

Vollversorgung mit regenerativer Energie in Deutschland

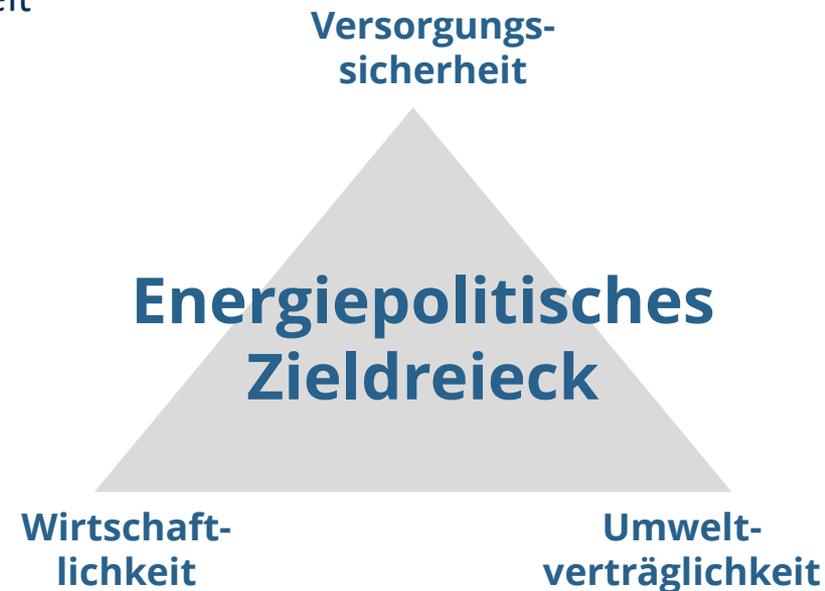
Michael Beckmann

Arbeitskreis Energie (AKE) in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft e. V.

13. April 2023 Bad Honnef

Grundsätzliche Bemerkungen

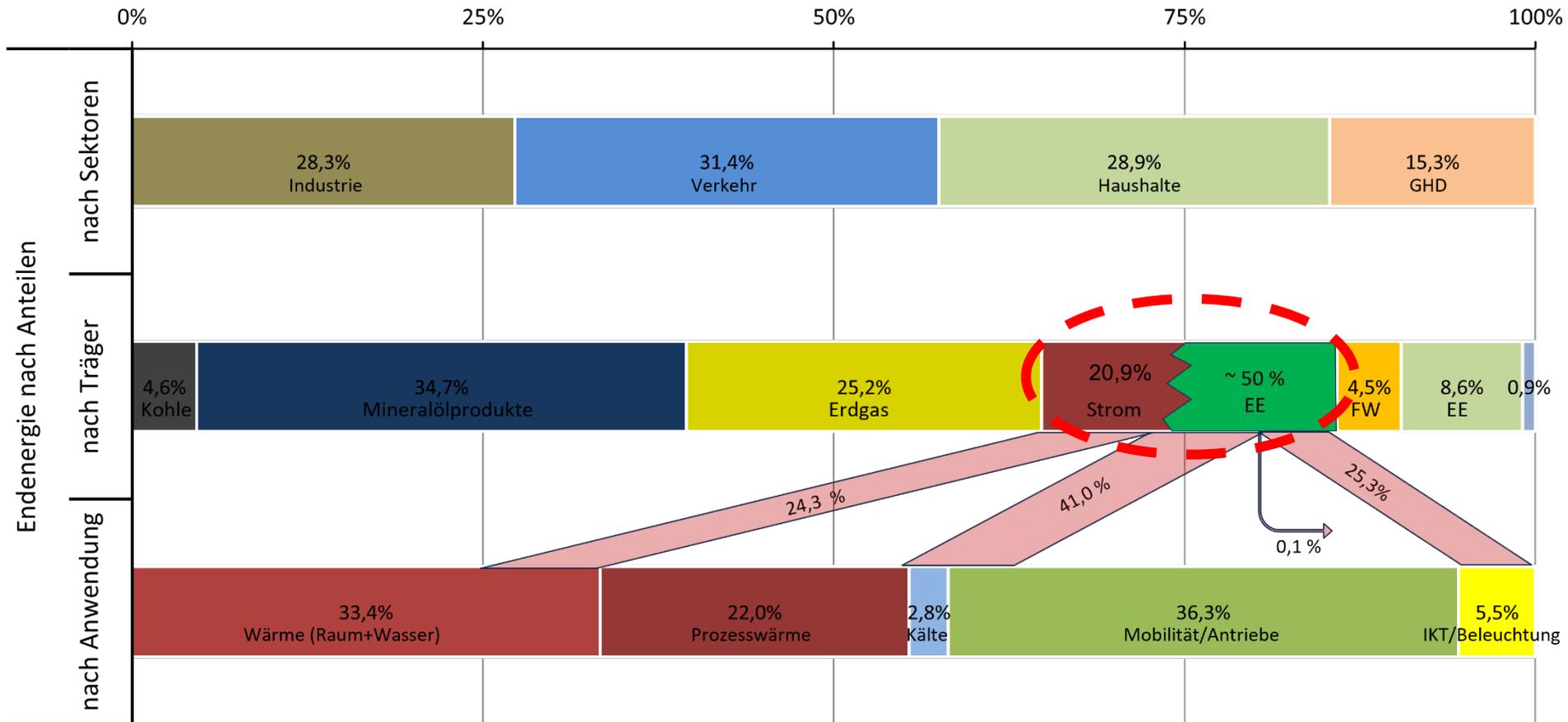
- Fossile Energieträger sind endlich!
- Energie ist eine wichtige Grundlage einer Industriegesellschaft!
 - Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit
- Technologische Souveränität
- Digitale Souveränität
- Rohstoff Souveränität (Material, Werkstoff)
- Vorgaben aus Klimaneutralität und European Green Deal



→ Eine Energiewende ist richtig und wichtig!

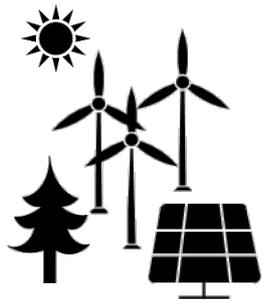
Arten des Endenergieverbrauchs und Anwendung 2020

Insgesamt 8.341 PJ



Größenordnung ist für TRL Bewertung wichtig!

Versorgung elektrische Energie



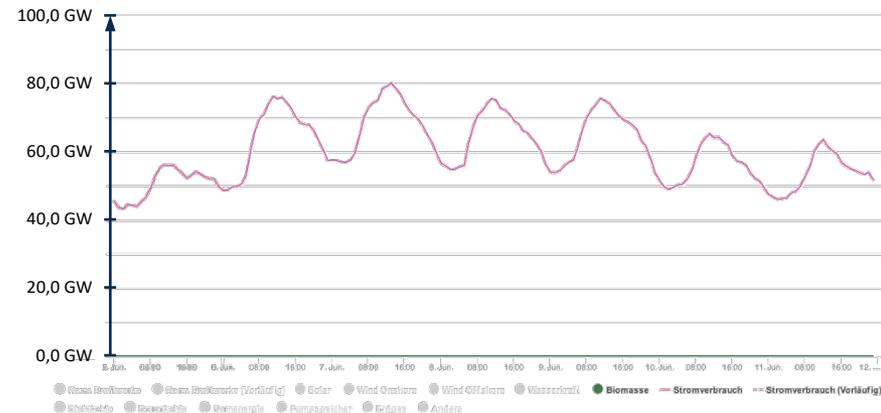
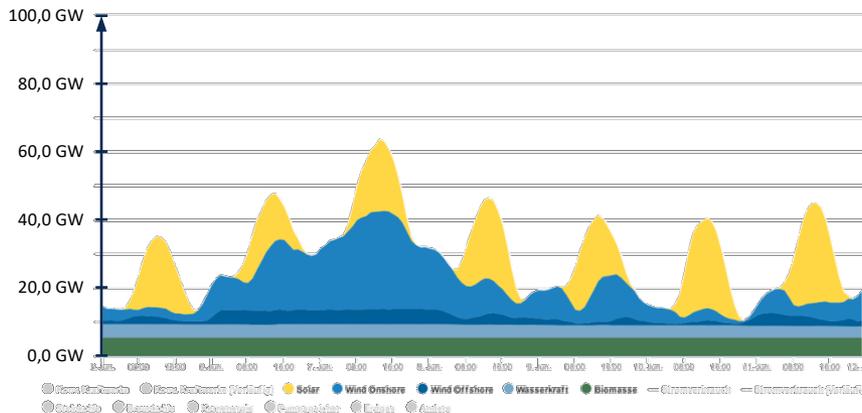
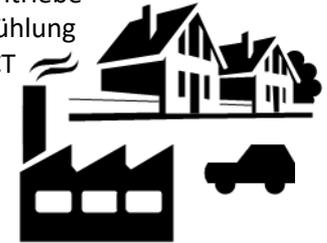
Direkte Nutzung (inclusive Sektorenkopplung)



Transport/Verteilung

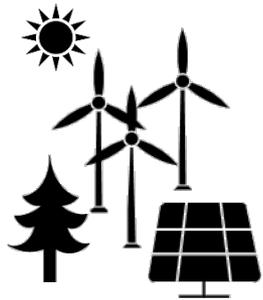
Sektorenkopplung:

- Wärmepumpen
- Elektroden-Boiler
- Ladeinfrastruktur Mobilität
- Antriebe
- Kühlung
- ICT



Data source : Agorameter, online: <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>, retrieved 03.09.2018 05.06.2017 - 11.06.2017

Versorgung elektrische Energie



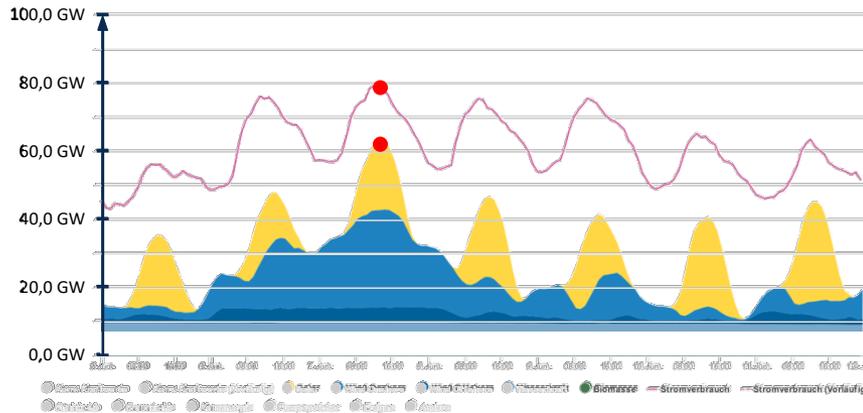
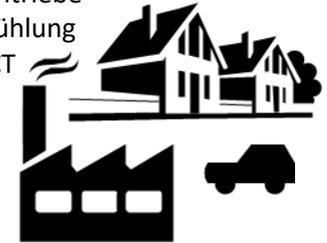
Direkte Nutzung (inclusive Sektorenkopplung)



Transport/Verteilung

Sektorenkopplung:

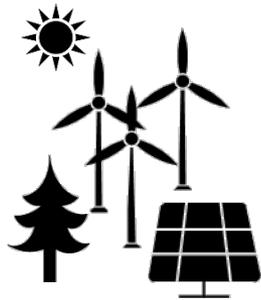
- Wärmepumpen
- Elektroden-Boiler
- Ladeinfrastruktur Mobilität
- Antriebe
- Kühlung
- ICT



05.06.2017 - 11.06.2017

Data source : Agorameter, online: <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>, retrieved 03.09.2018

Versorgung elektrische Energie



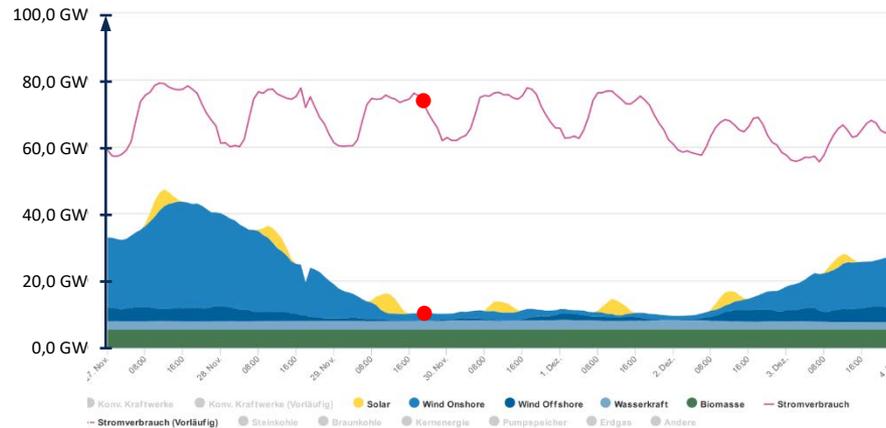
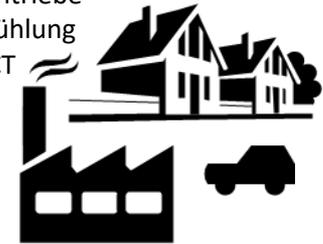
Direkte Nutzung (inclusive Sektorenkopplung)

10 GW

Transport/Verteilung

Sektorenkopplung:

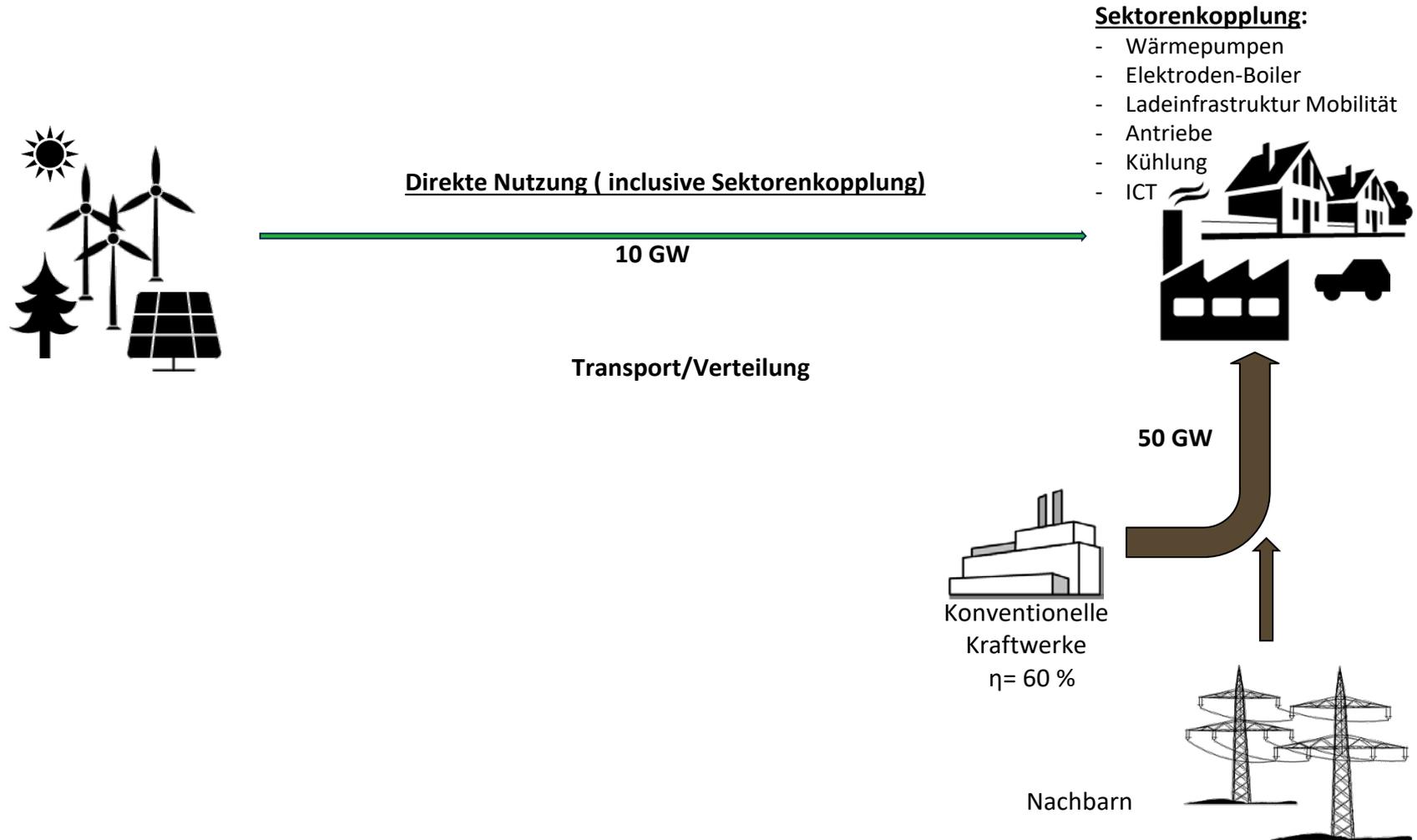
- Wärmepumpen
- Elektroden-Boiler
- Ladeinfrastruktur Mobilität
- Antriebe
- Kühlung
- ICT



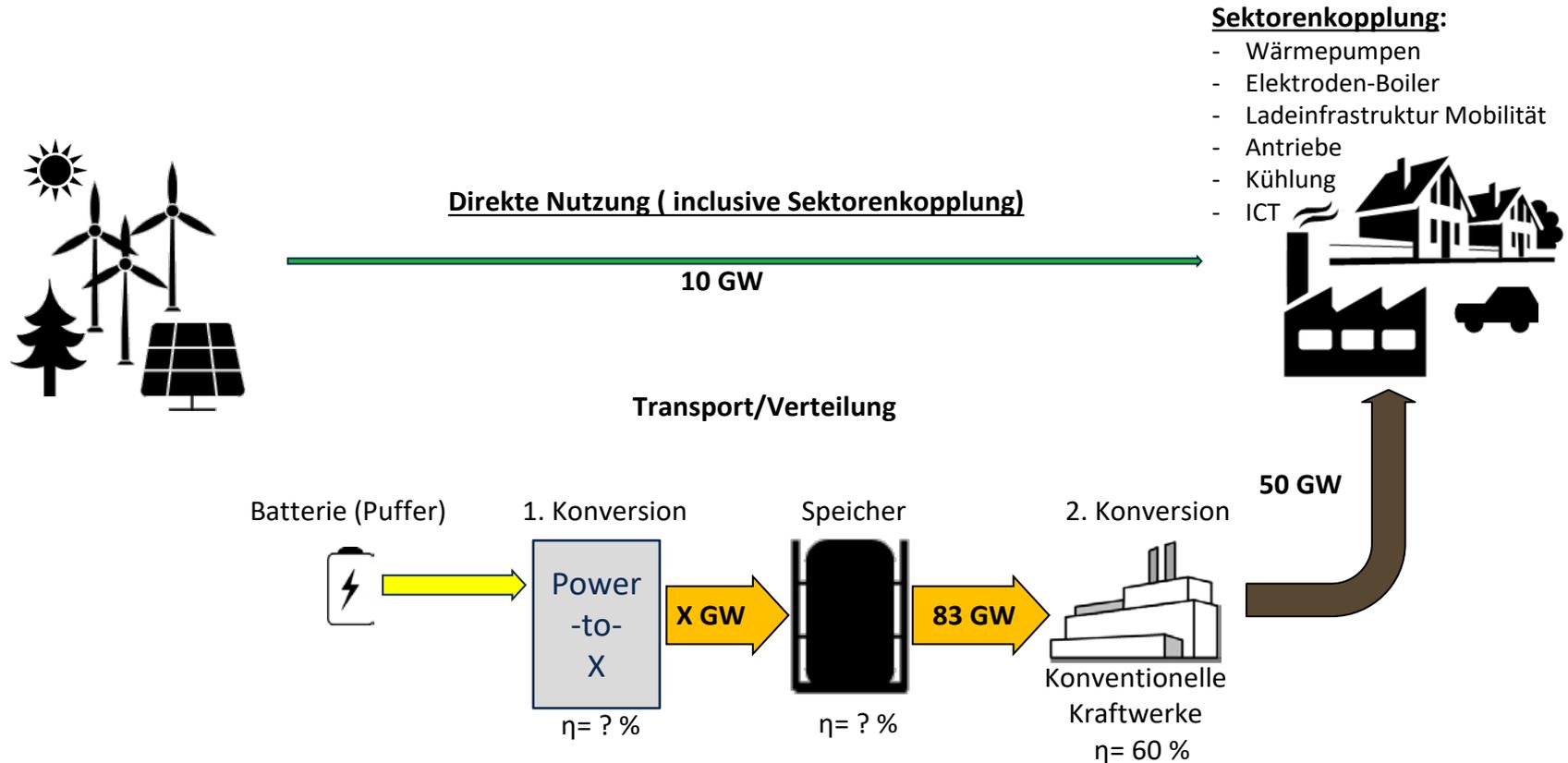
27.11.2017 - 03.12.2017

Data source : Agorameter, online: <https://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/76/Agorameter/>, retrieved 03.09.2018

Versorgung elektrische Energie



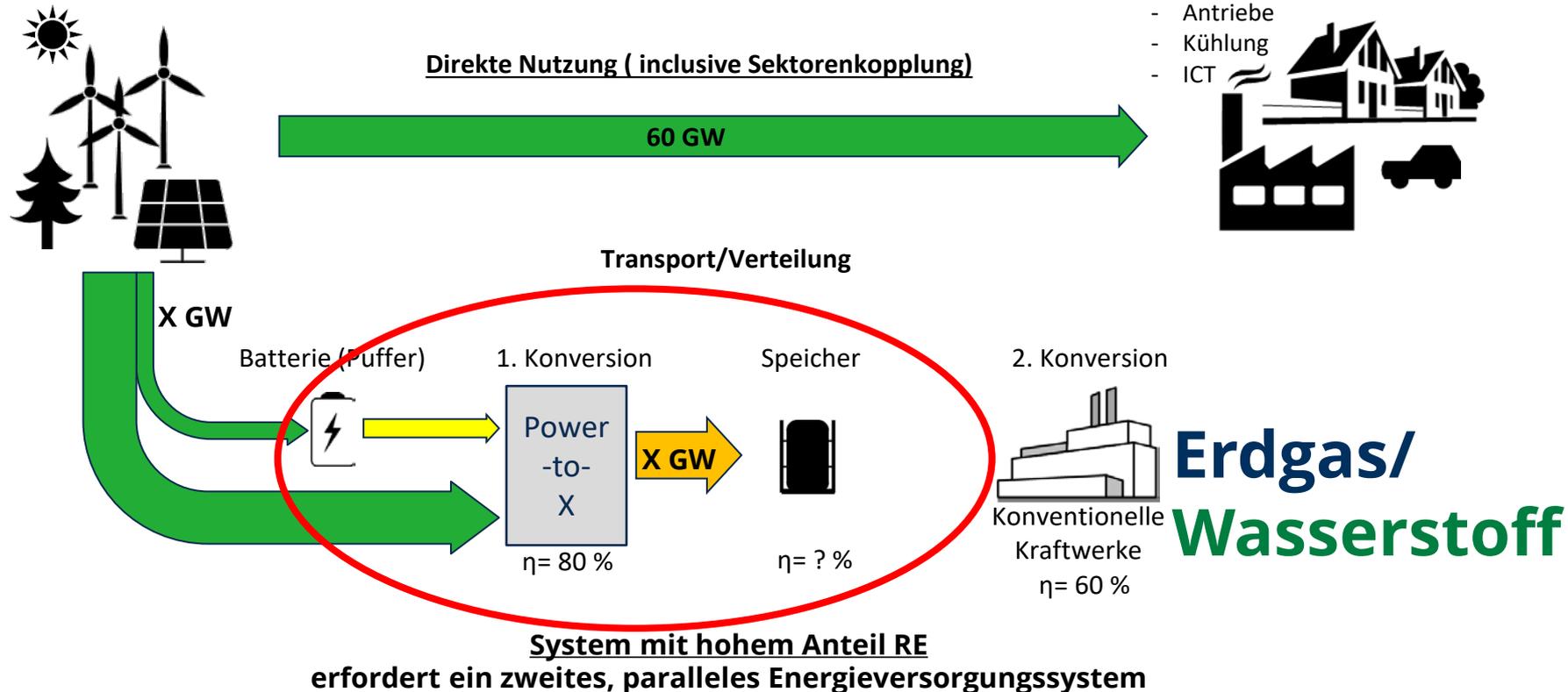
Versorgung elektrische Energie



60 GW bis 80 GW stellt den heutigen Bedarf dar; in Zukunft ist der Bedarf weitaus höher → folgt im weiteren Verlauf!

Versorgung elektrische Energie

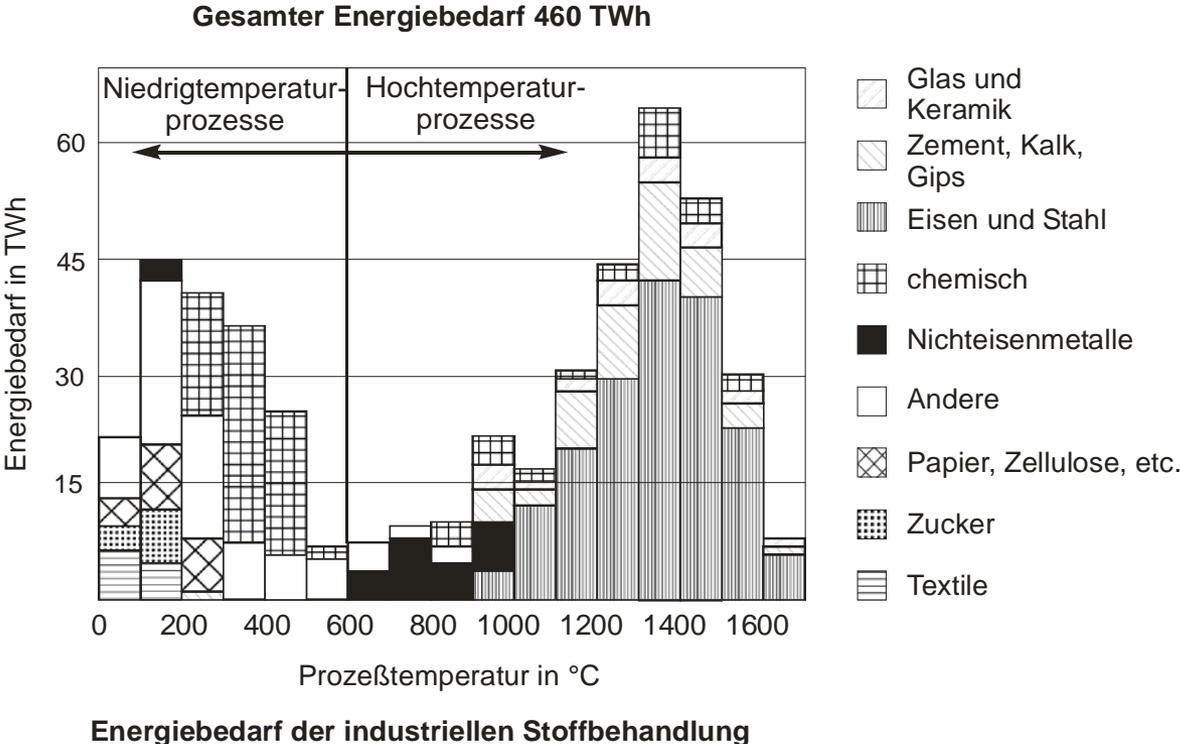
Ziel: Vollversorgung – ist für TRL Bewertung wichtig!



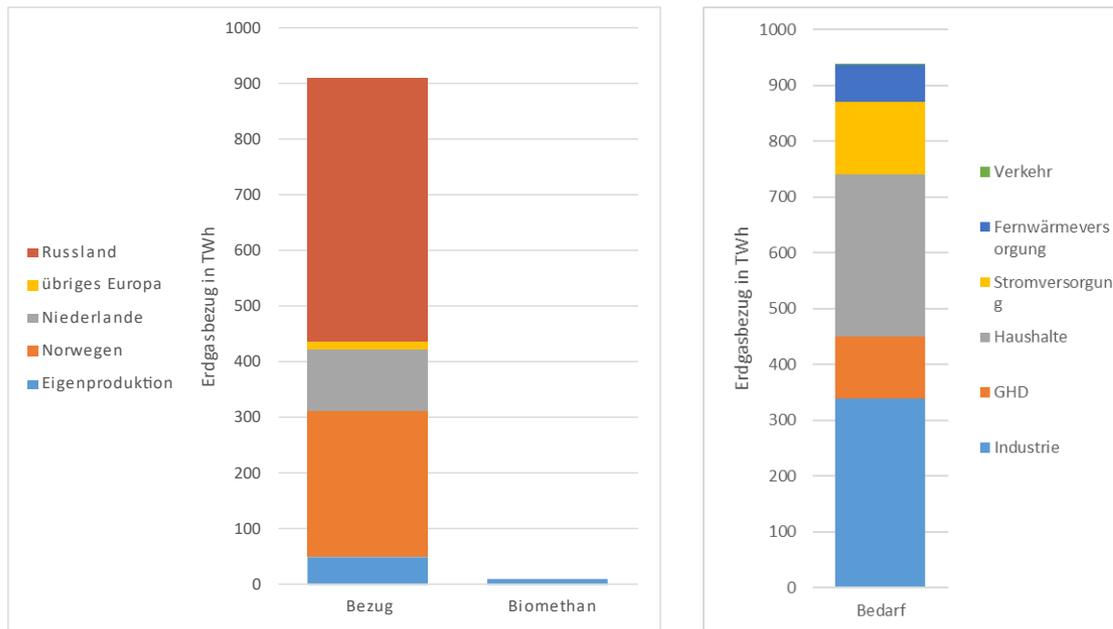
Sektorkopplung:

- Wärmepumpen
- Elektroden-Boiler
- Ladeinfrastruktur Mobilität
- Antriebe
- Kühlung
- ICT

Industrieller Energiebedarf - Prozesswärme



Erdgasbezug und -bedarf in Deutschland 2020



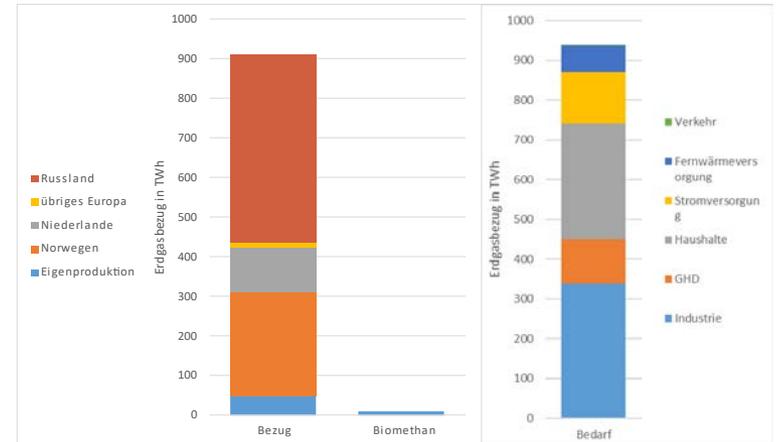
Quelle: Zahlen und Fakten: Energiedaten; BMWi, Stand: 20.01.2022 abgerufen am 07.02.2022

Wasserstoffaktionsplan Deutschland

Erdgas 2020

Nationaler Wasserstoffrat Stand 07/2021

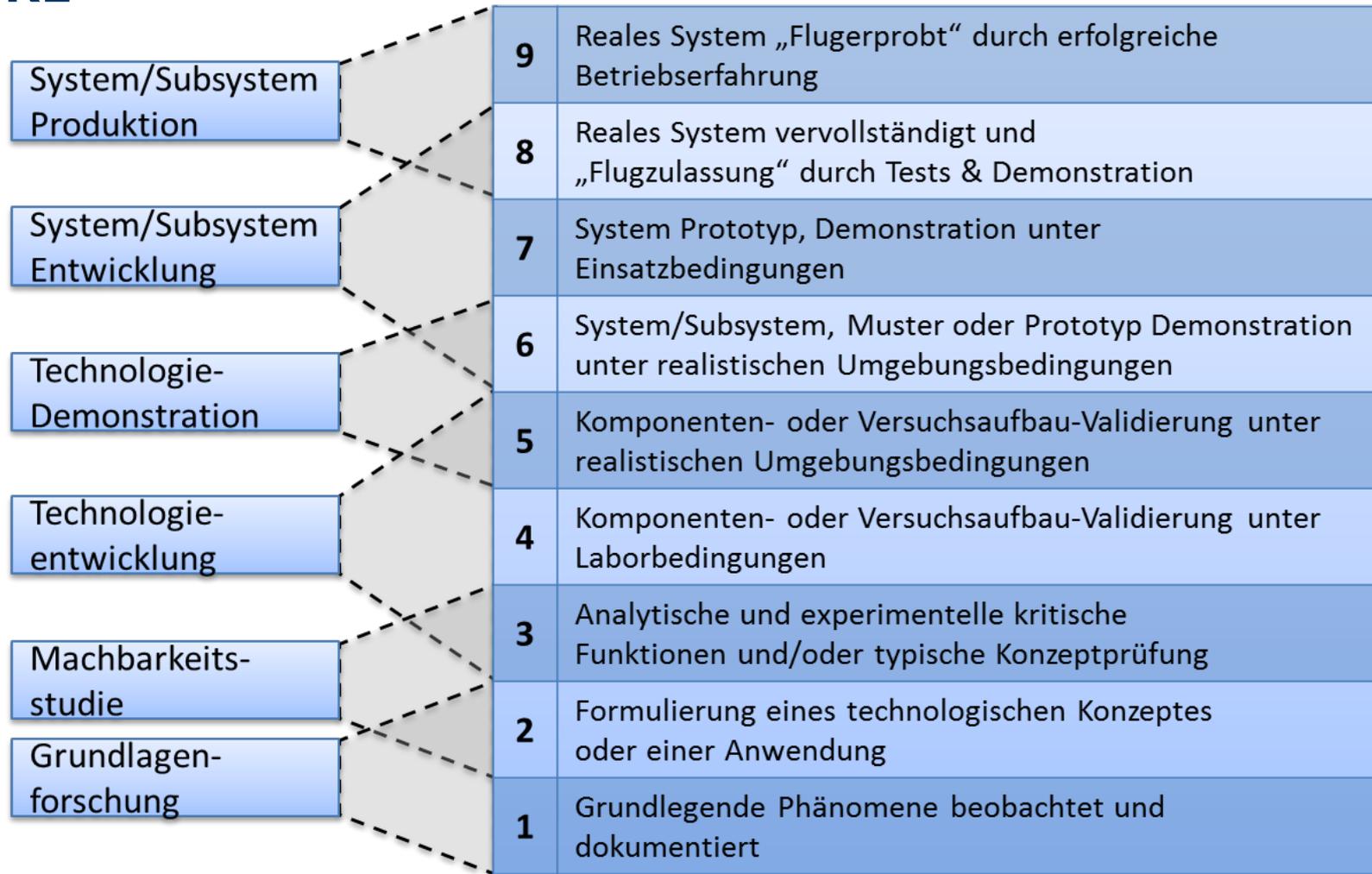
https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf



Bereich	Wasserstoffbedarfe Stand heute		Wasserstoffbedarfe Prognose 2030		Wasserstoffbedarfe Prognose 2040		Wasserstoffbedarfe Prognose 2050	
	[Mio. t]	[TWh]	[Mio. t]	[TWh]	[Mio. t]	[TWh]	[Mio. t]	[TWh]
Industrie	1,1	37	1,7	57	2,8	93	7	227
Mobilität (Transport)	0	0	0,8	25	3,8	128	6,1	203
Wärme	0	0	0,3-3*	10-100*	0,3-4,6*	10-154*	keine Angaben im Wasserstoffaktionsplan Deutschland 2021-2025	
Elektrische Energie	0	0	0,6	20	8,6	288	keine Angaben im Wasserstoffaktionsplan Deutschland 2021-2025	
Gesamt	1,1	37	3,4-6,1	102-202	15,5-19,8	519-663		

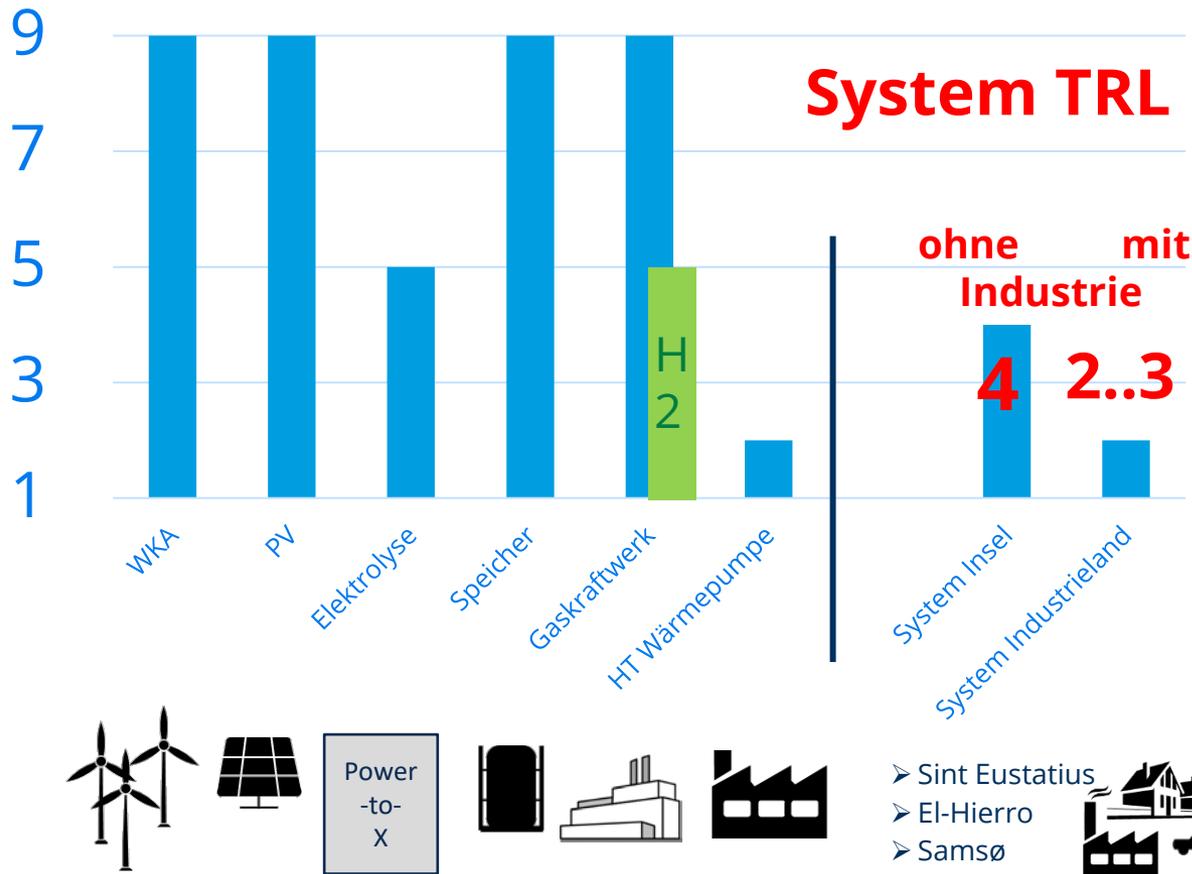
*Werte beziehen sich auf den Gesamtenergiebedarf, der durch klimaneutrale Gase zur Verfügung gestellt werden soll (inkl. Biogas)
Umrechnung: Heizwert Wasserstoff: 120 MJ/kg = 33,3 TWh/10⁶t

Technology Readiness Level – Technischer Reifegrad TRL



Systemspezifisch
Wissenschaft & Technologie

Technology Readiness Level – Technischer Reifegrad TRL



TRL 9:

Flugzeug

- fliegt,
- landet,
- mit Passagieren,
- sicher.



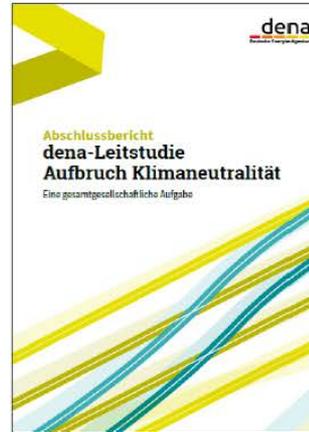
TRL 3: Modell/ Labor



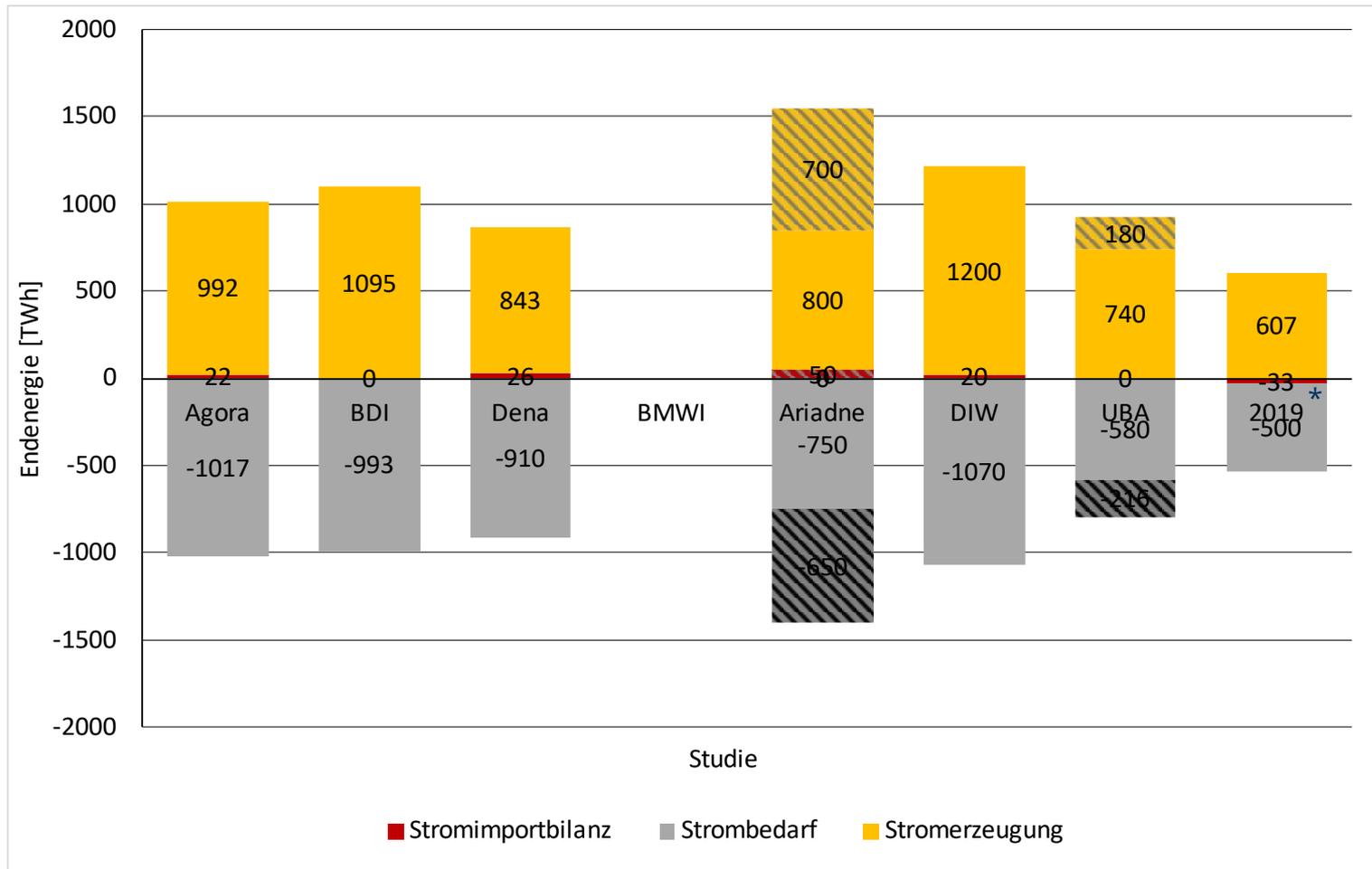
TRL 1: Idee



Studien zur Klimaneutralität in Deutschland

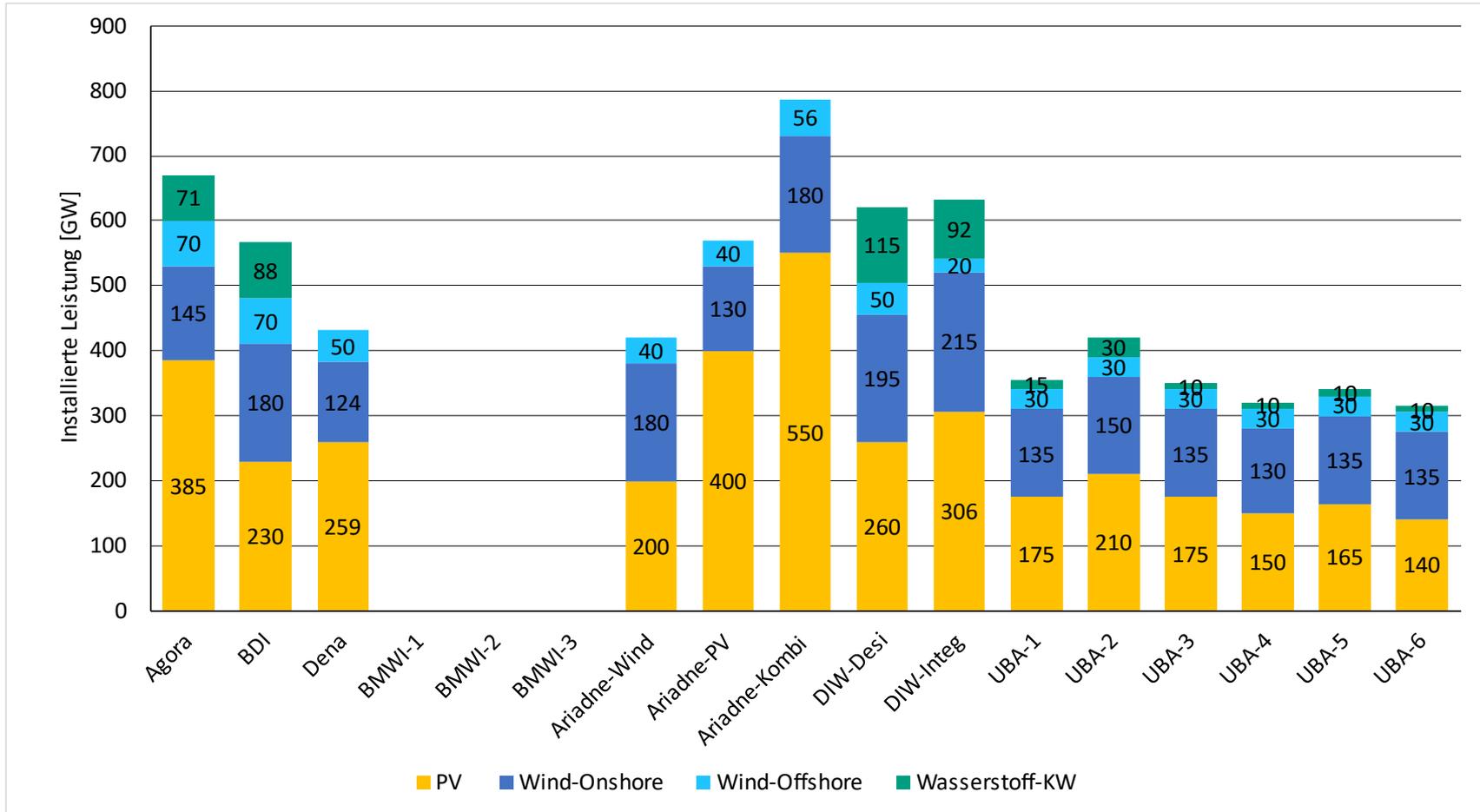


Stromerzeugung und -bedarf



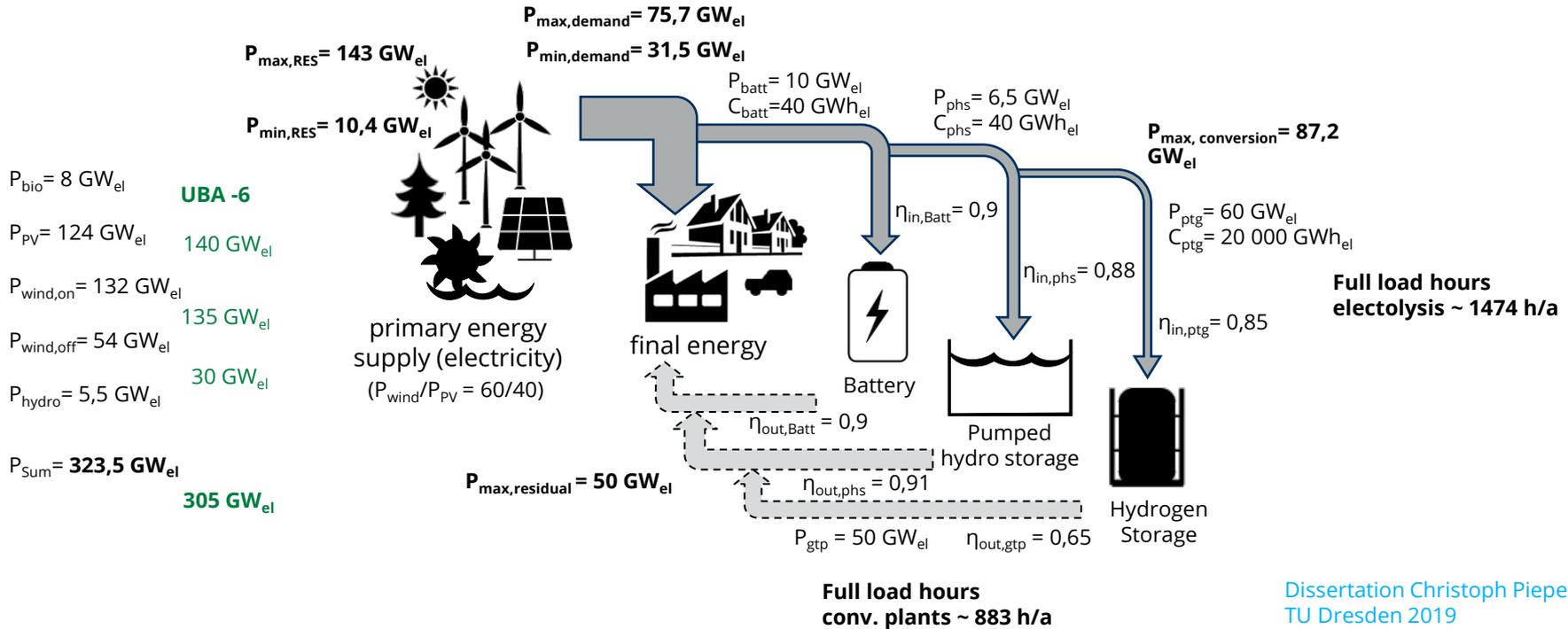
*BMWK: Zahlen und Fakten: Energiedaten

Installierte Leistungen (2045/2050) [GW]



* Energycharts.info

Referenzmodell – Physikalische Grenzen



Fazit zu den Studien

- Keine der Studien ist entsprechend der GWP bewertet worden
- Studien haben als Fixpunkt die Klimaneutralität 2045
- Studien kommen zu ganz unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich Ausbau und Energiebedarf
- Randbedingungen und Annahmen in den Studien setzen eine teils radikale Veränderung der Lebensbedingungen/ Lebensführung voraus
- Alle Studien setzen auf die Verfügbarkeit von Erdgas als Brückentechnologie in unterschiedlichem Ausmaß und über unterschiedlich lange Zeit
- **Gaskraftwerke sind notwendig, um vorhandene Kraftwerkskapazitäten zu kompensieren und gesicherte Leistung zur Verfügung zu stellen**
 - WKA, PV sind fluktuierend, gesicherte Leistung geht gegen Null
 - Flexible Back-up Lösungen sind erforderlich
- Ablösung der Gaskraftwerke durch Wasserstoffkraftwerke wird in allen Studien unterstellt
- Der angenommene Bedarf an Wasserstoff und die Kraftwerkskapazitäten erscheint bei allen Studien zu gering.
- Erreichung eines System TRL 9 wird vorausgesetzt; ebenso die technische Umsetzung in der beabsichtigten Größenordnung

Entwicklung Windenergie Deutschland – installierte Leistung (als Beispiel)

Status der Windenergie in Deutschland am 31.12.2021

Installierte Kapazität	62.865 MW
davon Offshore	7.774 MW
Zubau 2020 Onshore	1.677 MW
Zubau 2020 Offshore	0 MW

Quelle: Zeitreihen zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland; Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)



Planungen

10 GW je Jahr = 10.000 MW je Jahr

20 Jahre: 200 GW installierte Leistung

4 MW je WKA → **2.500 WKA je Jahr**

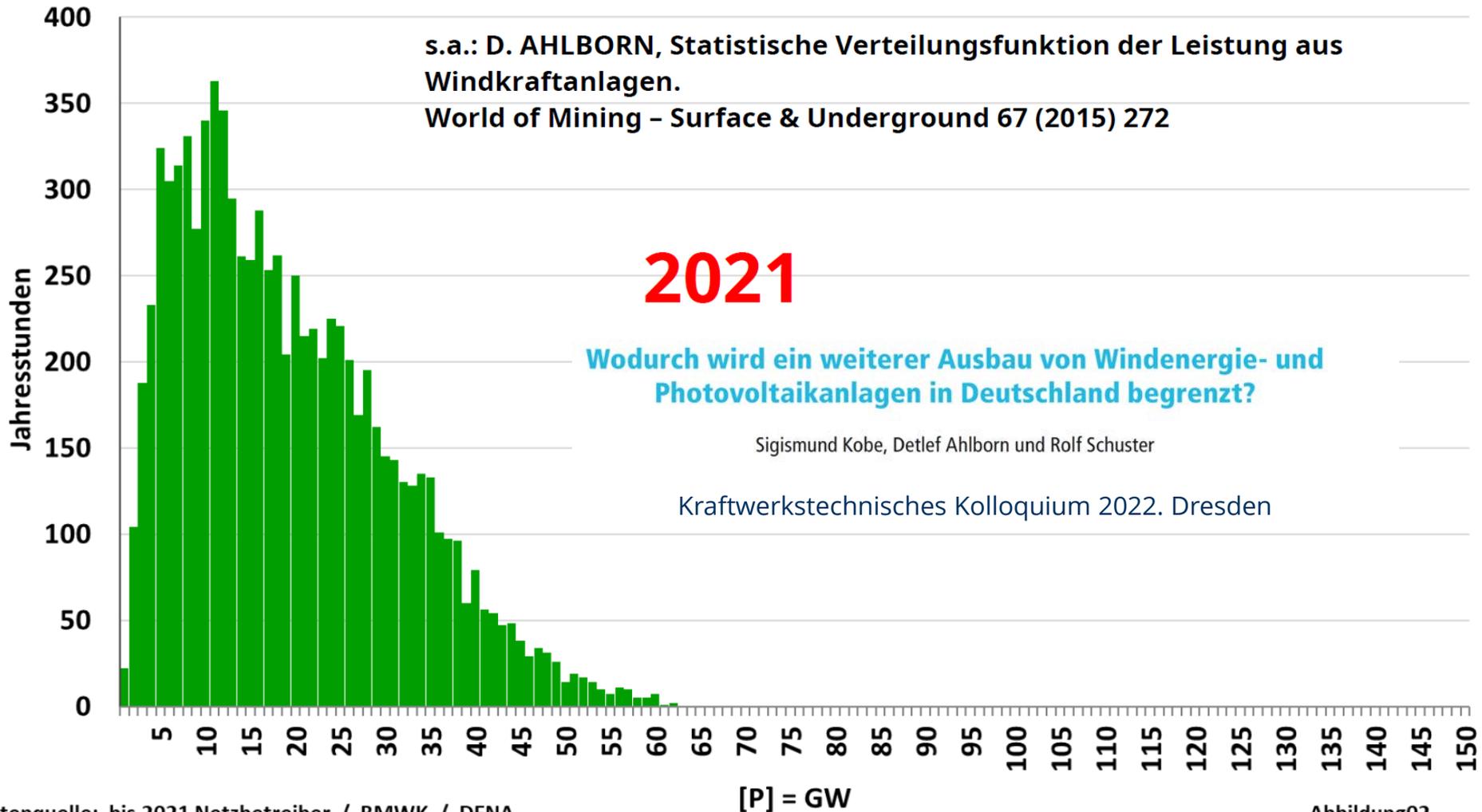
ca. 7 WKA je Tag über 20 Jahre

Lebensdauer WKA: ca. 20 Jahre

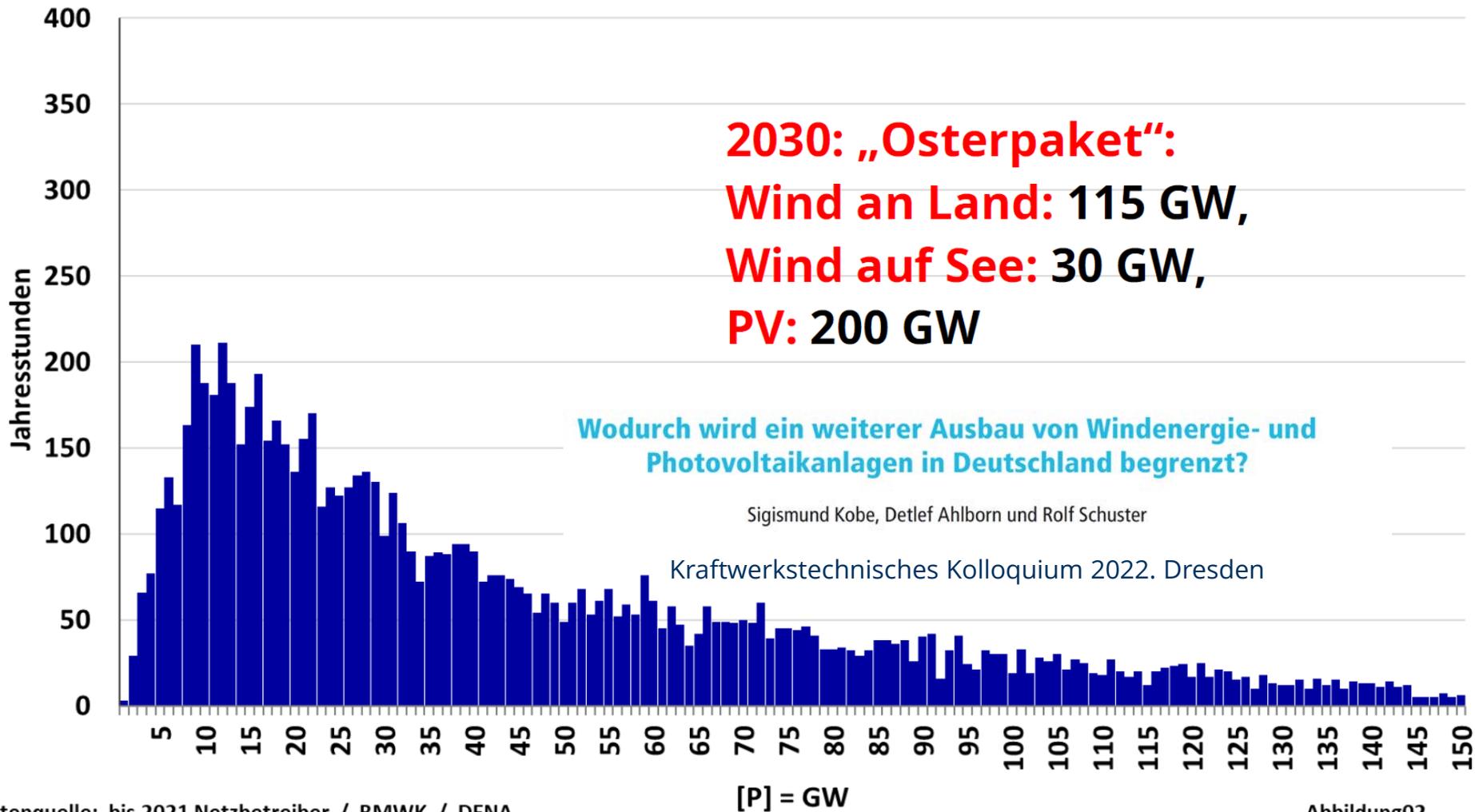
...weiter → **2.500 WKA je Jahr..... zum Vergleich ca. 400 WKA in 2020 (1.677 MW Zubau Onshore 2020)**

Windenergie an Land und auf See + Photovoltaik

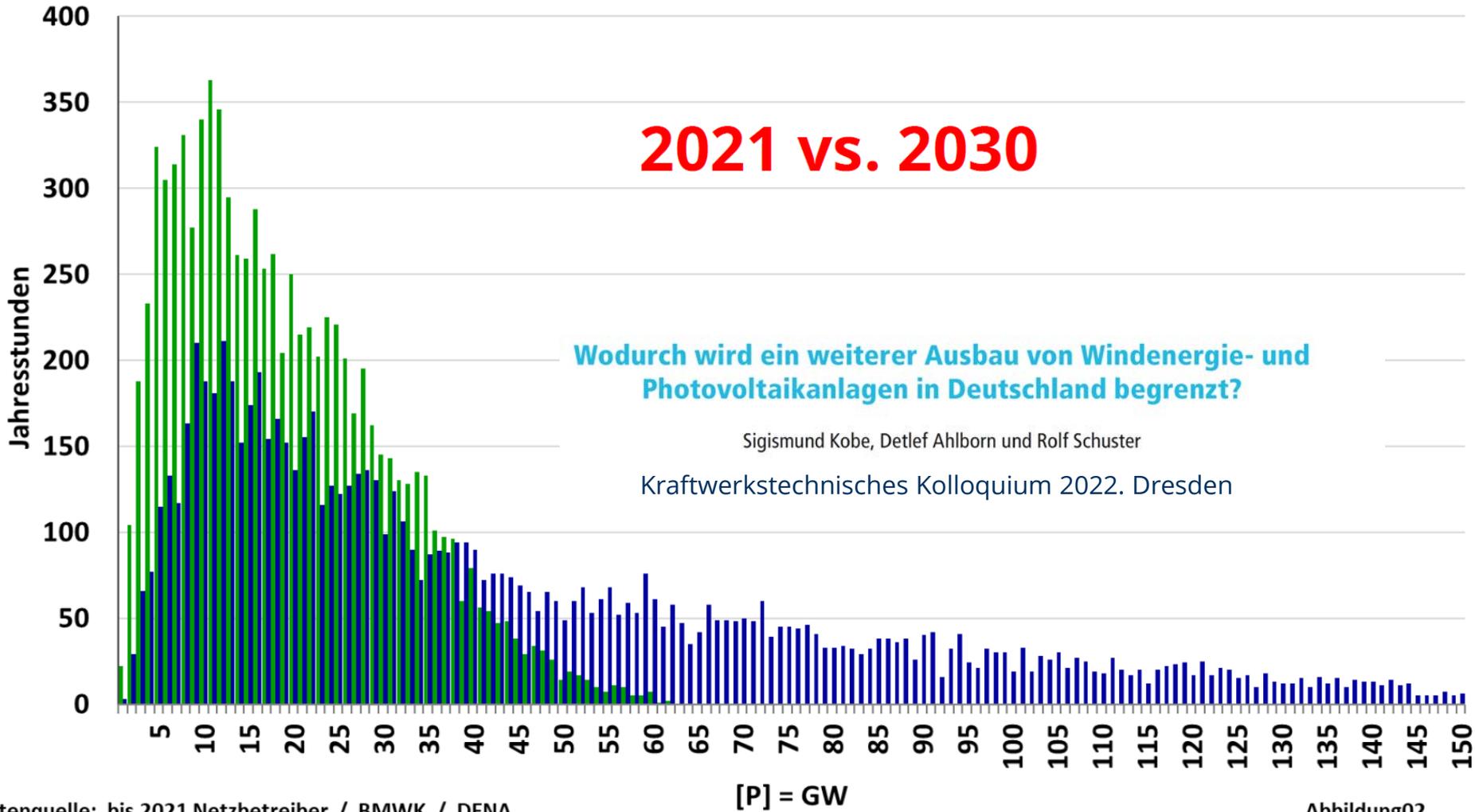
Häufigkeitsverteilung der Erzeugungsleistung



Windenergie (an Land und auf See) + Photovoltaik Einfluß der Volatilität Häufigkeitsverteilung der Erzeugungsleistung



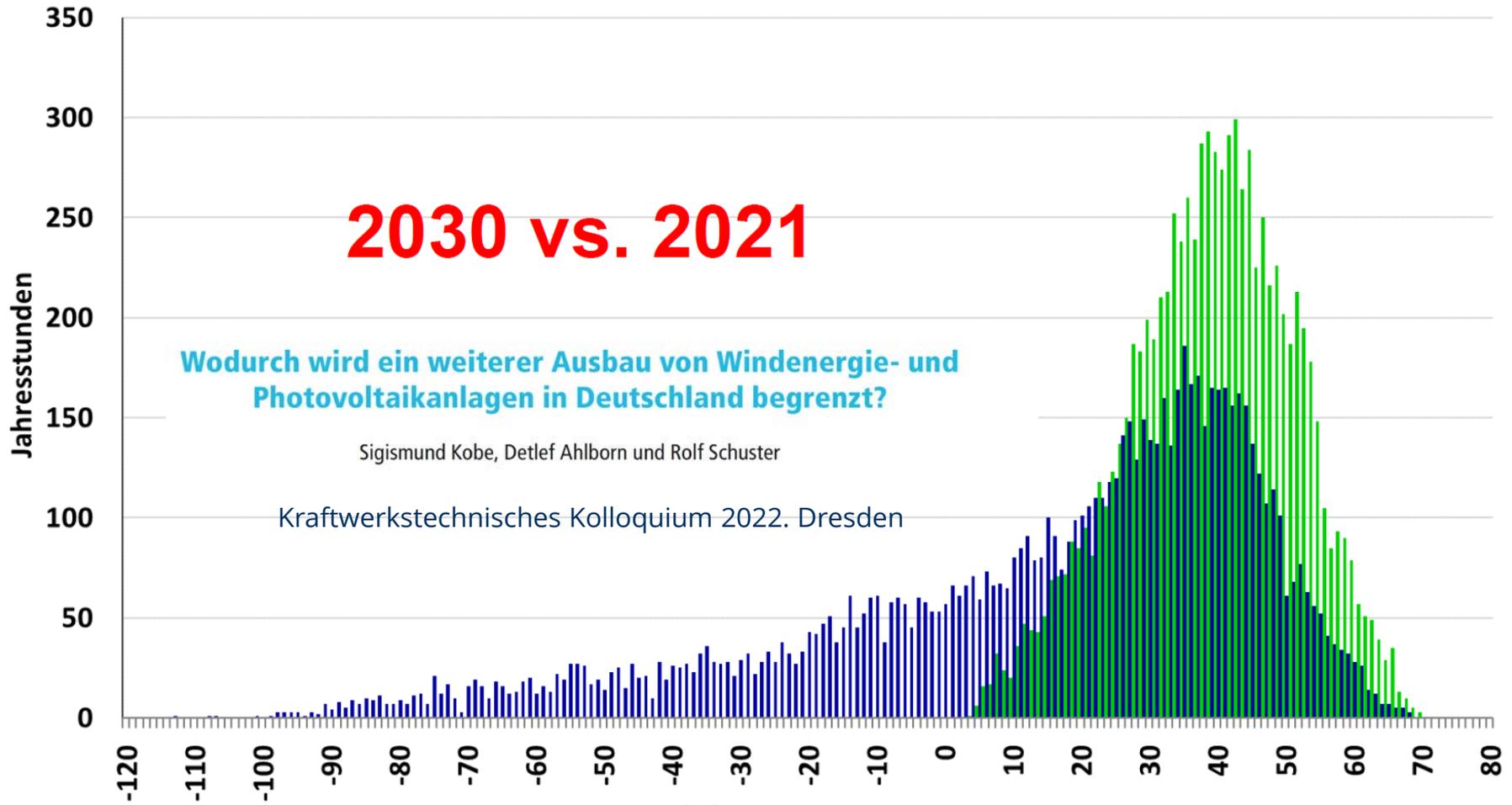
Häufigkeitsverteilung der Erzeugungsleistung



Datenquelle: bis 2021 Netzbetreiber / BMWK / DENA

Residuallast

Residuallast



Datenquelle: bis 2021 Netzbetreiber / BMWK / DENA

Gesicherte Leistung

bei unterschiedlichen Kraftwerksarten/ unterschiedlicher Energiebereitstellung

Kernkraftwerk	93 %	Laufwasserkraftwerk	25 %
Braunkohlenkraftwerk	92 %	Biomassekraftwerk	65 %
Steinkohlekraftwerk	86 %	Wind off-shore	2 %
Kombi-Anlage (Gas, Öl)	86 %	Wind on-shore	1 %
Gasturbinen	42 % (*)	PV	0 %

Gesicherte Leistung konventioneller Erzeugereinheiten nach DENA – Kurzanalyse der Kraftwerksleistung in Deutschland 2020 (Aktualisierung); 02/2010 Berlin

Gesicherte Leistung erneuerbarer Erzeugereinheiten nach 50Hertz Energiewende Outlook 2025 zusammen mit E-Bridge, FGH, RWTH Aachen, Prognos 06/2016



50Hertz Energiewende Outlook 2035

Abschlussbericht

Entwicklungspfade der Energiewende und deren Folgen

VGB PowerTech 6/2017

Windenergie in Deutschland und Europa

Windenergie in Deutschland und Europa

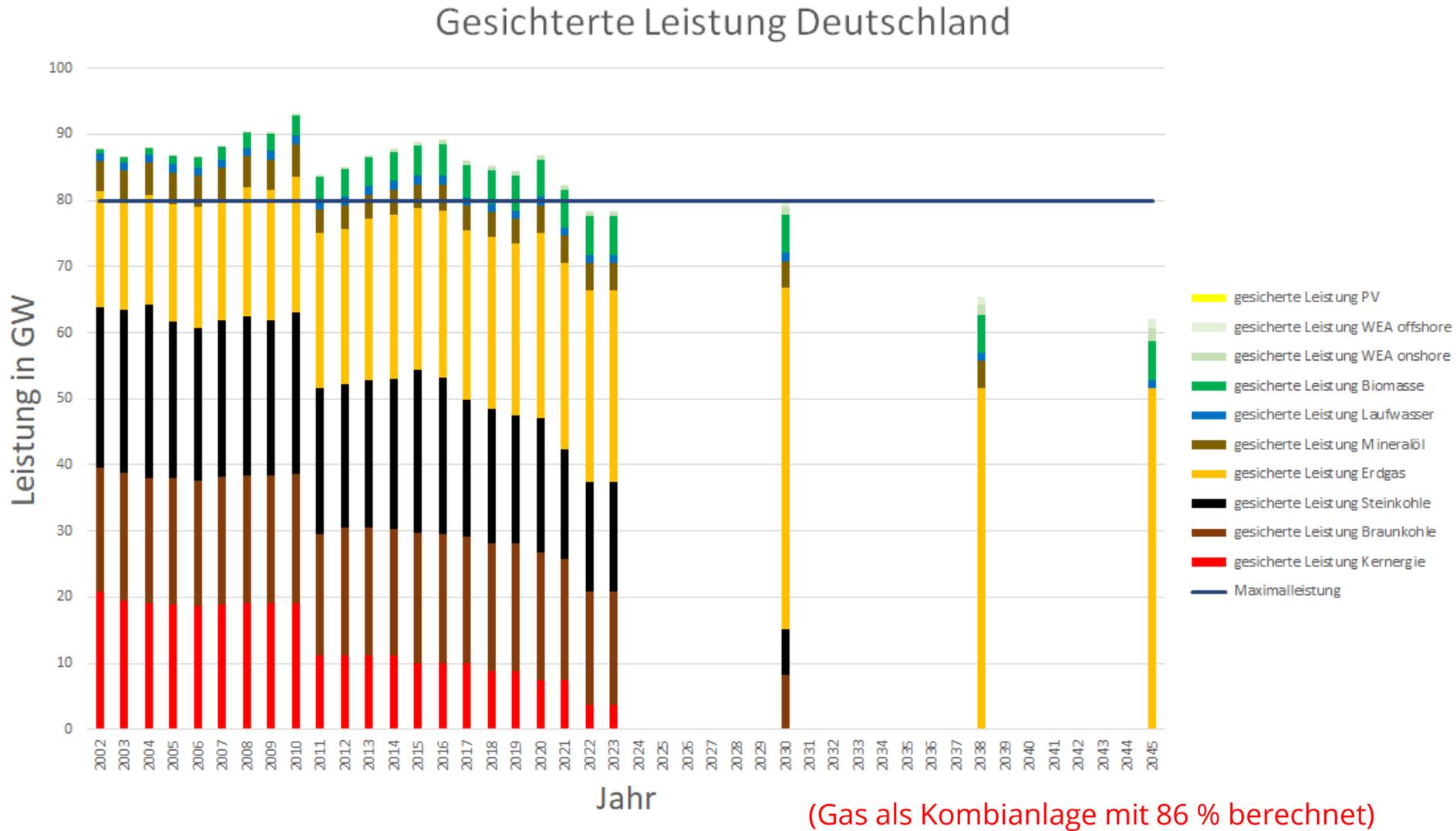
Status quo, Potenziale und Herausforderungen in der Grundversorgung mit Elektrizität

Teil 1: Entwicklungen in Deutschland seit dem Jahr 2010

Thomas Linnemann und Guido S. Vallana

(*) erscheint nicht plausibel

Gesicherte Leistung



Fazit zum Stand der Energiewende I

Technische “bottlenecks” der deutschen Energiewende

- TRL der verschiedenen Komponenten variiert; **System TRL 2..3 (4) für industrielle Regionen**
- grundsätzlich stehen erprobte Technologien für jeden Schritt der direkten oder indirekten Nutzung **fluktuierender Energien** im MW-Maßstab zur Verfügung
- die **natürlichen Bedingungen** (lange Perioden mit hohen Temperaturen (die den Wirkungsgrad von Solar-PV-Modulen verringern) oder geringer Einstrahlung in Verbindung mit schlechten Windverhältnissen) führen selbst bei großen Wind- und PV-Kapazitäten zu geringen Erträgen
➔ das Energieversorgungssystem benötigt **große (GW) sekundäre Umwandlungs- und Speicherkapazitäten**
- der Maßstab ist ein **wesentliches Kriterium bei der TRL Bewertung**, TRL wesentlicher Technologien (Batteriespeicher, Power-to-Gas) ist daher niedrig
- Ein **“bottleneck”** ist die fluktuierende Erzeugung → mit Blick auf die **1. Konversion** (Vergleichsweise langsame und thermisch träge Prozesse (z. B. PtG/Chemie) sind eher für den Dauerbetrieb geeignet. Daher muss das *Umgebungskriterium* (TRL) als "relevant" oder "betriebsfähig mit begrenzter Reichweite" bewertet werden, was die TRLs begrenzt.
- Erhebliche Engpässe bei der Versorgungssicherheit
- **Sektorkopplung** kann zur Versorgungssicherheit **beitragen**, aber **Speicherlösungen im GW- und/oder TWh-Maßstab** sind **unerlässlich**

Fazit zum Stand der Energiewende II

- 1. Größenordnung** der Energiebereitstellung wird unterschätzt (**Versorgungssicherheit**)
- 2. Entwicklungsstand** in Richtung vollständiger Verzicht auf fossile Energieträger bis 2045 ist noch **niedrig – TRL!**
- 3. Studien** sind **nicht wissenschaftlich begutachtet** und gehen von Szenarien aus, die
 - einen enormen Ausbau/ Sanierung/ Umbau vorsehen (Zeit, **Wirtschaftlichkeit**, Material, **Umwelteinflüsse**)
 - eine schnelle unproblematischen Entwicklung auf **TRL 9** annehmen
 - Randbedingungen zur Lebensweise in der Gesellschaft vorsehen, die noch nicht öffentlich diskutiert wurden (**Akzeptanz**)

Fazit zum Stand der Energiewende III

Die Energiewende mit der bisherigen Planung und Ausführung ist zu korrigieren!

- Energiesicherheit und Wirtschaftlichkeit erhält/ schafft internationale Wettbewerbsfähigkeit
- Synergetische Industriestandorte im Zusammenhang mit Energieeffizienz
- Regionale Versorgungszellen mindestens TRL 8 für das System (konzentrierte F&E)
- Erst Grundlagen für Ersatz schaffen, dann abschalten (Braunkohle, Steinkohle, Kernenergie, Speicher- u. Lauf-Wasserkraftwerke,...)
- Monitoring (Sicherheit, Wirtschaftlichkeit, Umweltverträglichkeit)



»Wissen schafft Brücken.«

Die hier vorgestellten Zusammenhänge sind nicht neu....

Beckmann, M.; Pieper, C.: Erneuerbare Energien - Entwicklungen und Perspektiven. In: Thomé-Kozmiensky, K.J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Erneuerbare Energien - Band 5. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, **2011**, S. 3 - 22. ISBN 978-3-935317-64-1

Beckmann, M.; Pieper, C.; Scholz, R. und Muster, M.: Perspektiven für eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien - Teil I: Energiebedarf sowie Energiebereitstellung und -verteilung. In: WASSER und ABFALL, Heft 7/8/**2012**, S. 47 - 55.

Beckmann, M.; Pieper, C.; Scholz, R. und Muster, M.: Perspektiven für eine Vollversorgung mit erneuerbaren Energien - Teil II: Speicherbedarf, Regionale Demonstrationseinheit und Ausblick. In: WASSER und ABFALL, Heft 9/**2012**, S. 20 - 27.

Update **2013, 2014 (engl.), 2016**

Scholz, R.; Beckmann, M.; Pieper, C.; Muster, M.; Weber, R.: Considerations on providing the energy needs using exclusively renewable sources: Energiewende in Germany. In: Renewable and Sustainable Energy Reviews 35 (**2014**), S. 109-125, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.053>.

Pieper, C.; Beckmann, M.: Transformation of the German energy system - Technology Readiness Levels 2018, VGB PowerTech 8/**2019**