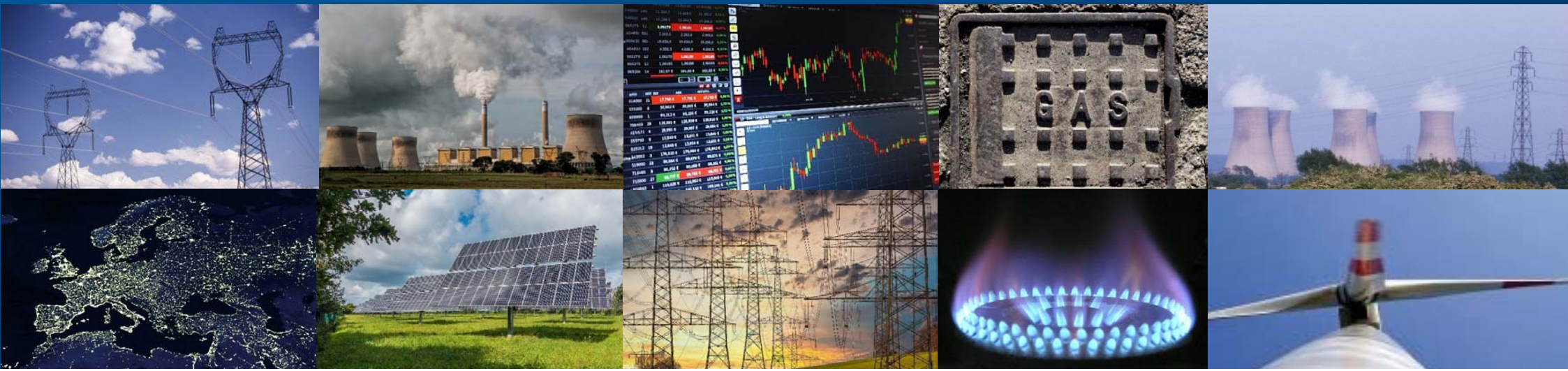
Entwicklungen und Herausforderungen in der Energiewirtschaft

Prof. Dr. Dominik Möst
Professur für Energiewirtschaft
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Technische Universität Dresden

Seniorenakademie Dresden, Hygiene-Museum, 14.11.2022

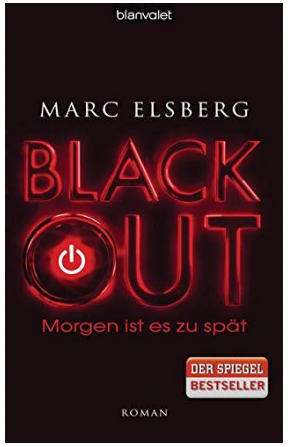


Ausgewählte Presse zum Thema Energie

Energie-Streit: Russland dreht Ukraine den Gashahn zu (Handelsblatt 01.01.2009)

Russland droht mit Gas-Lieferstopp durch Nord Str. 1 (Tagesspiegel, 08.03.22)

Blackout in Italien: Zu geringe Erzeugungs-kapazitäten (VDE 28.09.2003)



Blackout – Morgen ist es zu spät M. Elsberg (2012)

Stromabschaltung: Klar Schiff auf der Ems (Spiegel, 7. November 2006) Stromausfall im E.ON-Netzgebiet

Norwegian Pearl von der Meyer-Werft in Papenburg

Schneesturm in Münsterland 250.000 Menschen ohne Strom (Spiegel 28.11.2005)

Noch 1.700 Menschen ohne Strom (von ursprünglich 200.000) (Rhein-Zeit. 28.07.2021)

Ihre Einschätzungen und Erwartungen

- **Wie steht es um die Energieversorgung in Deutschland?**
  http://invote.de/31174 oder SMS an 0177 178 45 36: "31174 A/B/C/D/E"
  - A sehr gut bis gut - bin zufrieden
  - B eher schlecht - Energiepreise sind zu teuer
  - C eher schlecht - Umweltschutz kommt zu kurz
  - D eher schlecht - Versorgungssicherheit kommt zu kurz
  - E Nichts von allem

- **Was sind Ihre Erwartungen an die Veranstaltung?**
  (Welche Themen sind Ihnen wichtig)?
  http://invote.de/84469 oder SMS an 0177 178 45 36: 84469 Antwort

Agenda

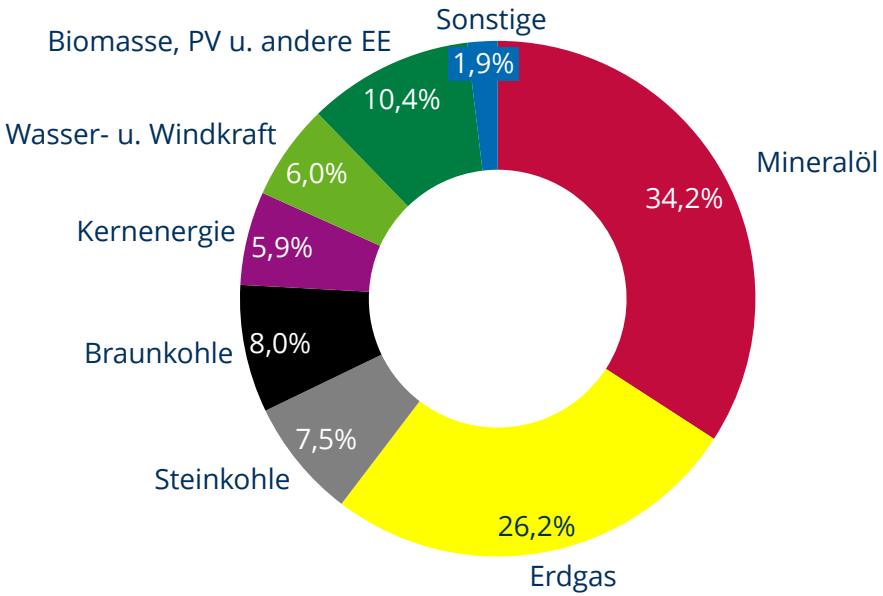
1. Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck
2. Dimension Umwelt
3. Dimension Versorgungssicherheit
4. Dimension Preise
5. Zusammenfassung & Ausblick

Agenda

1. Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck
2. Dimension Umwelt
3. Dimension Versorgungssicherheit
4. Dimension Preise
5. Zusammenfassung & Ausblick

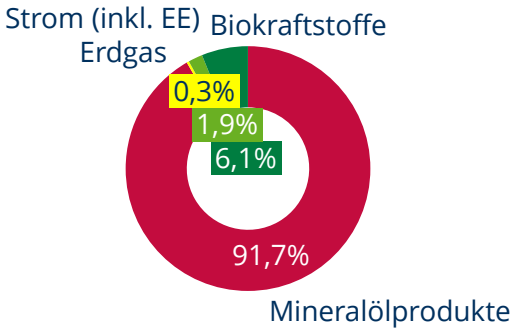
Stand heute: Konventionelle Energieträger sind weiterhin unerlässlich

Primärenergiebedarf in Deutschland in 2020 (ca. 3.305 TWh)

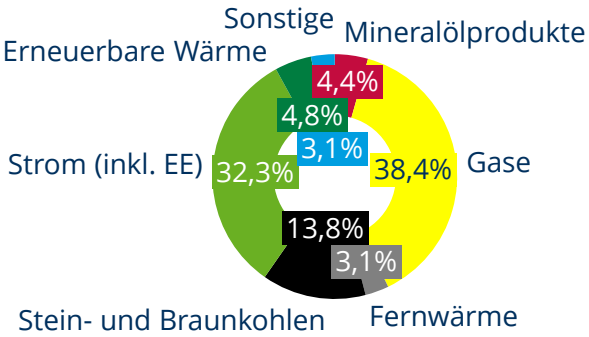


Endenergieverbrauch in Deutschland nach Sektoren in 2020 (ca. 2.333 TWh)

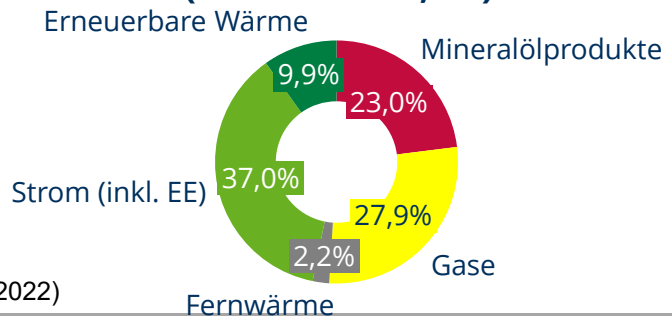
Verkehr (635 TWh ≈ 27,2%)



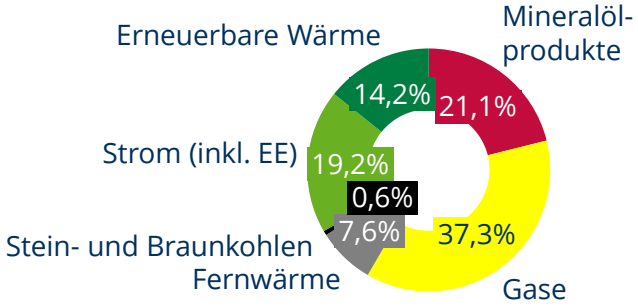
Industrie (665 TWh ≈ 28,5%)



Gewerbe, Handel & Dienstl. (365 TWh ≈ 15,6%)



Haushalte (667 TWh ≈ 28,6%)



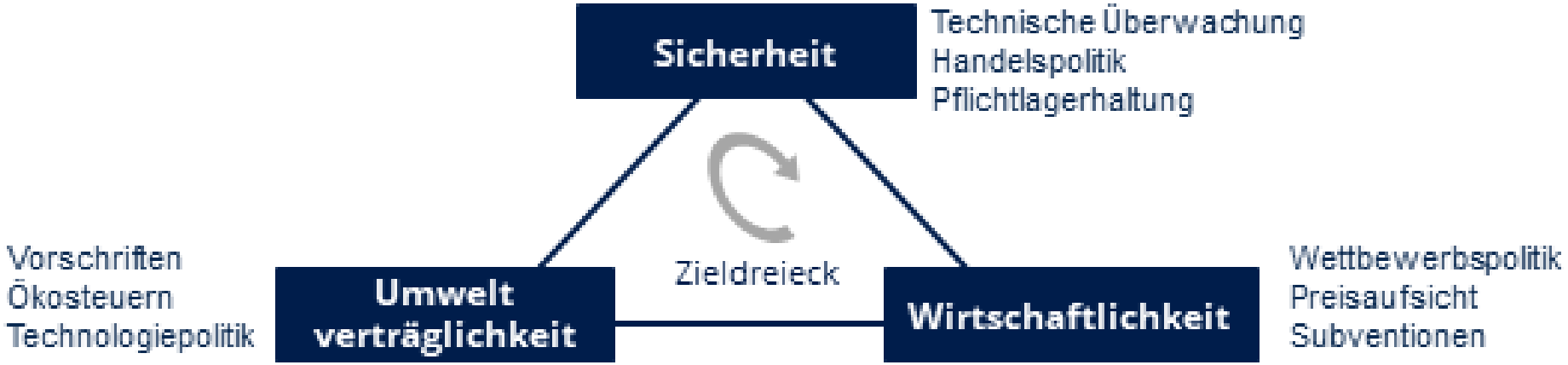
Quelle: Eig. Darst. basierend auf BMWi, Energiedaten: Gesamtausgabe (2022)

Energiepolitik richtet sich nach dem energiewirtschaftlichen Zieldreieck

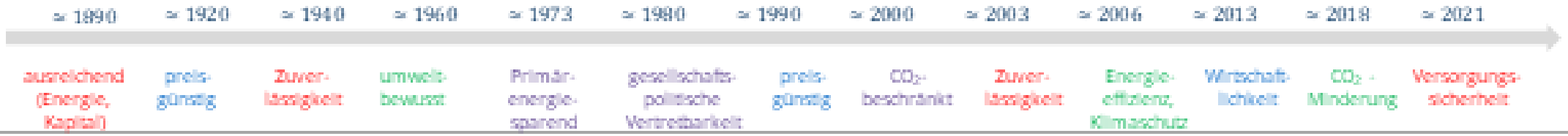
Kodifizierung des Zieldreiecks der Energiewirtschaft in Deutschland

- Energiewirtschaftsgesetz EnWG (2005) §1 Abs. 1:

„Zweck des Gesetzes ist eine möglichst sichere, preisgünstige, verbraucherfreundliche, effiziente und umweltverträgliche leitungsgebundene Versorgung der Allgemeinheit mit Elektrizität und Gas."



Schwerpunkt der Zielgewichtung unterliegt gesell. Diskussion und ist zeitabhängig!



Quelle: nach Kneuzel (2003)

Ziele der Bundesregierung: Ausbau erneuerbarer Energien ist von zentraler Bedeutung

Energiekonzept als Basis einer stark vereinfachten Berechnung für das Jahr 2045:

1. Halbierung der Primärenergiebilanz (im Vergleich zu 2008)
2. Beitrag erneuerbarer Energien zum Brutto-Endenergieverbrauch ungefähr 60%
   (entspricht ca. Faktor 2,4 im Vergleich zu heute – aktuelle Bundesregierung hat Ziele über Faktor 3!)
3. Beitrag von Kernenergie und Kohle = 0
4. CO_2-Reduktionsziel: entweder -80%, -95% oder Netto-Null im Vergleich zu 1990
   (1990: ca. 985 Mt CO_2 => ca. 200 Mt CO_2, 50 Mt CO_2 oder 0 Mt CO_2 ín 2050)
5. Restliche Emissionen für Erdöl und Erdgas in Abhängigkeit des Ziels

Rolle von	80% reduction	95% reduction
Erdöl	Nahe 0!	Nicht erreichbar unter den Zielen => **Lösung: Höhere Anteile von EE oder Importe**
Erdgas	Deutlich niedriger als heute!	

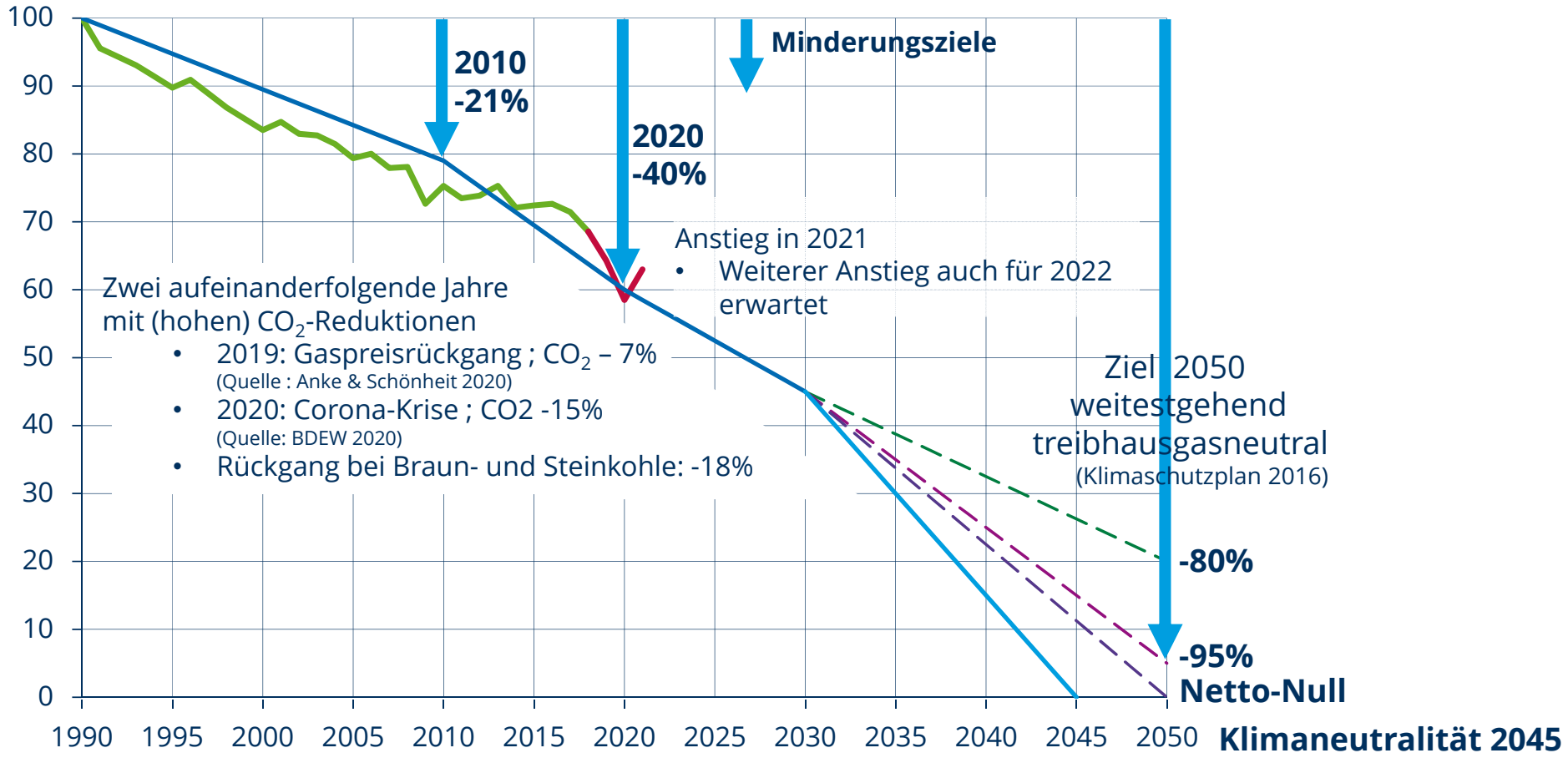
⇒ **Erneuerbaren-Ausbau (bisher und in Zukunft) entscheidend im Strombereich!**

⇒ **95% - 100% Reduktion => Back-Stop Technologie Wasserstoff: Geschätzte Wettbewerbsfähigkeit zwischen 150 to 350 €/t CO_2**

Agenda

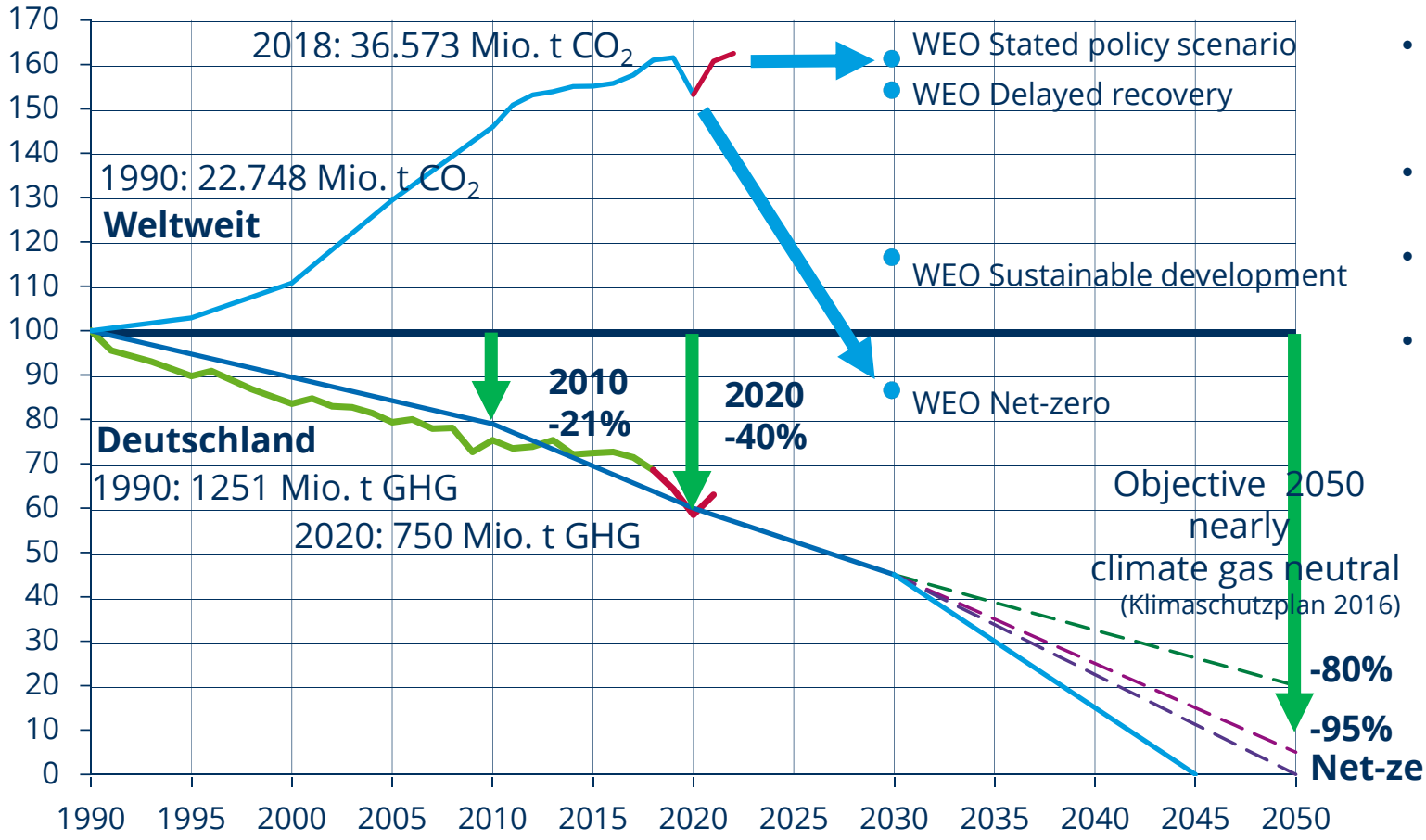
1. Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck
2. Dimension Umwelt
3. Dimension Versorgungssicherheit
4. Dimension Preise
5. Zusammenfassung & Ausblick

Ziele zur Reduktion von Treibhausgasen in Deutschland – Minderungsziele 2020 zwar erreicht, aber in der Folge wird überschritten



Datenquelle THG Emissionen: Umweltbundesamt

Weltweit liegen die größten Anstiege der CO2-Emissionen hinter uns, aber eine Reduktion (außer durch Corona) ist noch nicht absehbar!

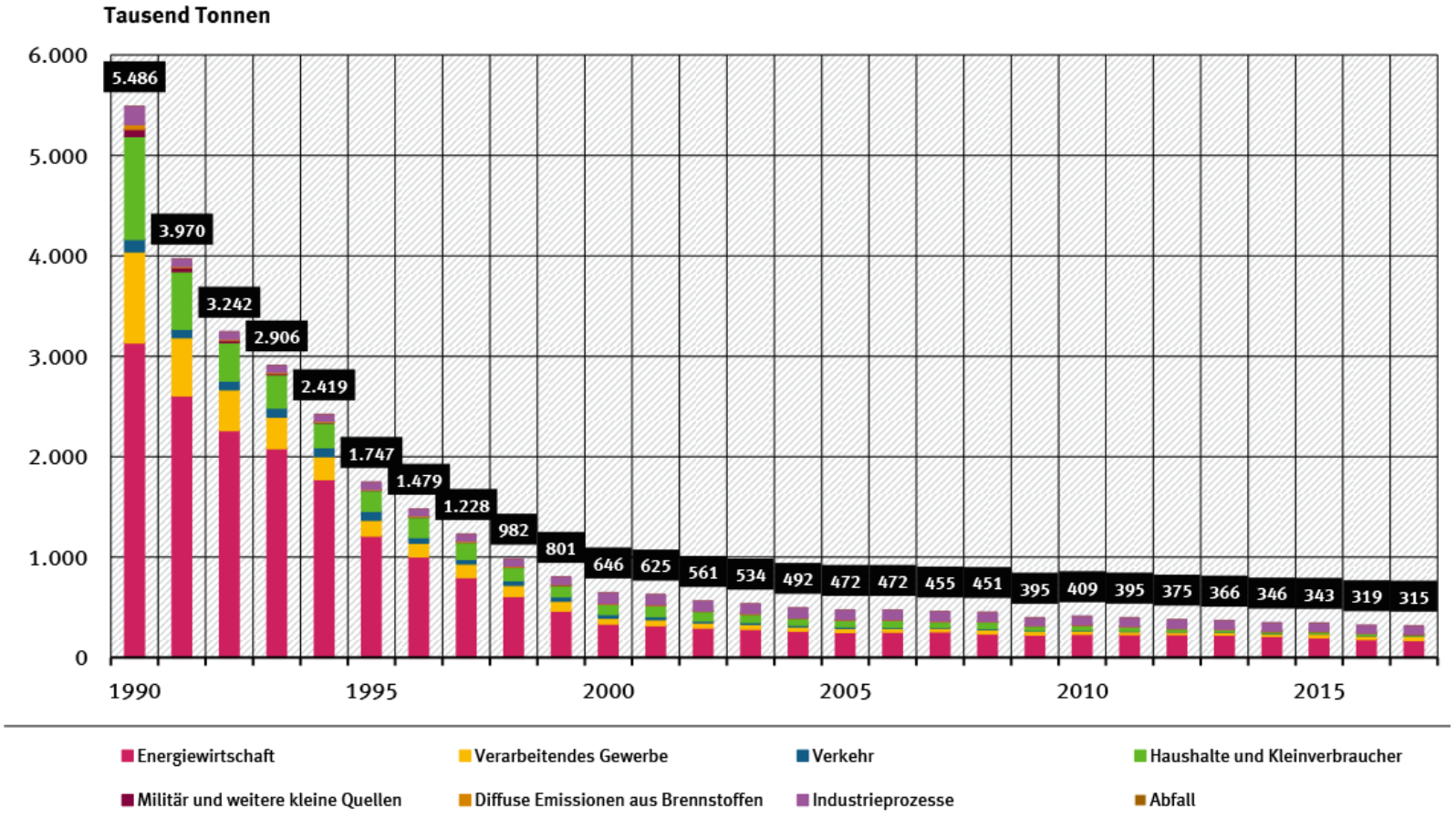


- Corona-bedingte Reduktion der Emissionen weltweit ca. -5,4% in 2020
- Wiederanstieg um ca. 4,9% in 2021 auf Vorkrisenniveau (2019)
- Weiterer Anstieg in 2022

- **Glasgow Konferenz 2021**:
  - Ziel: Begrenzung auf 1,5 °C
  - IPCC-Report: CO_2-Emissionen auf Netto-Null weltweit in 2050
  - Zugesagte Maßnahmen der einzelnen Länder reichen nicht aus um 1,5°C Ziel zu erreichen!
  - National zugesagte Minderungen erreichen grob das Ziel von 2,7°C

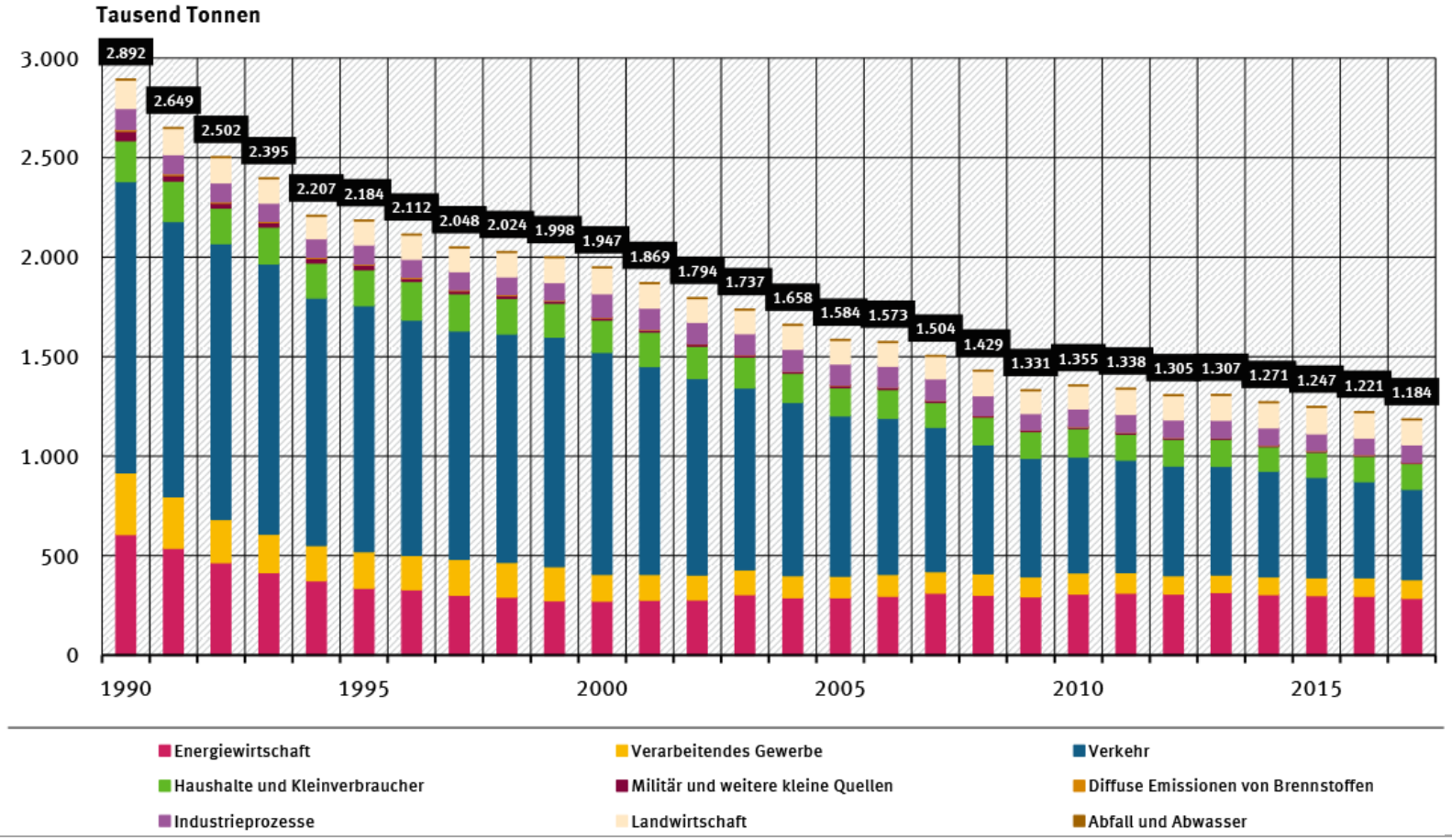
Source: THG Emissionen: Umweltbundesamt & Statista

Schwefeldioxid Emissionen konnten durch Abgasreinigung bei Kraftwerken massiv reduziert werden



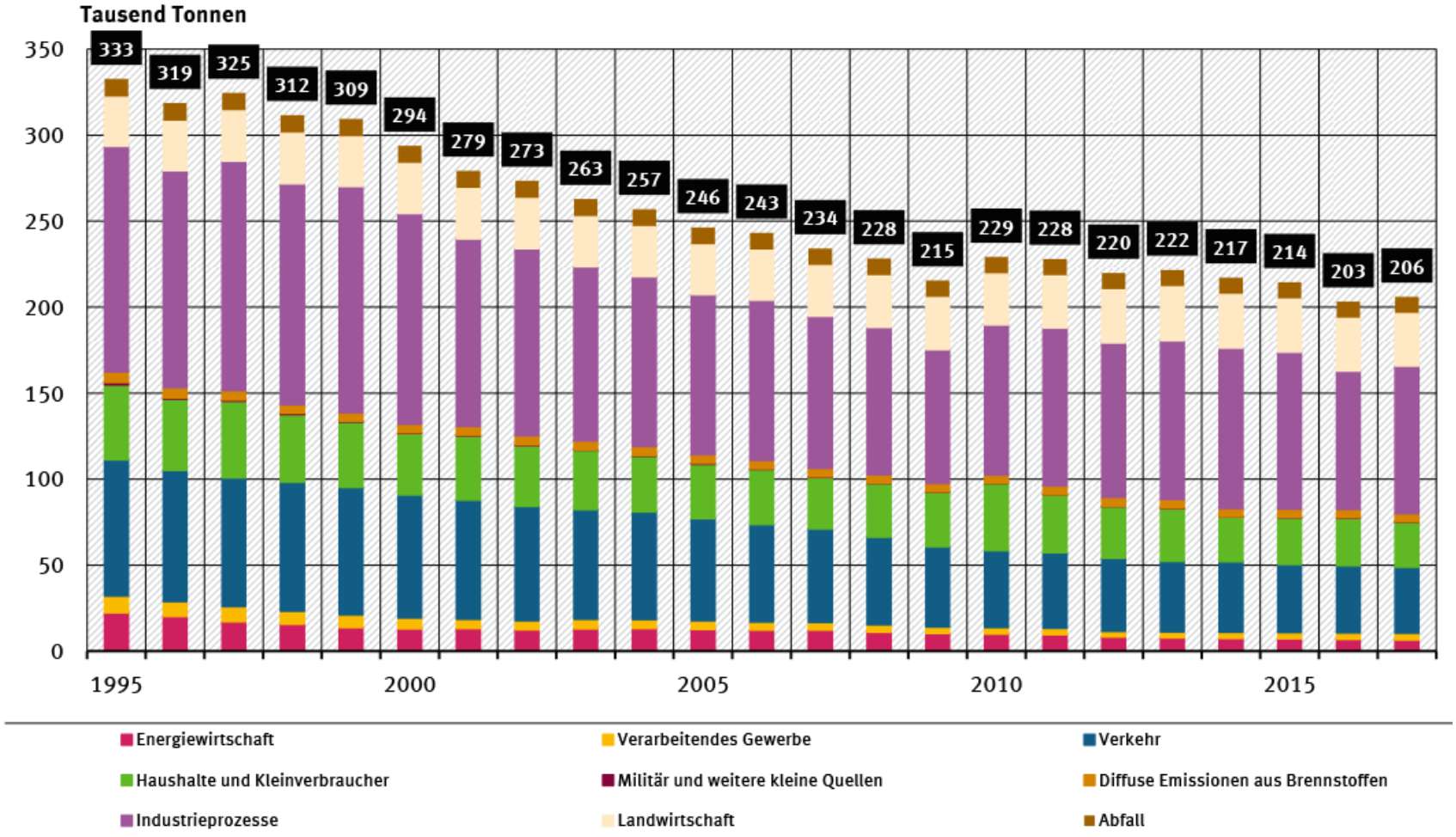
Quelle: UBA

Stickstoffoxid (NO_x als NO_2 gerechnet) Emissionen nehmen kontinuierlich ab (auch bereits vor den Dieselskandalen)



Quelle: UBA

Feinstaub (PM10) Emissionen sind kontinuierlich schwach rückläufig



Quelle: UBA

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

3.1 Perspektive Gasversorgung

3.2 Perspektive Stromversorgung

4 Dimension Preise

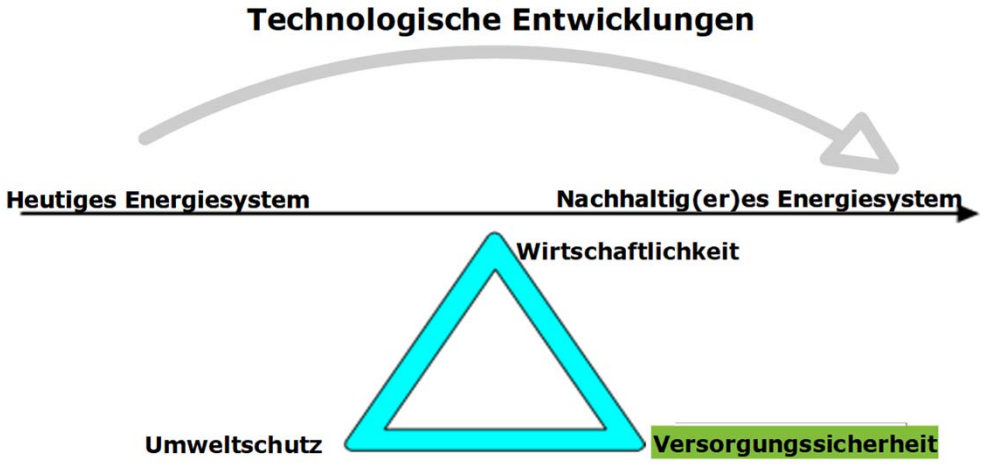
5 Zusammenfassung & Ausblick

Definitionen Versorgungssicherheit

— **„Die Versorgungssicherheit ist gewährleistet, wenn jederzeit die gewünschte Menge an Energie mit der erforderlichen Qualität im gesamten Energienetzwerk zu angemessenen Preisen erhältlich ist.“** (BFE 2003)

— Versorgungssicherheit wird in der EU so verstanden, „dass Energieträger fortlaufend und für alle Verbraucher zu verkraftbaren Preisen auf dem Markt zur Verfügung stehen, wobei Umwelterwägungen und das Ziel einer nachhaltigen Entwicklung (...) zu berücksichtigen sind“. (EC 2001)

— Abgrenzung Blackout:
... ein plötzlicher überregionaler, weite Teile Europas umfassender und länger andauernder Stromausfall (sowie in der Folge Infrastruktur- und Versorgungsausfall)



Ursachen der Risiken der Versorgungssicherheit sind sehr vielfältig – ausgewählte Beispiele

Ursachen		Wertschöpfungskette			
		Exploration (Rohstoffe)	**Wandlung (Produktion)**	**Übertragung**	**Verteilung**
Kurzfristig (Pannen/ Störfälle)	**technisch/ physisch**	Pipelinebruch	Kraftwerksausfall	Netzausfall (bspw. Schneelasten)	Trafoausfall
	wirtschaftlich	Liefervertrag platzt	mangelnder Anreiz für Unterhalt/neue Kapazitäten		
	gesellschaftlich/ politisch	Streik/Embargo	Terror/Sabotage		
	ökologisch	Trockenheit	Naturkatastrophen		
Langfristig	**technisch/ physisch**	begrenzte Ressourcen		nicht ausreichende Leitungskapazitäten	
	wirtschaftlich	Preisgestaltung (Marktmacht)	mangelnder Anreiz für Investitionen / Preisgestaltung (Marktmacht)		
	gesellschaftlich/ politisch	politische Entscheide (Förderung EE)	politische Entscheide (KKW-Ausstieg)	politische Entscheide (NIMBY)	
	ökologisch	ökologische Restriktionen (CO_2)	Extreme Klimabedingungen		

Quelle: In Anlehnung an BFE (2003)

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

3.1 Perspektive Gasversorgung

3.2 Perspektive Stromversorgung

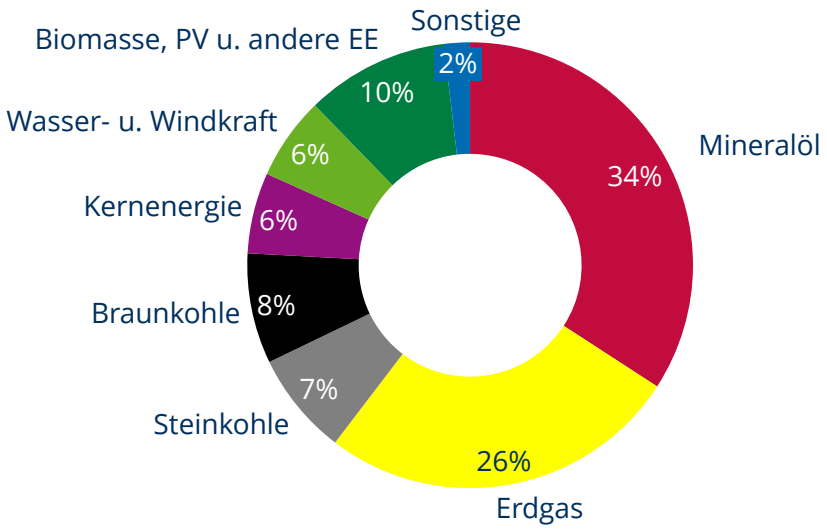
4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Lieferanteile konventioneller Energieträger aus Russland waren hoch, Öl und Kohle ließen sich kurzfristig (relativ) einfach reduzieren

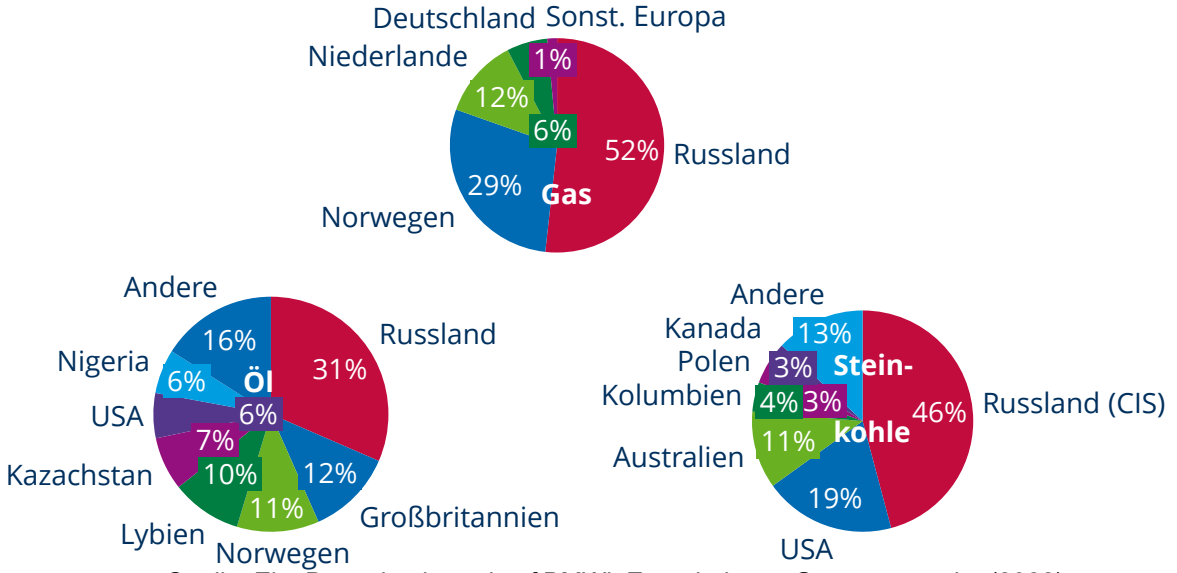
- Abhängigkeit von Russland beim Energieträger Erdgas ist im Vergleich zu Kohle und Erdöl am höchsten
- Erdöl kann im Vergleich zu Erdgas leichter von anderen Quellen bezogen werden, u.a. wegen einfacherem Transport per Schiff und ausreichend europäischen Importkapazitäten
- Lieferländer von Steinkohle am „einfachsten“ zu diversifizieren!
- Abhängigkeit Europas von russischem Gas liegt bei ca. 40%

Primärenergiebedarf in Deutschland in 2020 11.900 PJ (ca. 3.305 TWh)



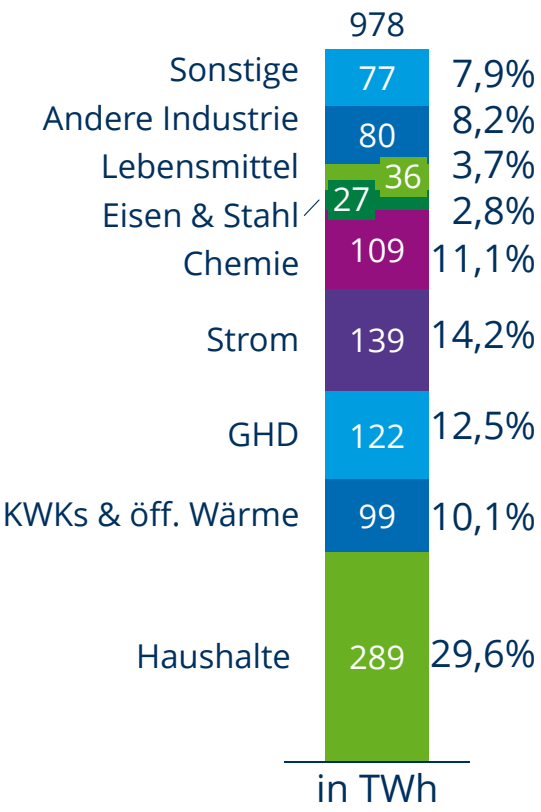
Quelle: Eig. Darst. basierend auf BMWi, Energiedaten: Gesamtausgabe (2022)

Anteile Lieferländer für Erdgas, Öl und Steinkohle (2019)



Quelle: Eig. Darst. basierend auf BMWi, Energiedaten: Gesamtausgabe (2022)

Gasverbrauch in Deutschland nach Sektoren



- Nachfrage nach Erdgas in Deutschland im wesentlichen durch Haushalte und Industrie geprägt
- Stromsektor trägt „nur“ zu ca. 14% zur Gasnachfrage bei
- Aufgrund aktuell sehr hoher Gaspreise wird Erdgas in der Stromerzeugung nur in Spitzenlaststunden eingesetzt
- Möglichkeiten einer weiteren Reduktion der Gasnutzung daher im Stromsektor (bei kurzfristig gegebenen Kapazitäten) kaum möglich
- Bei Kapazitätsrückgang (Kernenergie- und Kohleausstieg) ist davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der Erzeugung durch Gaskraftwerke ersetzt werden wird

Herausforderung der fehlenden Gaslieferung aus Russland

- **Fehlende Lieferungen aus Russland**
- **Sabotage an North stream 1 and 2 – relative wenig Aufmerksamkeit?**
- **Kapazität of NS1: 55 bcm ≈ 530 TWh**
  entspricht ca. der gesamten Stromnachfrage in DE (≈ 550 TWh)
  entspricht einer durchschnittlichen Kapazität von 60 GW! (x 2)

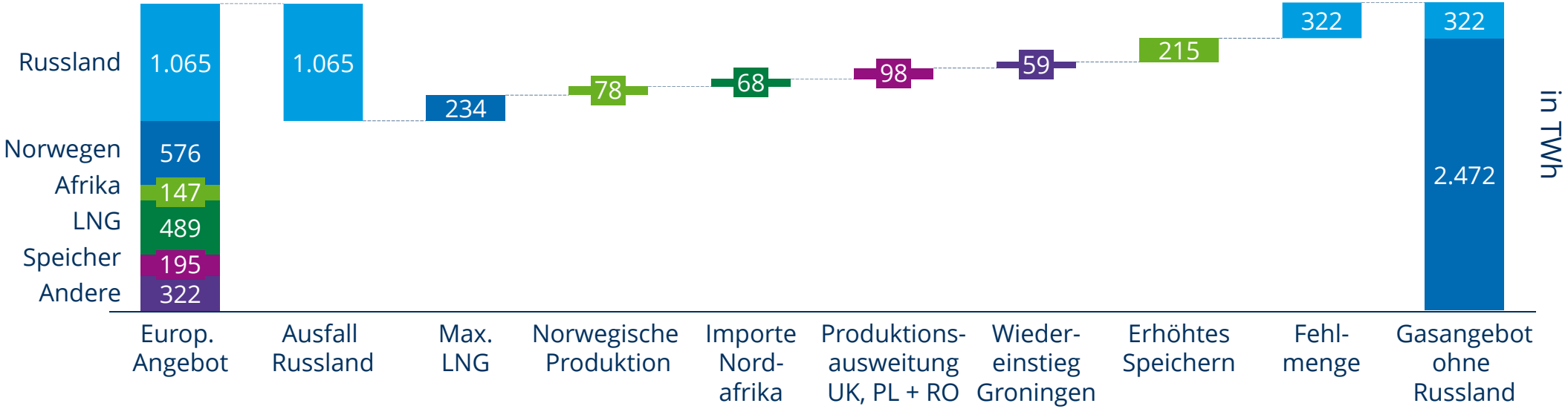
- **Kurzfristige Herausforderung:**
  - Erdgasnachfrage sollte um insgesamt grob 20% reduziert werden!
  - Höchstwahrscheinlich bleiben Herausforderungen für den nächsten Winter aufgrund der hohen Speicherentnahme bestehen!
  - Schwimmende Regasifizierungseinheiten werden entscheidend (drei für diesen Winter geplant: Brunsbüttel, Wilhelmshaven und Lubmin sowie 4 weitere für nächsten Winter!)

- **Langfristige Herausforderung:**
  - Hohe Gaspreise, da in Konkurrenz zum Gaseinkauf aus Asien
    => Faktor 2 bis 4 zu Preisen in den letzten Jahrzehnten!
  - Höhere CO_2-Emissionen bei Erdgas aufgrund der „Vorkette“ (Fracking + Verflüssigung)
  - Wichtige Säule der Energiewende in Frage gestellt („Gasbrücke“)!

Vollständiger Ausfall Russlands von Oktober 22 bis März 23 erfordert eine Vielzahl an Maßnahmen auf der Angebotsseite

- Europäische Gasakteure müssten signifikant höhere Mengen aus verschiedenen Quellen zu erheblichen Mehrkosten sichern
- Angebotsseite allein könnte einen vollständigen Lieferausfall Russlands kaum abfangen => Nachfragereduktion!

Mögliche Maßnahmen auf Angebotsseite zum Ausgleich eines vollständigen (halbjährigen) Lieferausfalls

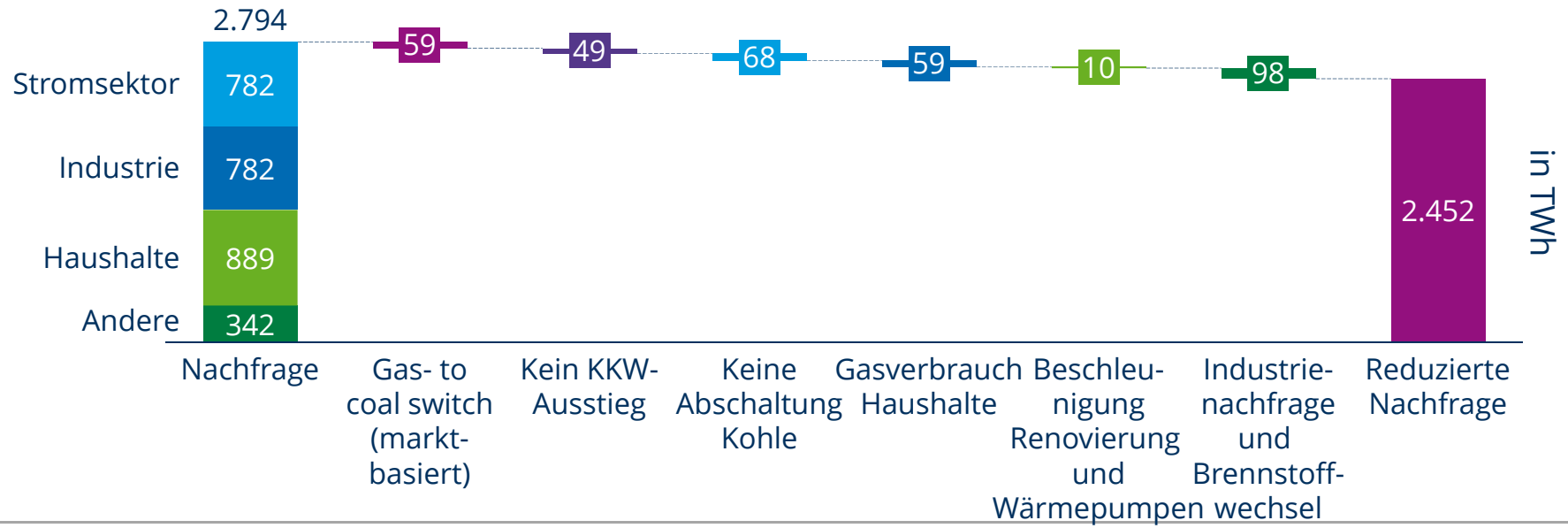


* Bilanz für Oktober bis März (Winterjahreshälfte)

Quelle: eigene Darstellung basierend auf Analysen von Aurora Research

… und eine Vielzahl an Maßnahmen auf der Nachfrageseite

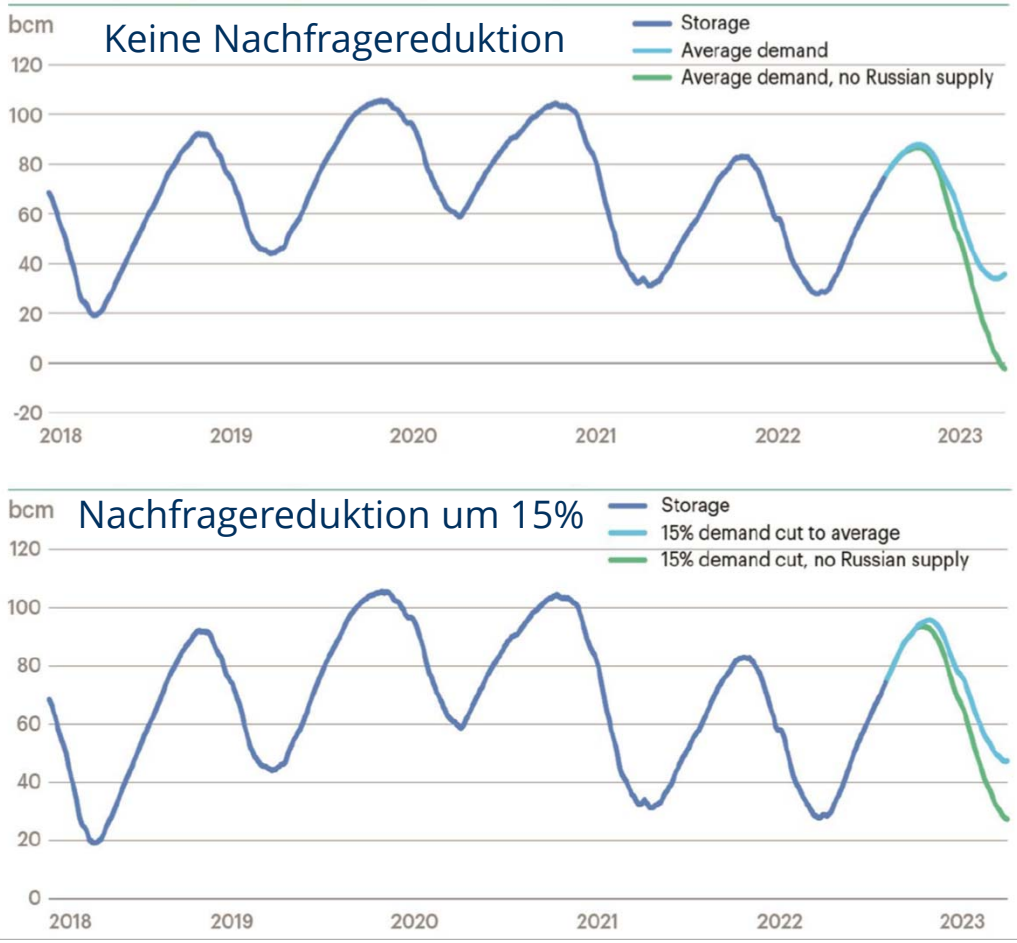
- weitere Nutzung der Kohlekraftwerke in Europa würde zu einem Anstieg der CO_2-Emissionen in der Größenordnung von 22 $MtCO_2$ führen
- um Gasnachfrage bei Haushalten zu reduzieren, wären auch Verhaltensänderungen notwendig (u.a. Absenken der Zimmertemperatur um 2°C und hoffen auf einen nicht zu kalten Winter)
- Vielzahl von Maßnahmen auf Angebots- und Nachfrageseite notwendig, um einen Ausfall der Gaslieferungen aus Russland zu kompensieren



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Analysen von Aurora Research

Bedeutung der Nachfrageentwicklung für Speicherverlauf

Erwarteter Verlauf der Gasspeicher

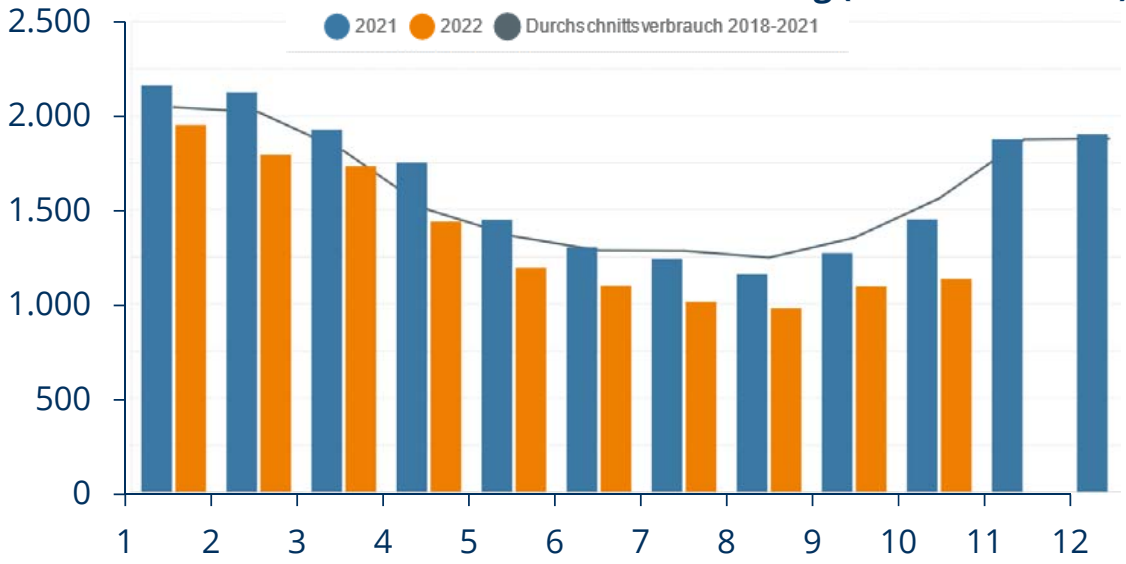


- Verlauf der Nachfrage hat hohe Bedeutung für den Speicherfüllstand
- Aktuell mildes Wetter führt bereits zu moderateren Spotmarktpreisen (leichte Entspannung) im Vergleich zu Terminmarktpreisen
- **Etwaige Gasmangellage wird nicht plötzlich auftreten!**
  => Prognose der Wetterlage im Verhältnis zum Speicherniveau wird wichtige Rolle spielen

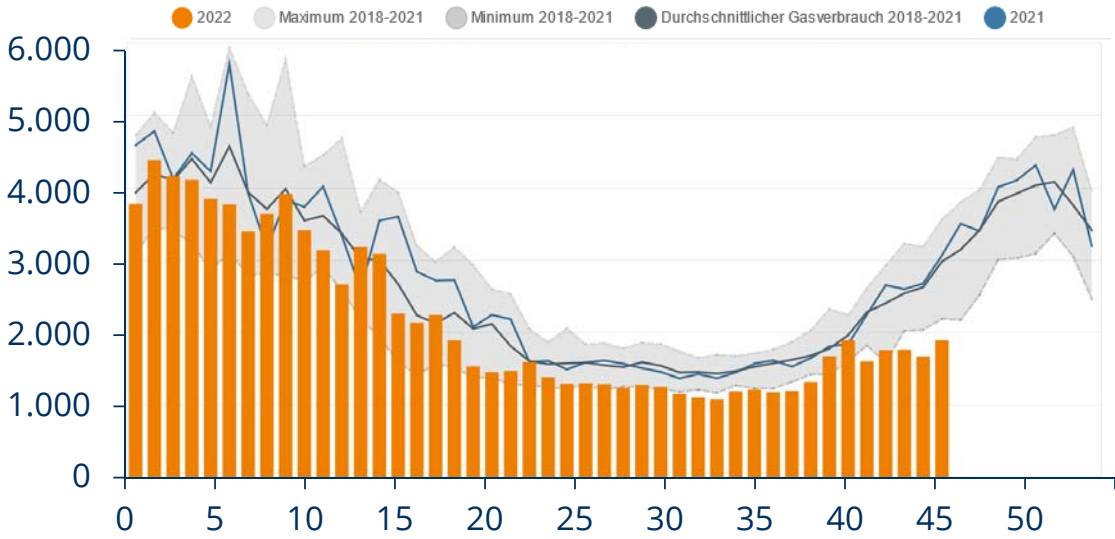
Quelle: Schröder (ICIS) ENERDAY 2022

Gasverbrauch insbesondere durch Rückgang in der Industrie aufgrund extremer Preise erzielt

Gasverbrauch in Industriekunden in GWh/Tag (mon. Mittelwert)



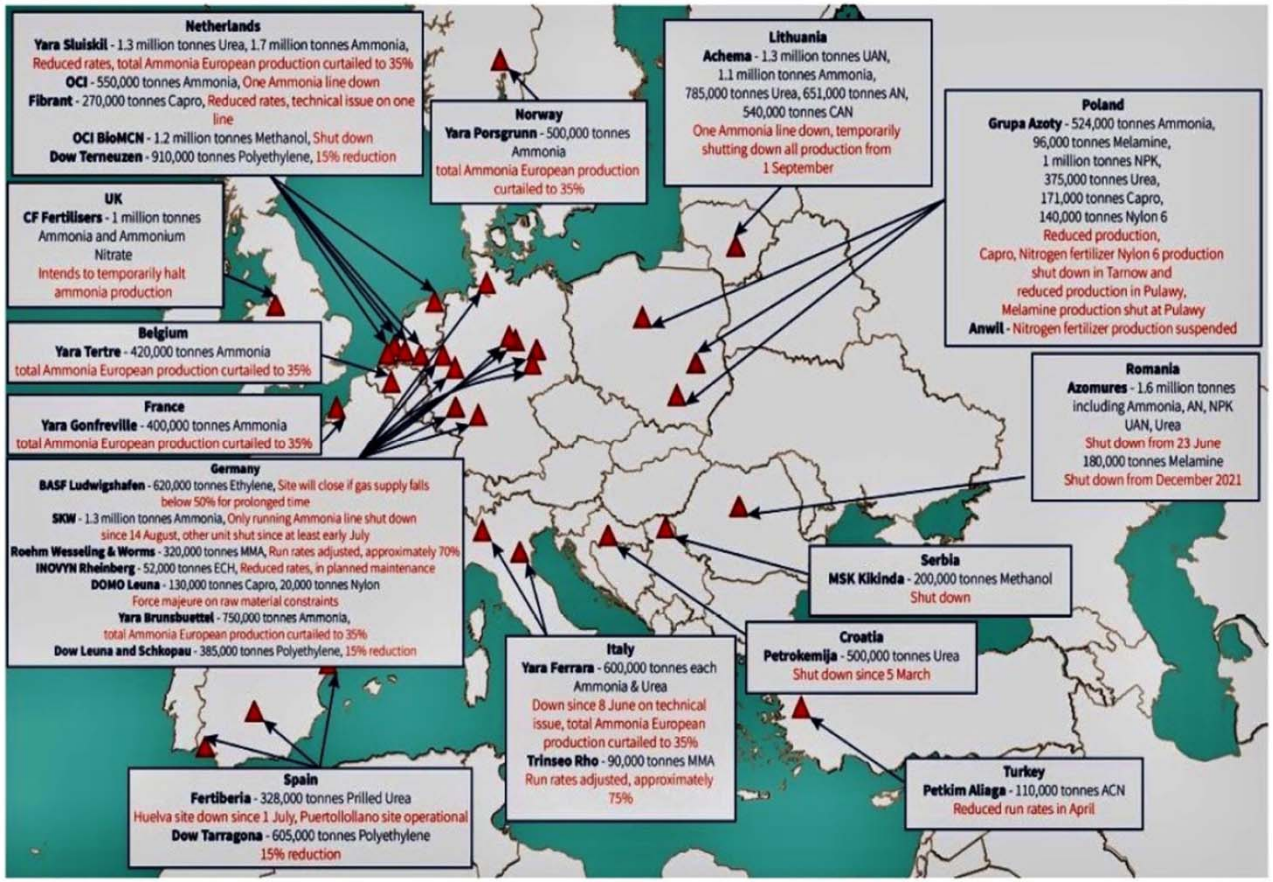
Gasverbrauch in Deutschland 2022 in GWh/Tag (wöch. Mittelwert)



Quelle: Bundesnetzagentur

- Reduktion der Gasnachfrage vor allem bei Industriekunden und durch bisherigen milden Verlauf des Winters
- Auswirkungen auf Wettbewerbsfähigkeit mancher Industrien, insbesondere in Branchen in denen Energiepreise nicht weitergegeben werden können
  => *Abwanderung mancher Branchen droht!*

Hohe Gaspreise beeinflussen den europäischen Chemie- und Düngermarkt



- Europa ist insgesamt von hohen Preisen betroffen
- Produktionsreduktionen und –stopps in verschiedenen europaweiten chemischen Anlagen
- Perspektivisch: falls Güter sich importieren lassen, ist bei anderem Preisniveau in anderen Regionen (bspw. Nordamerika) mit Abwanderung zu rechnen

Quelle: ICIS

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

- 3.1 Perspektive Gasversorgung
- 3.2 Perspektive Stromversorgung
  - a Wie sicher war die Versorgung (ex-post)?
  - b Wie sicher ist die Versorgung gegenüber Störfällen (Robustheit im jetzt)?
  - c Welche Erwartung haben wir für die Zukunft (ex-ante)?

4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

- 3.1 Perspektive Gasversorgung
- 3.2 Perspektive Stromversorgung
  - a Wie sicher war die Versorgung (ex-post)?
  - b Wie sicher ist die Versorgung gegenüber Störfällen (Robustheit im jetzt)?
  - c Welche Erwartung haben wir für die Zukunft (ex-ante)?

4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Drei „Zeitpunkte“ zur Unterscheidung der Versorgungssicherheit mit Elektrizität (aus technischer Perspektive)

Wie sicher war die Versorgung aus Endkundensicht? => ex-post

— Häufig angegeben in Zeitausfall pro Jahr (bspw. Minuten pro Jahr)
— Diverse Kenngrößen: System Average Interruption Duration Index (SAIDI), Customer Average Interruption Duration Index (CAIDI), …

Wie sicher ist die Versorgung gegenüber Störfällen im Jetzt?

— Zugrundelegung des (n-1) Kriterium: Grundsatz, dass bei dem Ausfall einer Komponente durch Redundanzen der Ausfall des Systems verhindert wird.
— Kenngrößen: Engpassmanagement, Frequenzstabilität, Schwarzstartfähigkeit

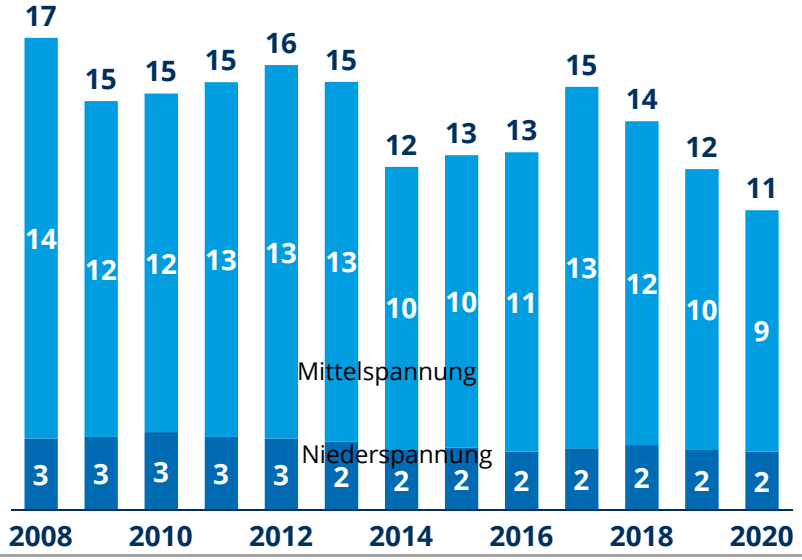
Welche Verfügbarkeiten von Kapazitäten, Energieträgern u. Lasten erwarten wir für die Zukunft? => ex-ante

— Zukunft: unsichere Entwicklungen und Frage des Zieljahres?
— Zukunft enthält Wissens- und Nichtwissensbestandteile:
  • Gegenwärtiges Wissen
  • Einschätzung zukünftiger Entwicklungen
  • Ad-hoc Annahmen: nicht durch Wissen begründet, sondern „gesetzt“ (Erdgas vorhanden, kein Kometeneinschlag, etc.)
— Kenngrößen: Remaining Capacity (RC), Loss of Load Expectation (LOLE), Expected Energy not Served (EENS)

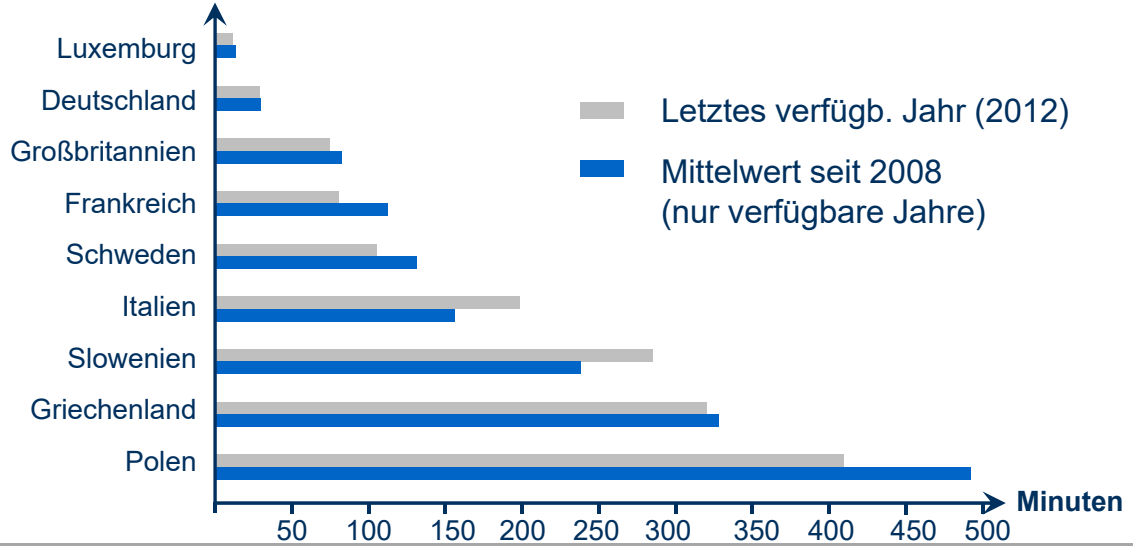
Die Versorgungssicherheit mit Strom hat sich in Deutschland aber insbesondere Europa kontinuierlich verbessert

- Gibt die durchschnittliche Versorgungsunterbrechung je angeschlossenen Letztverbraucher innerhalb eines Kalenderjahres an
- Sehr niedriges Niveau an Versorgungsunterbrechungen in Deutschland deutet auf **hohes Maß an Versorgungssicherheit** hin!
- Auswirkungen von Einzelereignissen direkt beobachtbar (u.a. Daten 2021 noch nicht vorhanden - Starkregen Ahrtal)

SAIDI in Minuten/a 2008 - 2020



Vergleich SAIDI ausgewählter europ. Länder



Quelle: BNetzA(2022)

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

- 3.1 Perspektive Gasversorgung
- 3.2 Perspektive Stromversorgung
  - a Wie sicher war die Versorgung (ex-post)?
  - b Wie sicher ist die Versorgung gegenüber Störfällen (Robustheit im jetzt)?
  - c Welche Erwartung haben wir für die Zukunft (ex-ante)?

4 Dimension Preise

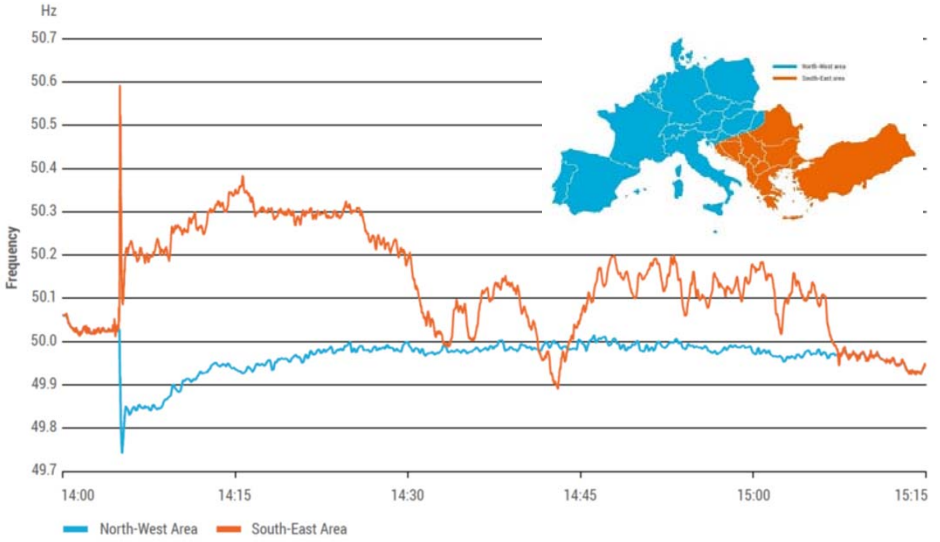
5 Zusammenfassung & Ausblick

Ausfall einer Kuppelleitung führte zu „beinahe Blackout“ am 8.1.2021

Aufspaltung der Continental Europe Synchronous Area in zwei Netzgebiete

- Sehr hohe Stromexporte von ca. 6 GW aus dem Südosten Europas Richtung Westen (FR, ES, IT)
- Überlastete Kupplung (und Ausfall) im Umspannwerk Ernestinovo, Kroatien (Kuppelstelle verschiedener Leitungen)
- In Folge Überlastung weiterer Leitungen und Kaskadenabschaltungen (von Rumänien bis hinunter zum Mittelmeer) => *Aufspaltung in zwei Netzgebiete*
- In beiden Netzgebieten reagierten Systemschutz-maßnahmen und Frequenzhaltungsreserven schnell => *keine weiteren Schäden und Ausfälle*
- u.a. kurzfristige Zuschaltung von Kapazitäten und Lastabwurf in Frankreich und Italien (Industriekunden mit abschaltbaren Lasten)

Entwicklung der Netzfrequenz



Leitungsabschaltungen

Quelle: Continental Europe Synchronous Area Separation on 8 January 2021 - Report

© Professur für Energiewirtschaft

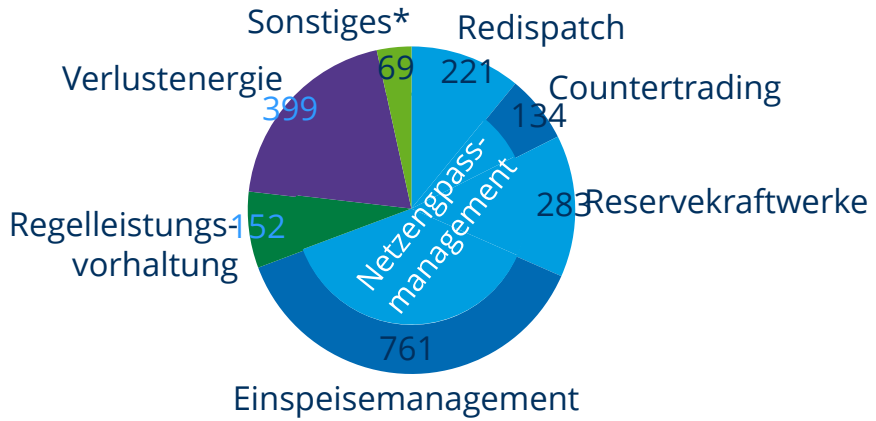
Gewährleistung der Versorgungssicherheit gehört zu den Kernaufgaben der Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB)

Bereitstellung von Systemdienstleistungen für sicheren Betrieb („im Jetzt“)

Zu den Systemdienstleistungen zählen

- Regelleistungsvorhaltung (Frequenzhaltung durch Primär-, Sekundärregel- und Minutenreserveleistung)
- Beschaffung von Verlustenergie
- Spannungshaltung insbesondere durch Blindleistung
- Bereitstellung der Schwarzstartfähigkeit, Netzwiederaufbau
- Momentanreserve
- Redispatch- und Countertradingmaßnahmen
- Einspeisemanagementmaßnahmen von ÜNB und VNB
- Vorhaltung und Einsatz von Netzreservekraftwerkskapazitäten
- Abschaltbare Lasten

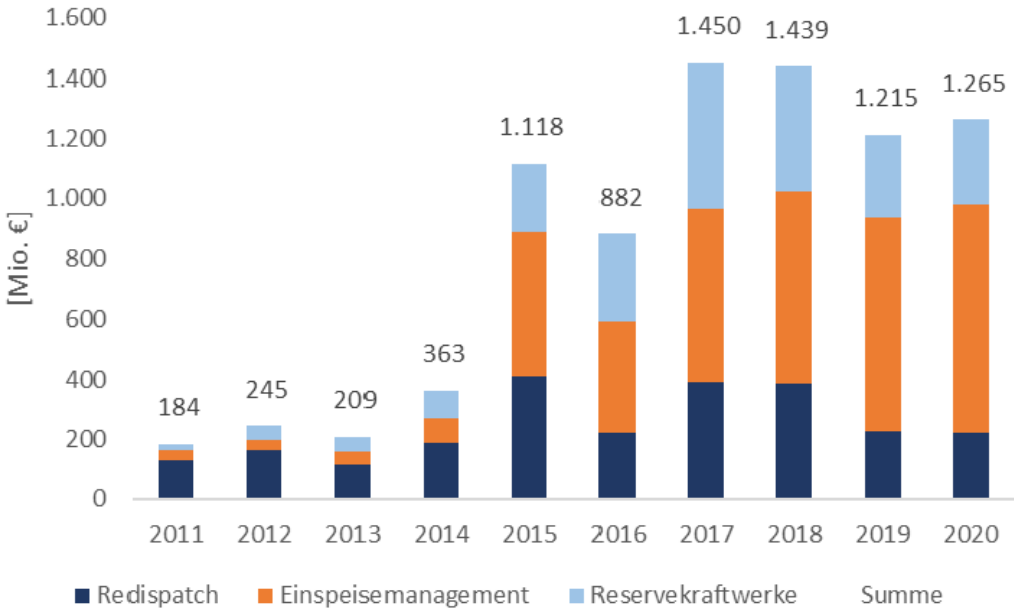
Aufteilung Kosten Systemdienstleistungen 2020
in Mio. €



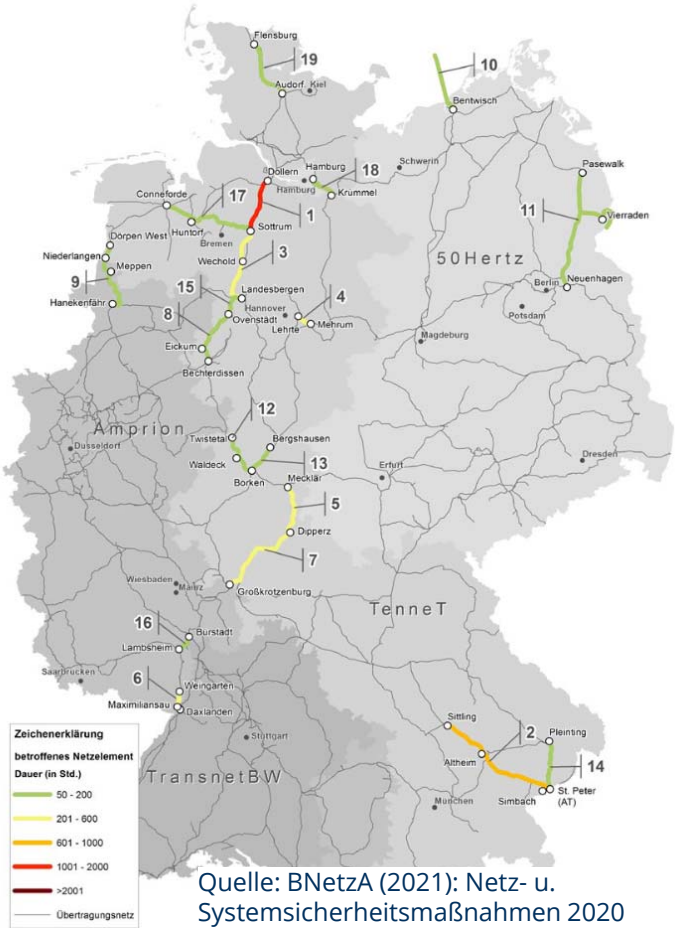
* Sonstiges: u.a. Blindleistung, Schwarzstartfähigkeit, Abschaltbare Lasten

Nord-Süd-Engpässe führen zu stark steigenden Aufwendungen für Netzengpassmanagementmaßnahmen

- zunehmende Nord-Süd-Engpässe im Übertragungsnetz, insb. durch Ausbau erneuerbarer Energien
- und damit steigende Abregelungs-, Netzreserveeinsatz- und Redispatchvolumina und -kosten



Quelle: Eigene Darstellung auf Basis der BNetzA Monitoringberichte



Quelle: BNetzA (2021): Netz- u. Systemsicherheitsmaßnahmen 2020

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

- 3.1 Perspektive Gasversorgung
- 3.2 Perspektive Stromversorgung
  - a Wie sicher war die Versorgung (ex-post)?
  - b Wie sicher ist die Versorgung gegenüber Störfällen (Robustheit im jetzt)?
  - c Welche Erwartung haben wir für die Zukunft (ex-ante)?

4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Ausstieg aus konventioneller Kraftwerksleistung (Kohle und Kernenergie) reduziert gesicherte Leistung

Gesicherte Kraftwerksleistung in Deutschland:

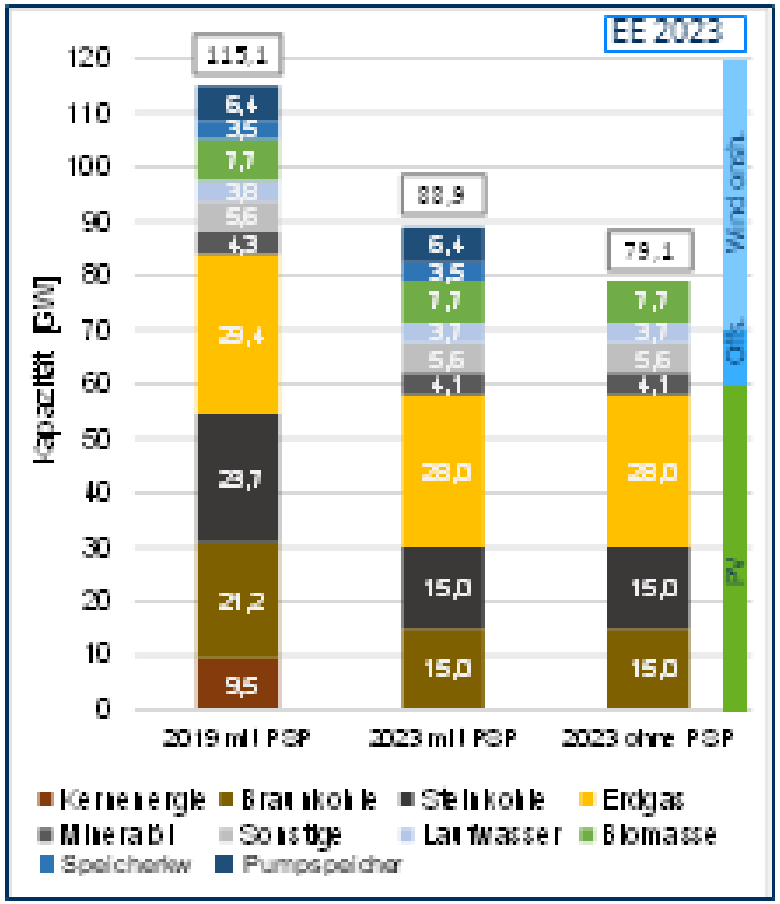
- Stilllegungen von ca. 26 GW bis 2023,
  Zubau ca. 2 GW (1,1 GW Steinkohle, 0,9 GW Gas)
- Auf Grund des Kohleausstiegs werden weitere 30 GW bis 2038 oder vorgezogen bis 2030 reduziert werden

EE-Kapazitäten (PV, Wind) in Deutschland:

- Geplanter stark verschärfter EE-Ausbau (aus Koalitionsvertrag) kann gesicherte Leistung nur zu Teilen kompensieren

Netzentwicklungspläne Strom

- Zubau an Gaskapazität je nach Szenarioannahmen zwischen 4 und 23 GW bis 2030



Quelle: BNetzA (2019) und eigen Abschätzung für EE

Existierende Mechanismen zur Bereitstellung von Kraftwerksreserve

Kapazitätsreserve

- Bei unvorhersehbarer Nichtdeckung der Nachfrage im Strommarkt, sind Kraftwerke zur Bereitstellung von Kapazität in Reserve
- Anlaufzeit von weniger als 12h, daher Kohlekraftwerke i.d.R. weniger geeignet (Kaltstart)
- Zuschlag über Ausschreibung (2020-2022: 1.056 MW à 68 k€/MW, 2022-2024: 1.086 MW à 63 k€/MW)

Netzreserve

- ÜNB weist „Netzreservekraftwerke“ als systemrelevante Anlagen angemeldet zur Stilllegung aus
- Notwendig für Redispatch bei Engpasssituationen im Übertragungsnetz
- Erhalt einer „angemessene Vergütung“ für Erhalt der Betriebsbereitschaft
- Größenordnung: 17/18: 10.400 MW, 21/22: 5.670 MW, 24/25: 8.040 MW)

Sicherheitsbereitschaft („Klimareserve“)

- Betriebsbereitschaft nach 240 Stunden (10 Tagen)
- Endgültige Stilllegung nach vier Jahren Betriebsbereitschaft
- Größenordnung: 2.700 MW
- CO_2-Sparmaßnahme und Entschädigung für vorzeitige Außerbetriebnahme
  => davon auszugehen, dass kein Einsatz notwendig ist

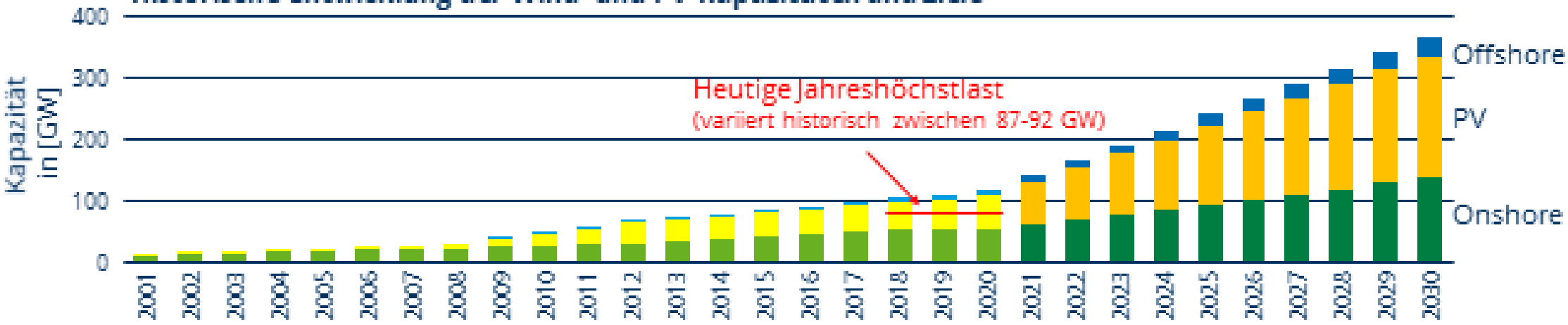
Neue Ziele (aus Koalitionsvertrag) zum Ausbau erneuerbarer Energien erfordern im Durchschnitt eine Verdreifachung der jährlichen zu installierenden Kapazitäten

Einordnung der genannten Ausbauziele im Vergleich zum Zubau der letzten 10 Jahre

	Zubau letzte 10 Jahre		VLH Durchschnitt 10 Jahre	Notwendiger jährlicher Zubau (linear) in [GW]	Ziele 2030 in [GW]	Faktor x im Vergleich zu letzte 10 a
	Durchschnitt in [GW]	Maximal in [GW]				
PV	3,9	8,2	879	15	200	371%
Wind onsh.	2,6	5,0	1675	8	136 *	314%
Wind Off	0,7	2,3	2639	2	30	317%

* Eigene Berechnung zur 80% Zielerreichung

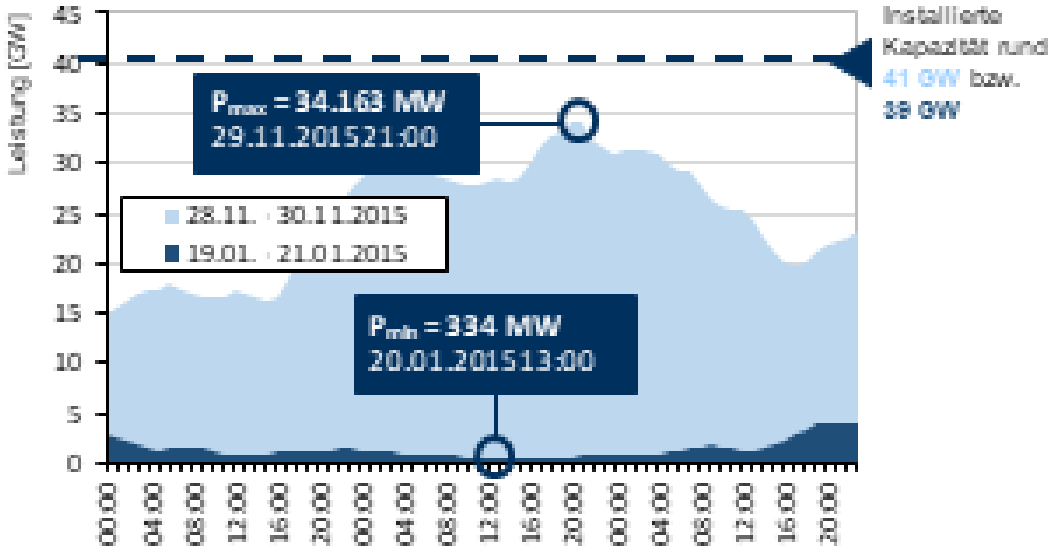
Historische Entwicklung der Wind- und PV-Kapazitäten und Ziele



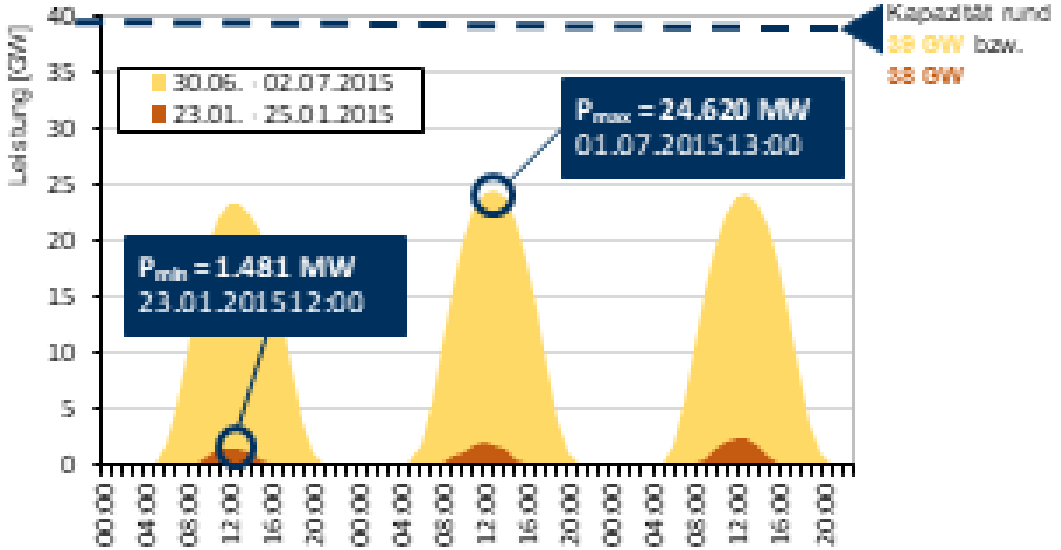
Dunkelflaute bezeichnet den Zustand, dass Windenergie- und PV-Anlagen nur geringe Mengen elektrischer Energie produzieren

- Dunkelflauten treten insbesondere in Wintermonaten auf (hohe Lasten)
- Dunkelflauten sind vor allem bedeutsam, wenn diese über einen längeren Zeitraum auftreten (wegen begrenztem Speichervolumen elektrischer Energie)

Unstetige Wind-Einspeisung:
Variation von ca. 34 GW (in 2015)



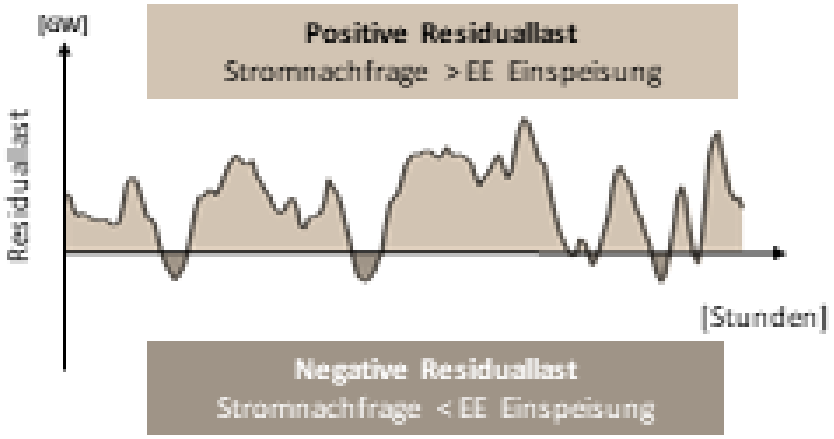
Unstetige PV-Einspeisung:
Variation von ca. 25 GW (in 2015)

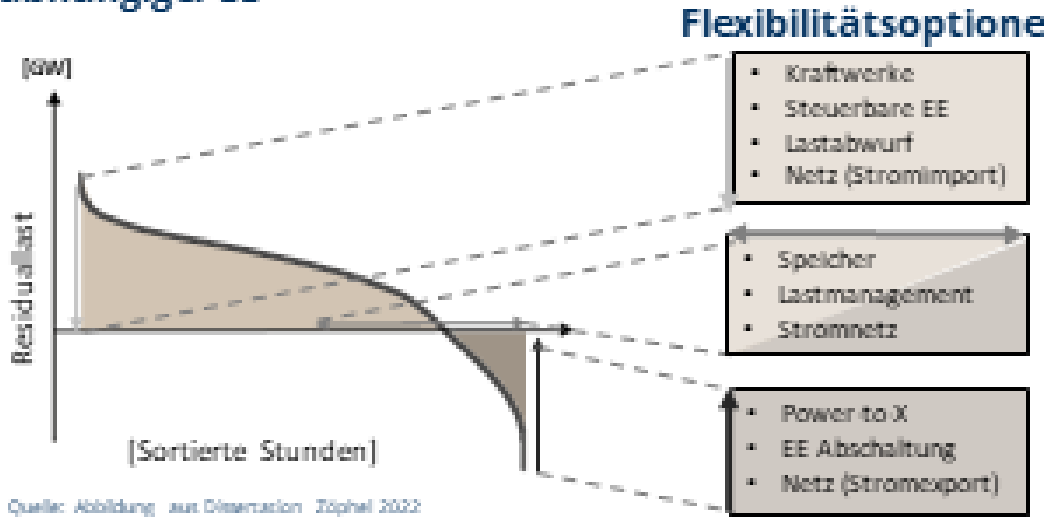


Quelle: Eigene Darstellungen basierend auf Daten von netztransparenz.de

Zukünftiger Bedarf und Bereitstellung von Flexibilität als Herausforderungen bei der Transformation des Stromsystems

- **Ausbau wetterabhängige Stromerzeugung** in Europa mit fluktuierenden Erneuerbaren Energien, hauptsächlich Wind und Solar mit sehr unterschiedlichen Einspeisecharakteristika
- **Residuallast = Stromnachfrage - Einspeisung wetterabhängiger EE**



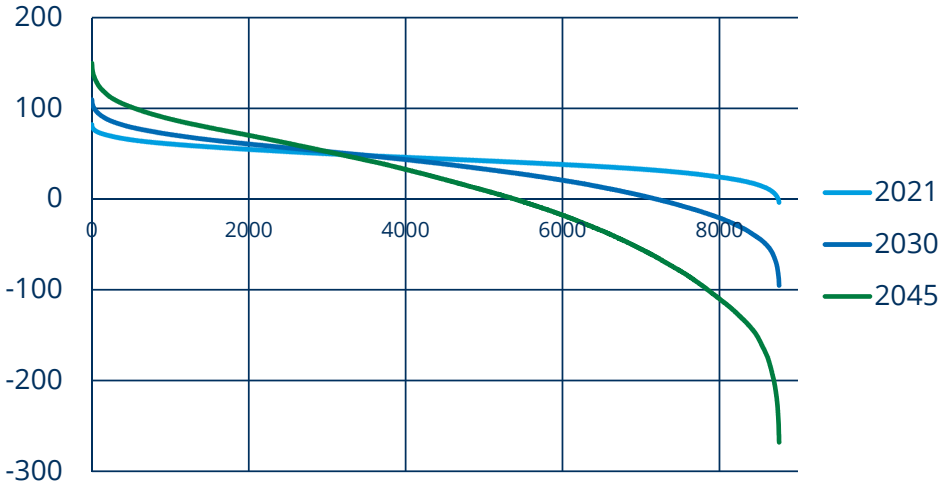


Quelle: Abbildung aus Dissertation Zöphel 2022

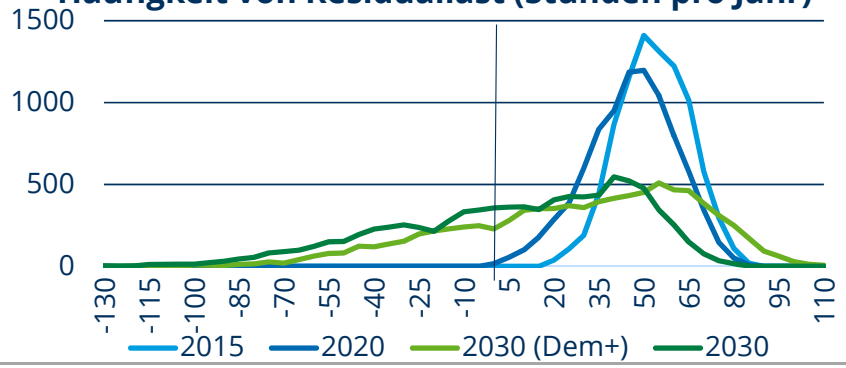
- Wetterabhängige Einspeisung erfordert **Flexibilität im Europäischen Stromsystem**
- Zusätzlich Ausbau Sektorkopplung (Nutzung von Strom auch für Energiesektoren wie Wärme und Verkehr) mit zusätzlicher Stromnachfrage

Ausbauziele erneuerbarer Energien bis 2030 sind auch eine Herausforderung für die Integration ins das Stromsystem

Residuallast 2021 und Abschätzung für 2030 u. 2045



Häufigkeit von Residuallast (Stunden pro Jahr)



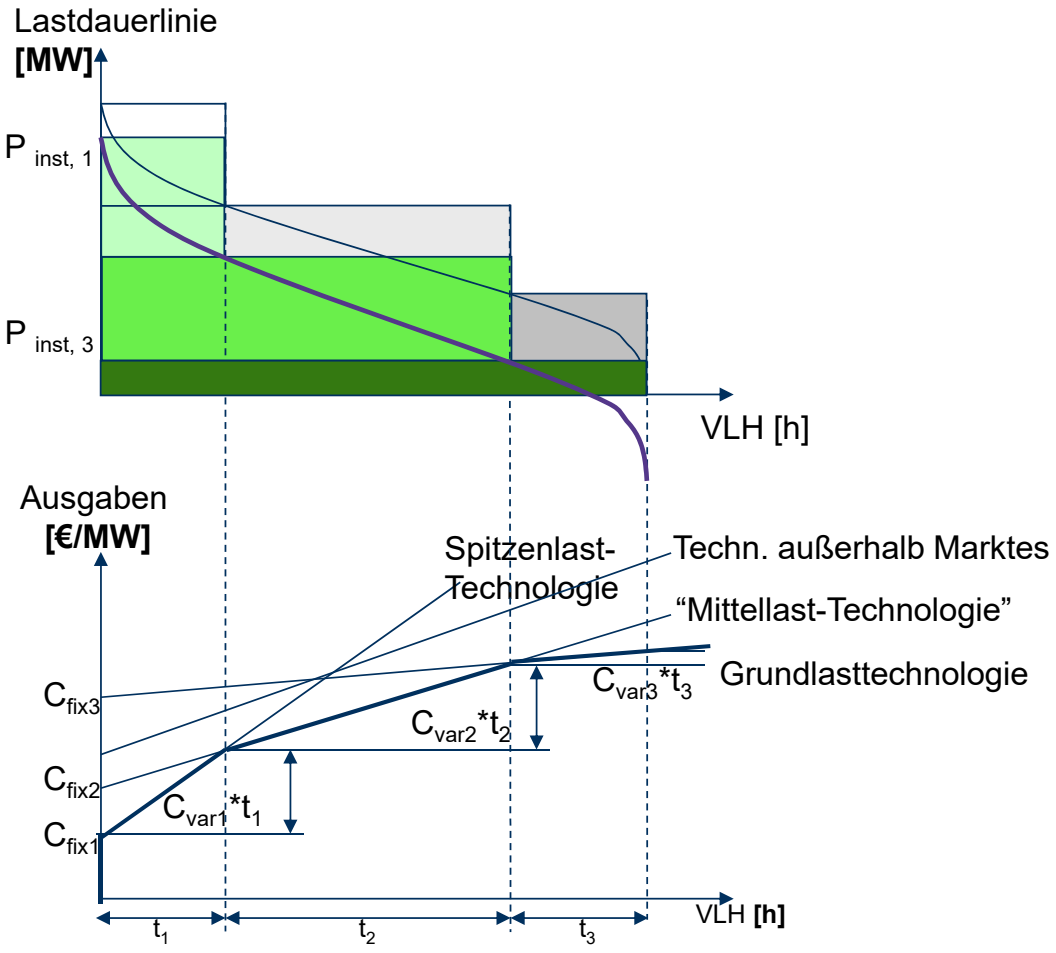
Ausbau erneuerbarer Energien beeinflusst die Residuallastdauerlinie:

- Zeiten nehmen zu, in denen das Angebot die Nachfrage übersteigt
  - Anzahl der Stunden mit negativer Residuallast steigt
  - Überschusseinspeisung aus erneuerbaren Energien nimmt zu
  - Stärkere Spitzen im negativen Bereich (und negative Preise)

  => Auswirkungen auf „Abregelungs“volumina

- Die positive Lastspitze sinkt bis 2020 nur geringfügig und steigt bis 2030 aufgrund zusätzlicher Lasten (Sektorkopplung)
- **Flexibilitätsoptionen werden benötigt!**
  - **Back-up Kapazitäten** (bisher vor allem Gaskraftwerke)
  - **Stromimporte/-exporte**
  - (Begrenzter) Beitrag von Demand Side Management & Lastreduktion
  - Perspektivisch (nach 2030): Speicherung in Form von Wasserstoff (mit dem Nachteil von 60-65% Energieverlust)

Langfristiges Marktgleichgewicht: welche Kapazitäten werden benötigt?



Anstieg des Bedarfs an Spitzenlast

Mittellast: hängt am Verlauf der EE-Einspeisekurven

Abnahme des Grundlastbedarfs

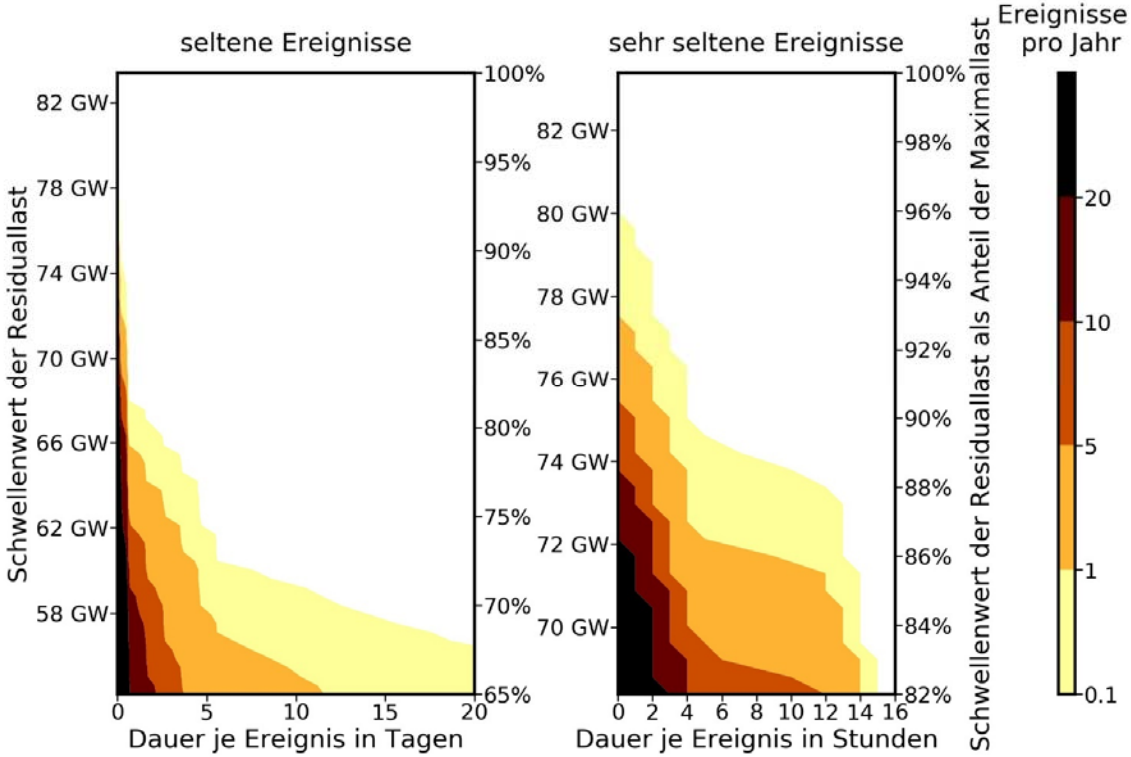
Wie mit dem EE-Überschuss umgehen?

- Exportieren
- Speichern
- Demand Side Management
- Abregeln (Einspeisemanagement)

Kritische Dunkelflauten treten weniger häufig auf als man per se erwarten würde

Analyse der EE-Erzeugungsleistung und Residuallasten für Deutschland auf Basis von 300 Last-Wetter-Jahr-Kombinationen und inst. EE-Leistung 2015

- Dunkelflauten sind häufiges Wetterphänomen, aber selten langanhaltend
- Durch Ausgleichseffekte zwischen Last und Dunkelflauten, nur relativ selten kritische Dunkelflauten (>70 GW, > 14h alle 2-5 Jahre)
- Mehrtägige Dunkelflauten mit > 65 GW Residuallasten erfordern Flexibilitätsoptionen / Import

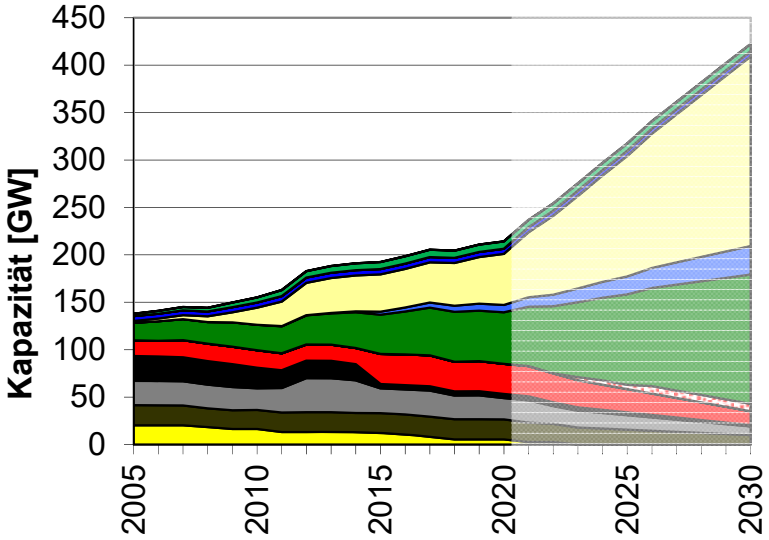


Quelle: Jessen et al. (2019) auf Basis EMHIRES-Datensatz 1986-2015

Rückgang an gesicherter Leistung und keine klare Perspektive für Neubau

- Zitat Energiewende Outlook (50Hertz): „Der konventionelle Kraftwerkspark ist relativ unabhängig von der Ausgestaltung der Energiewende und wird im Jahr 2035 überwiegend durch **Gaskraftwerke** geprägt“
- Aktueller Krieg verdeutlicht die Herausforderung bei der Abhängigkeit von Gas und damit auch für Strom!

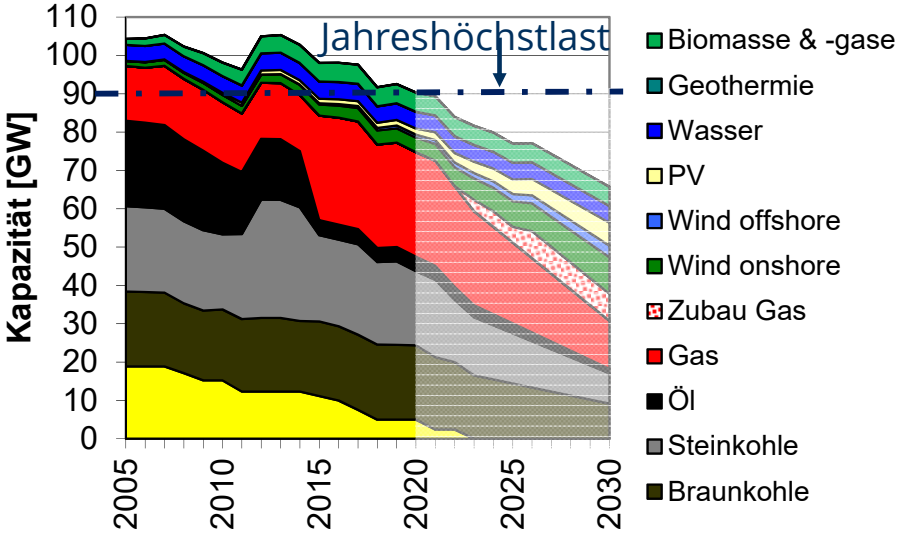
Installierte Kapazitäten (bis 2020) und Ziele/Erwartungen



Vereinfachte statische Betrachtung der gesicherten Leistung

Gesicherte Leistung orientiert an DENA - Kurzanalyse der Kraftwerksleistung bzw. 50 Hertz Energiewende Outlook 2035: Kernenergie 93%, Braunkohle 92%, Steinkohle 86%, Erdgas (GuD) 86%, Erdöl 86%, Wasser 80%, Biomasse 65%, Wind off-shore 12%, Wind on-shore 10%, PV 3%

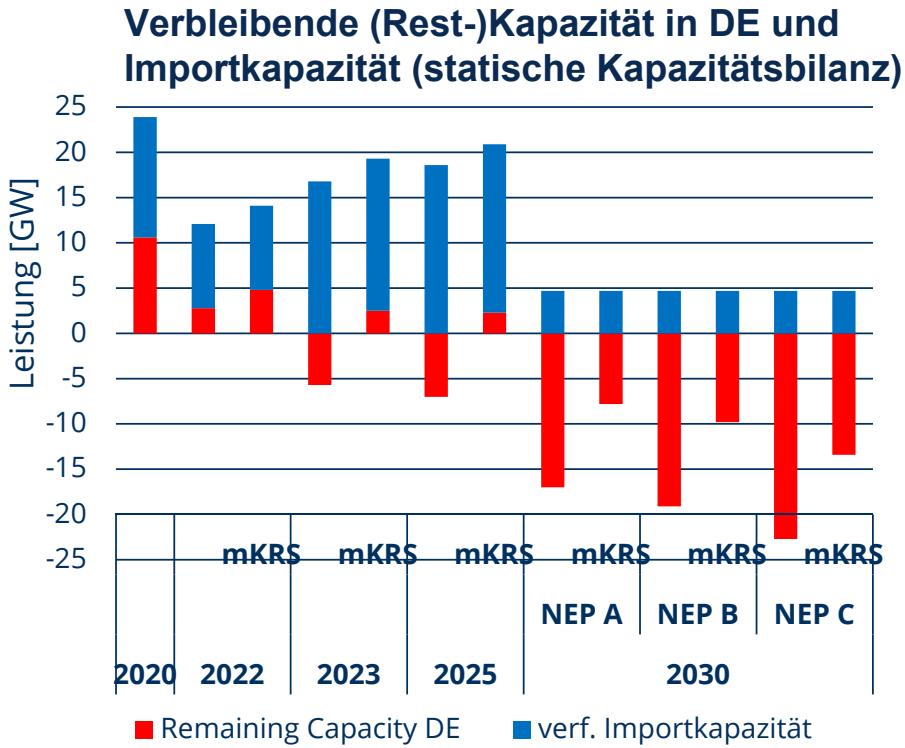
Vereinfachte statische Betrachtung der gesicherten Erzeugerleistung (inkl. Erwartung)



Rückgang gesicherter Leistung schlägt sich auch in mittelfristigen Kapazitätsbilanzen nieder

Modellrechnungen basierend auf statischen Kapazitätsbilanzen und probabilistischen Simulationsmodellen bestätigen Rückgang gesicherter Leistung (vgl.: Nolting 2021)

- Tendenziell ist ein Rückgang der gesicherten Leistung zu erwarten
- Strategische Kapazitätsreserve* kann Rückgang der gesicherten Leistung in den Jahren bis 2025 noch effektiv entgegenwirken
- Für 2030 zeigen Langfristprognosen eine verringerte Versorgungssicherheit auch unter Berücksichtigung einer Kapazitätsreserve (die auch durch probabilistische Simulationsmodelle bestätigt werden) (vgl. Nolting 2021)



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Ergebnissen in Nolting 2021, S.

*mKRS ... mit Kapazitätsreserve

Grundsätzliche Fragen zum langfristigen Umgang mit Versorgungssicherheit Strom

- Deutschland ist zur Erhaltung der Versorgungssicherheit Strom bei Ausscheiden der (geplanten) Kapazitäten und ohne weiteren angenommenen Zubau auf die Kapazitäten in den Nachbarländern angewiesen (siehe auch Ergebnisse des aktuellen Stresstests)

Internationale Komponente

— Inwieweit soll gesicherte Leistung europäisch oder national bereitgestellt werden?
— Wie stark soll die gesicherte Leistung vom europäischen Stromnetz abhängig bzw. unabhängig sein?

=> *Auch in einem vereinigten Europa ist das Hemd näher als der Rock!*

Kapazitätsreserve

— Welcher Anteil der (ausscheidenden) Kraftwerkskapazität soll in Kapazitätsreserve überführt werden?
— Welche Rolle sollen neue Gaskraftwerke vor dem Hintergrund der Abhängigkeit von Gas spielen?

=> *Politik muss/wird in den nächsten Jahren hier Antworten geben müssen!*

Grundsätzliche Fragen zum langfristigen Umgang mit Versorgungssicherheit Strom (2/2)

Unterschiedliche Mechanismen zur Kapazitätsvergütung in Euro|

Organisation von gesicherter Leistung

— In Deutschland bisher über strategische Kapazitätsreserve

Politische Entscheidung, wie gesicherte Leistung organisiert werden soll:

— Sollen Kapazitäten über Ausschreibungen gewonnen werden oder ist Vertrauen in Energy-Only-Markt vorhanden?

— Welche Voraussicht haben Märkte und ist diese unter Berücksichtigung der Vorlaufzeiten ausreichend?

— Wird es ausreichend Kraftwerkszubauten aus dem Markt geben?

⇒ *Aktuell zumindest kein signifikanter Ausbau absehbar!*

⇒ *Bisher war Zubau von Gaskapazitäten in den diversen Analysen (u.a. in den Netzentwicklungsplänen) angenommen!*

Quelle: Bublitz et al. 2019

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

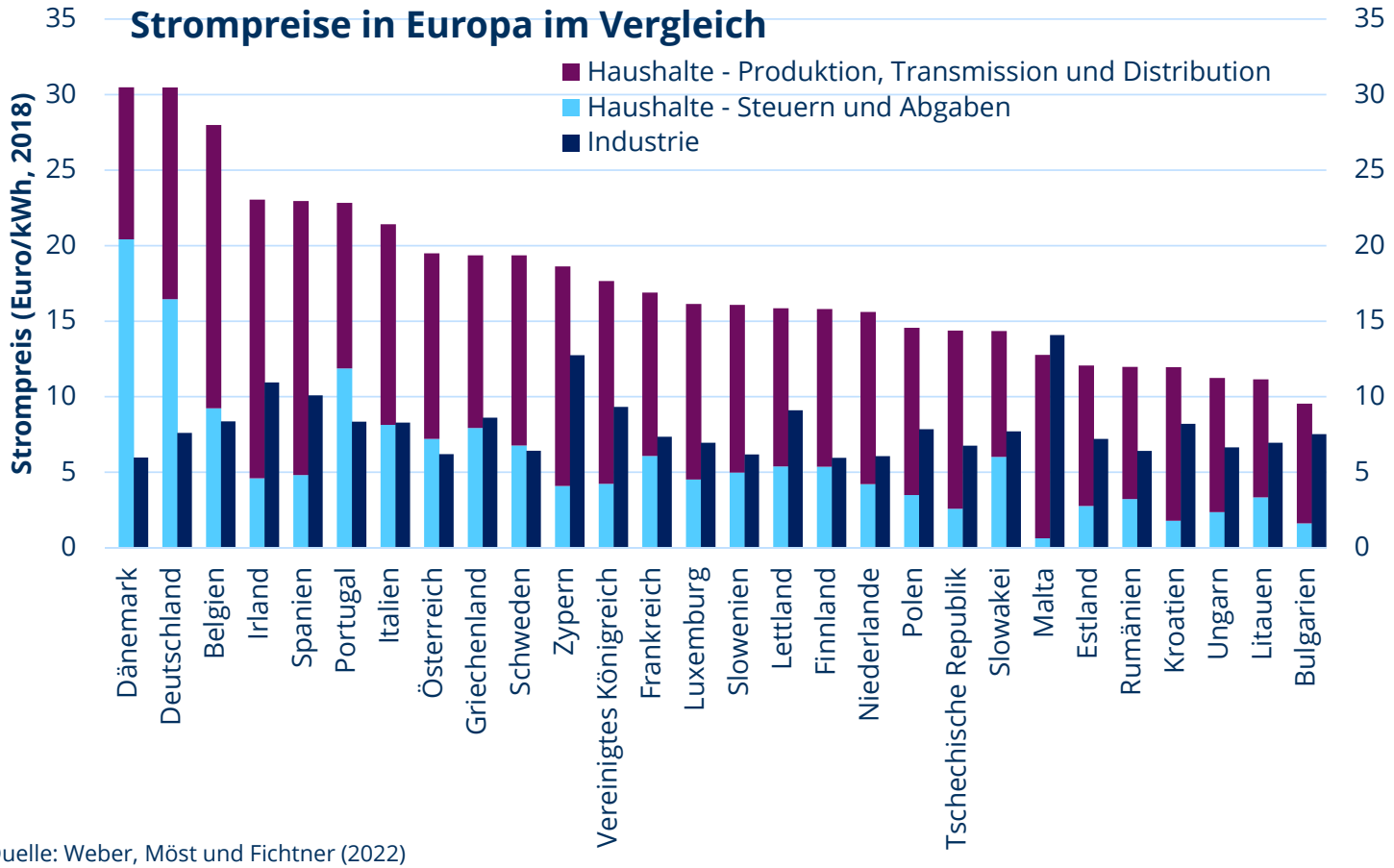
2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Steuern und Abgaben sind in Deutschland (und vielen anderen europäischen Ländern) in den letzten Jahren stark angestiegen

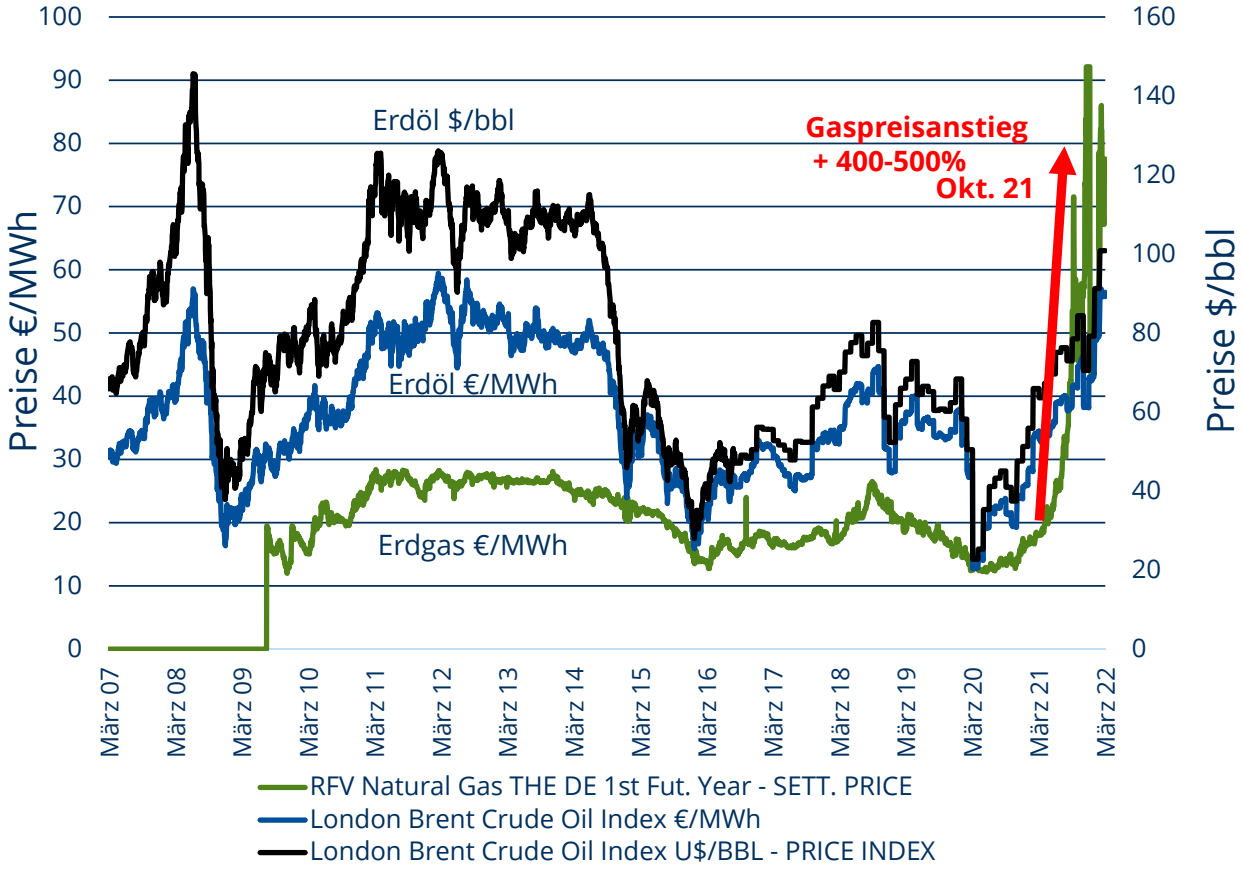


- Deutschland war schon vor der aktuellen Krise eines der Länder mit den höchsten Strompreisen für Privathaushalte in Europa
- Die überdurchschnittlich hohen Preise sind im wesentlichen durch Steuern und Abgaben getrieben; bei den Herstellungs- und Verteilungskosten ist Deutschland nicht besonders teuer
- Bei den Strompreisen für energieintensive Industrie war Deutschland kein Hochkostenland.

Quelle: Weber, Möst und Fichtner (2022)

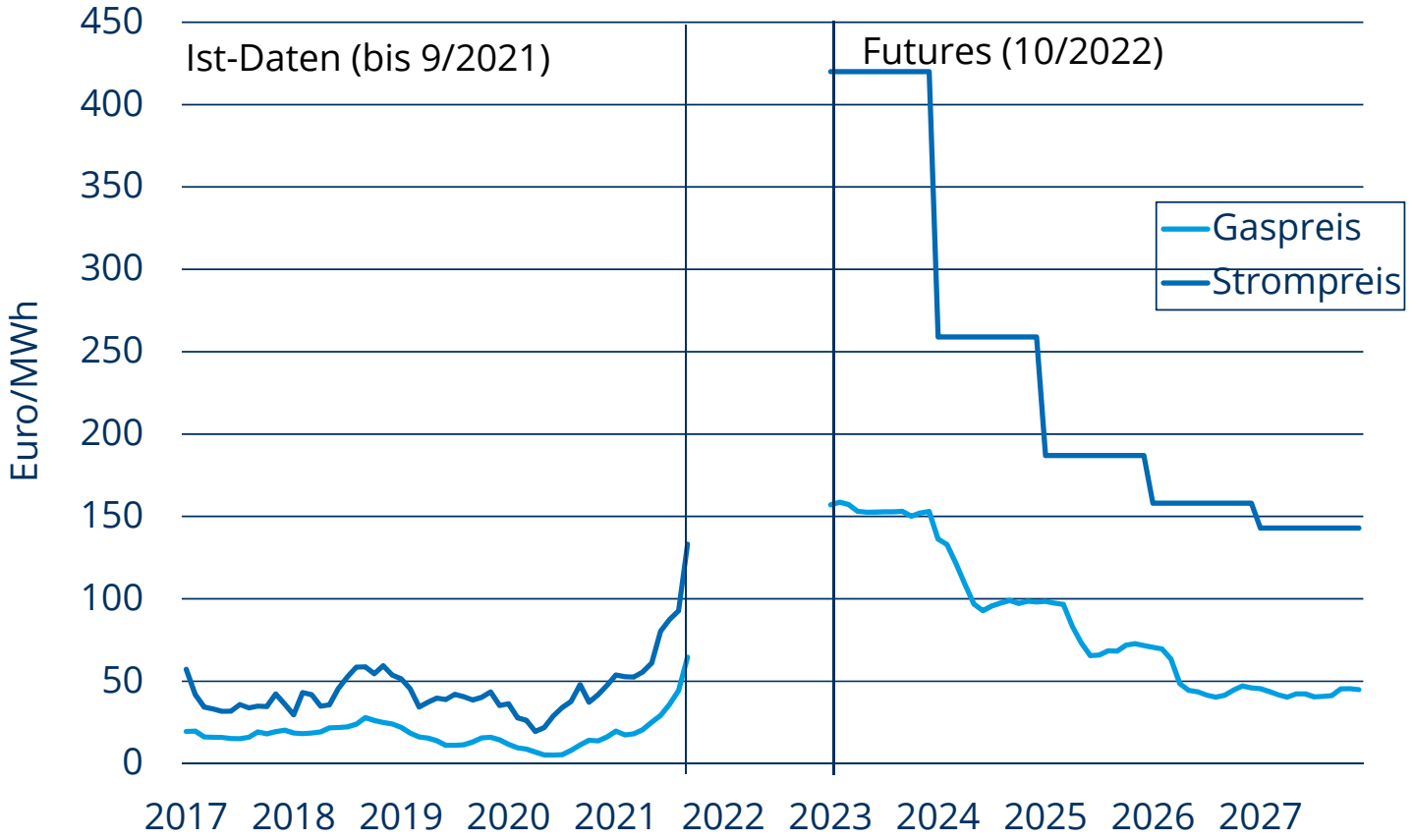
Ausmaß des aktuellen Gaspreisanstieges ersichtlich an den Erdöl- und Erdgaspreisen der letzten 15 Jahre

- Durchschnittliches Preisniveau Erdgas lag in letzten 20 Jahren bei unter 2 Ct/kWh (20 €/MWh)
- Anstieg der Erdgaspreise bereits im Oktober 2021 auf bisher noch nie gesehenes Niveau (über 100 €/MWh)
- Erdgastarife für Verbraucher lagen in letzten Jahren bei ca. 6,5 Ct/kWh
- Erdgastarife für Verbraucher mit drastischem Preisanstieg (mit zeitlichem Versatz)!



Quelle: eigene Darstellung basierend auf Daten von Reuters Datastream

Strom- und Gaspreise bleiben auch in den kommenden Jahren über dem Vorkrisenniveau



- Eine Untertunnelung vorübergehender Preisspitzen ist daher nur schwer möglich
- Achtung: Subventionen führen zu Gewöhnungseffekten (ohne baldigen Ausstieg drohen Verzerrungen)
- Langfristige Anreize durch Preisdeckelung gehen verloren!

Quellen: EEX - Phelix Base Hr.01-24, EEX EGIX Germany Index, EEX German Power Futures (Base), https://www.cmegroup.com/markets/energy/natural-gas/dutch-ttf-natural-gas-calendar-month.html

Anmerkungen zum Preisdeckel und zur Zufallsgewinnbesteuerung

- Warum speziell „nur“ Entlastung der Gaskunden? Auch Pellet, Strom, Fernwärme sind betroffen
- Sowohl Gaspreisbremse als auch Zufallsgewinnbesteuerung verringern die Profitabilität neuer Investitionen in Erneuerbare
- Zufallsgewinnbesteuerung verringert darüber hinaus das Vertrauen in den Investitionsstandort Deutschland

Agenda

1 Einführung: Bedeutung der Energieträger & energiewirtschaftliches Zieldreieck

2 Dimension Umwelt

3 Dimension Versorgungssicherheit

4 Dimension Preise

5 Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

Klimaziele

— mit aktueller weltweiter Politik erscheint das Erreichen des 1,5 und 2°C-Ziels unrealistisch!

Gasmarkt

– Eine vollständige (kurzfristige) Unabhängigkeit von russischem Erdgas erfordert extreme Anpassungen auf Angebots- und Nachfrageseite und stellt immense Herausforderung für den Gasmarkt dar!

Strommarkt

– Versorgungssicherheit Strom in Deutschland und Europa liegt weiterhin (!) auf sehr hohem Niveau (auch diesen Winter!)
– Anpassung der Strominfrastruktur (Netze) vor dem Hintergrund des Ausbaus EE hat höchste Bedeutung!
– Ist zukünftig eine Abkehr vom historisch hohen Maß an Versorgungssicherheit zu erwarten?
  – *Nein, da politisch (vermutlich) nicht gewünscht, allerdings politische Entscheidungen zu konventionellen Kapazitäten (Gas, Kohle, Kernenergie) notwendig!*
– Beitrag (wetterabhängiger) erneuerbarer Energien zu gesicherter Leistung ist begrenzt, Gas als „Brücke“ steht in Frage
– Zielkonflikt: Ausstieg aus Kernenergie-, Kohle- und Gaskraftwerken gleichzeitig nicht möglich!
  – *Mittelfristig werden (vermutlich) ein Teil der Kohlekapazitäten weiter genutzt werden (müssen), sofern Gas (als bisherige Alternative) eine geringere Rolle einnehmen soll!*

Preise

— hohes Preisniveau bei Erdgas wird bleiben, Gefahr des Preisdeckels von längerfristiger Subventionserwartung

Zusammenfassung und Ausblick (2)

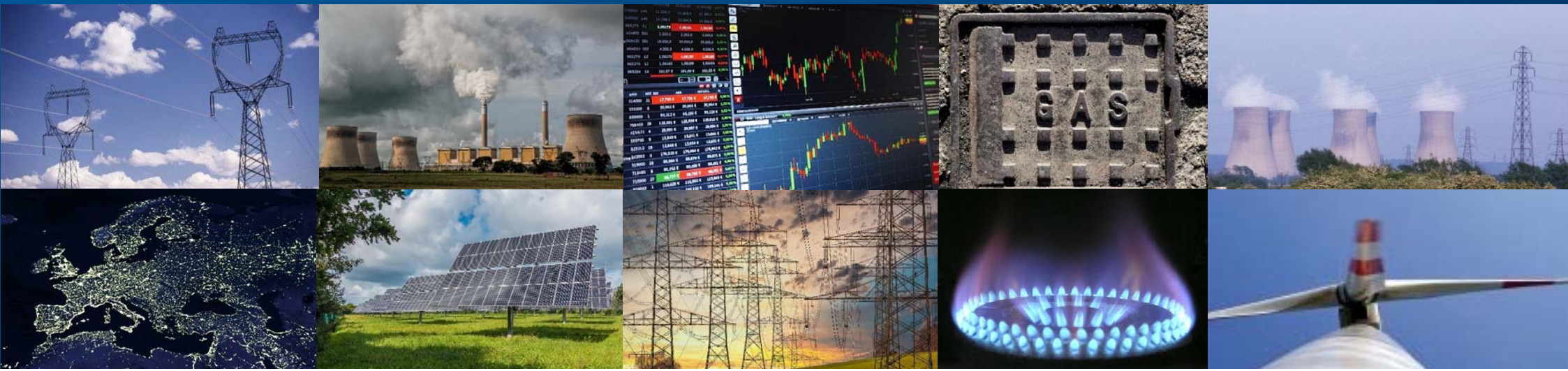
Langfristige Perspektive: „No-regret“-Maßnahmen im energiewirtschaftlichen Zieldreieck

- Energieintensität verringern und Energieeffizienzmaßnahmen vorantreiben
- Heimische Energieträger nutzen, insbesondere erneuerbare Energieträger weiter (und schneller) ausbauen!

Weitere strategische Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit

- Bevorratung (eher kurz- bis mittelfristige Flexibilität, da Speichervolumen nicht unendlich sind)
- Diversifikation der **Energieträger** und Lieferländer („*Do not put all eggs in one basket!*“)

Vielen Dank! Fragen?

Prof. Dr. Dominik Möst
Professur für Energiewirtschaft
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Technische Universität Dresden

Seniorenakademie Dresden, Hygiene-Museum, 14.11.2022