

# 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.  
GWI | 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

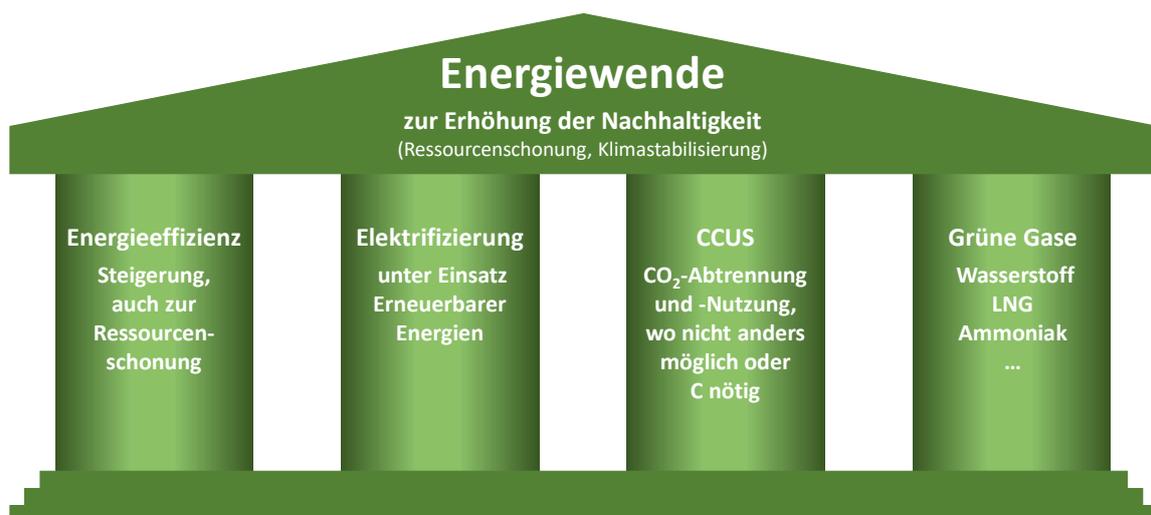
Gestern | Dynamische Anlagensimulation und Teilsystemoptimierung  
Heute | Systemische Betrachtungen | Systemaggregation und -komplettierung  
Morgen | Wasserstoff, P2X und Sektorenkopplung auf allen Ebenen



# Energiewende

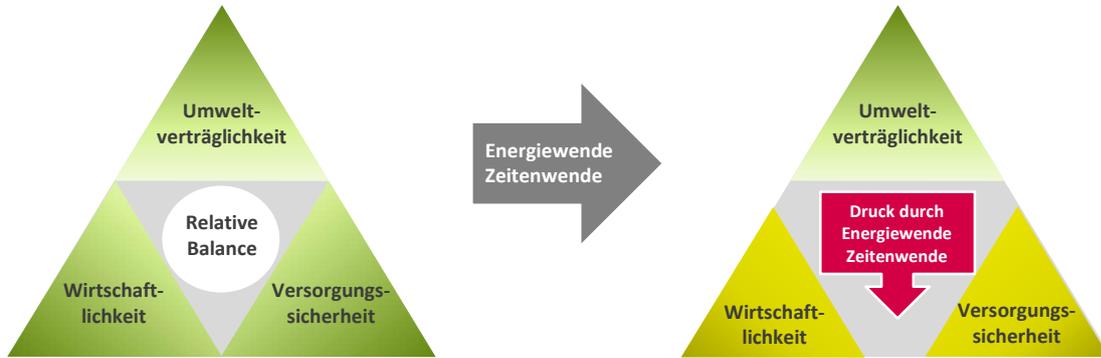
## Säulen der Energiewende

Verschiedene Ansätze



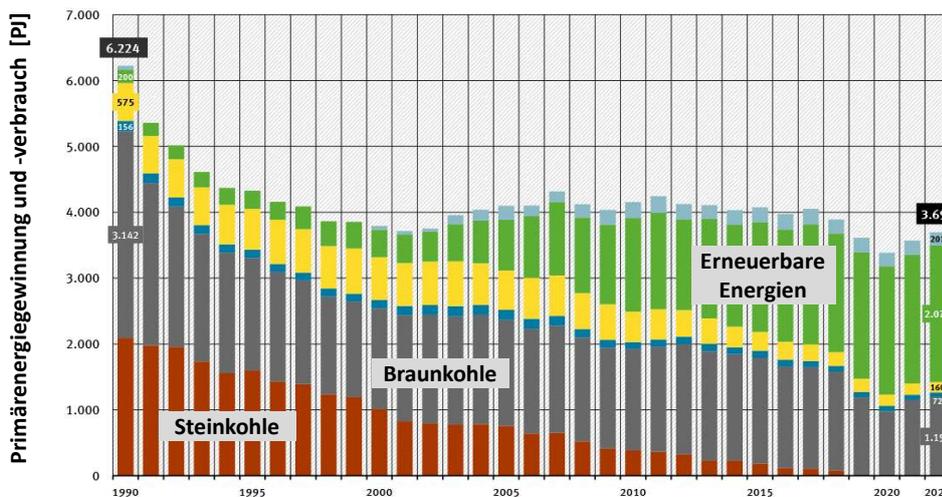
## Energiewirtschaftliches Zieldreieck

Verschiebungen durch „Energiewende“ und „Zeitenwende“



## Herausforderungen der Energiewende

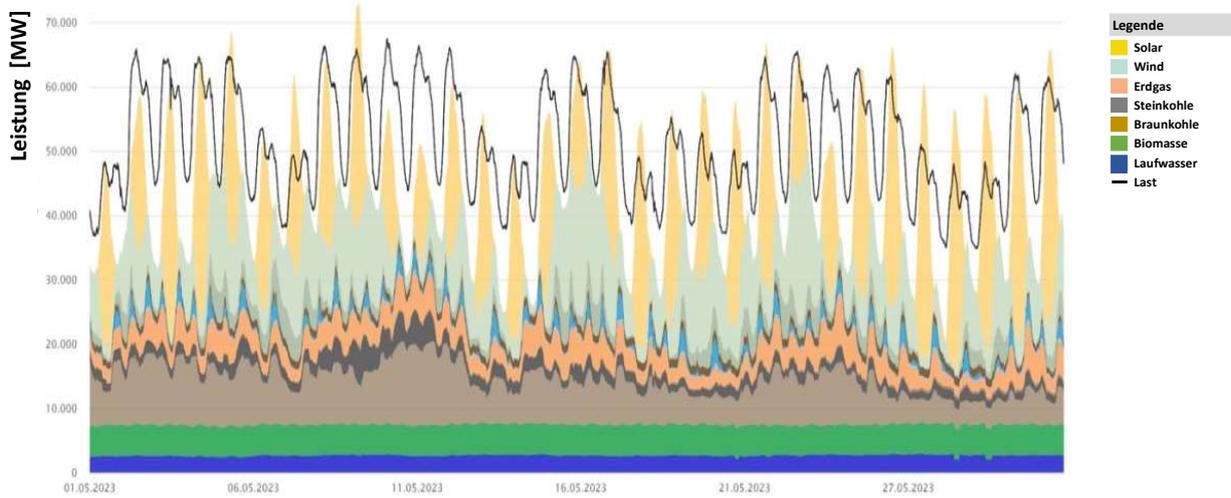
### Primärenergiegewinnung in D in 2022



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
<b>Gesamt</b>	<b>3.697</b>	<b>1.026</b>

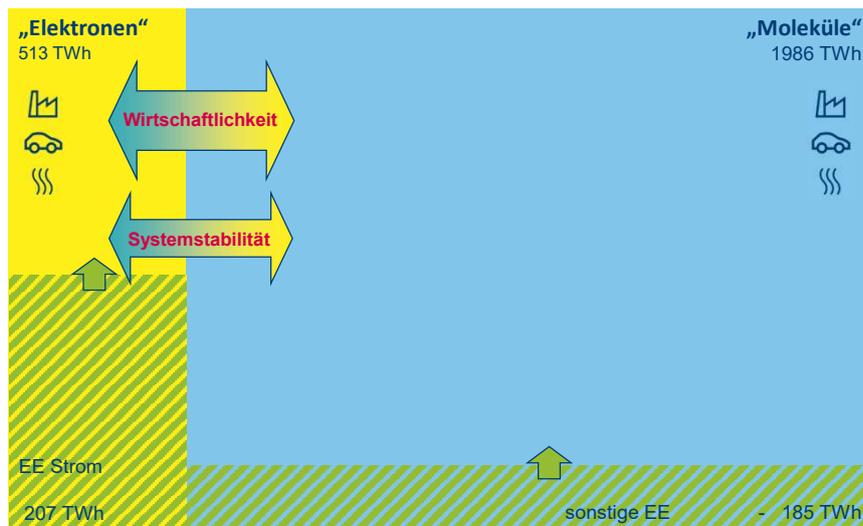
Quelle: UBA auf Basis Energiedaten 09/2023

## 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

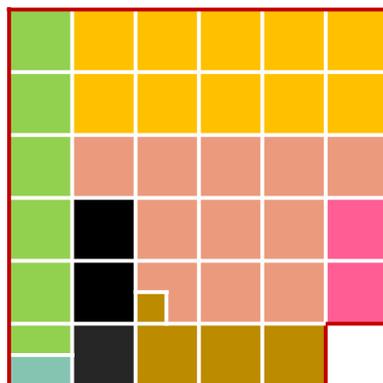
Rhein Ruhr  
**Power**

UNIVERSITÄT  
DUISBURG  
ESSEN

gwi

Ausgangssituation | 2021 | Gesamtbedarf 3.500 TWh

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



1 Kachel = 100 TWh  
Rundung:  $\pm 25$  TWh

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

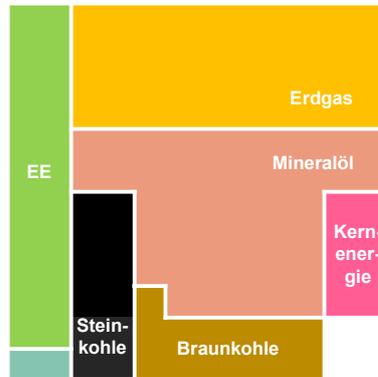
# Primärenergieaufkommen in Deutschland

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
<b>Gesamt (gerund.)</b>	<b>3.500</b>



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 AGE B für 2021

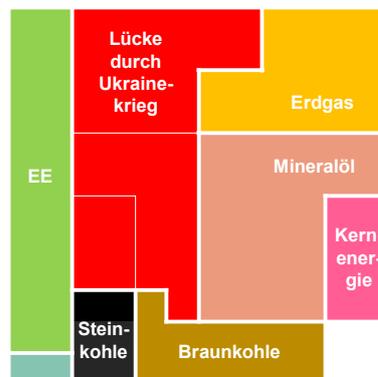
# Primärenergieaufkommen in Deutschland

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
<b>Gesamt (gerund.)</b>	<b>2.450</b>



1 Kachel = 100 TWh  
Rundung: ± 25 TWh

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

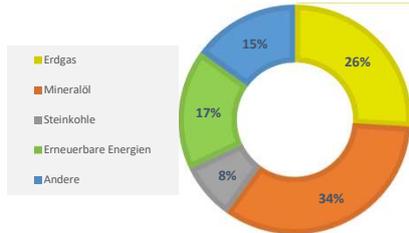
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGE B für 2021

# Energiedaten für Deutschland

Primärenergieanteil | Absolutwert | Substitutionsmöglichkeiten

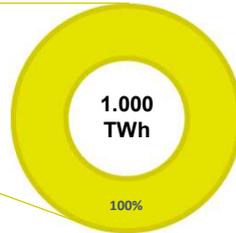


## Erdgas-Anteil bei Primärenergieträgern 2020



## Erdgas absolut [TWh]

Im Vergleich Strom 550 TWh

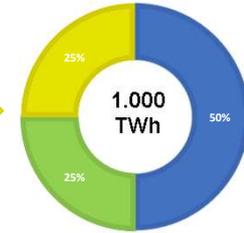


Daran Anteil Chemie 90 TWh

Anteil zur Wärmeerzeugung  
Prozesswärme 205 TWh  
Raumwärme 355 TWh

## Substitution bis 2030

Szenario keine Prognose



Wasserstoff Biogas LNG

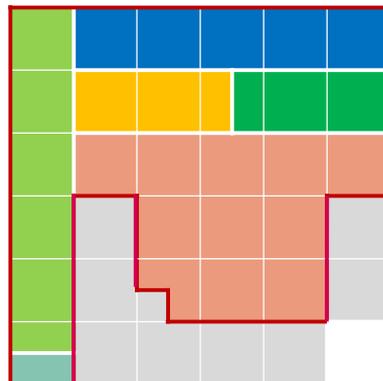
# Primärenergieaufkommen in Deutschland

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
<b>Gesamt (gerund.)</b>	<b>2.675</b>



EG-Ersatz	TWh
Wasserstoff	500
Biogas	250
LNG	250
<b>Gesamt Gas</b>	<b>1.000</b>

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

1 Kachel = 100 TWh  
Rundung: ± 25 TWh

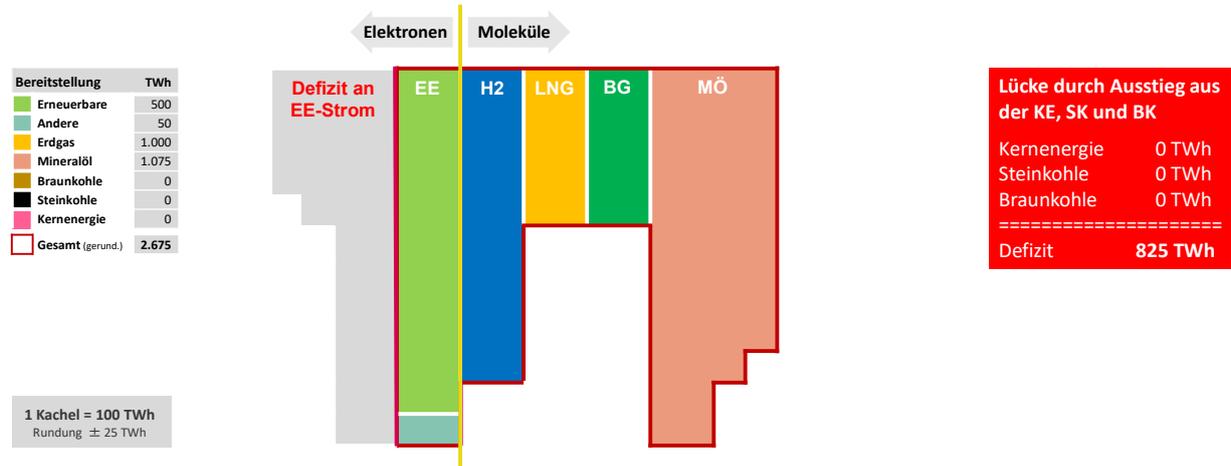
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

# 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



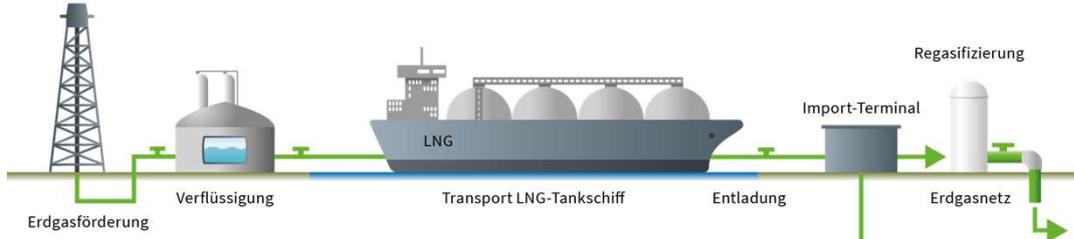
LNG  
Verflüssigtes (Erd-)Gas

## LNG | Transport, Verteilung, Nutzung

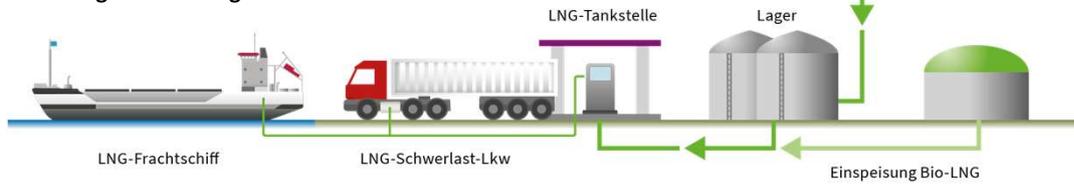
Lieferketten schematisch



### 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



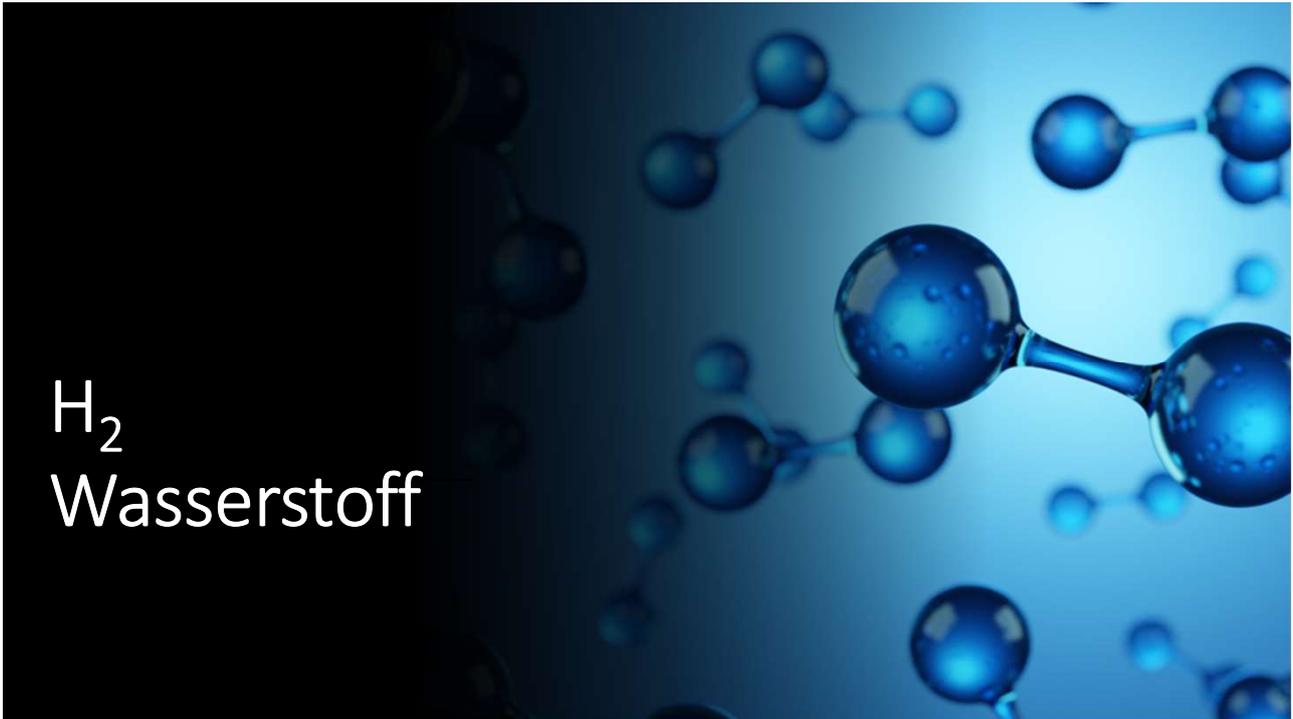
\*Außer diesen beiden Terminals sind alle hier gezeigten Anlagen staatlich.

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

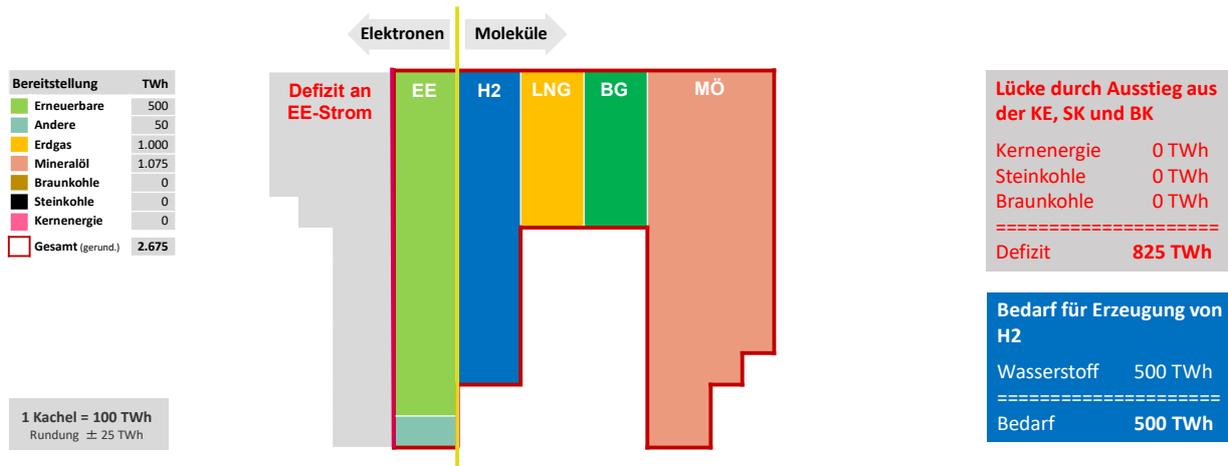


# H<sub>2</sub> Wasserstoff

## Primärenergieaufkommen in Deutschland Aufteilung nach Energieträgern



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



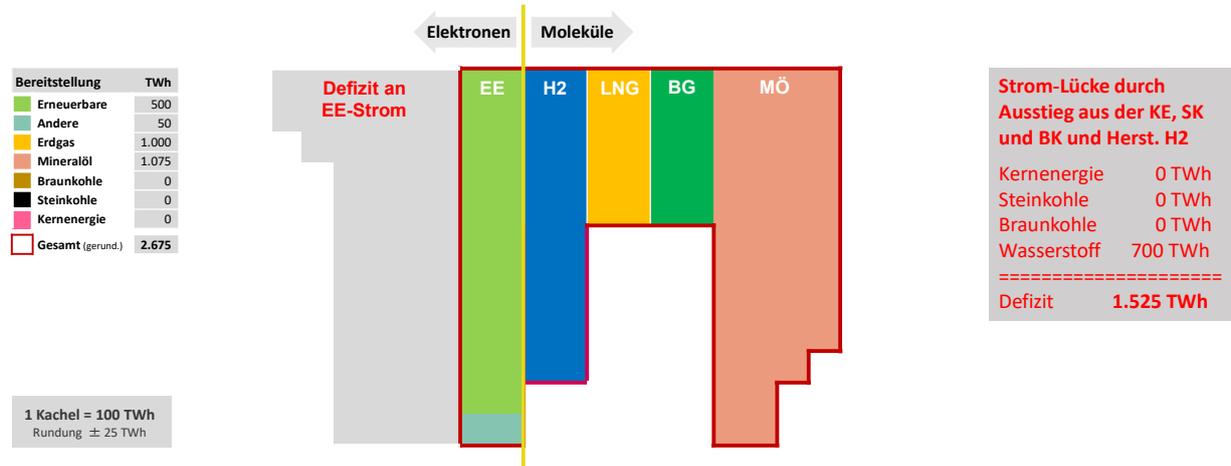
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Linke, G.: Wie kommen wir über den nahen Winter? Energie | wasser-praxis, 11/2022 - dabei Daten von AGEF für 2021

# 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 AGEB für 2021

# Erzeugung von Wasserstoff

Beispielrechnung für 500 TWh H<sub>2</sub>



	Volumen	Masse	Energie	Strom
<b>Wasserstoff-Bedarf</b>	170 Mrd m <sup>3</sup>	15,1 Mrd kg	1.800 PJ	<b>500 TWh</b>
Zur Herstellung mit Elektrolyse würde hierfür Strom benötigt				Aktuelle Werte für D in 2020
<b>Strom-Verbrauch für Elektrolyse (η=70 %)</b>			<b>706 TWh</b>	Verbrauch <b>539,4 TWh</b>
Hierfür müsste eine elektrische Elektrolyseleistung installiert werden				Install. Kapazität <b>224,7 GW</b>
<b>Elektrolyse-Leistung</b>			<b>82 GW</b>	
Ausgeschriebenes Ziel des BMWK für eine Elektrolyseleistung in D bis 2030				<b>10 GW</b>
Mit diesem sehr ambitionierten Ziel kann gerade ca. 1/8 des H <sub>2</sub> national erzeugt werden.				<b>Massiver H<sub>2</sub>-Import notwendig</b>
Notwendiger Invest für die obige Kapazität von 82 GW				
<b>Investitions-Volumen</b> (spez. Kosten: 750-1.500 €/kW)			<b>60 - 120 Mrd €</b>	

## Zumischung ins Erdgasnetz

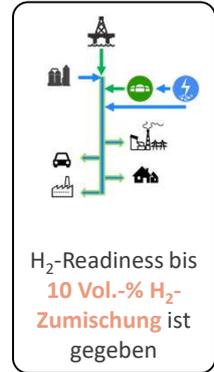
Verteilnetzebene



Ein **H<sub>2</sub>-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.-% H<sub>2</sub> in ein Erdgasnetz mit 180 Gasgeräten, erste grundlegende **Praxiserfahrungen Einspeisung** und Gasgerätebetrieb, begleitende Laboruntersuchungen bis 30 Vol.-% H<sub>2</sub> (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 **H<sub>2</sub>-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).

### H<sub>2</sub>-Substitution

Auswirkung von H<sub>2</sub>-Zumischungen auf industrielle Feuerungsprozesse in Thermoprozessanlagen



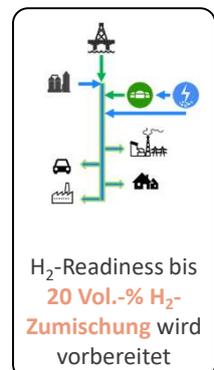
### Roadmap Gas 2050

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.-% H<sub>2</sub>-Einspeisung



### H<sub>2</sub>-Readiness bis 20 Vol.-% H<sub>2</sub> 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:

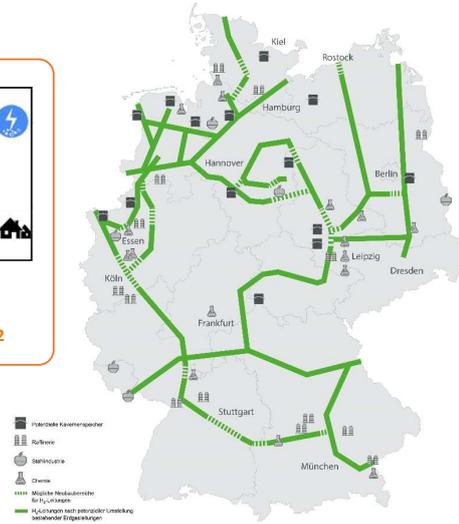
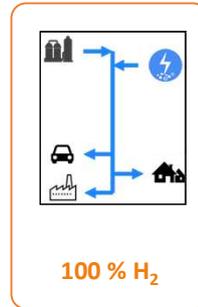
**Umwidmung** von Erdgasleitungen auf Wasserstoff ergänzt durch **Zubau** zum Aufbau eines Wasserstofftransportnetzes (100 % H<sub>2</sub>)

##### Länge:

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

##### Kosten:

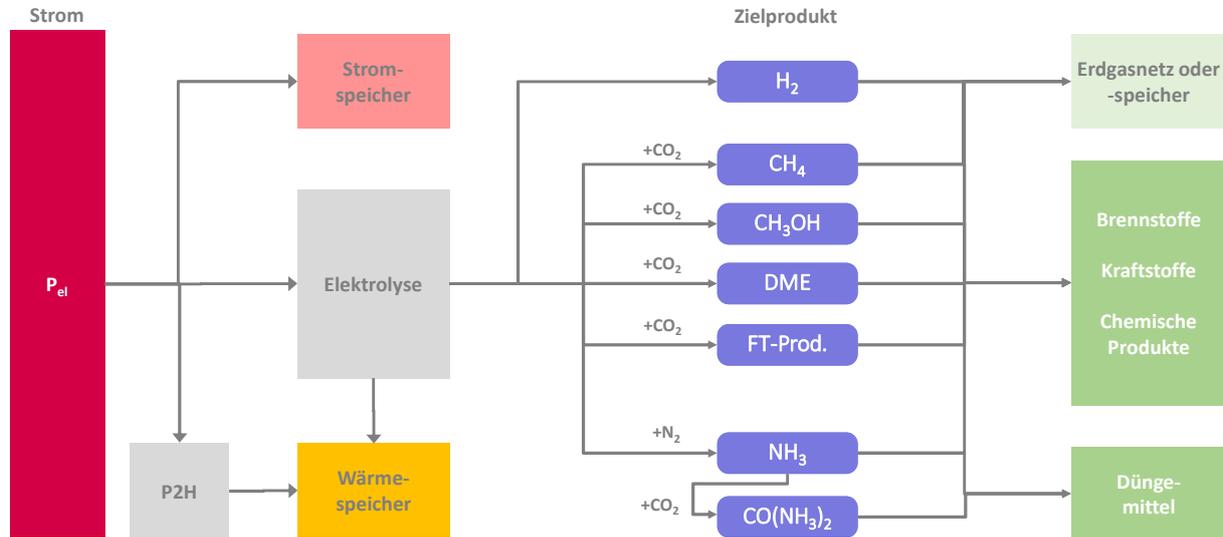
ca. 600 Mio. €



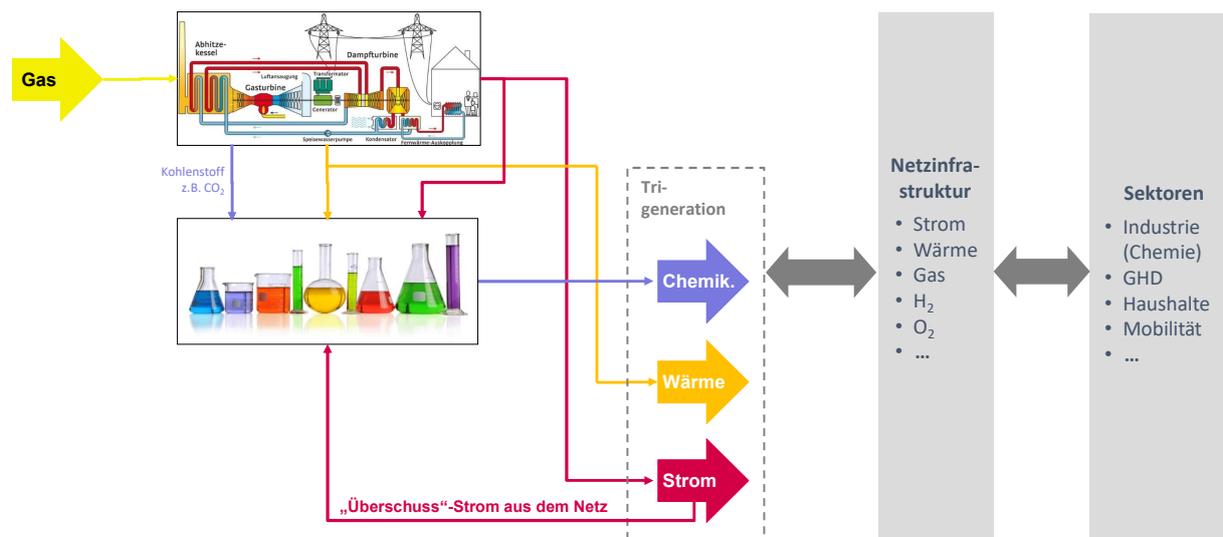
P2X  
Sektorenkopplung

## Industrie-Sektor - Chemische Industrie

Kernprodukte einer Sektorenkopplung Energie - Chemie



## Sektorenkopplung



## Wasserstoff als Element der Sektorenkopplung

### P2X-Plattform

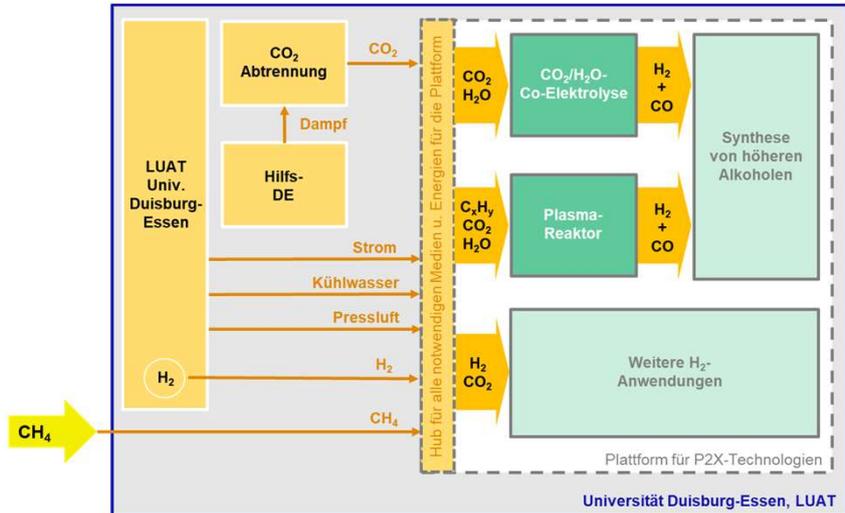


### P2X-Plattform zur Demonstration von Technologien und Anlagen-Integration



#### P2X-Plattform am LUAT

- CO<sub>2</sub>-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



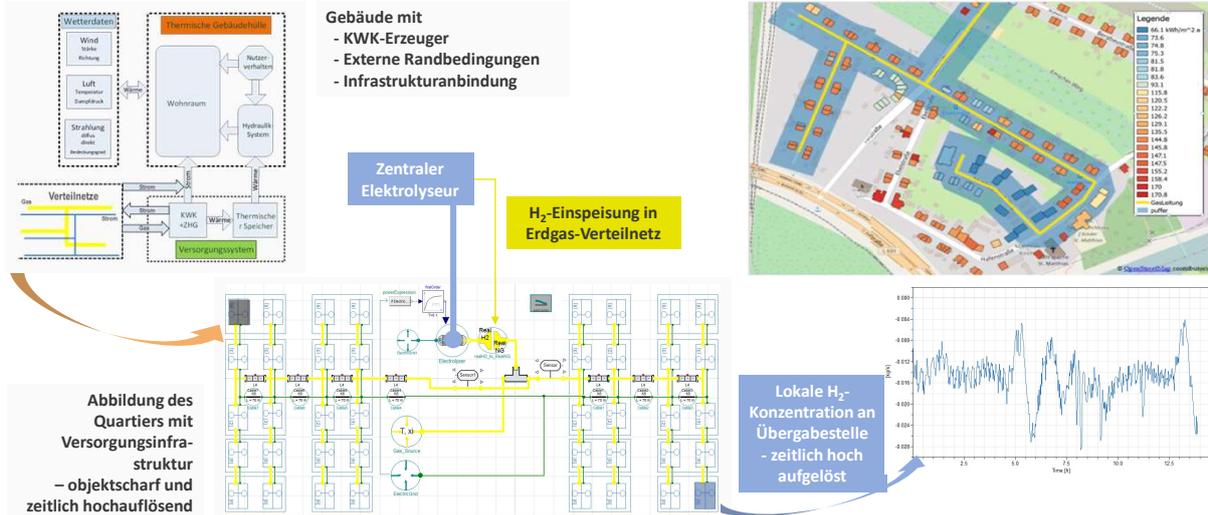
## KWK Kraft-Wärme- Kopplung



## Zumischung ins Erdgasnetz Lokale Umsetzung im Quartier



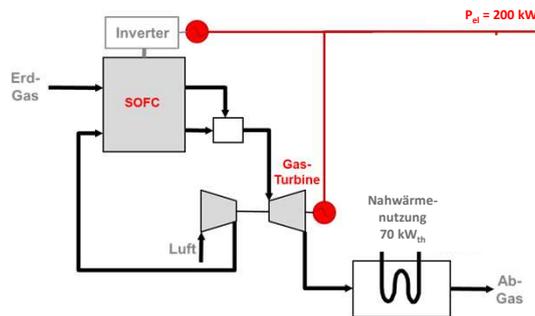
### Quartiere mit KWK-Anlagen und zentralem Elektrolyseur



## Wasserstoff KWK-Anlage mit LNG-Tank



### KWK-Anlage 200 kW<sub>el</sub>, 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