

Energiewende

Herausforderungen und Chancen

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner

Gas- und Wärme-Institut Essen e.V.
Rhein Ruhr Power e.V.
Universität Duisburg-Essen

CDU Lünen | 06.03.2024 | Stadtwerke Lünen | Lünen

Prof. Klaus Görner

Vita, Funktionen, Aktivitäten

Vita

Studium	Verfahrenstechnik an der Universität Stuttgart
Prom. und Habil.	Energietechnik an der Universität Stuttgart
Industrie	Lentjes und Deutsche Babcock



Funktionen

LUAT / LEE	Universität Duisburg-Essen - Leiter bis 01/2023, heute Senior-Prof.
GWl	Gas- und Wärme-Institut Essen e.V. - Wissenschaftlicher Vorstand bis 08/2023
RRP	Rhein Ruhr Power e.V. - Vorstand
VAIS	Verband für Anlagentechnik und Industrieservice - Vorstand
InPro-Consult	Innovative Prozessoptimierung - Gesellschafter und Geschäftsführer

Aktivitäten

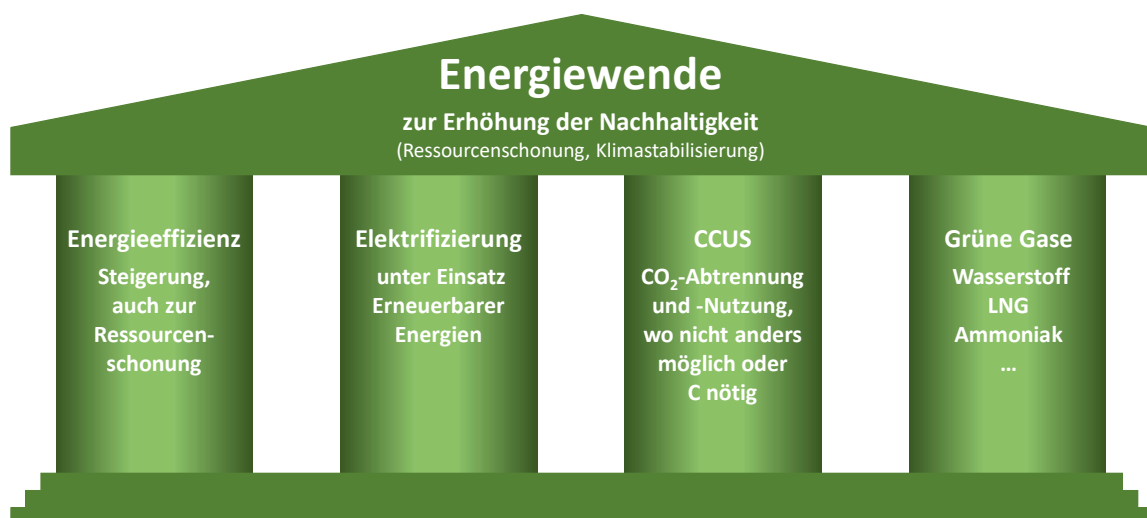
Gestern	Dynamische Anlagensimulation und Teilsystemoptimierung
Heute	Systemische Betrachtungen Systemaggregation und -komplettierung
Morgen	Wasserstoff, P2X und Sektorenkopplung auf allen Ebenen



Energiewende

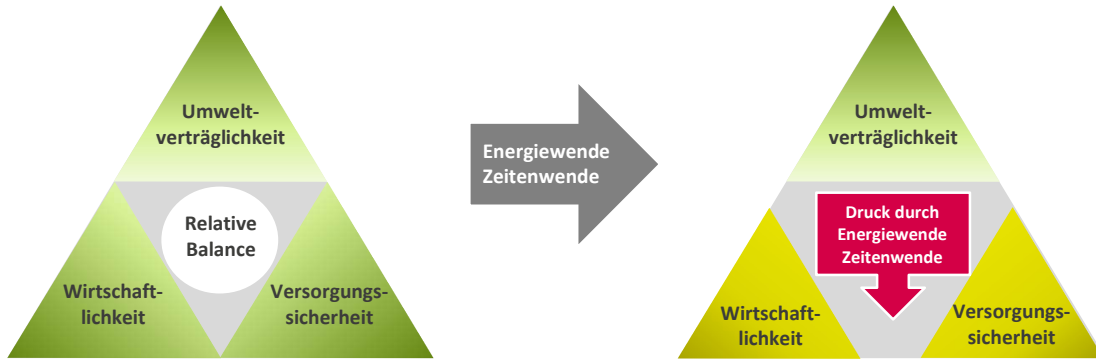
Säulen der Energiewende

Verschiedene Ansätze



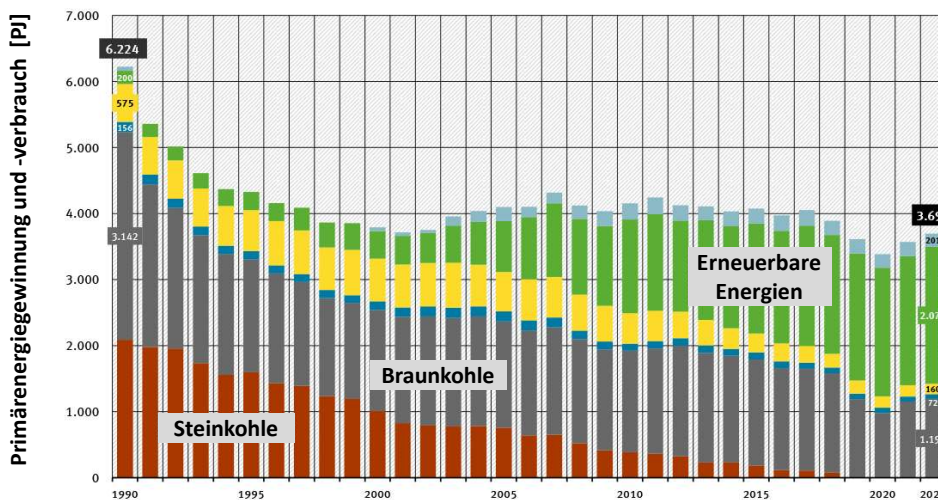
Energiewirtschaftliches Zieldreieck

Verschiebungen durch „Energiewende“ und „Zeitenwende“



Herausforderungen der Energiewende

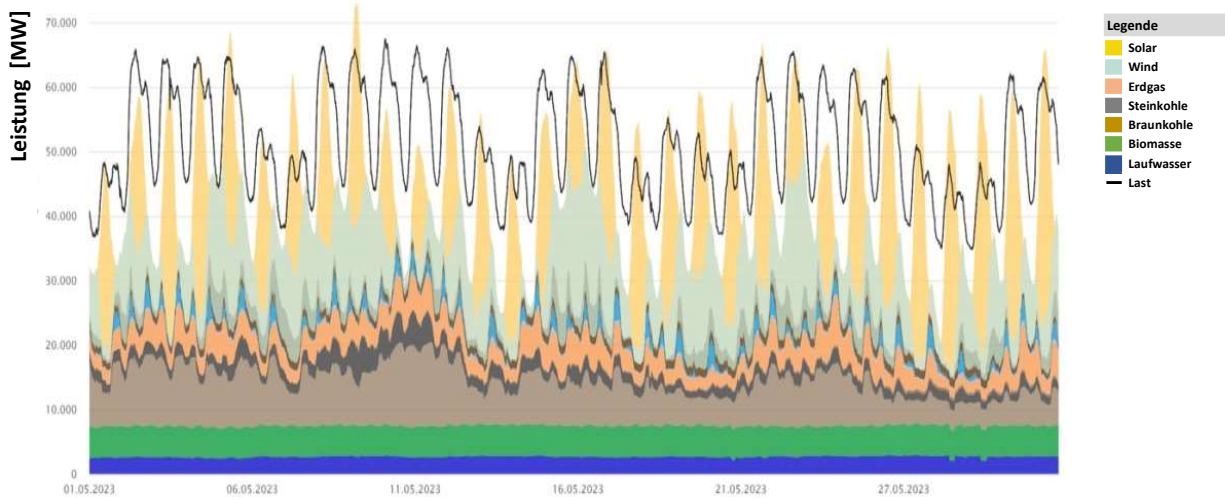
Primärenergiegewinnung in D in 2022



Gewinnung 2022	PJ	TWh
Erneuerbare	2.071	575
Andere	201	56
Erdgas	160	44
Mineralöl	72	20
Braunkohle	1.193	331
Steinkohle	0	0
Kernenergie	0	0
Gesamt	3.697	1.026

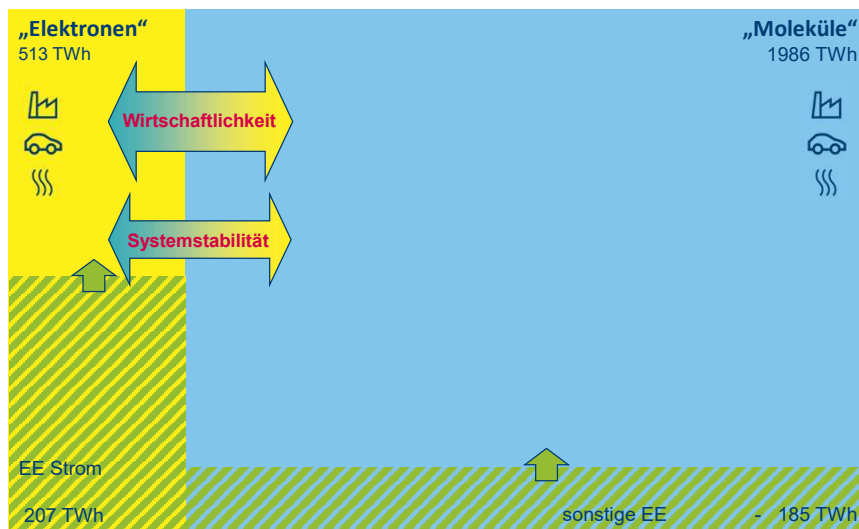
Quelle: UBA auf Basis Energiedaten 09/2023

Herausforderungen der Energiewende Öffentliche Netto-Stromerzeugung in D in 05/2023



Quelle: Energy-Charts.info 03.06.2023 mit Daten von ENTSO-E, AGEE-Stat, Destatis, Fhg ISE, AG Energiebilanzen

Sektorenbetrachtung Zwei-Energieträger-Welt



EE-Anteile

- Elektronen < 50 %
- Moleküle < 10 %

Sektorenkopplung

Konversion zwischen Elektronen und Molekülen tragen zur

- **Wirtschaftlichkeit**
- und
- **Systemstabilität**

bei.

Quelle: OGE, 2020; mod. 2024

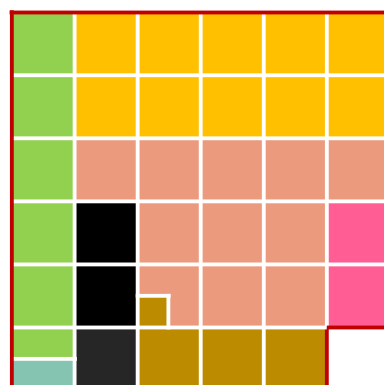
Herausforderungen Klimaschutz und Gasmangelsituation

Primärenergieaufkommen in Deutschland Aufteilung nach Energieträgern



Ausgangssituation | 2021 | Gesamtbedarf 3.500 TWh

Bereitstellung	TWh
Erneuerbare	545
Andere	44
Erdgas	1.003
Mineralöl	1.077
Braunkohle	315
Steinkohle	291
Kernenergie	210
Gesamt (gerund.)	3.500



1 Kachel = 100 TWh
Rundung ± 25 TWh

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter?
Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

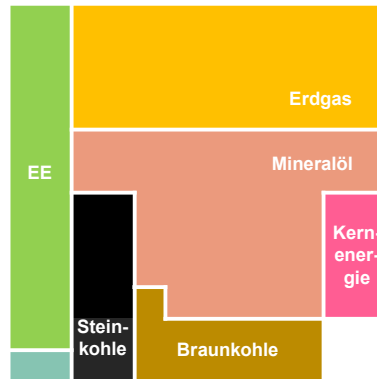
Primärenergieaufkommen in Deutschland

Aufteilung nach Energieträgern



Ausgangssituation | 2021 | Gesamtbedarf 3.500 TWh

Bereitstellung	TWh
Erneuerbare	545
Andere	44
Erdgas	1.003
Mineralöl	1.077
Braunkohle	315
Steinkohle	291
Kernenergie	210
Gesamt (gerund.)	3.500



1 Kachel = 100 TWh
Rundung: ± 25 TWh

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

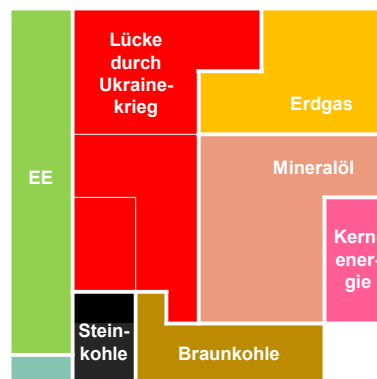
Primärenergieaufkommen in Deutschland

Aufteilung nach Energieträgern



Lieferstopp aus Rußland | 2021 | Gesamtbedarf 3.500 TWh

Bereitstellung	TWh
Erneuerbare	545
Andere	44
Erdgas	500
Mineralöl	700
Braunkohle	315
Steinkohle	150
Kernenergie	210
Gesamt (gerund.)	2.450



1 Kachel = 100 TWh
Rundung: ± 25 TWh

Lücke durch Ausfall der Lieferungen aus Russland	
Erdgas	500 TWh
Mineralöl	375 TWh
Steinkohle	150 TWh
=====	
Gesamt	1.025 TWh

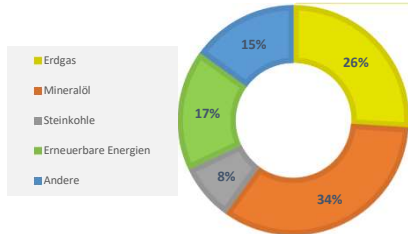
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

Energiedaten für Deutschland

Primärenergieanteil | Absolutwert | Substitutionsmöglichkeiten

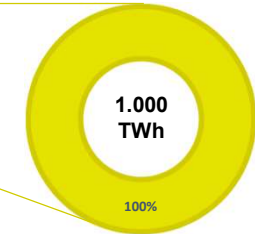


Erdgas-Anteil bei Primärenergieträgern 2020



Erdgas absolut [TWh]

Im Vergleich Strom 550 TWh

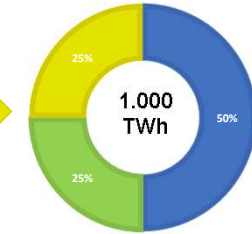


Daran Anteil Chemie 90 TWh

Anteil zur Wärmeerzeugung
Prozesswärme 205 TWh
Raumwärme 355 TWh

Substitution bis 2030

Szenario keine Prognose



Wasserstoff Biogas LNG

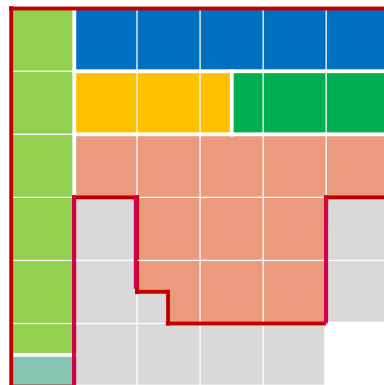
Primärenergieaufkommen in Deutschland

Aufteilung nach Energieträgern



Ausstieg aus KE, SK und BK | 2030 | Gesamtbedarf 3.500 TWh

Bereitstellung	TWh
Erneuerbare	600
Andere	50
Erdgas	1.075
Mineralöl	1.000
Braunkohle	0
Steinkohle	0
Kernenergie	0
Gesamt (gerund.)	2.675



EG-Ersatz	TWh
Wasserstoff	500
Biogas	250
LNG	250
Gesamt Gas	1.000

Lücke durch Ausstieg aus der KE, SK und BK	
Kernenergie	0 TWh
Steinkohle	0 TWh
Braunkohle	0 TWh
Defizit	825 TWh

1 Kachel = 100 TWh
Rundung: ± 25 TWh

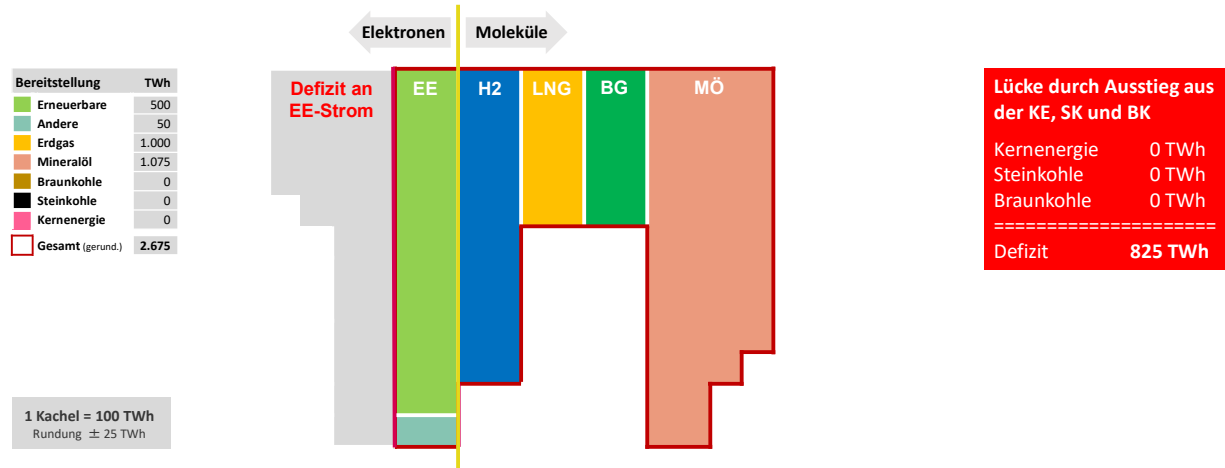
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

Primärenergieaufkommen in Deutschland

Aufteilung nach Energieträgern



Ausstieg aus KE, SK und BK | 2030 | Gesamtbedarf 3.500 TWh



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

Görner | Energiewende – Herausforderungen und Chancen | CDU Lünen Veranstaltung | 06.03.2024 | Lünen

15



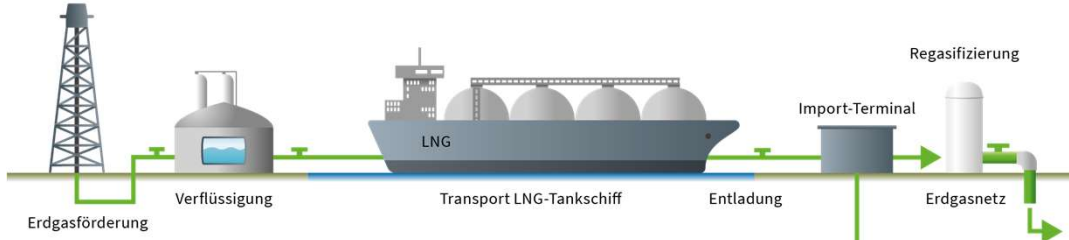
LNG
Verflüssigtes (Erd-)Gas

LNG | Transport, Verteilung, Nutzung

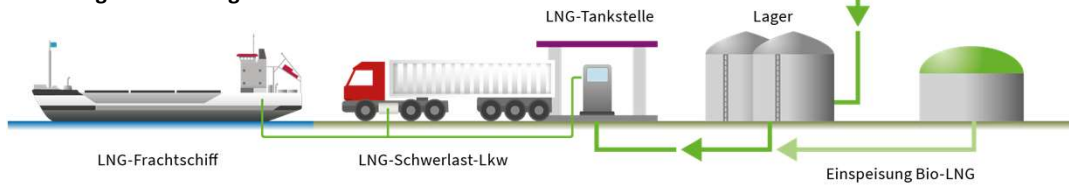
Lieferketten schematisch



Lieferkette vom Ursprungsland nach Deutschland



Verteilung und Nutzung in Deutschland



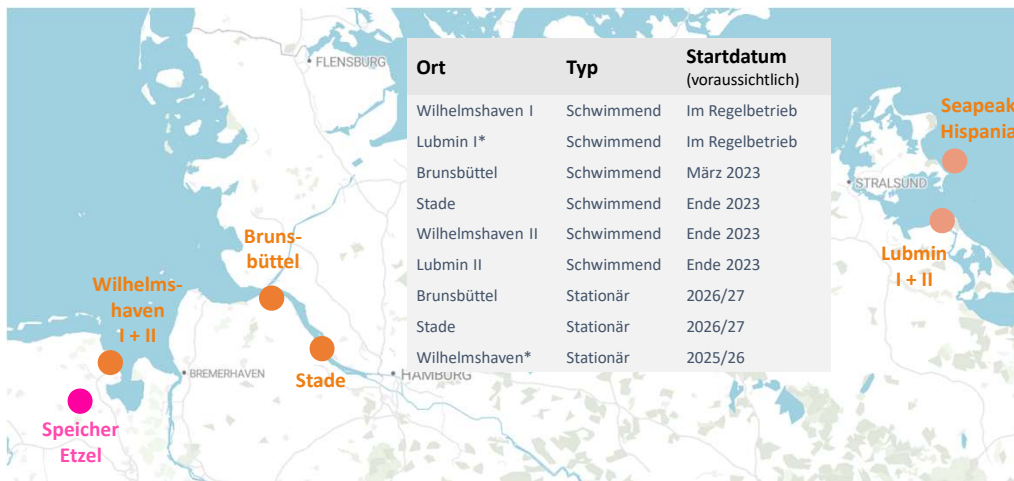
Quelle: GEWERBEGAS.info, 2023 - Download am 28.02.2023

Görner | Energiewende – Herausforderungen und Chancen | CDU Lünen Veranstaltung | 06.03.2024 | Lünen

17

LNG | Import-Terminals in Deutschland

Schwimmende und stationäre Terminals



*Außer diesen beiden Terminals sind alle hier gezeigten Anlagen staatlich.

Quelle: BMWK, Land Niedersachsen, Land Schleswig-Holstein

Quelle: <https://www.ndr.de/nachrichten/info/LNG-Fakten-zu-Fluessigerdgas-und-Projekten-in-Norddeutschland,Inghintergrund100.html> - download am 01.03.2023

Görner | Energiewende – Herausforderungen und Chancen | CDU Lünen Veranstaltung | 06.03.2024 | Lünen

18

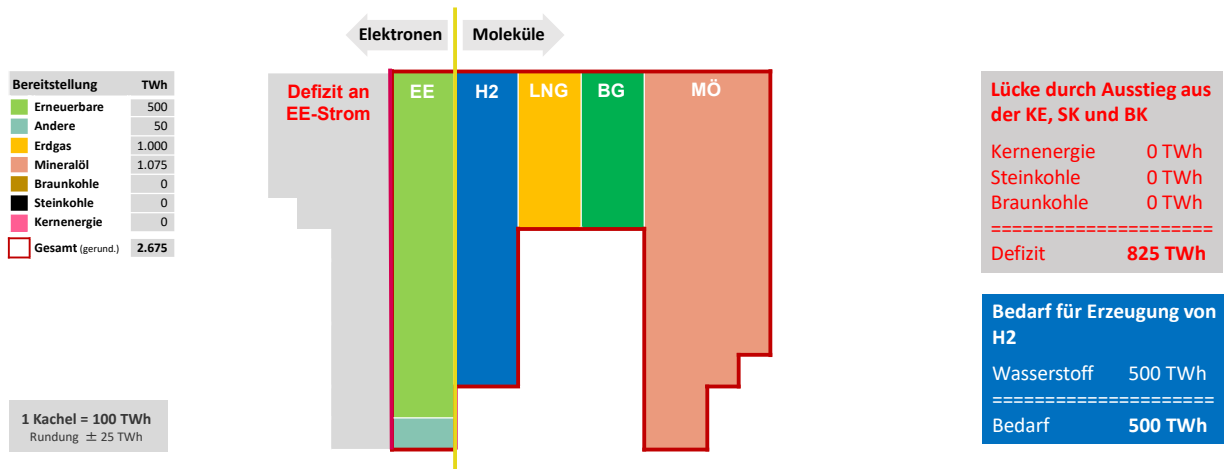


H₂ Wasserstoff

Primärenergieaufkommen in Deutschland Aufteilung nach Energieträgern



Ausstieg aus KE, SK und BK | 2030 | Gesamtbedarf 3.500 TWh



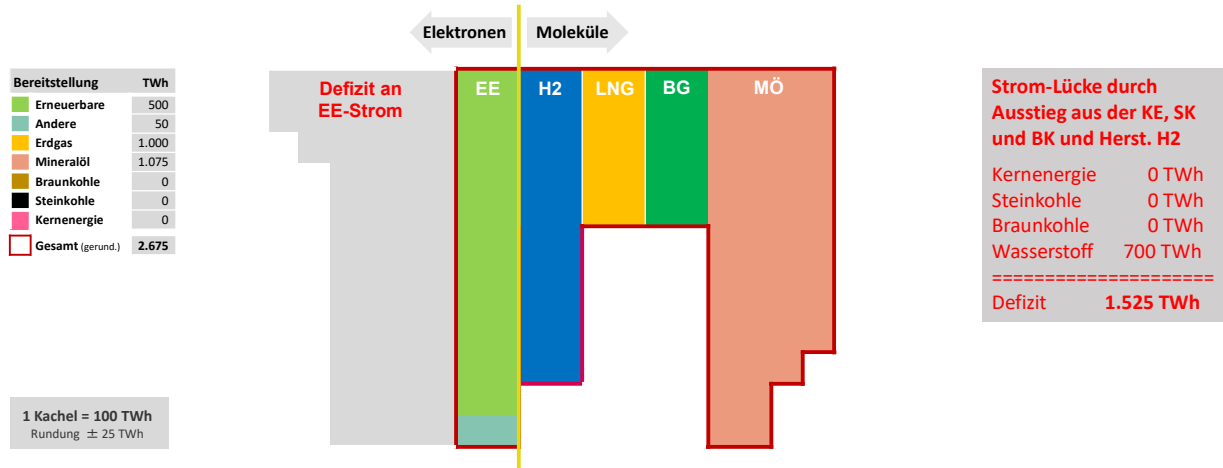
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

Primärenergieaufkommen in Deutschland

Aufteilung nach Energieträgern



Herstellung des Wasserstoffs | 2030 | Gesamtbedarf 5.025 TWh



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

Erzeugung von Wasserstoff

Beispielrechnung für 500 TWh H₂



	Volumen	Masse	Energie	Strom
Wasserstoff-Bedarf	170 Mrd m ³	15,1 Mrd kg	1.800 PJ	500 TWh
Zur Herstellung mit Elektrolyse würde hierfür Strom benötigt				
Strom-Verbrauch für Elektrolyse (η=70 %)				706 TWh
Hierfür müsste eine elektrische Elektrolyseleistung installiert werden				
Elektrolyse-Leistung				82 GW
Ausgeschriebenes Ziel des BMWK für eine Elektrolyseleistung in D bis 2030				
				10 GW
Mit diesem sehr ambitionierten Ziel kann gerade ca. 1/8 des H ₂ national erzeugt werden.				
Notwendiger Invest für die obige Kapazität von 82 GW				
Investitions-Volumen (spez. Kosten: 750-1.500 €/kW)				60 - 120 Mrd €

Zumischung ins Erdgasnetz

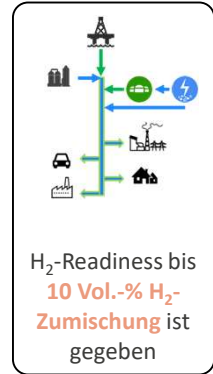
Verteilnetzebene



Ein **H₂-Anteil von bis zu 10 Vol.-%** im Gasgemisch ist gemäß DVGW Arbeitsblatt G 260 heute zulässig.

Zur Absicherung wurden diverse DVGW-F&E-Forschungsprojekte durchgeführt, z. B.:

- **Mögliche Beeinflussung von Bauteilen der Gasinstallation durch Wasserstoffanteile im Erdgas unter Berücksichtigung der TRGI**
Absicherung des **Sicherheitskonzepts** und der Dimensionierung
- **Untersuchungen zur Einspeisung von Wasserstoff in ein Erdgasnetz**
Einspeisung von bis zu 10 Vol.-% H₂ in ein Erdgasnetz mit 180 Gasgeräten, erste grundlegende **Praxiserfahrungen Einspeisung** und Gasgerätebetrieb, begleitende Laboruntersuchungen bis 30 Vol.-% H₂ (Betriebssicherheit)
- **Wasserstofftoleranz der Erdgasinfrastruktur inklusive aller assoziierten Anlagen**
Analyse und **Bewertung der Wasserstofftoleranz aller Bauteile**, Anlagen und Messtechnik sowie Speicher im Bereich Transport- und Verteilnetze bis hin zur Anwendung
- **Aufzeigen von Handlungsbedarf in der Normung**



Quelle: DVGW 2020

Görner | Energiewende – Herausforderungen und Chancen | CDU Lünen Veranstaltung | 06.03.2024 | Lünen

23

Zumischung ins Erdgasnetz

Verteilnetzebene



Ein **H₂-Anteil von bis zu 20 Vol.-%** im Gasgemisch wird zeitnah angestrebt.

Der DVGW arbeitet in enger Abstimmung mit den Geräteherstellern und Instituten an den Herausforderungen. Dazu wurden diverse F&E-Projekte initiiert.

Das gesamte Regelwerk wurde analysiert, die Weiterentwicklung gestartet (s. Gelbdruck DVGW G 260!).

Zertifizierungsprogramm ZP 3100



Ergänzungsprüfungen für Heizkessel für gasförmige Brennstoffe für einen Wasserstoffgehalt von bis zu 20 Vol.-% (in Kraft ab 07.10.2020).

H₂-Substitution

Auswirkung von H₂-Zumischungen auf industrielle Feuerungsprozesse in Thermoprozessanlagen



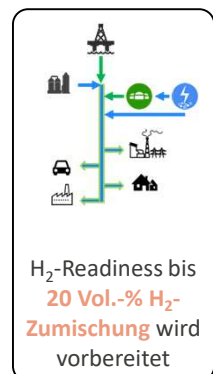
Roadmap Gas 2050

Entwicklung einer Roadmap zur Umsetzung des DVGW-Energieimpulses bis zum Jahr 2050
H2-20 | Wasserstoff in der Gasinfrastruktur - DVGW/Avacon-Pilotvorhaben mit bis zu 20 Vol.-% H₂-Einspeisung



H₂-Readiness bis 20 Vol.-% H₂ Zumischung

THyGA Testing Hydrogen Admixture for Gas Appliances



Görner | Energiewende – Herausforderungen und Chancen | CDU Lünen Veranstaltung | 06.03.2024 | Lünen

24

Zukünftige Wasserstoffinfrastruktur in Deutschland

Transportnetzebene



Vision der FNB für Transportnetzebene

Entstehung:

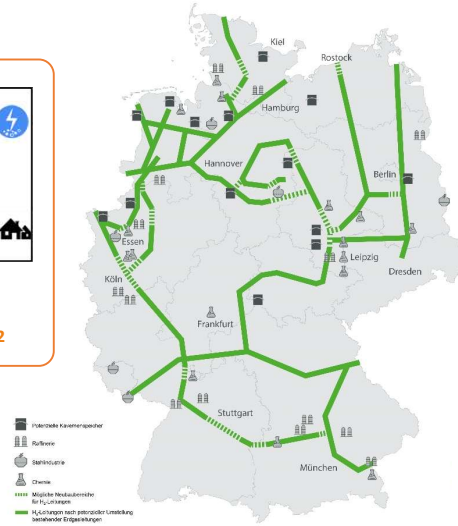
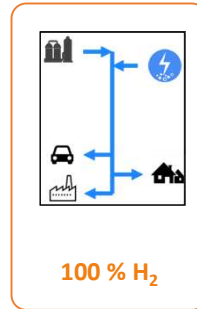
Umwidmung von Erdgasleitungen auf Wasserstoff ergänzt durch **Zubau** zum Aufbau eines Wasserstofftransportnetzes (100 % H₂)

Länge:

1.200 km (bis 2030), davon ca. 90 % aus Bestand

Kosten:

ca. 600 Mio. €



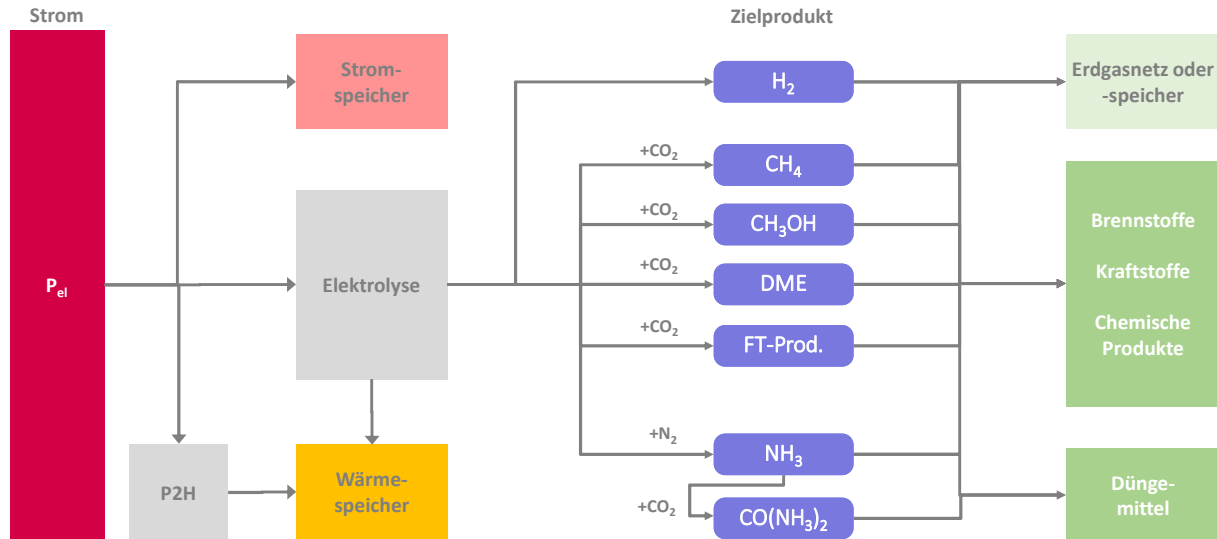
Gas- und Wärme-
Institut Essen e.V.



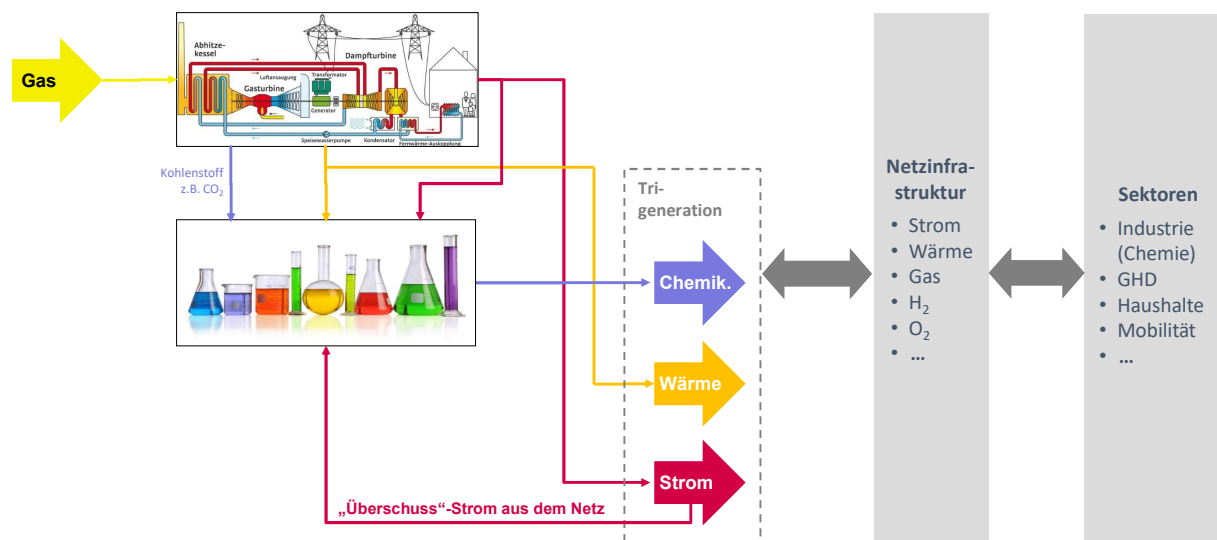
P2X
Sektorenkopplung

Industrie-Sektor - Chemische Industrie

Kernprodukte einer Sektorenkopplung Energie - Chemie



Sektorenkopplung

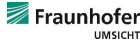


Wasserstoff als Element der Sektorenkopplung

P2X-Plattform

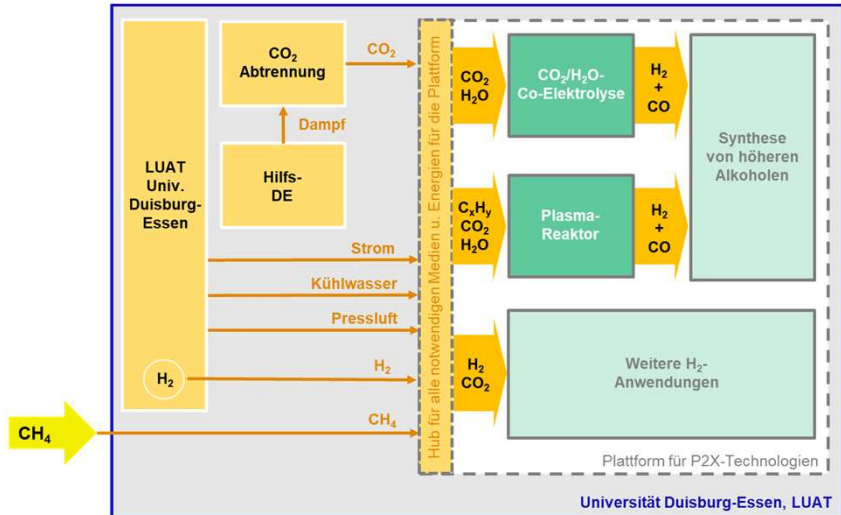


P2X-Plattform zur Demonstration von Technologien und Anlagen-Integration



P2X-Plattform am LUAT

- CO₂-Bereitstellung aus Erdgasverbrennung (für GT, GuD)
- Synthesegasherstellung mit
 - Katalytischer Co-Elektrolyse
 - Plasmalyse
- Synthese eines P2X-Produktes (höherer Alkohol)
- Analyse der Rückwirkungen auf das elektrische Netz



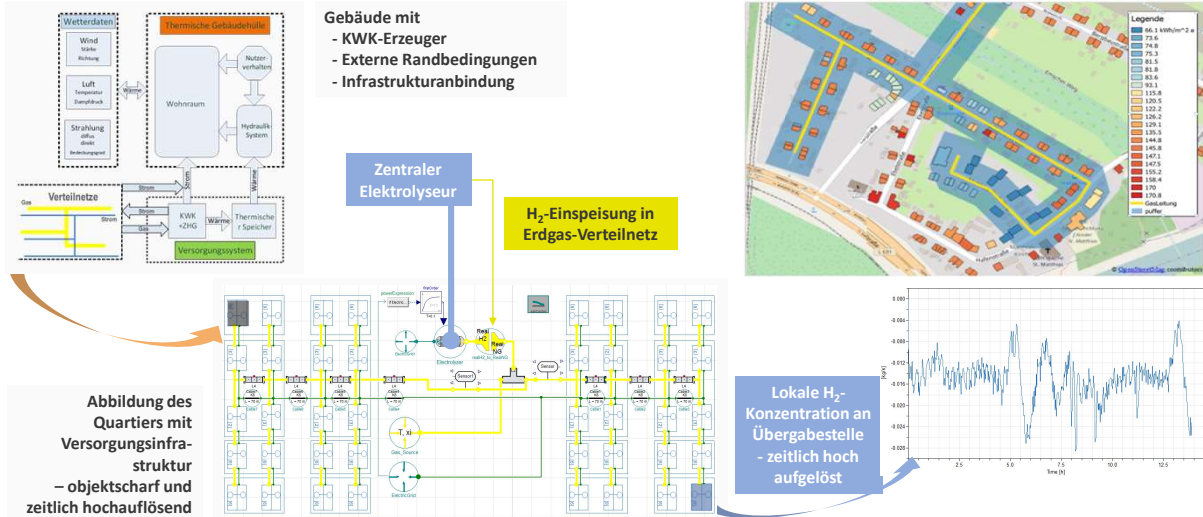
KWK Kraft-Wärme- Kopplung



Zumischung ins Erdgasnetz Lokale Umsetzung im Quartier



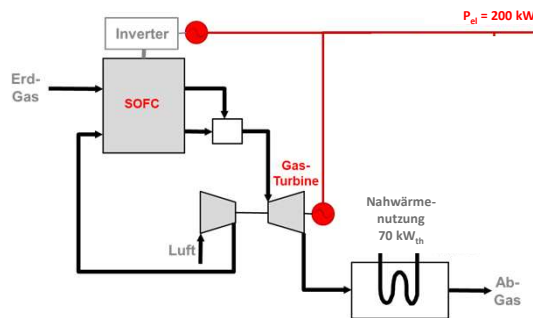
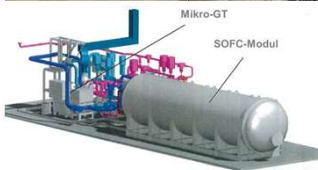
Quartiere mit KWK-Anlagen und zentralem Elektrolyseur



Wasserstoff KWK-Anlage mit LNG-Tank



KWK-Anlage 200 kW_{el}, Erdgas (leitungsgebunden und mit LNG)



Kombination aus SOFC-Hybrid-Anlage und LNG-Tank

- Inselbetrieb
- Schwarzstartfähigkeit





Resümee

Vergleich gasförmiger Energieträger



Fazit

Erdgas ...

- ... hat in D als Energieträger einen fast doppelt so hohen Anteil wie Strom
- ... bleibt „Brücken“-Energieträger für die Energiewende
- ... ist „Türöffner“ für Wasserstoff und stellt teilweise Infrastruktur zur Verfügung
- ... ist ein wichtiges stoffliches Edukt für viele Produkte

Wasserstoff ...

- ... ist ein zentrales Element der Energiewende
- ... muss ganzheitlich gedacht werden (Erzeugung, Transport, Speicherung)
- ... erschließt die Potenziale einer Sektorenkopplung

Ammoniak ...

- ... kann ergänzend zu Wasserstoff betrachtet werden
- ... hat Vorteile ggü. Wasserstoff in Bezug auf Transport und Speicherung
- ... ist verbrennungstechnisch noch schwer zu beherrschen

Fazit

Elektrifizierung von Sektoren bzw. Branchen ...

- ... z.B. Chemische Industrie (628 TWh)
- ... z.B. Mobilitätssektor
- ... z.B. Wärmesektor (Wärmepumpen zur Gebäudeenergieversorgung)
- ... **erhöhen nochmals den Strombedarf und damit das Erzeugungsdefizit**

Ausbau der EE-Stromerzeugung ...

- ... läuft heute schon deutlich hinter Planung
- ... wird durch zusätzlichen Strombedarf noch stärker unter Druck kommen
- ... **muss damit im Fokus der Energiewende noch stärker verfolgt werden**
- ... **wobei die disponible Stromerzeugung darin keinen Business Case darstellt**

Moleküle ...

- ... sind z.B. aus der Chemischen Industrie nicht wegzudenken
- ... haben im Sinne der Sektorkopplung eine stark stabilisierende Funktion
- ... **müssen deutlich größere Beachtung finden**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr.-Ing. Klaus Görner

RRP Rhein Ruhr Power e.V., Hafenstraße 101, 45356 Essen
 LUAT Universität Duisburg-Essen, Leimkugelstraße 10, 45145 Essen
 GWI Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Hafenstraße 101, 45356 Essen