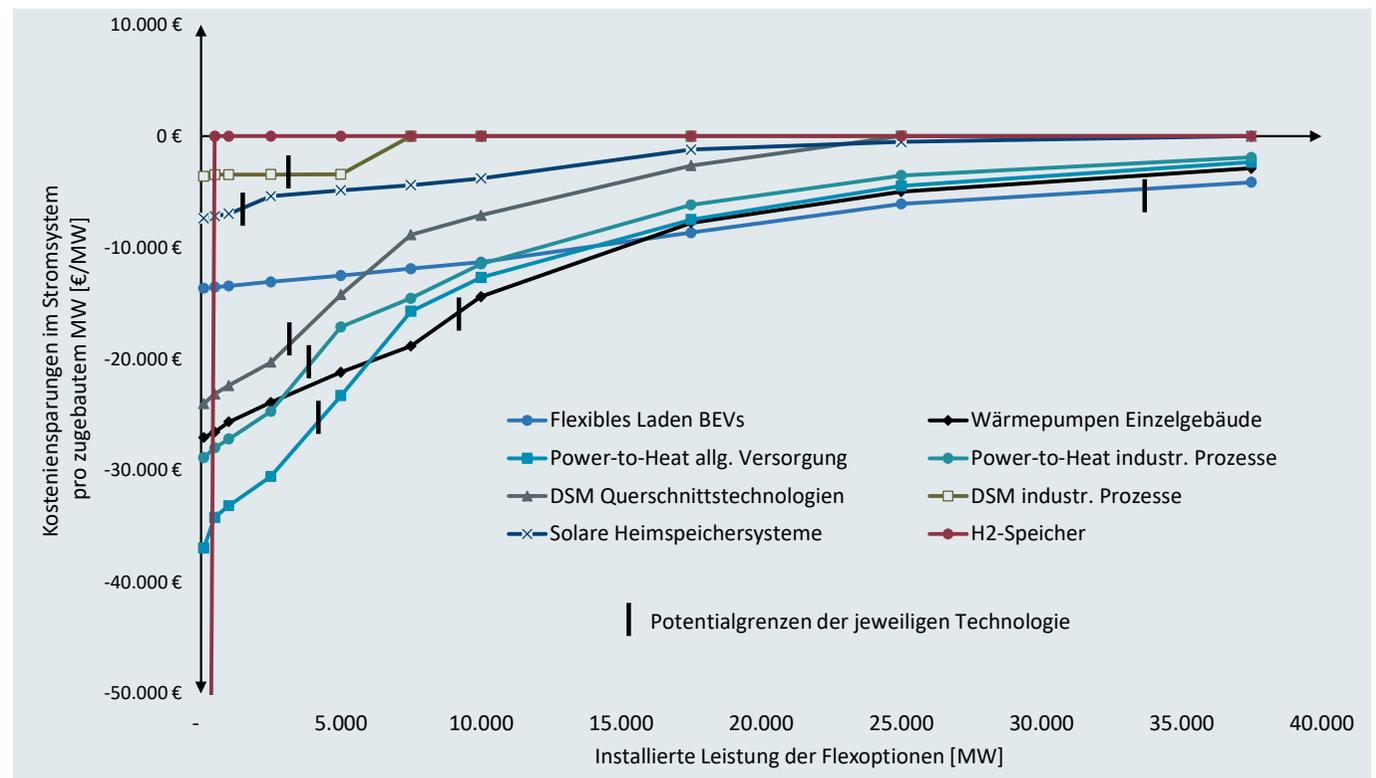
Ariadne Hybrid Szenarien: Ariadne Szenariexplorer <https://ariadneprojekt.de/news/szenariexplorer/>

Alternativer Pfad: Rechnungen IER mit TIMES PanEU im Ariadne-Projekt 08/2022

Rolle von steuerbaren Flexibilitäten im Energiesystem der Zukunft

Kosteneinsparung nach Technologie in 2030

- 1. Schlüsseltechnologie:
Langzeitspeicher mit großen Speichervolumen, z.B. **Wasserstoff-Kavernenspeicher**
- 2. Schlüsseltechnologie: steuerbare Leistung von **Power-to-Heat in Wärmenetzen der allg. Versorgung** (aber „ersetzbar“)
- Verfügbarkeiten der Flex-Technologien bis 2030 sehr wichtig, dafür:
 - Abbau von regulatorischen Hemmnissen, Marktzugang für Kleinstflexibilitäten
 - geeignete Anreize bei Verbrauchern
 - stark fluktuierende Strompreise nicht als negativ wahrnehmen oder sogar verhindern

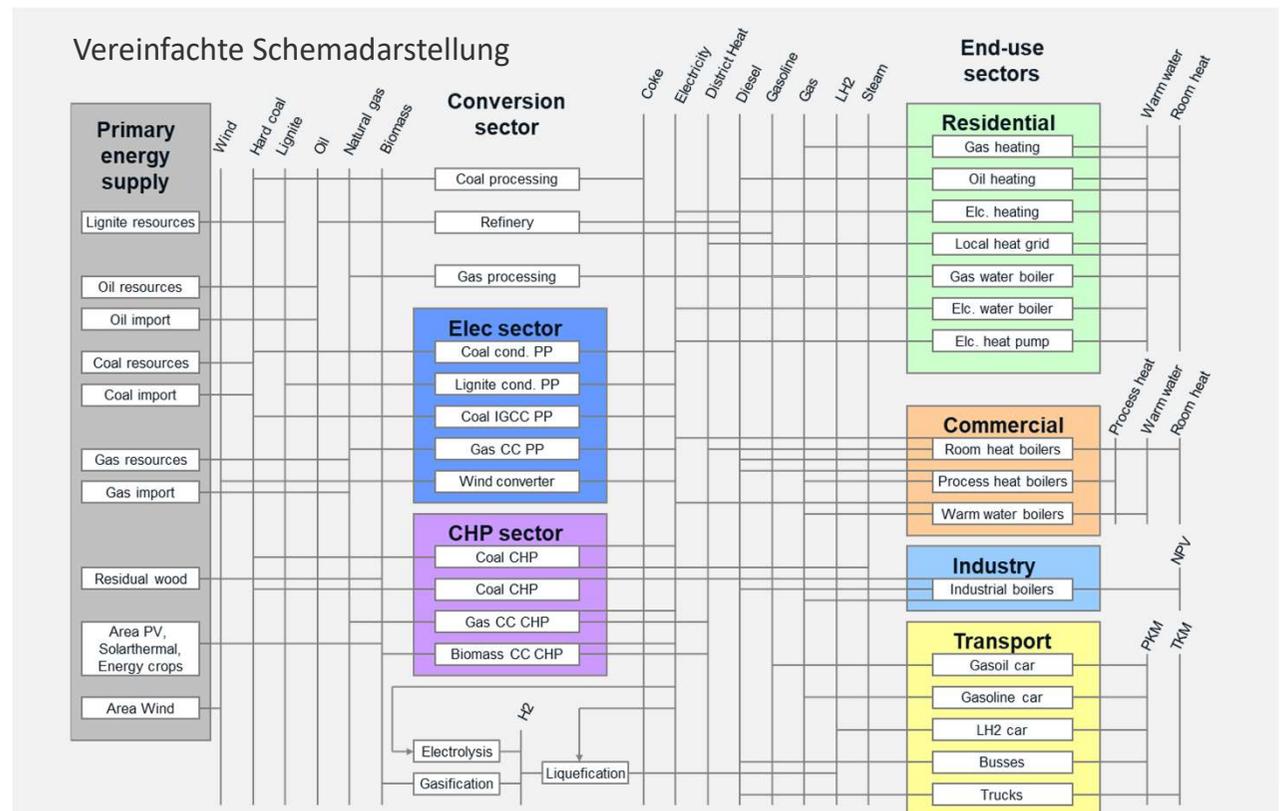


Quelle: <https://ariadneprojekt.de/publikation/analyse-die-schlüsselrolle-von-flexibilitat-im-stromsystem-2030/>

Wie können solche Analysen durchgeführt werden?

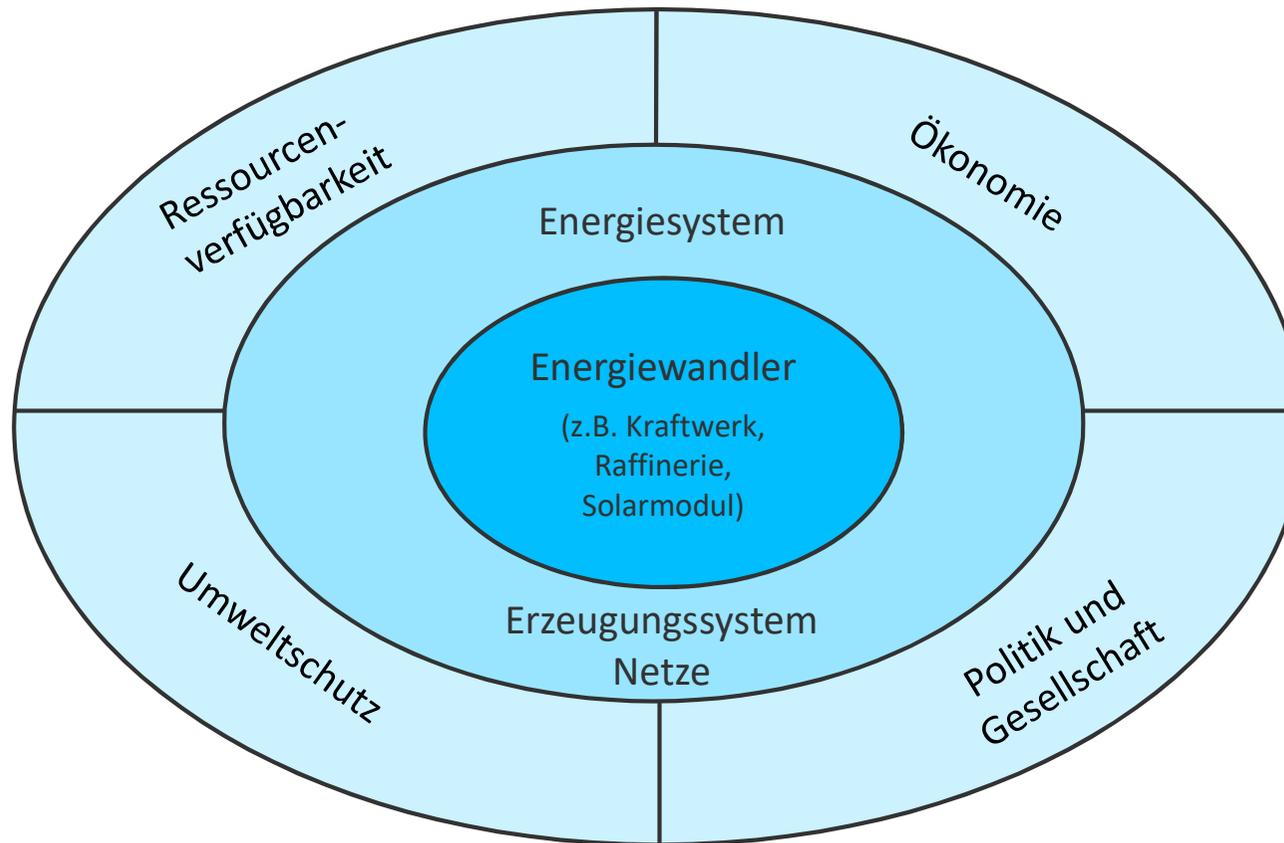
Energiesystemmodellierung

- Unterschiedliche Modelle (Beispiele)
 - Energiesystemmodell
 - Elektrizitätssystemmodell
 - Strommarktmodell
- Was wird dafür benötigt?
 - Verständnis der Technologien
 - Verständnis des Energiesystems und der Energiewirtschaft
 - Technische Grundlagen
Energiewandlung und -übertragung
 - Systemtechnische und systemwissenschaftliche Ansätze
 - Ökonomische Grundlagen
 - Mathematische Verfahren



Betrachtung des Gesamtsystems notwendig: Systemanalyse

Multidimensionale Betrachtung in multiplen Ebenen



Agenda

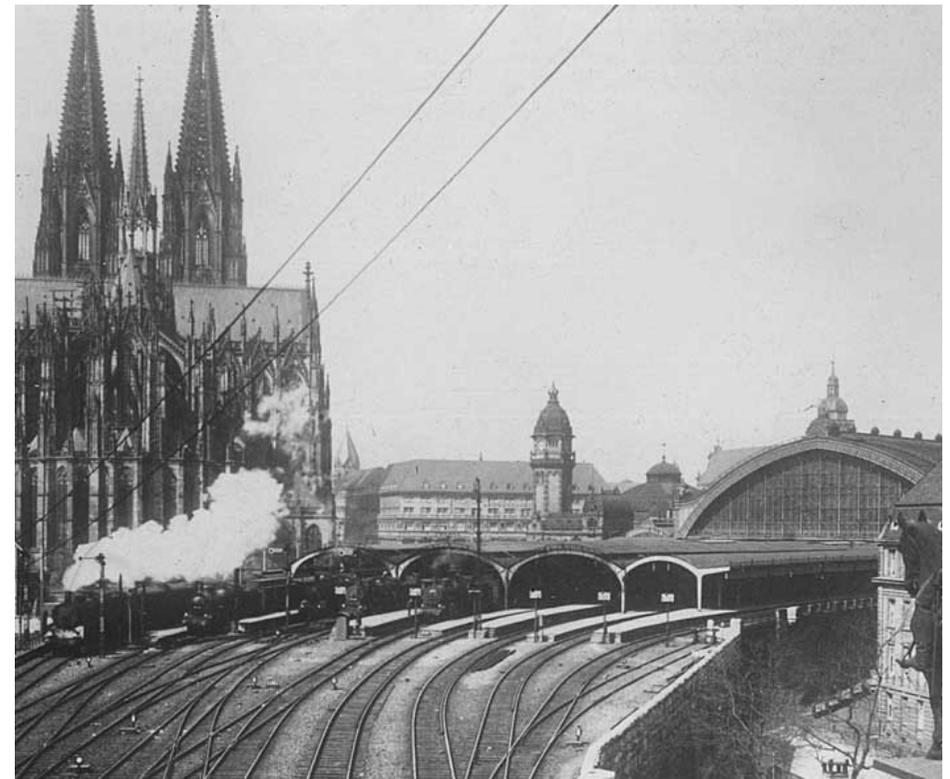
- Bedeutung der Energiesystemanalyse
- Zukünftige Entwicklungen im Energiesystem
- Lehrangebot IER

Intelligente dezentrale Energiesysteme – eine von mehreren neuen Optionen

Analogie: Entwicklungsgeschichte Verkehr

Eisenbahnzeitalter

- Einziges System zum Massentransport
- Aufwendige Infrastruktur
- Fahrpläne und zentrale Steuerung
- Effizient



Quelle: <http://www.drehscheibe-online.de/foren/read.php?17,7309223,page=all>

Intelligente dezentrale Energiesysteme

Effektives Ausnutzen der bereits bestehenden Infrastruktur

Automobilzeitalter

- Bietet Individualisierung
- Hohe Autonomie
- Verdrängt Eisenbahn an vielen Stellen
- Eisenbahnsystem bleibt bestehen und wird in spezieller Rolle benötigt
- System Automobil ist teurer



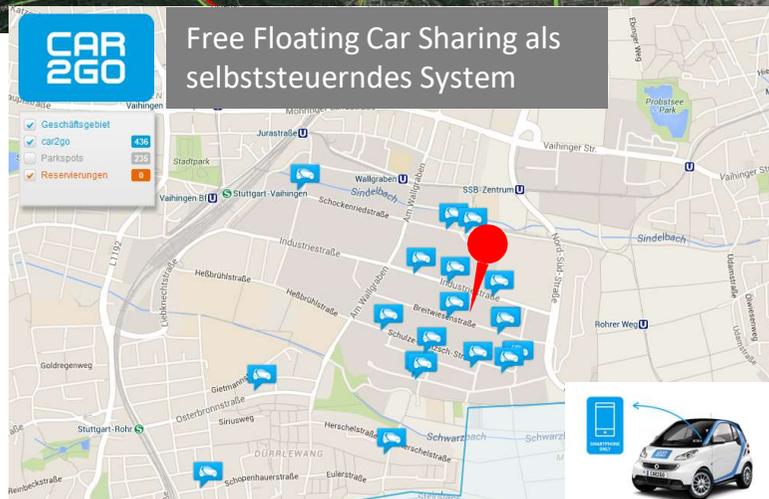
Quelle: BMVBS



Durch intelligentes Ausnutzen der bestehenden Infrastruktur können Individualität und Kosteneffizienz vereint werden.

Intelligente dezentrale Energiesysteme

Vernetzte und autonome Systeme



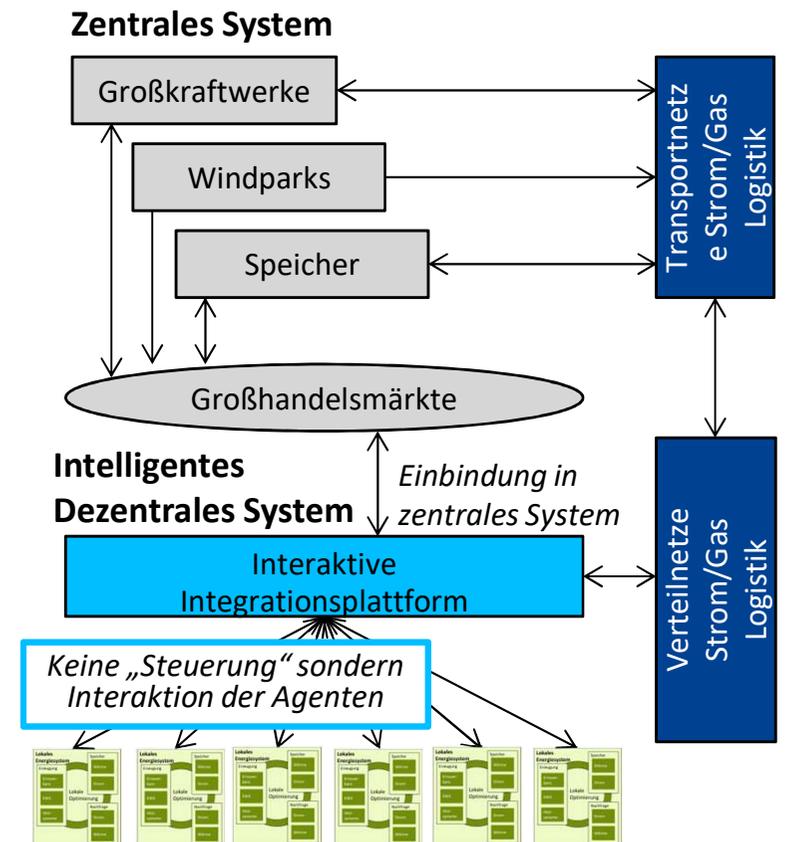
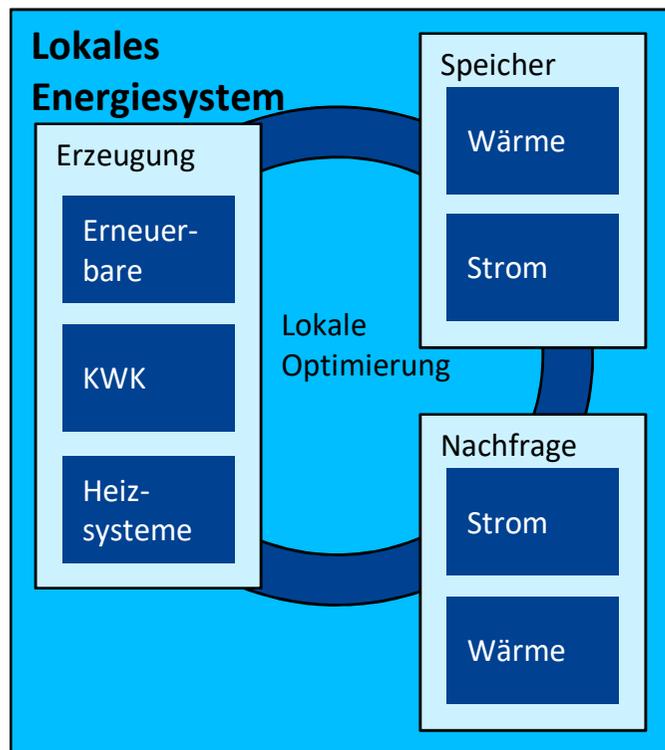
Quelle: www.googlewatchblog.de



Quelle: <http://www.autohaus.de/nachrichten/umfrage-intelligente-autos-lassen-unfallzahlen-sinken-1370225.html>

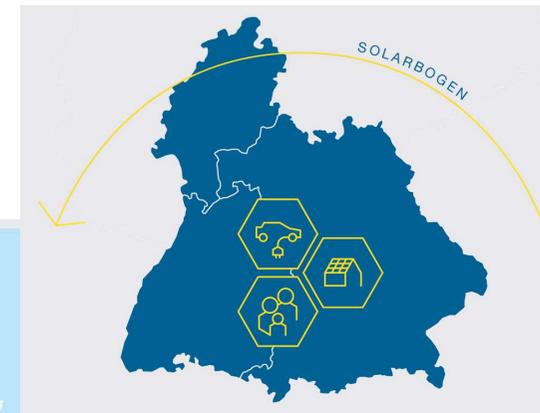
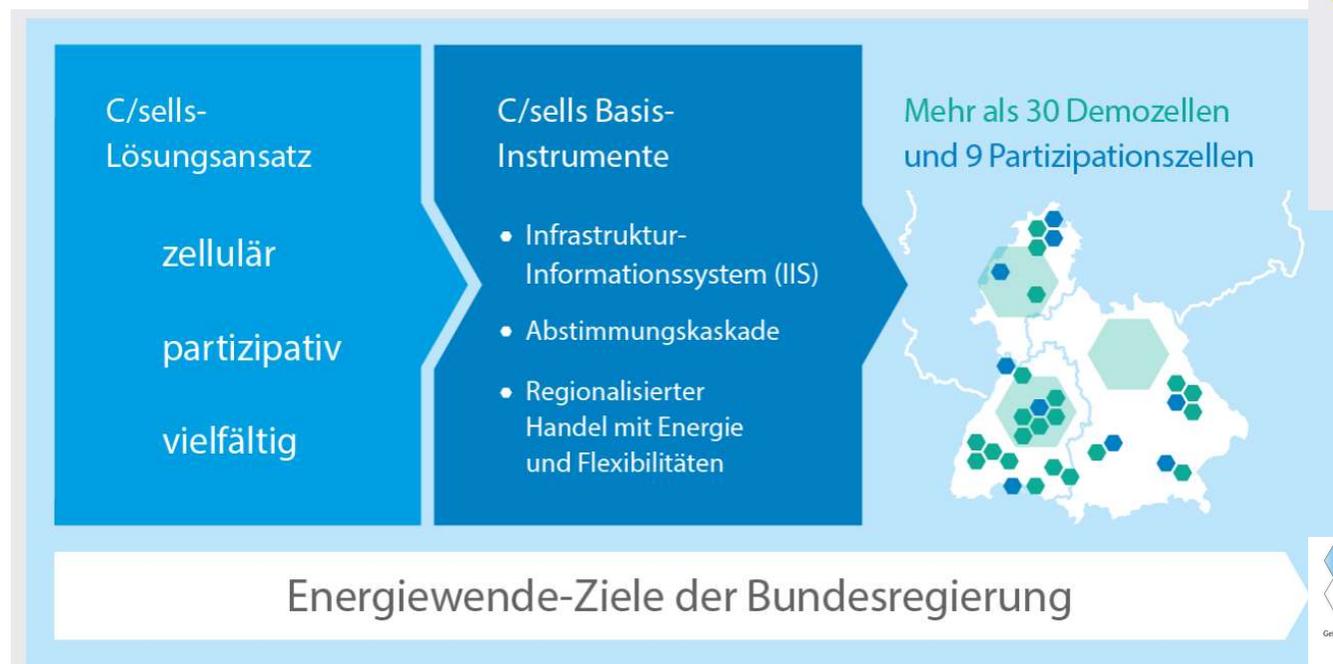
Intelligente dezentrale Energiesysteme

Interaktiv verbundene Agenten mit Einbindung ins Gesamtsystem



Beispiel: BMWi-SINTEG-Projekt c/sells

Forschung an einer zellulären Struktur



Wichtig:

Das ist nur ein Beispiel:
Zukünftiges Energiesystem wird vielfältig gestaltet sein, z.B. Wasserstoff, synthetische Fuels, etc.



Gefördert durch:



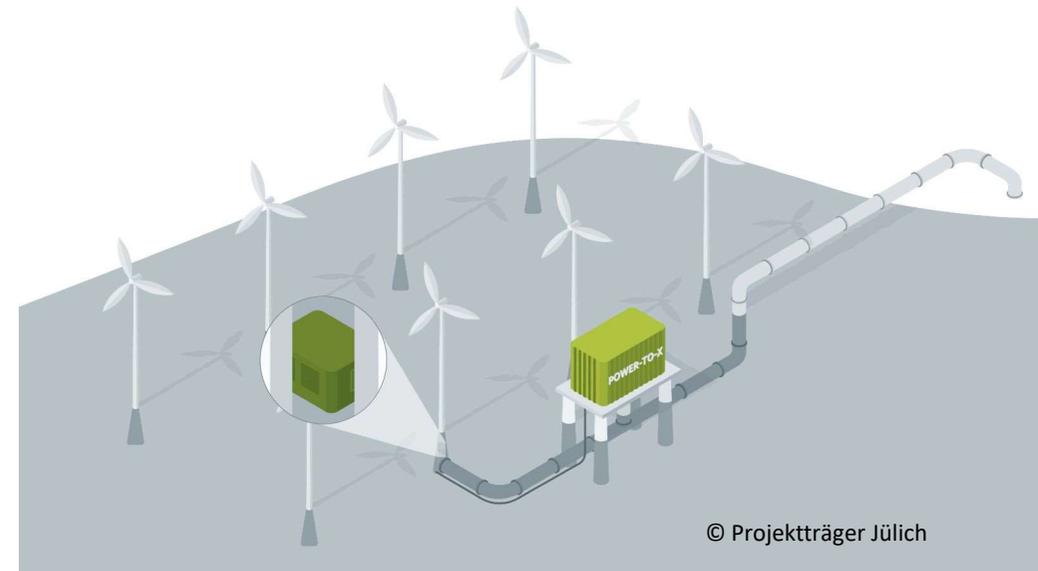
aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

H₂Mare

H₂Mare erforscht die **Offshore-Erzeugung von Grünem Wasserstoff** und anderen **Power-to-X-Produkten** mit **neuartigen Windenergieanlagen**.

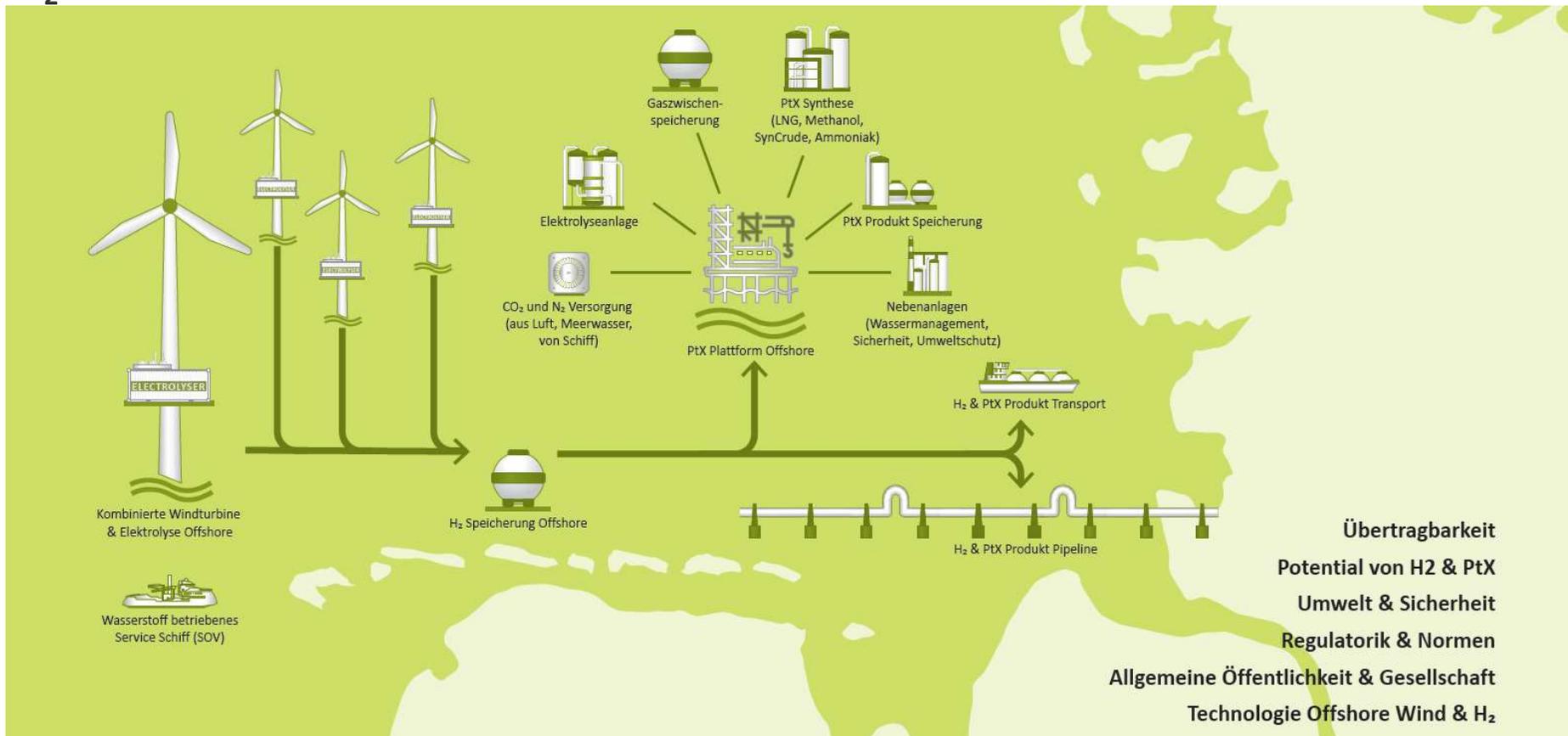
Sie haben einen integrierten Elektrolyseur und kommen ohne elektrische Netzanbindung aus.

Für hohe Leistung und große Distanz ist der **Transport der Energie aus Offshore-Windparks** an Land per Wasserstoff-Pipeline **wirtschaftlicher** als der Anschluss per Kabel.



© Projektträger Jülich

H₂Mare in Kürze



Agenda

- Bedeutung der Energiesystemanalyse
- Zukünftige Entwicklungen im Energiesystem
- Lehrangebot IER

Master Technische Kybernetik

Spezialisierungsfach Energiesysteme und Energiewirtschaft (18 LP)

Themenfeld Energiesystemanalyse/Modellierung

- **Planungsmethoden in der Energiewirtschaft V/Ü/Laborpraktikum (Hufendiek/Fahl) – 6 LP**
- Methoden und Anwendungen in der Energiesystemmodellierung V/Ü (Blesl) – 6 LP

Themenfeld Energiewirtschaft/-politik

- **Energiemärkte und Energiehandel V/Ü/Planspiel (Hufendiek) – 6 LP**
- Regulierungsmanagement in der Energiewirtschaft (C. Müller) – 3 LP
- Energie und Umwelt V (Hufendiek/Fahl/Althaus) – 3 LP
- Elektrische Verbundsysteme V (Tenbohlen) – 3 LP

Themenfeld Effiziente Energienutzung

- **Nachhaltige Energieversorgung und rationelle Energienutzung V/Ü (Hufendiek/Radgen) – 6 LP**
- Energieeffizienz in Industrie, Gewerbe, Handel und Dienstleistung V (Radgen/Blesl/Kessler) – 6 LP (bzw. EnEff I und II)
- Energieeffizienz I – Querschnittstechnologien V (Radgen) – 3 LP
- Energieeffizienz II – Branchentechnologien V (Blesl/Kessler) – 3 LP
- Energiemanagement nach ISO 50001 V (Radgen) – 3 LP
- Analyse und Optimierung Industrieller Energiesysteme (Radgen) – 3 LP
- Druckluft und Pneumatik (Radgen) – 3 LP
- Energetische Optimierung der Produktion V (Sauer) – 3 LP

Themenfeld Energietechnologien

- Grundlagen der Erneuerbaren Energien V/Ü/S (Hufendiek/Eltrop) – 6 LP
- Kraft-Wärme-Kopplung und Versorgungskonzepte V (Blesl/Jennes) – 6 LP
- Brennstoffzellentechnik – Grundlagen, Technik, Systeme V (A. Friedrich) – 6 LP
- Elektrochemische Energiespeicherung V (A. Friedrich) – 3 LP

Kernfächer sind fett hervorgehoben

Bachelorarbeiten, Studienarbeiten, Masterarbeiten

Beispiel am IER

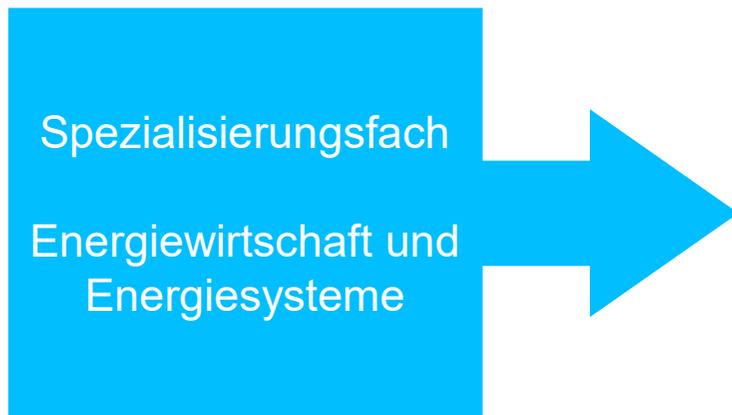
- Aktuell angebotene Aufgabenstellungen auf der IER-Homepage (Auszug)

Aktuelle Themen für studentische Arbeiten am IER

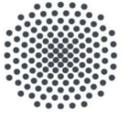
Betrieb von Offshore Power-to-X-Prozessen 28.08.24, 14:18 Uhr Bachelor-/Master-/Forschungsarbeit	Determining the influence of social trends on energy demand in the residential sector 28.08.24, 14:17 Uhr Forschungs-/Masterarbeit	Modellierung der Wechselwirkungen zwischen den Klimaschutzverträgen und den CO2-Preisen in der Industrie 19.08.24, 15:12 Uhr Bachelor/Forschungs-/Masterarbeit
Bestimmung des Einflusses gesellschaftlicher Trends auf die Energienachfrage im Haushaltsbereich 01.08.24, 09:23 Uhr Masterarbeit	Treibhausgasprojektion im Industriesektor bis zum Jahr 2040 17.07.24, 16:11 Uhr Bachelor/Forschungs-/Masterarbeit	Optimal Power Flow for the Multi-Energy-Grid Campus Vaihingen 17.07.24, 14:56 Uhr Bachelor/Forschungs-/Masterarbeit
Implementierung und Analyse von Resilienzindikatoren in einem linearen Optimierungsmodell für den europäischen Strommarkt 14.05.24, 16:58 Uhr Masterarbeit	Systematische Szenarienanalyse für den europäischen Strommarkt 06.09.24, 16:26 Uhr Masterarbeit	Implementierung eines Ansatzes zu nahe-optimalen Lösungen in einem linearen Optimierungsmodell für den europäischen Strommarkt 06.09.24, 16:25 Uhr Masterarbeit

<https://www.ier.uni-stuttgart.de/lehre/stud>

...und danach?



- Wissenschaft: Promotion am IER 😊
- Wirtschaft:
 - Energieversorger
 - Netzbetreiber
 - Energietechnik-Unternehmen
 - Ingenieurbüros
 - (Strategie)-Beratungen
- Öffentlicher Dienst:
 - Umwelt-Wirtschaftsministerien
 - UBA
 - KEA
 - IEA



Universität Stuttgart

IER Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung

Vielen Dank!



Prof. Dr.-Ing. Kai Hufendiek

E-Mail kai.hufendiek@ier.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685- 87801

Fax +49 (0) 711 685- 87873

Universität Stuttgart

IER - Institut für Energiewirtschaft und Rationelle

Energieanwendung

Heißbrühlstraße 49a

70565 Stuttgart

Stipendium
+ Mentoring
+ Praxis
+ Exkursionen

= Network²

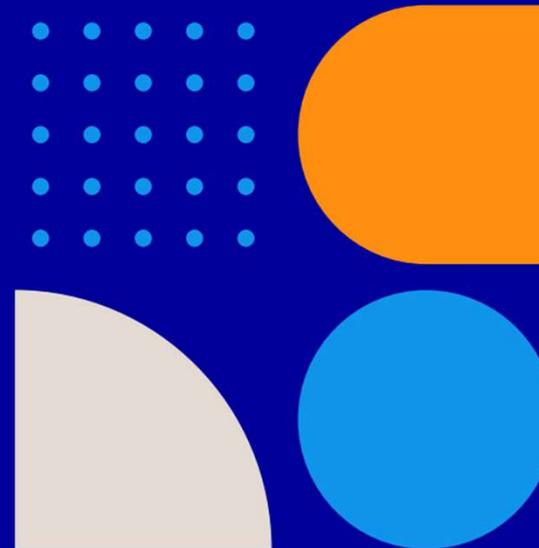
Bewirb dich jetzt für unser studienbegleitendes Förderprogramm Network² für Studierende. Dort erwarten dich neben einer finanziellen Unterstützung von 300€ im Monat auch persönliches Mentoring, spannende Exkursionen und hilfreiche Workshops.



Hier direkt bewerben:

www.netze-bw.de/network2

 Netze BW



Ein Unternehmen der EnBW