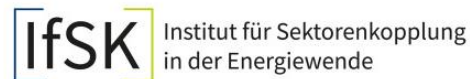


Die Rolle der Sektorenkopplung in der Energiewende

Vortrag im Hy.Lab
im Rahmen des Hy.Summit.Rhein.Ruhr
am 19.02.2026 in Hamm

Prof. Dr.-Ing. Olaf Goebel
Hochschule Hamm-Lippstadt



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

5-StandorteProgramm



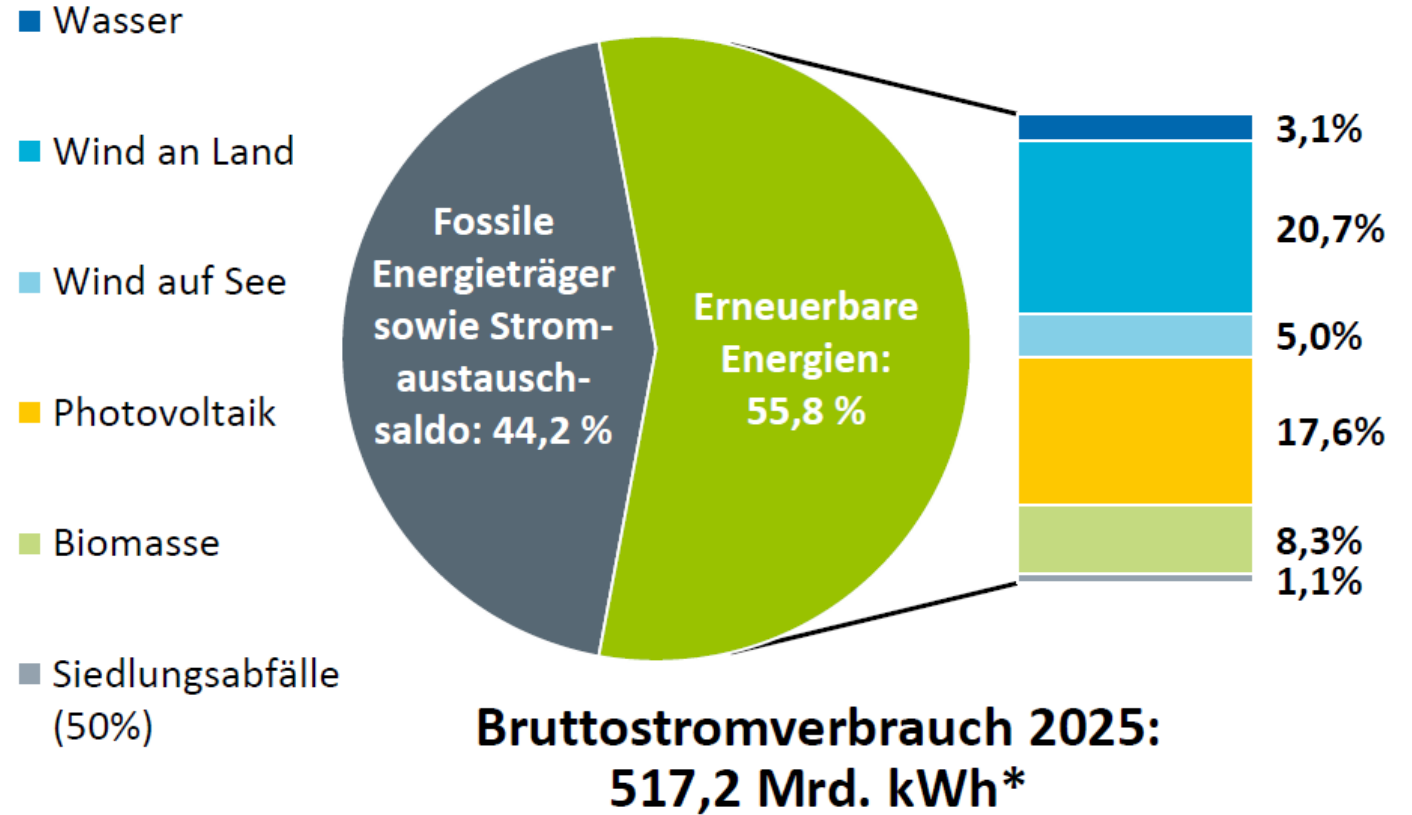
Gefördert durch:

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



REN ANTEIL AN BRUTTOSTROMERZEUGUNG 2025

- REN Anteil an Bruttostromerzeugung in 2025: über 55,8 %



Quellen: Destatis, ZSW, BDEW; Stand 12/2025

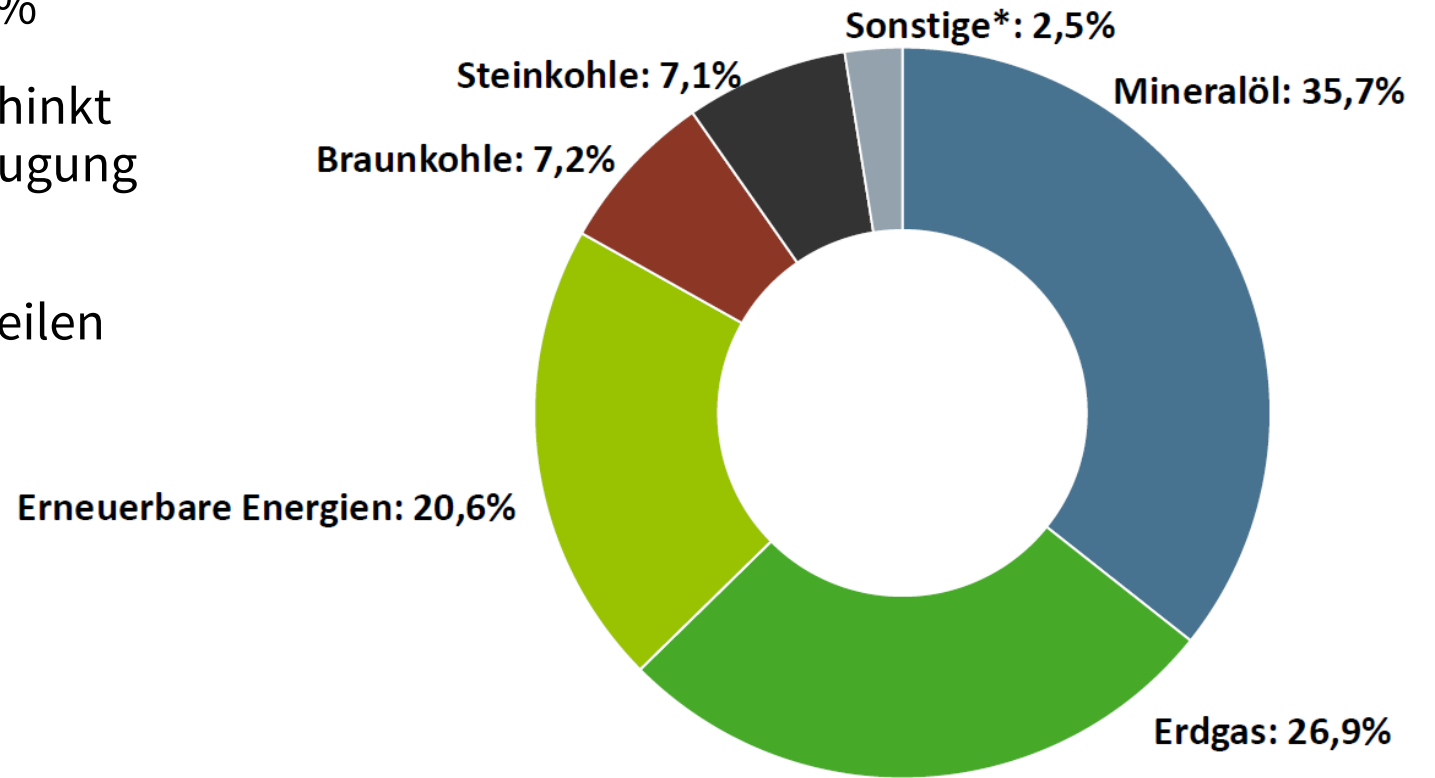
* vorläufig; teilweise geschätzt

- 20,6 % des Primärenergieverbrauchs, PEV von 10 553 PJ (entspr. 2931 TWh) wird in 2025 durch REN abgedeckt
- In 1990 war der REN Anteil nur 1,5%
- Trotzdem: Der REN Anteil am PEV hinkt dem REN Anteil bei der Stromerzeugung hinterher
- Das liegt an den geringen REN Anteilen in den anderen Sektoren

2025 insgesamt:
10 553 PJ (vorläufig)

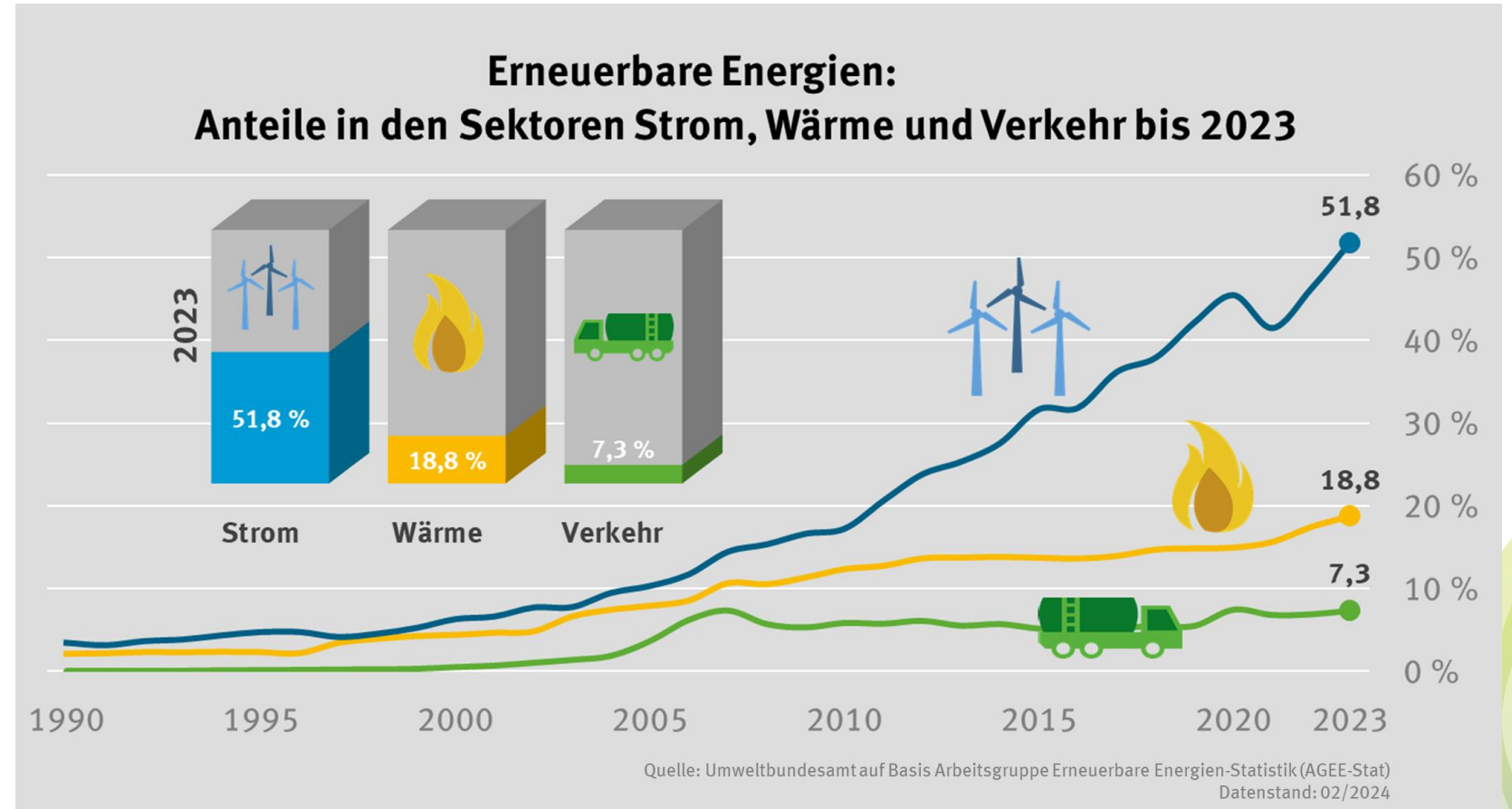
* einschließlich Stromaustauschsaldo

Quelle: AG Energiebilanzen; Stand 12/2025



REN ANTEIL IN DEN SEKTOREN 2023

- Stromsektor:
51,8% (2023), steigend
- Wärmesektor:
18,8 %, stagnierend
(Biomasse, nicht ausbaufähig)
- Verkehrssektor:
7,3 %, stagnierend
(Biomasse, nicht ausbaufähig)

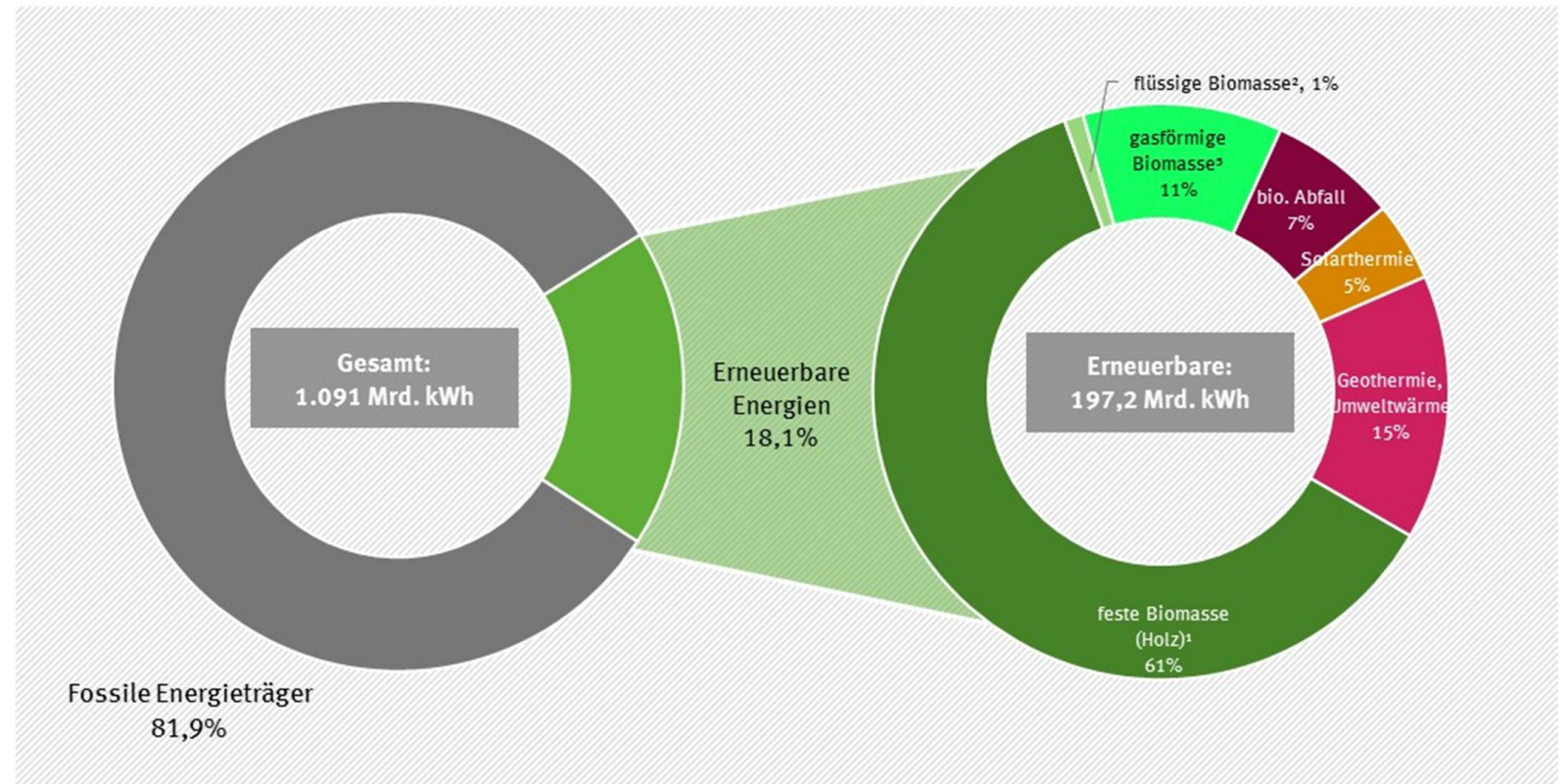


REN ANTEIL IM WÄRMESEKTOR

- Hauptanteil:
Biomasse
- Ist in Deutschland nicht
weiter ausbaufähig
(Teller-Tank-Diskussion)
- Was kann man tun?
- **Die Sektoren koppeln:
Mit Strom**
- Heizen mit Wärmepumpe

Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien für Wärme und Kälte im Jahr 2024

Anteile in Prozent [%]



¹ inkl. Klärschlamm und Holzkohle

² inklusive Biodiesel für Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe und Militär

³ Biogas, Biomethan, Klärgas, Deponiegas

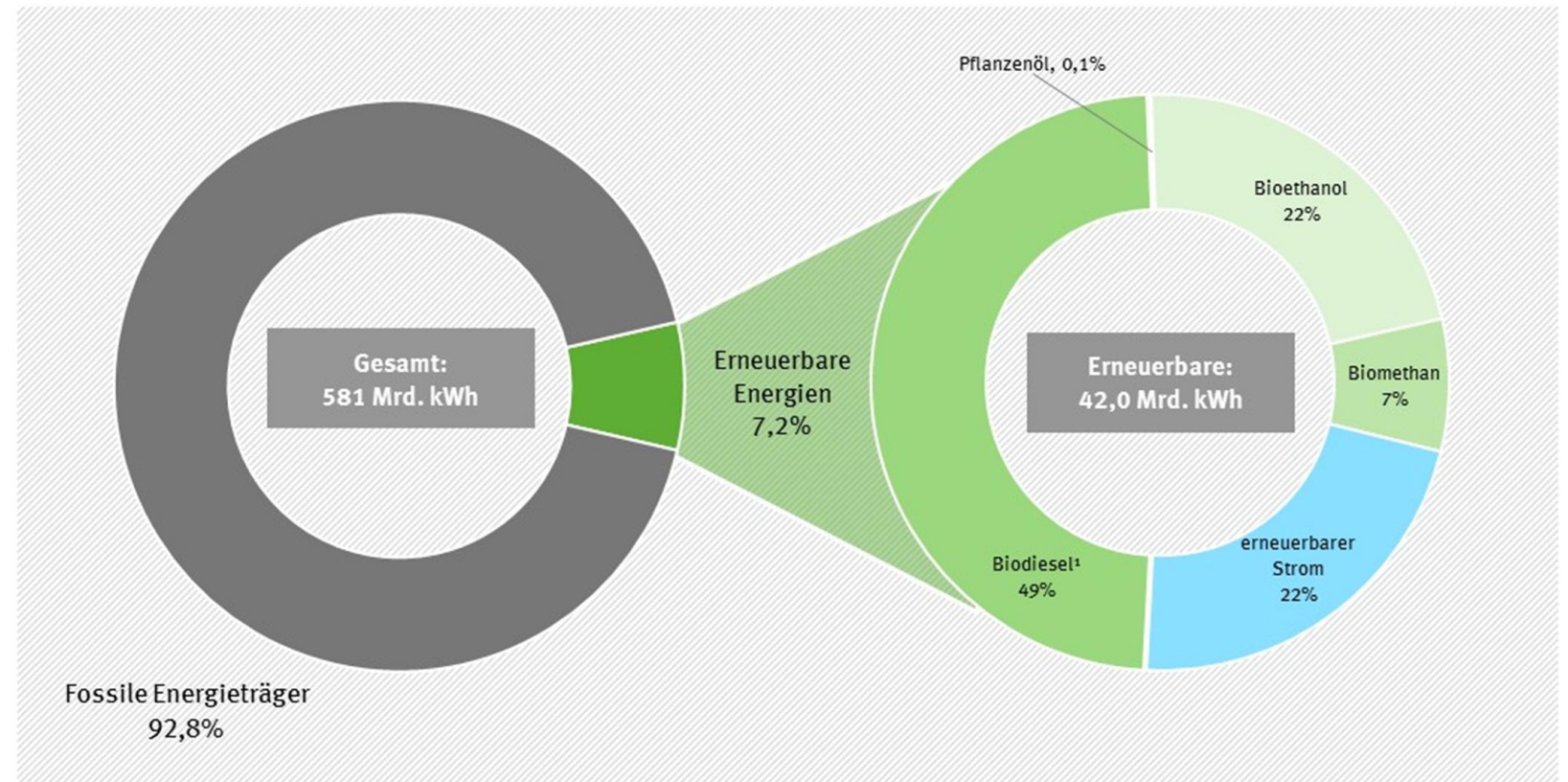
Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat
Stand 02/2025

REN ANTEIL IM VERKEHRSSSEKTOR

- Hauptanteil:
Biomasse
- Ist in Deutschland nicht
weiter ausbaufähig
(Teller-Tank-Diskussion)
- Was kann man tun?
- **Die Sektoren koppeln:
Mit Strom**
- Elektromobilität

Endenergieverbrauch erneuerbarer Energien im Verkehrssektor im Jahr 2024

Anteile in Prozent [%]



¹ Verbrauch von Biodiesel (inklusive HVO) im Verkehrssektor (ohne Land- und Forstwirtschaft, Baugewerbe und Militär)

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat
Stand 02/2025

STROMBEDARF VON 50 MIO. BEV PKW?

- Strombedarf, wenn alle PKW in Deutschland BEV:
- $15\,000\text{ km/a} * 50\text{ Mio. PKW} * 18\text{ kWh/100 km}$
= 135 TWh/a
- Das ist ca. $\frac{1}{4}$ vom heutigen Nettostromverbrauch
- Damit lässt sich der Mittagspeak der PV-Stromerzeugung nutzen
- Nutzen statt Zwischenspeichern ist effizienter und kostengünstiger
- Hinzu kommen noch leichte Nutzfahrzeuge
- Und mittelfristig auch schwere Nutzfahrzeuge
- Dann: Strombedarf Verkehrssektor > 200 TWh/a



Quelle: <https://www.renault.de/elektromodelle/r4-e-tech-elektrisch.html>

STROMBEDARF VON WP IN ALLEN HAUSHALTEN

- Heizwärmebedarf Privathaushalte (2023): 461 TWh
(Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/wohnen/energieverbrauch-privater-haushalte#hochster-anteil-am-energieverbrauch-zum-heizen>)
- Strombedarf der Wärmepumpen bei JAZ = 3,5:
 $461 \text{ TWh}_{\text{th}} / 3,5 = 132 \text{ TWh}_{\text{el}}/\text{a}$
(Sollte durch Dämmung bis 2040 auf 100 TWh/a zurückgehen)
- Diese zusätzliche Stromnutzung verringert das Problem, dass Windstrom im Winter verworfen werden muss.
- Hinzu kommt der Raumwärmebedarf bei Gewerbe, Handel, Dienstleistung, GHD (ca. 40% von dem der Privathaushalte)
- Dann: Strombedarf für Raumwärme: knapp 150 TWh/a



Foto: Peter Müller, Hamm

ENDENERGIEEINSPARUNG DURCH BEV UND WP

Quelle: <https://www.renault.de/elektromodelle/r4-e-tech-elektrisch.html>

- Die 135 TWh Strombedarf der privaten PKW ersetzen ca. 405 TWh an Benzin und Diesel
- Die 132 TWh Strombedarf der Wärmepumpen ersetzen ca. 460 TWh Heizöl oder Gas
- Zusammen eine Endenergieeinsparung von fast 600 TWh $(405 + 460) - (135 + 132) = 598$
- Das sind gut 20% vom Primärenergieverbrauch in 2025 (2931 TWh)
- Diese Ersparnis entsteht allein durch Effizienzgewinn.
- Es muss keine einzige WKA oder PV-Anlage neu errichtet werden dafür



Foto: Peter Müller, Hamm

REN-AUSBAU KOORDINIEREN MIT

- Netzausbau (Strom durchleiten statt verwerfen)
- Speicherausbau (Strom speichern statt verwerfen)
 - Mit Batterien aber nur Ausgleich von Tagesschwankungen möglich
 - Für saisonale Speicherung braucht man chemische Speicher, z.B. Wasserstoff
- Demand Side Management (Strom dann verbrauchen, wenn er günstig ist)
- Smart Meter (Variable Tarife zur Incentivierung des netzdienlichen Nutzerverhaltens)

DIE VORTEILE DER SEKTORENKOPPLUNG:

- Einsparung von Primärenergie durch große Effizienzgewinne
- Verringerung der Importenergie um knapp 600 TWh/a allein durch BEV und WP
- Das entspricht einer Einsparung von knapp 30 Mrd. €/a (@ 50 €/MWh als Mittelwert der Kosten von Öl und Gas)
- Geringere Abhängigkeit von Energieimporten
=> Weniger verwundbar bei Konflikten
- Die deutschen Gasspeicher haben 270 TWh Kapazität.
Das ist $\frac{1}{4}$ des heutigen dt. Jahresbedarfes an Gas.
- Wenn Gas in Zukunft nur noch als Backup verwendet wird, dann ist 270 TWh mehr als ein Jahresverbrauch.
- Schaffung von Entfaltungsmöglichkeiten für den weiteren REN-Ausbau

ÜBERBRÜCKUNG VON DUNKELFLAUTEN

- Batterien sind wirtschaftlich nur einsetzbar für den Ausgleich von Tagesschwankungen
- Wenn im Winter mehrtägige „Dunkelflauten“ auftreten, sind Batterien nicht die Lösung.
- Dann werden flexible Gas-Kraftwerke gebraucht, die mit Brennstoffen befeuert werden.
- Als Brennstoff kommen in Frage:
 - Erdgas
 - Biogas
 - Wasserstoff

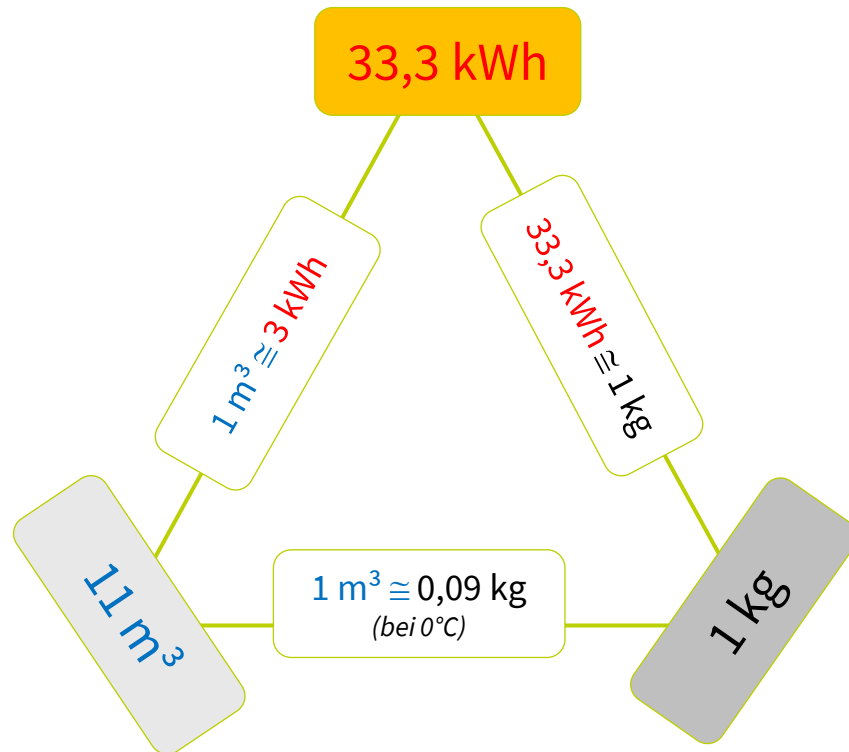
- Für einige Jahre (mindestens bis Anfang der 20240er Jahre) werden wir Gaskraftwerke benötigen.
- Diese Tatsache wird oft als show stopper für die Energiewende angeführt.
- Diese Kraftwerksreserve stellt überhaupt kein Problem dar, denn der Capex von großen Gastkraftwerken ist sehr gering.:
 - Gas- und Dampfkraftwerke, GuD: 800 € / kW bzw. 0,8 Mrd. € / GW
 - Stand alone Gasturbine, GT: 400 € / kW bzw. 0,4 Mrd. € / GW
- Die Kraftwerksreserve für Dunkelflauten sollte gemäß verschiedener Studien und Szenarien eine Kapazität von 30 bis 80 GW betragen.
- Beispielrechnung mit 50 GW stand alone GT:
 - $50 \text{ GW} * 0,4 \text{ Mrd. € / GW} = 20 \text{ Mrd. Capex}$
 - Bei einer Annuität von 10 % p.a. sind das jährliche Kapitalkosten von 2 Mrd. €
 - Umgelegt auf die Bruttostromerzeugung von 500 TWh/a sind das 0,4 Cent / kWh

- In den kommenden Jahren werden die Kraftwerke in den Dunkelflauten mit Erdgas befeuert werden.
- Der prozentuale Anteil dieser Rest-Gasversorgung am Primärenergieverbrauch von Deutschland wird sehr gering sein, aber kostengünstig
- Soll dieser Restanteil von fossilen Brennstoffen durch erneuerbare Brennstoffe ersetzt werden, dann kommen dafür in Frage:
 - Biogene Brennstoffe (Biogas, Biodiesel)
 - (grüner) Wasserstoff
- Bei biogenen Brennstoffe ist das Ausbaupotential in Deutschland begrenzt (TT-Diskussion).
 - Allerdings werden die im Verkehrssektor frei werdenden Beimischungen zu den Kraftstoffen demnächst in signifikanten Mengen zur Verfügung stehen.
- Eine besonders saubere Lösung ist grüner Wasserstoff, der in Zeiten von REN-Strom Überschuss gewonnen wird.

WASSERSTOFF: HEIZWERT

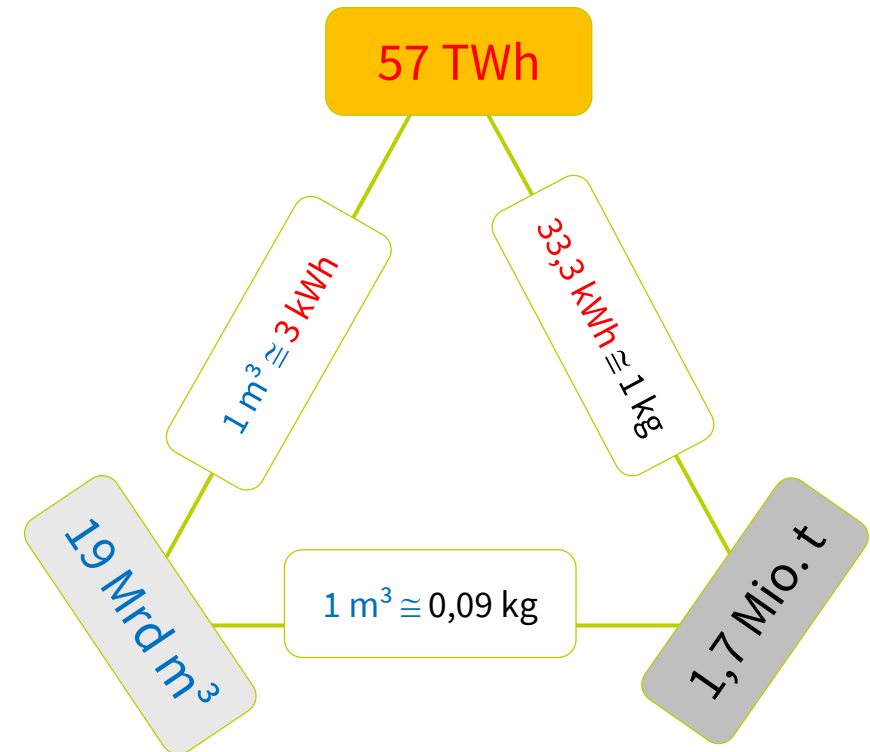
Dreieck: Masse – Volumen - Energie

Normiert auf $m = 1 \text{ kg}$



H₂ Bedarf Deutschland

Daten aus Studie von 2015 (DLR), ist wahrscheinlich zu hoch



KOSTENVERGLEICH WASSERSTOFF VS. ERDGAS

- Heutige Elektrolyseur-Projekte für grünen Wasserstoff in Deutschland weisen Wasserstoffgestehungskosten (WGK) auf von ca. 6 € / kg
- Das entspricht (energetisch) einem Gaspreis von 180 € / MWh
- Erdgaspreis im Januar 2026: 33 €/MWh*
- Das bedeutet, dass Erdgas derzeit 5,5 mal billiger ist als grüner Wasserstoff
- Kann der CO₂-Preis diese Differenz überbrücken?

* Erdgasdaten aktuell, BDEW Januar 2026

Erdgaspreis			H2-Preis	
[cent/kWh]	[€/MWh]	[€/GJ]	[€/kg]	
1	10	2,78	0,33	
1,5	15	4,17	0,50	
2	20	5,56	0,67	
2,5	25	6,94	0,83	
3	30	8,33	1,00	
3,5	35	9,72	1,17	< mittlerer Erdgaspreis im Januar 2026: 33 € / MWh *
4	40	11,11	1,33	
4,5	45	12,50	1,50	
5	50	13,89	1,67	
5,5	55	15,28	1,83	
6	60	16,67	2,00	< heutige Herstellungskosten grauer H2 bei Erdgaspreis 33 € / MWh
6,5	65	18,06	2,17	
7	70	19,44	2,33	
7,5	75	20,83	2,50	
8	80	22,22	2,67	
8,5	85	23,61	2,83	
9	90	25,00	3,00	
9,5	95	26,39	3,17	
10	100	27,78	3,33	
10,5	105	29,17	3,50	
11	110	30,56	3,67	
11,5	115	31,94	3,83	
12	120	33,33	4,00	
12,5	125	34,72	4,17	
13	130	36,11	4,33	
13,5	135	37,50	4,50	
14	140	38,89	4,67	
14,5	145	40,28	4,83	
15	150	41,67	5,00	
15,5	155	43,06	5,17	
16	160	44,44	5,33	
16,5	165	45,83	5,50	
17	170	47,22	5,67	
17,5	175	48,61	5,83	
18	180	50,00	6,00	< Wasserstoffgestehungskosten, WGK grüner Wasserstoff, heute

* Erdgasdaten aktuell, BDEW, SP-V, 2.2.2026
BDEW = Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.

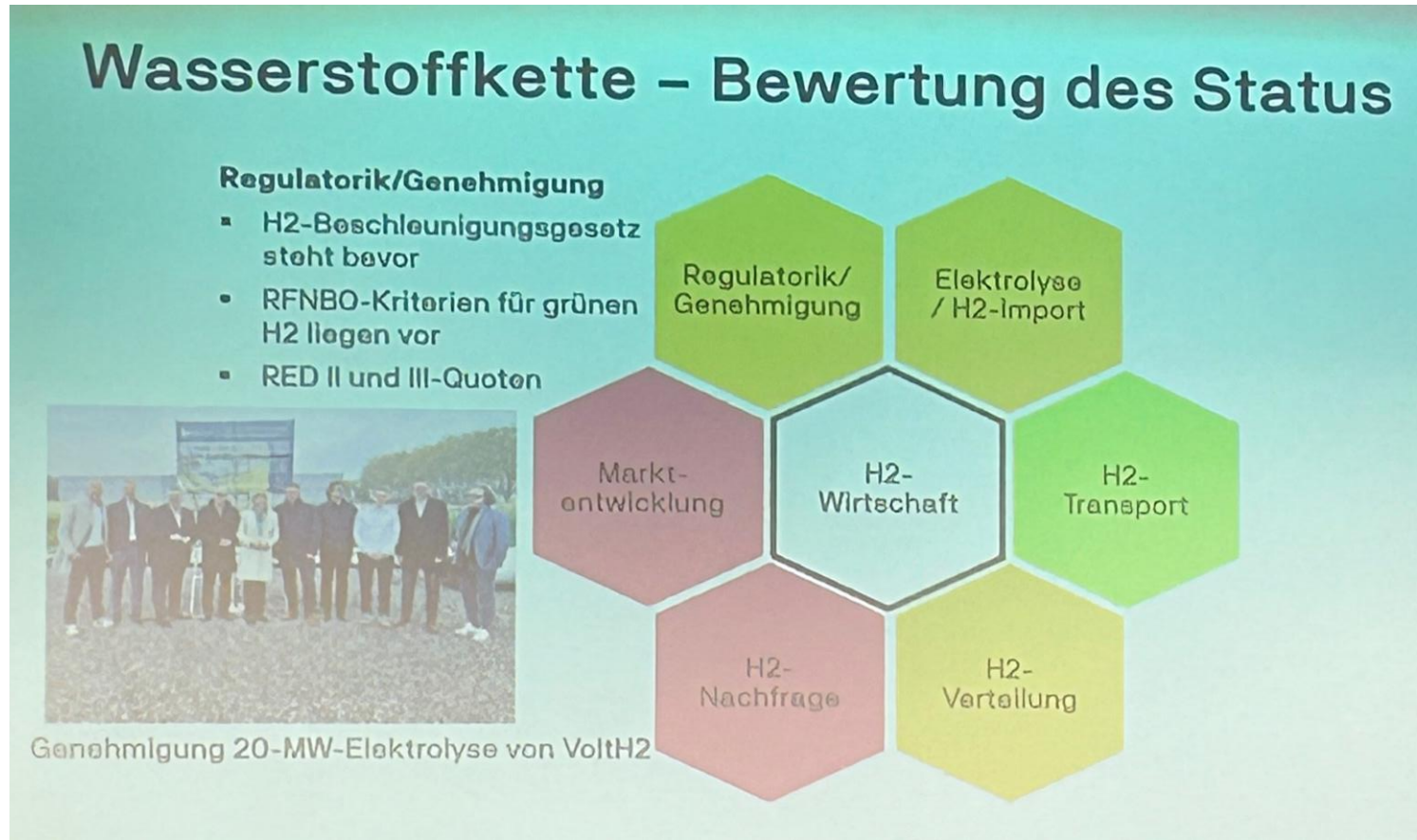
KOSTENVERGLEICH WASSERSTOFF VS. ERDGAS

- Bei WGK von 6 € / kg und einem Gaspreis von 3,5 Cent/kWh (35 € / MWh) müsste der CO₂-Preis 659,9 €/t betragen, damit Preisparität herrscht zwischen Wasserstoff und Erdgas.
- Ein solcher CO₂-Preis wäre für den Industriestandort Deutschland sicherlich problematisch.

		Die Tabelle zeigt den CO ₂ -Preis in [€/t], der nötig wäre, damit H ₂ und Erdgas pro kWh gleich teuer sind (Preisparität) für verschiedene H ₂ - und Erdgaspreise										
	Erdgaspreis [cent / kWh]	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
H ₂ -Preis [€ / kg]	H ₂ -Preis [cent / kWh]											
1	3,00	91,0	68,3	45,6	22,9	0,1	-22,6	-45,3	-68,0	-90,8	-113,5	-136,2
1,5	4,50	159,3	136,6	113,8	91,1	68,4	45,7	22,9	0,2	-22,5	-45,2	-68,0
2	6,01	227,5	204,8	182,1	159,4	136,6	113,9	91,2	68,5	45,7	23,0	0,3
2,5	7,51	295,8	273,1	250,3	227,6	204,9	182,2	159,4	136,7	114,0	91,3	68,5
3	9,01	364,0	341,3	318,6	295,9	273,1	250,4	227,7	205,0	182,2	159,5	136,8
3,5	10,51	432,3	409,6	386,8	364,1	341,4	318,7	295,9	273,2	250,5	227,8	205,0
4	12,01	500,5	477,8	455,1	432,4	409,6	386,9	364,2	341,5	318,7	296,0	273,3
4,5	13,51	568,8	546,1	523,3	500,6	477,9	455,2	432,4	409,7	387,0	364,3	341,5
5	15,02	637,0	614,3	591,6	568,9	546,1	523,4	500,7	478,0	455,2	432,5	409,8
5,5	16,52	705,3	682,6	659,8	637,1	614,4	591,7	568,9	546,2	523,5	500,8	478,0
6	18,02	773,5	750,8	728,1	705,4	682,6	659,9	637,2	614,5	591,7	569,0	546,3
6,5	19,52	841,8	819,1	796,3	773,6	750,9	728,2	705,4	682,7	660,0	637,3	614,5
7	21,02	910,0	887,3	864,6	841,9	819,1	796,4	773,7	751,0	728,2	705,5	682,8
7,5	22,52	978,3	955,6	932,8	910,1	887,4	864,7	841,9	819,2	796,5	773,8	751,0
8	24,02	1046,5	1023,8	1001,1	978,4	955,6	932,9	910,2	887,5	864,7	842,0	819,3
8,5	25,53	1114,8	1092,1	1069,3	1046,6	1023,9	1001,2	978,4	955,7	933,0	910,3	887,5
9	27,03	1183,0	1160,3	1137,6	1114,9	1092,1	1069,4	1046,7	1024,0	1001,2	978,5	955,8
9,5	28,53	1251,3	1228,6	1205,8	1183,1	1160,4	1137,7	1114,9	1092,2	1069,5	1046,8	1024,0
10	30,03	1319,5	1296,8	1274,1	1251,4	1228,6	1205,9	1183,2	1160,5	1137,7	1115,0	1092,3

STATUS WASSERSTOFFKETTE

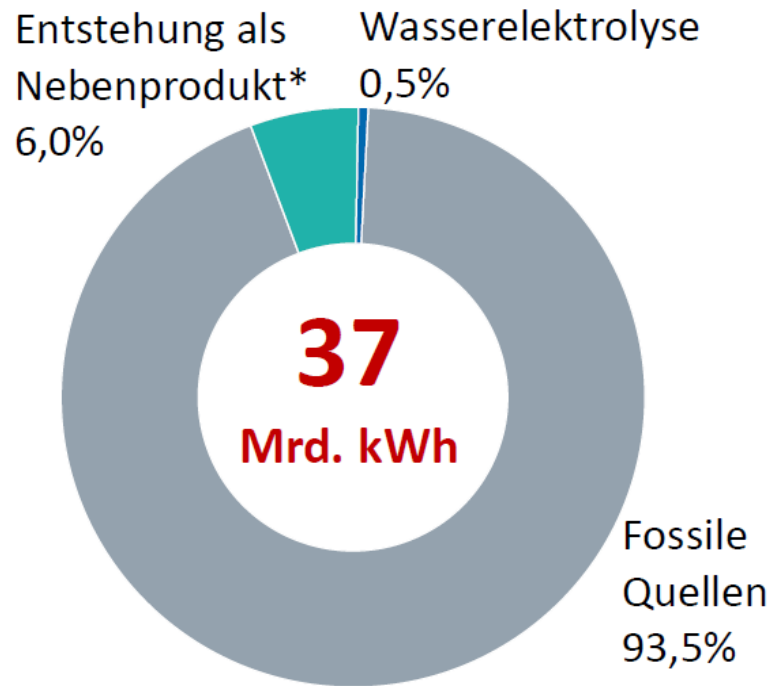
Screenshot vom Neujahrsempfang des
h2-netzwerk-ruhr im Januar 2026



- Die hohen energiespezifischen Kosten von grünem H₂ im Vgl. zu Erdgas spiegeln sich wider in der Nachfrage für grünen H₂ im Energiesektor.
- D.h. bei der heutigen Preissituation ist der Markt nicht reif für grünen H₂ als Erdgasersatz.
- Erzeuger sollten nach Kunden Ausschau halten, die H₂ stofflich benötigen.
- Politische Rahmenbedingungen: Quoten für Stahl aus Direktreduktion mit grünem H₂ z.B. für Infrastrukturprojekte des Bundes.

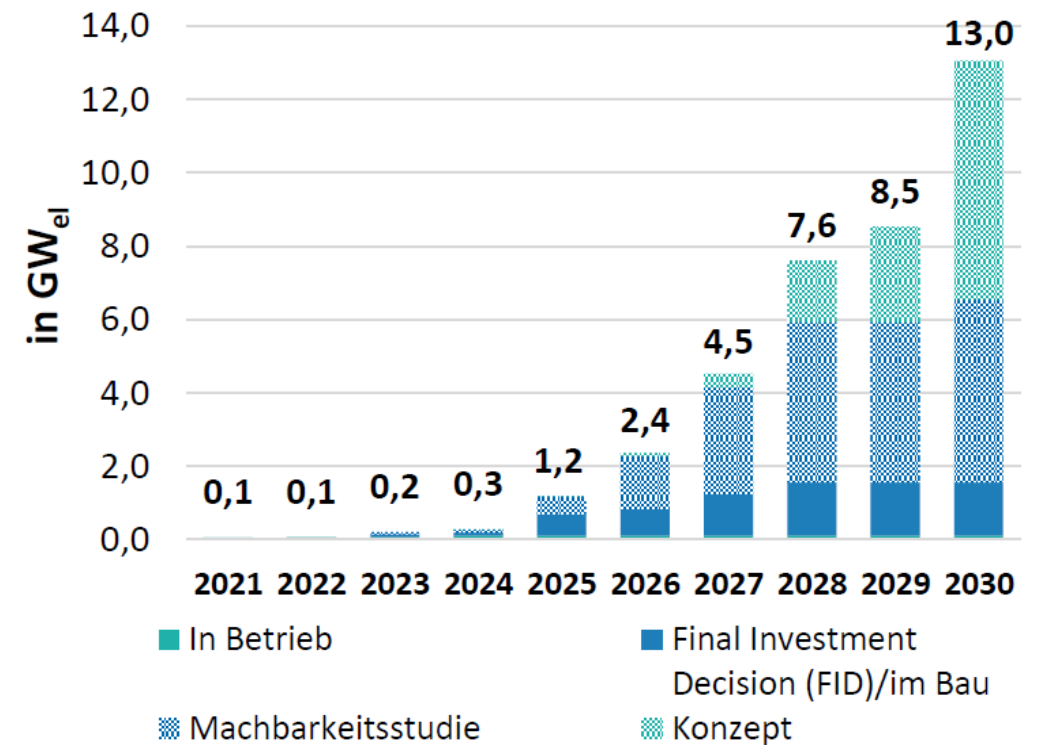
Wasserstoffherzeugung

Aktuell genutzte Quellen (2023)



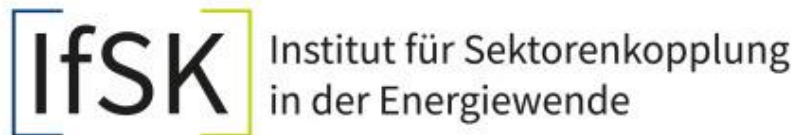
* Insbesondere in der Petrochemie Nebenprodukt anderer Prozesse.
Im Chemiebereich Hauptprodukte Ammoniak und Methanol betrachtet.
Quelle: EWI 2024 im Auftrag von E.ON.

Elektrolysekapazität für klimaneutralen und dekarbonisierten Wasserstoff in Deutschland



Quelle: BDEW/EY-Fortschrittsmonitor (IEA, BMW), Stand 05/2025

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

5-StandorteProgramm



Gefördert durch:

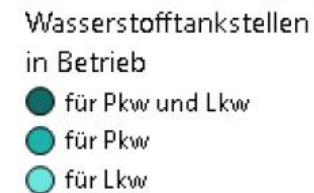
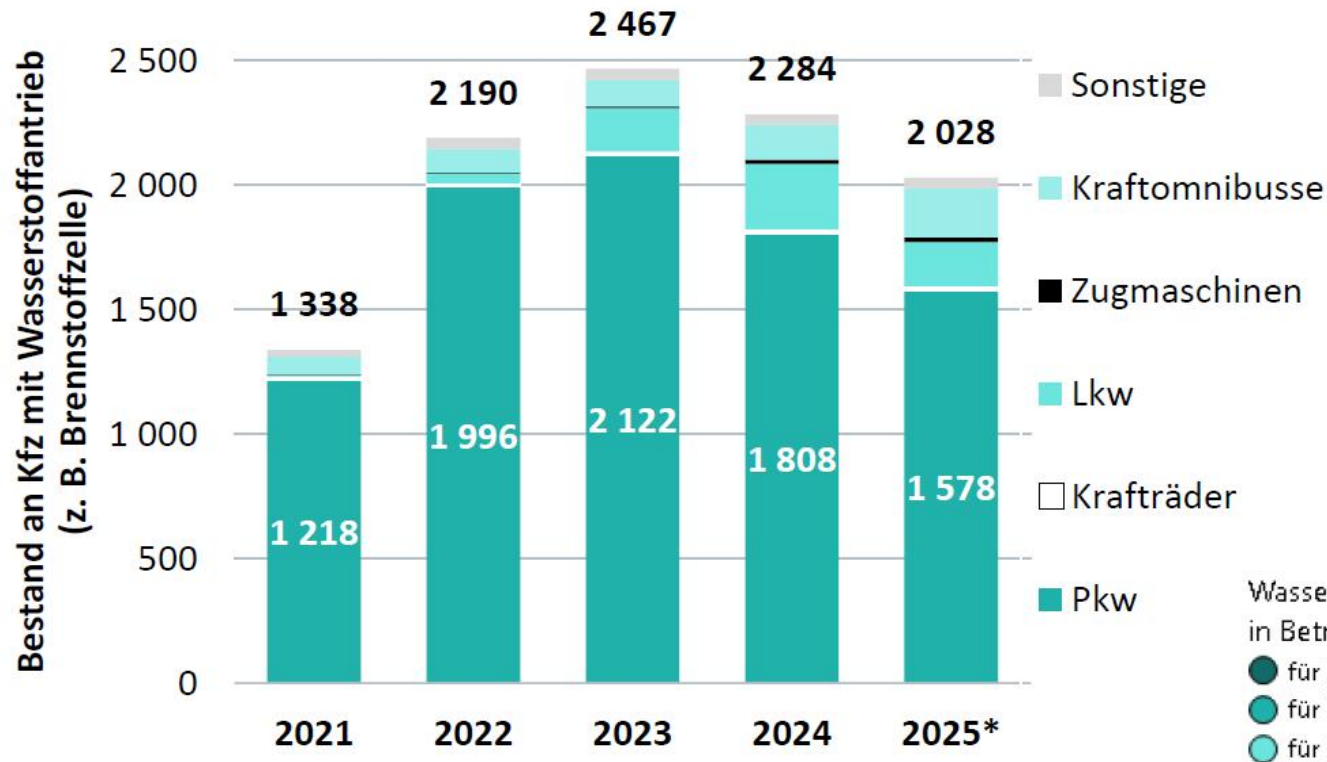
Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Backup Folien

Wasserstoffmobilität

70 Wasserstoff-Tankstellen stehen für die Nutzer der etwa 2.000 Fahrzeuge überwiegend an Autobahnen bereit



Quellen: H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG, KBA, ZSW; EasyMap-Kartengrundlage: (C) infas 360 GmbH, Bonn; Stand 12/2025

*01.10.2025