

Der Ausstieg aus der Kohleverstromung

05.12.2018 | PETER MARKEWITZ, MARTIN ROBINIUS, DETLEF STOLTEN

13. Master Class Course „Renewable Energies“

Eberswalde, Berlin

p.markewitz@fz-juelich.de

IEK-3: Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik

Gliederung

- Ausgangslage
- Status quo der Kohleverstromung
- Kohleausstieg: Wie schnell ist schnell?
- Versorgungsaufgaben von Kohlekraftwerken
- Fazit



© Foto: Peter Markewitz



Quelle: RWE



Quelle: RWE

CO₂ Emissionen im weltweiten Vergleich im Jahr 2017

Weltweit ^[3]	33.444 Mio. t	100%	Änderung 2017/2016 +426 Mio. t
USA ^[3]	5.088 Mio. t	15,2%	Änderung 2017/2016: - 42 Mio. t
China ^[3]	9.233 Mio. t	27,6%	Änderung 2017/2016: +119 Mio. t
EU-28 ^[3]	3.542 Mio. t	10,6%	Änderung 2017/2016: + 42 Mio. t
Deutschland ^[1]	796 Mio. t ^{1,2)}	2,4%	Änderung 2017/2016: - 6 Mio. t
Davon			
Umwandlung ^[2]	40,6 %		
Haushalte	11,2 %		
Verkehr	20,5 %		
Industrie	21,9 %		
GHD	5,8 %		
1) Prozentuale Anteile Deutschland : Zahlen 2016, 2) Absolutzahl für 2017			

[1] Ziesing, Energiewirtschaftliche Tagesfragen Heft 6 (2018)

[2] Harthan et al. (2017) www.oeko.de

[3] BP Stastical Review of World Energy 2018

Klimaschutzplan Deutschland

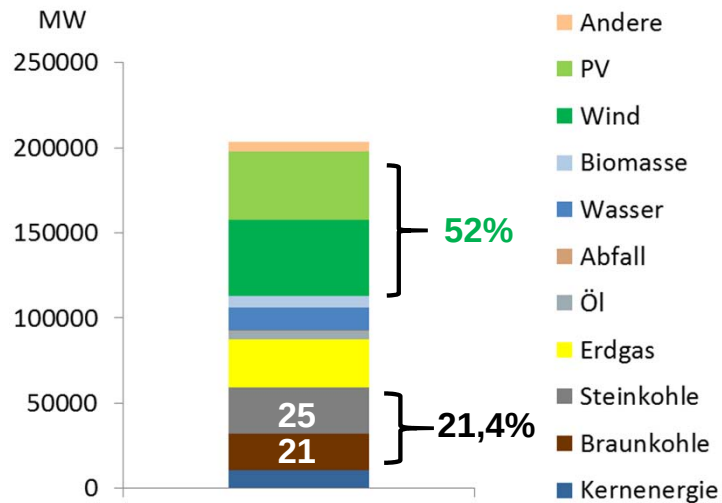
	1990 tCO ₂ eq	2014 tCO ₂ eq	Änderun g ggü. 1990	2030 tCO ₂ eq	Änderung ggü. 1990
Energiewirtschaft	466	358	- 23,2 %	175 - 183	62 – 61 %
Gebäude	209	119	- 43,1 %	70 - 72	67 – 66 %
Verkehr	162	160	- 1,2 %	95 - 98	42 – 40 %
Industrie	283	181	- 36 %	140 - 143	51 – 49 %
Landwirtschaft	88	72	- 18,2 %	58 - 61	34 – 31 %
Sonstige	39	12	- 69 %	5	87 %
Summe	1248	902	- 27,7 %	543 - 562	56 – 55%

[1] Klimaschutzplan der Bundesregierung 15.11.2016, www.bmbu.bund.de

- Energiewirtschaft: Überproportionale Minderung der Treibhausgasemissionen
- Keine quantitativen Stilllegungsvorgaben von Kraftwerken
- Regionale Strukturförderung (→ Kohlestrukturkommission)

Stromerzeugung durch Kohlekraftwerke

Installierte Kapazität (GW_{netto})



2017

[1] BDEW 2018, www.bdew.de

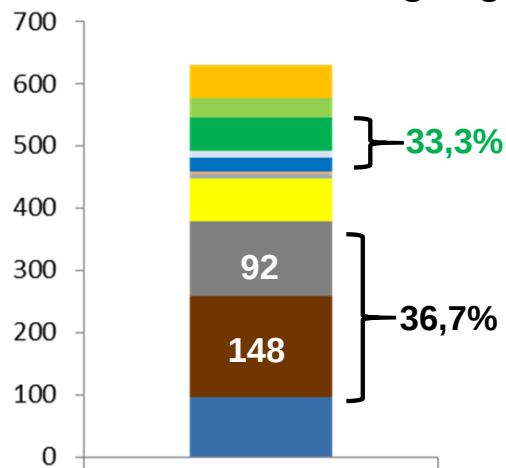
CO₂ Emissionen im Jahr 2017

Steinkohle: ca. 75 Mio. t (-15,5 Mio.t gegenüber. 2016)
Braunkohle: ca. 158 Mio. t (- 2,1 Mio. t gegenüber 2016)

ca. 230 Mio. t
(≈ **29%** der deutschen CO₂ Emissionen)

[2] BNA Monitoringbericht 2018, S. 52

Bruttostromerzeugung (TWh)



2017

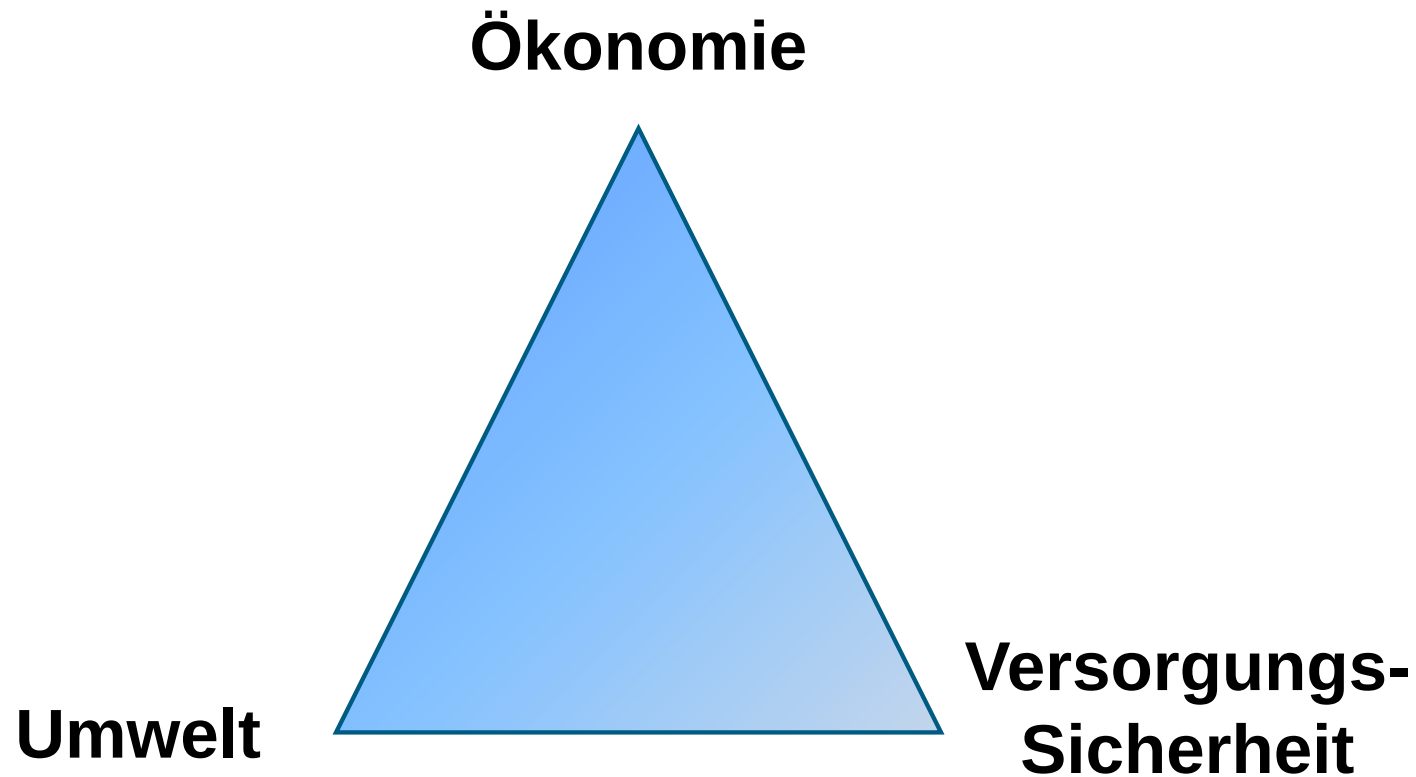
[3] BMWi Energiedaten 2018

Vollastbenutzungsstunden

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Braunkohle	6600	6850	6800	7030	6770	6810	6580	6490
Steinkohle	3849	3791	4189	4441	3980	3910	3670	3570
Kernenergie	6495	8472	7804	7633	7610	7590	7410	6880
Erdgas	3365	3120	2754	2312	2070	2030	2720	2810

[4] BDEW 2018, www.bdew.de

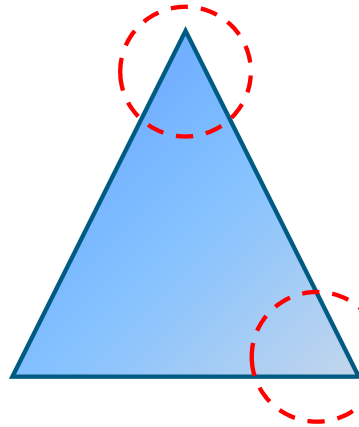
Maxime: Energiepolitisches Zieldreieck



Energiepolitisches Zieldreieck – Fokus der deutschen Energiepolitik

1970er Jahre

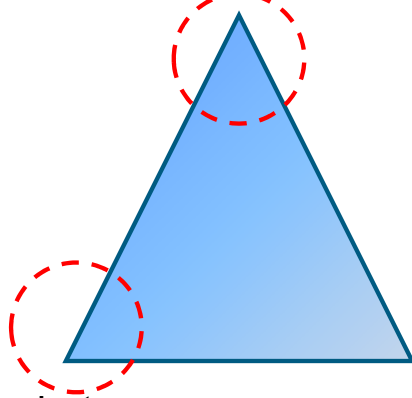
Niedrige Strompreise



Ölpreiskrisen
Kohlevorrang
KWK
Fernwärme
Kernenergie

1990er Jahre

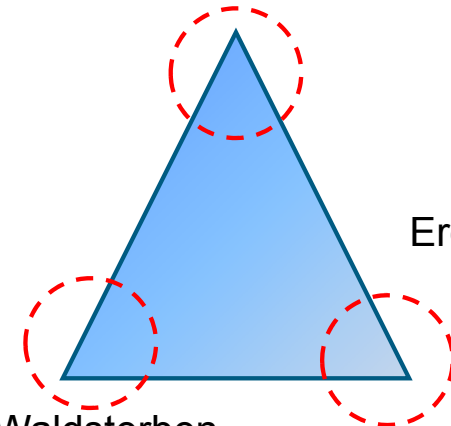
Liberalisierung
Wettbewerb



Klimaschutz

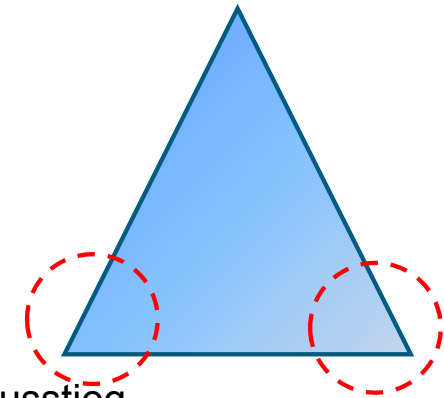
1980er Jahre

Niedrige Strompreise



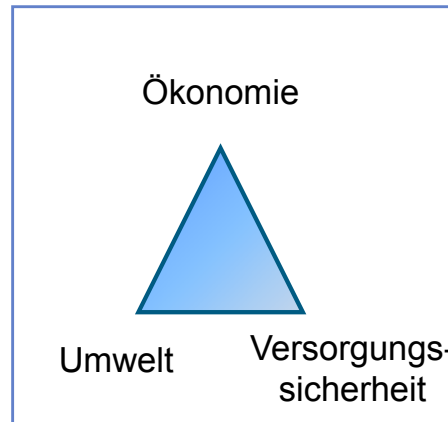
Verbot von
Erdgasverstromung
Kohlevorrang
KWK
Fernwärme
Kernenergie
z.B. Waldsterben

2000er Jahre

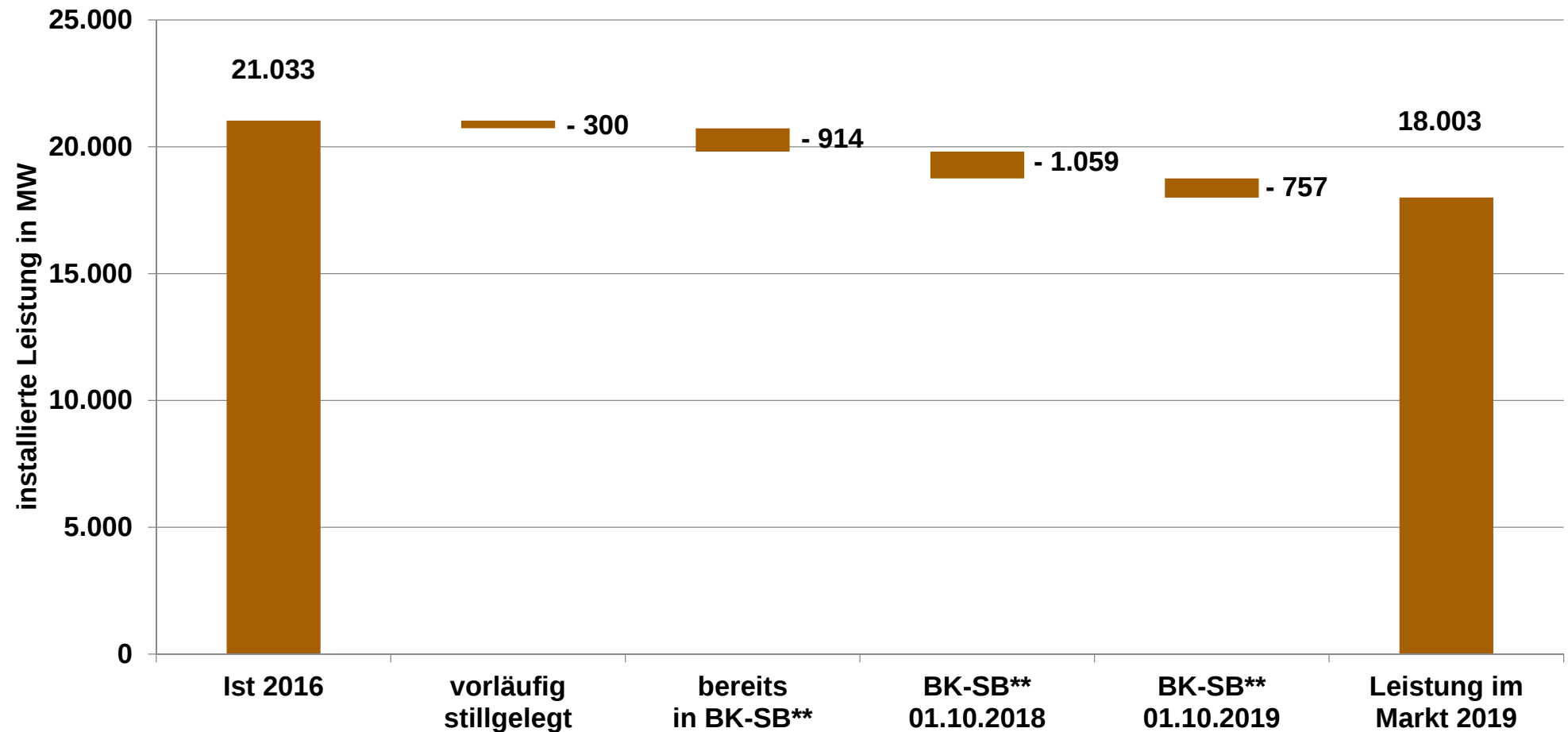


Kernenergieausstieg
Klimaschutz, Kyoto
EEG

Netzausbau,
Netzstabilität



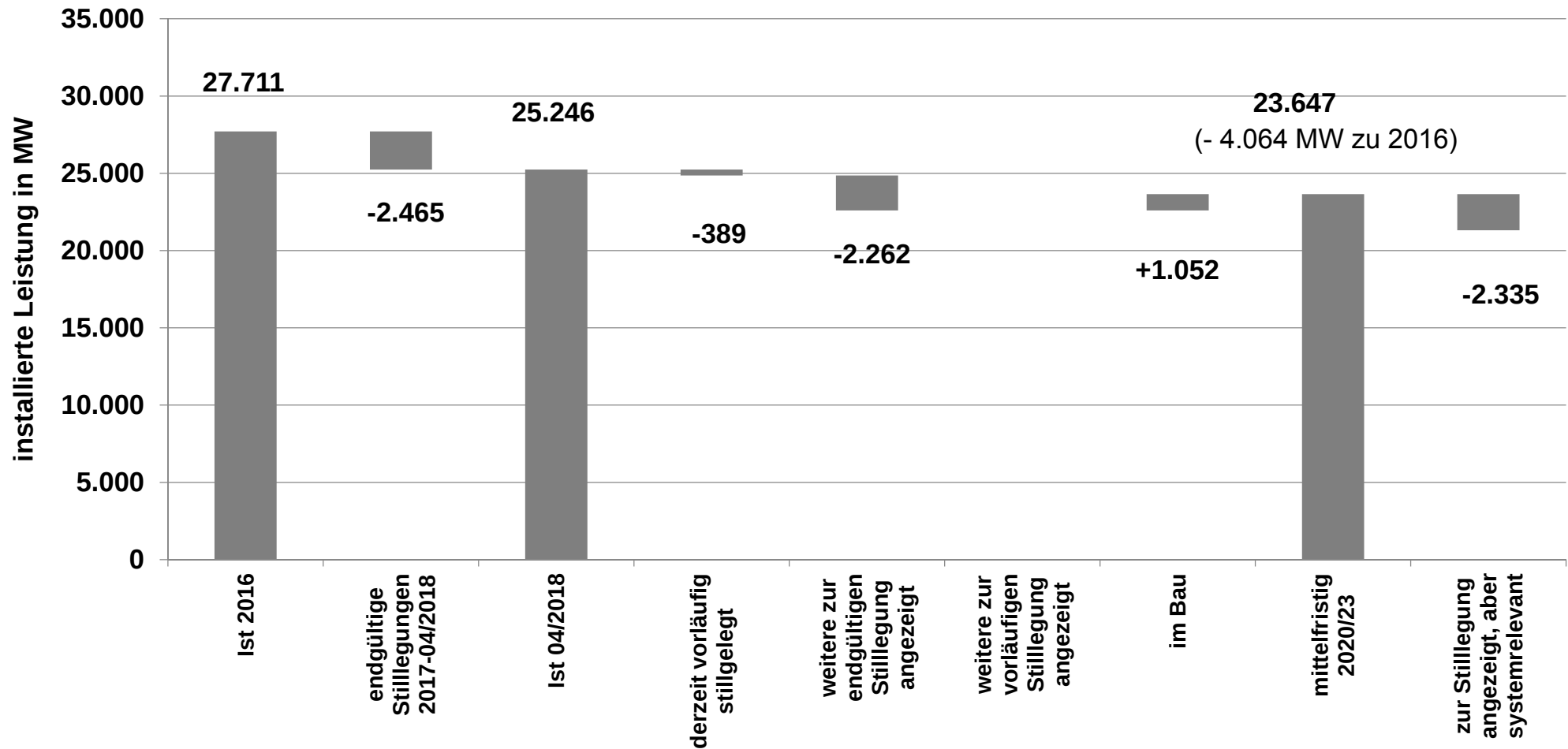
Kurzfristige Bestandsentwicklung von Braunkohlekraftwerken in Deutschland ^[1]



SB: Sicherheitsbereitschaft

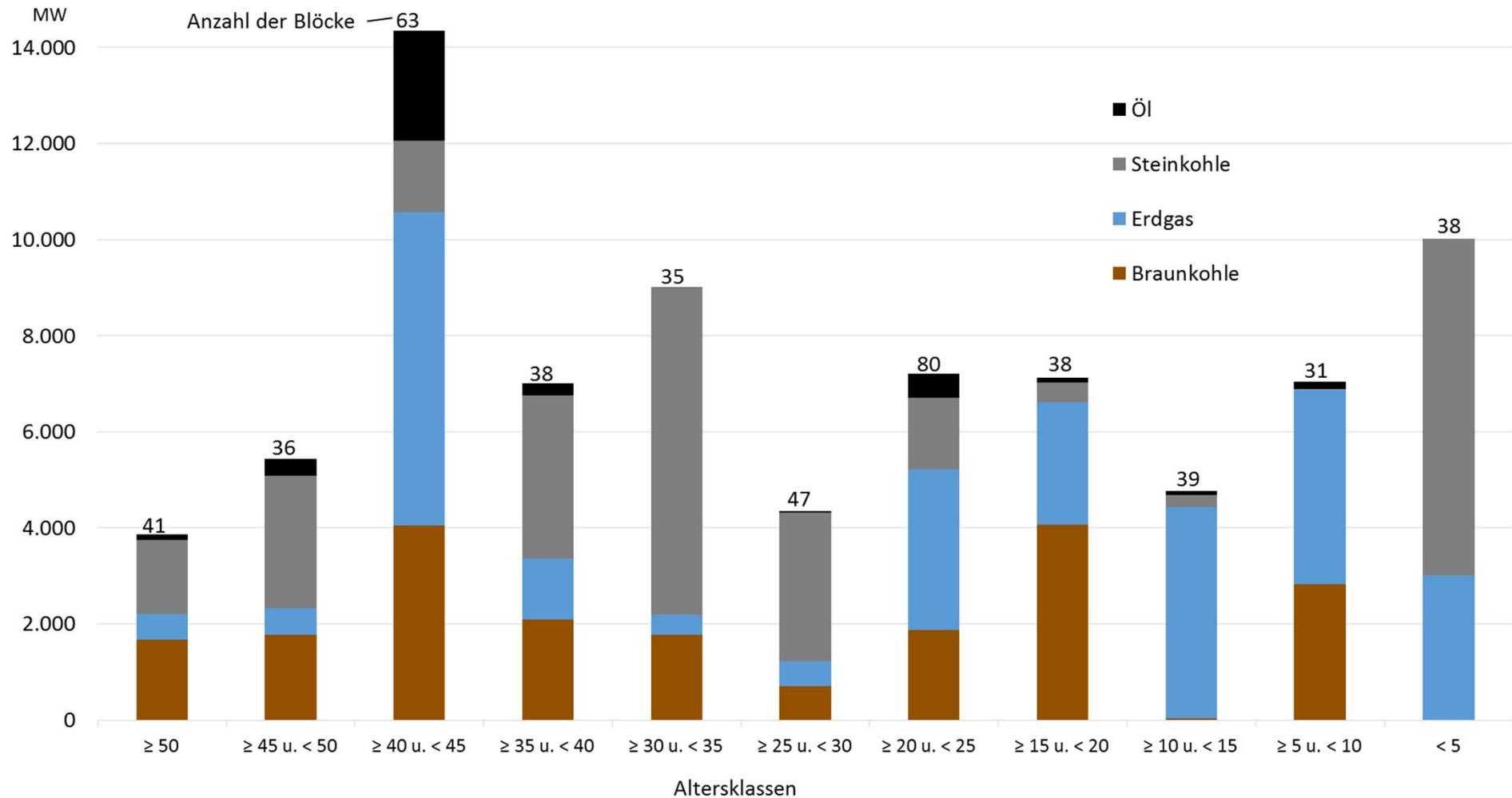
[1] BDEW, 2018 www.bdew.de, Stand: 27.4.2018

Kurzfristige Bestandsentwicklung von Steinkohlekraftwerken in Deutschland ^[1]



[1] BDEW, 2018 www.bdew.de, Stand: 27.4.2018

Altersstruktur fossil gefeuerter Kraftwerke in Deutschland [1], [2]



Knapp 60% aller Kohlekraftwerke sind älter als 30 Jahre

Stand: 31.3.2017

[1] Markewitz et al. 2018, [2] Kraftwerksdatenbank Bundesnetzagentur 2017

Wie alt werden Kohlekraftwerke ?

Anlagengewichtet

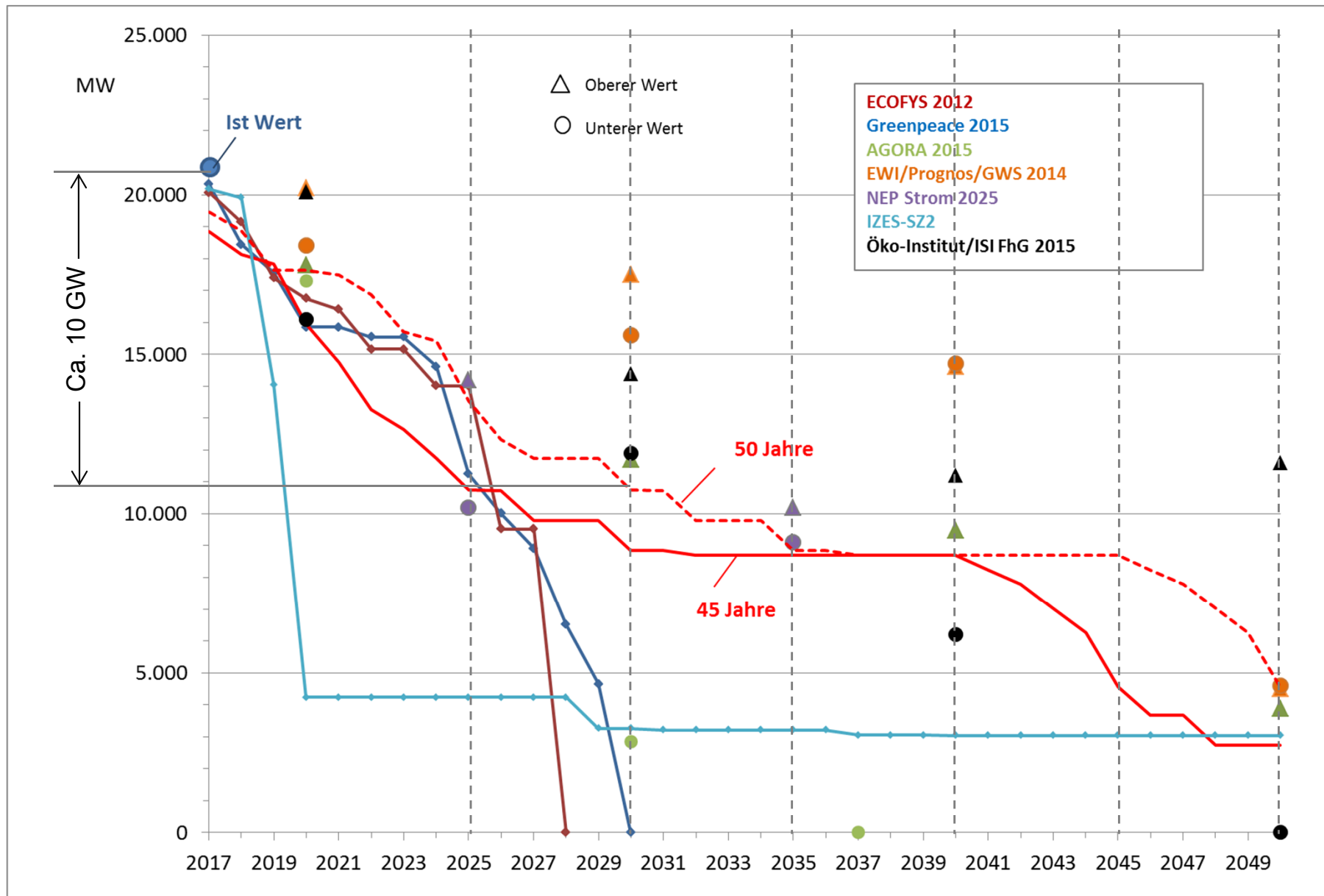
	≥ 1990 und ≤ 1999	≥ 2000 und ≤ 2014 ¹⁾	Aktuell §13a EnWG
Braunkohle	33,9	45,1	– ²⁾
Steinkohle	35,1	39,5	45,1
Erdgas	31,2	32,7	40,2
Mineralöl	32,3	32,9	42,3
Anmerkung: 1) ohne Kaltreserve, 2) kein repräsentativer Wert verfügbar			

Leistungsgewichtet

	GFAVO 1985-1993	≥ 1990 und ≤ 1999	≥ 2000 und ≤ 2014 ¹⁾	Aktuell §13a EnWG
Braunkohle	34	36,3	43,3	– ²⁾
Steinkohle	30,1	32,9	40,9	42,3
Erdgas	-	30,5	29,5	41,8
Mineralöl	-	26,2	29,3	41
Anmerkung: 1) ohne Kaltreserve, 2) kein repräsentativer Wert verfügbar				

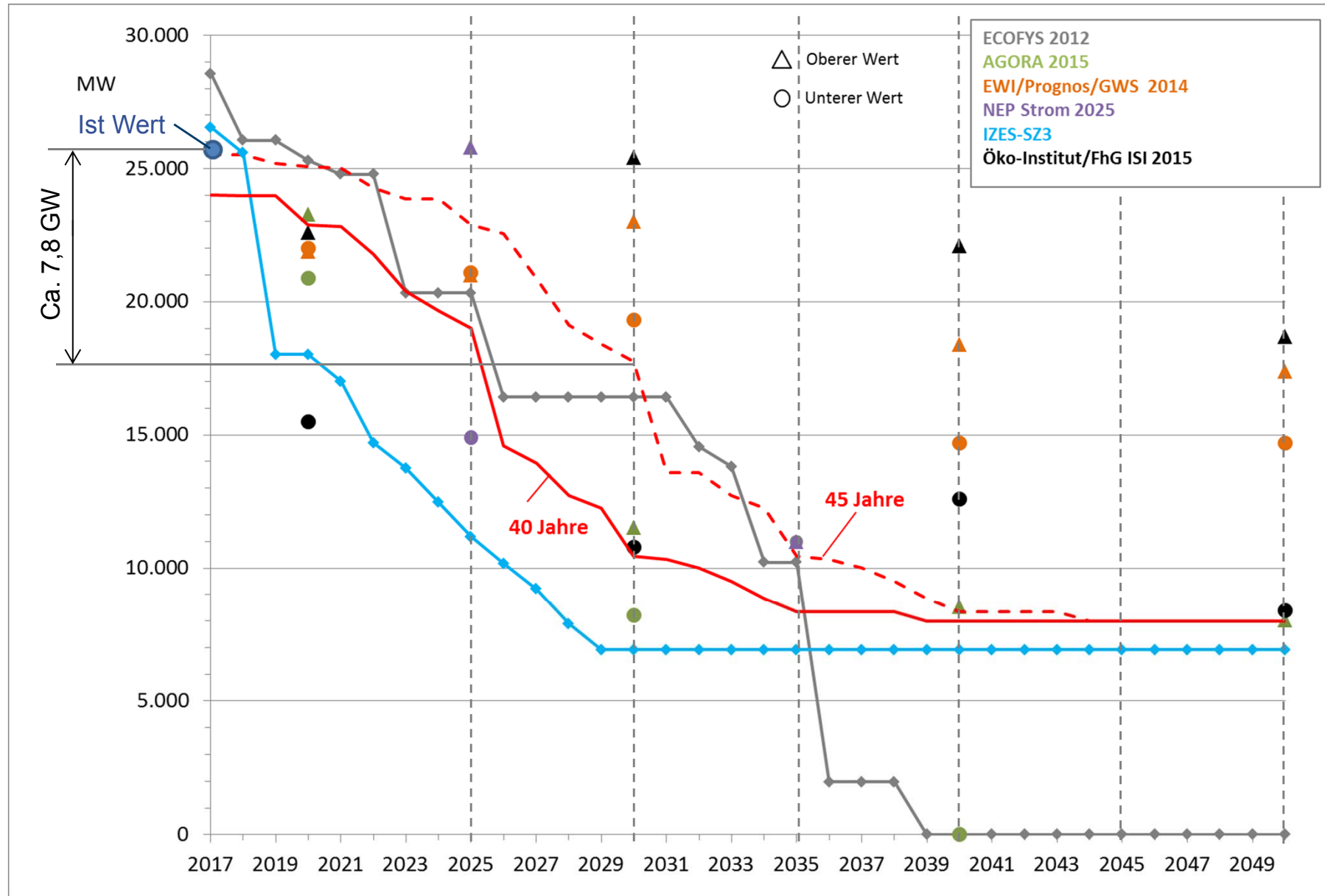
[1] Markewitz et al. 2018

Langfristige Bestandsentwicklung von Braunkohlekraftwerken [1]



[1] Markewitz et al. 2018

Langfristige Bestandsentwicklung von Steinkohlekraftwerken ^[1]



[1] Markewitz et al. 2018

Strukturwandel: Beschäftigungszahlen – Kohleverstromung u. -förderung

▪ Direkt Beschäftigte

Braunkohle	2017
Rheinland (91,2 Mio. t)	9.739
Lausitz (61 Mio.t)	8.639
Mitteldeutschland (21 Mio.t)	2.367
Helmstedt (- Mio. t)	146
Summe (ca. 171 Mio. t¹⁾)	20.891

(Inkl. Beschäftigte in Braunkohlekraftwerken 4.978)

Zum Vergleich: thyssenkrupp ca. 39.000
 VW Wolfsburg ca. 70.000
 Siemens D ca. 115.000

▪ Indirekt Beschäftigte^[4] : ca. 39.000

Gesamtsumme: ca. 30.000 Beschäftigte

▪ Direkt Beschäftigte

Steinkohle	2017
Ruhr (4,8 Mio. t)	4.517 (1.644)
Saar (-)	139 (64)
Ibbenbüren (1,6 Mio.t)	1.055 (477)
Summe (6,4 Mio. t ²⁾)	4.807

(...) Untertage

(zus. Beschäftigte in Steinkohlekraftwerken: ca. 5.900³⁾)

[1] Schiffer, 2018 et 3/20218, [2] gvst 2018

3) Eigene Schätzung

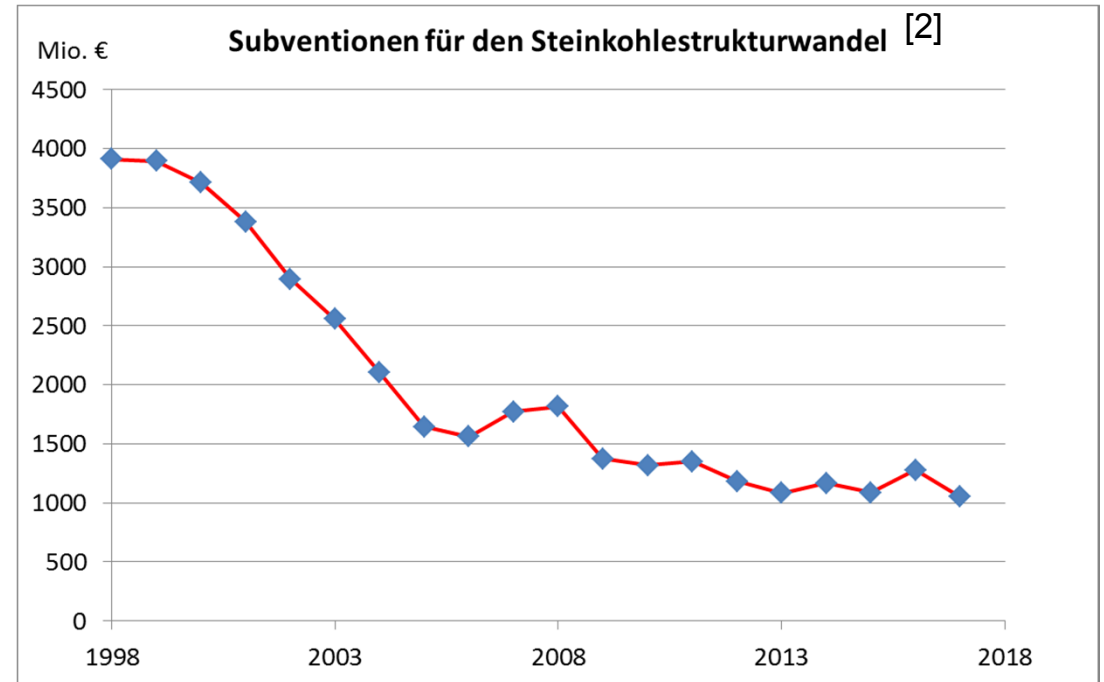
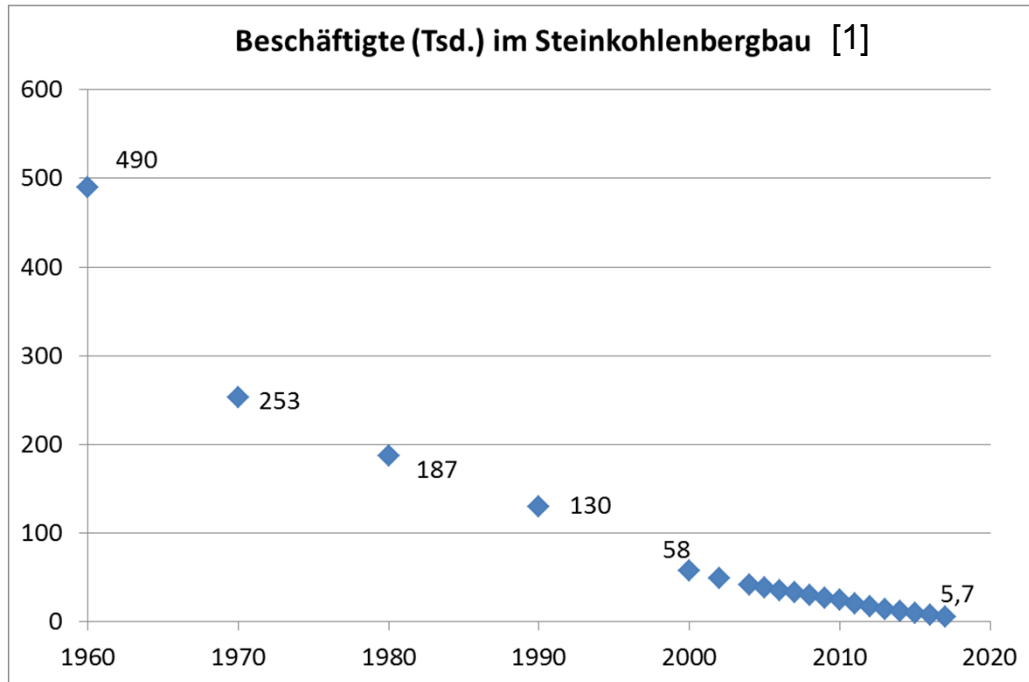
▪ Indirekt Beschäftigte: keine Angabe

[3] BDEW, 2018 www.bdew.de, Stand: 27.4.2018, [4] Kohlestrukturkommission, 2018

1) Ca. 93% für Stromerzeugung

2) ca. 88% für Stromerzeugung
 SK Stromerzeugung: 82% Importkohle

Strukturwandel im Steinkohlenbergbau



Rapider Strukturwandel ist möglich, aber...

nur mit Hilfe von Subventionen (1998 – 2017: 40,1 Mrd. €)

[1] GVSt, 2018 www.kohlenstatistik.de, [2] Wissenschaftl. Dienste Deutscher Bundestag WD 5 – 3000 -033/17

Ausstieg – und dann? Ewigkeitslasten

Braunkohle

- Sümpfungsmaßnahmen
- Dauerbergschäden
-



Quelle: RWE

Geschätzte Ewigkeitslasten: valide Ermittlung steht noch aus

Wer zahlt? Förderunternehmen

Rückstellungen:

z.B. RWE Rückstellungen: ca. 1,6 Mrd. € ^[2]

Steinkohle

- Poldermaßnahmen (29%)
- Grubenwasserhaltung (66%)
- Grundwasserreinigung (5%)

und Dauerbergschäden

Geschätzte Ewigkeitslasten: ca. 12 bis 13 Mrd. € ^[1]

Wer zahlt? RAG AG und RAG Stiftung

RAG Stiftung - Rückstellungen: ca. 6 Mrd. €

Geschätzte Kosten pro Jahr: ca. 220 Mio./a ^[3]

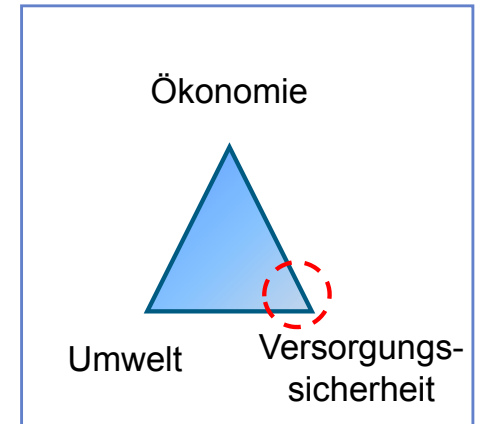
[1] KPMG-Gutachten 2006

[2] BUND 2018

[3] RAG Stiftung 2018 www.rag-stiftung.de

Klimaschutz ist wichtig, aber...

- Fern- und Prozesswärmeerzeugung
- Redispatch zur Vermeidung von Netzeinsparungen
- Regelenergie zur Netzstabilität
- Blindleistung zur Spannungshaltung
- ...



Fernwärmeerzeugung in Kohlekraftwerken

Anteil an der gesamten KWK Stromerzeugung im Jahr 2017: ca. 13 % (15,7 TWh¹⁾)
davon

- Braunkohle: 3,7 %
- Steinkohle: 9,3 %

1) Berechnet gemäß FW308



Quelle: RWE

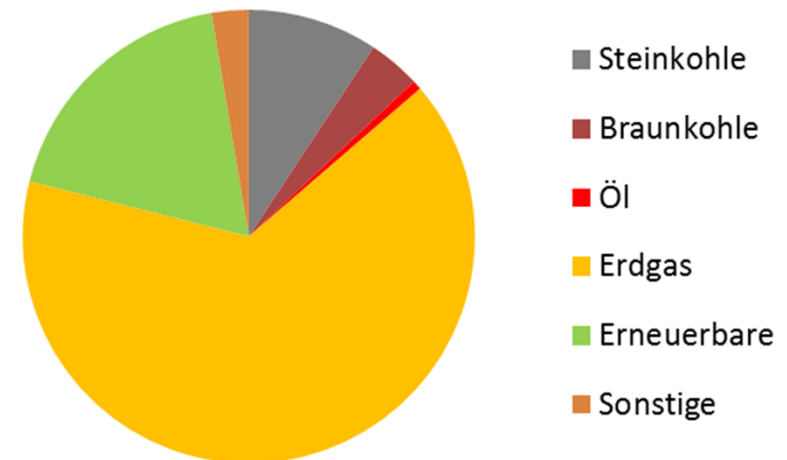
KWK Anteil (Leistung) ^[1]

Steinkohlekraftwerke: ca. 65%
Braunkohlekraftwerke: ca. 56%

KWK Anteil (Blockanzahl) ^[1]

Steinkohlekraftwerke: ca. 83 (= 74%)
Braunkohlekraftwerke: ca. 23 (= 56%)

KWK Stromerzeugung im Jahr 2017^[2]

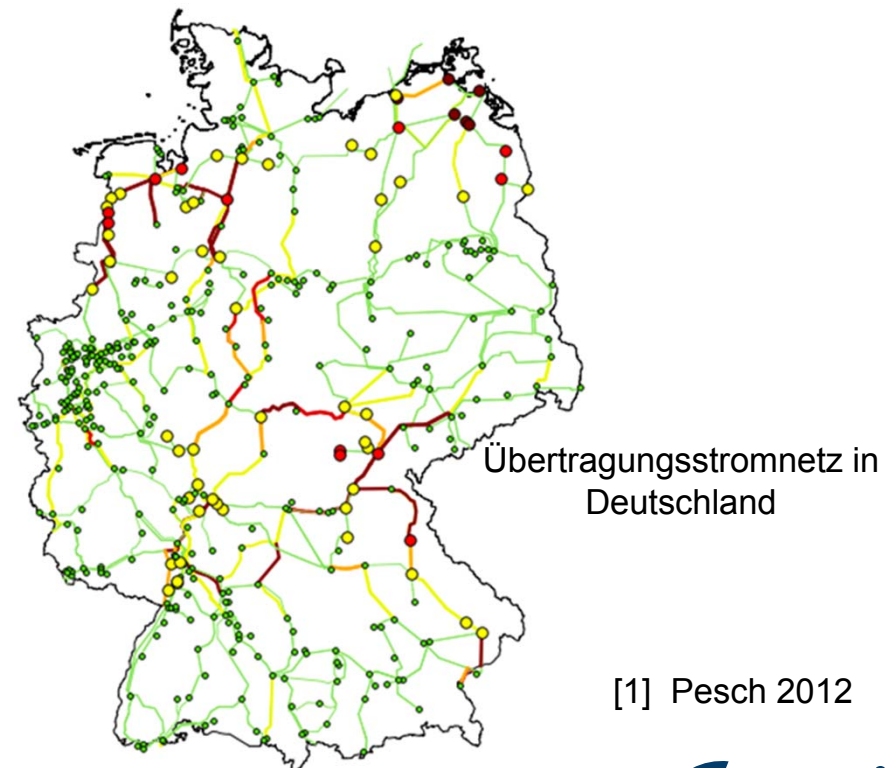
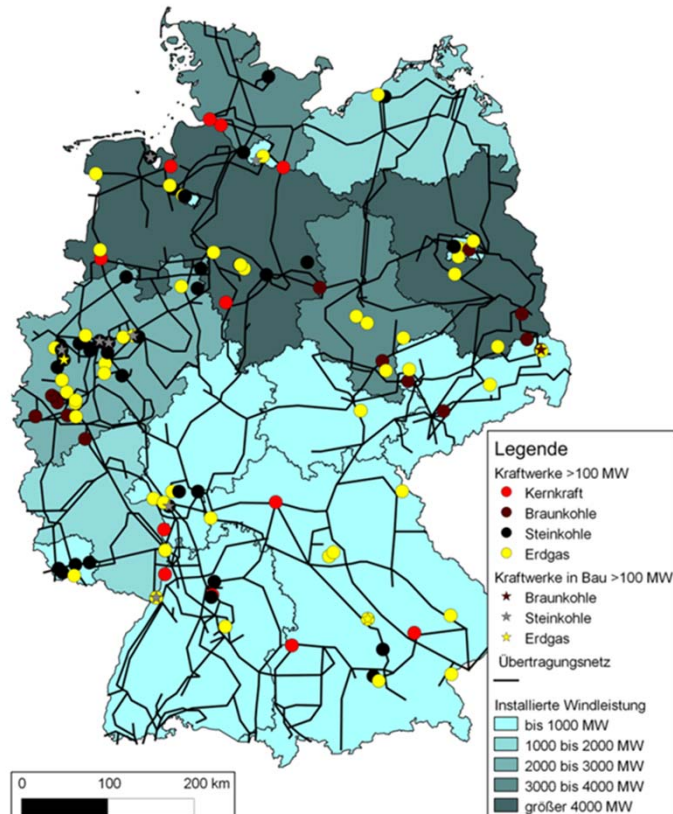


[1] Forschungszentrum Jülich – Kraftwerksdatenbank IEK3

[2] Fahl, Blesl 2018, BWK 70(2018) Nr. 5

Redispatch

Unter **Redispatch** sind Eingriffe in die Erzeugungsleistung von Kraftwerken zu verstehen, um Leitungsabschnitte vor einer Überlastung zu schützen. Droht an einer bestimmten Stelle im Netz ein Engpass, so werden Kraftwerke diesseits des Engpasses angewiesen, ihre Einspeisung zu drosseln, während Anlagen jenseits des Engpasses ihre Einspeiseleistung erhöhen müssen. Auf diese Weise wird ein Lastfluss erzeugt, der dem Engpass entgegenwirkt. Die eingespeiste Wirkleistung bleibt in Summe unverändert.



[1] Pesch 2012

Entwicklung von Redispatchmaßnahmen [1]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Anzahl der Stunden	1589	5000	7160	7966	8453	15811	13339
Volumen (GWh)	n.V.	n.V.	2566	4604	5197	16000	11475
Kosten für Redispatch (Saldo) Mio. €	48	129	165	n.V.	187	402	220

- Volumen und Anzahl der Redispatcheingriffe hat stark zugenommen (pro Tag ca. 1,5 Stunden)
- Steuerbare Kraftwerksleistung (Kohle, Gas, Biomasse) ist notwendig
- Kosten sind erheblich

[1] Bundesnetzagentur: Monitoringberichte 2016 u. 2017

Blindleistungsversorgung

- Hohe, gleichmäßige und starre Spannung für Stabilität im Übertragungsnetz unverzichtbar:
 - ◆ stabiler Kraftwerksbetrieb
 - ◆ stabiler Netzbetrieb
- Kraftwerke tragen lokal zur Spannungshaltung im Netz bei:
 - ◆ Blindleistungsbereitstellung
 - ◆ Kurzschlussleistung
- Sicherung der Stabilität
 - ◆ räumliche Verteilung der Erzeugung
 - ◆ engmaschiges Übertragungsnetz



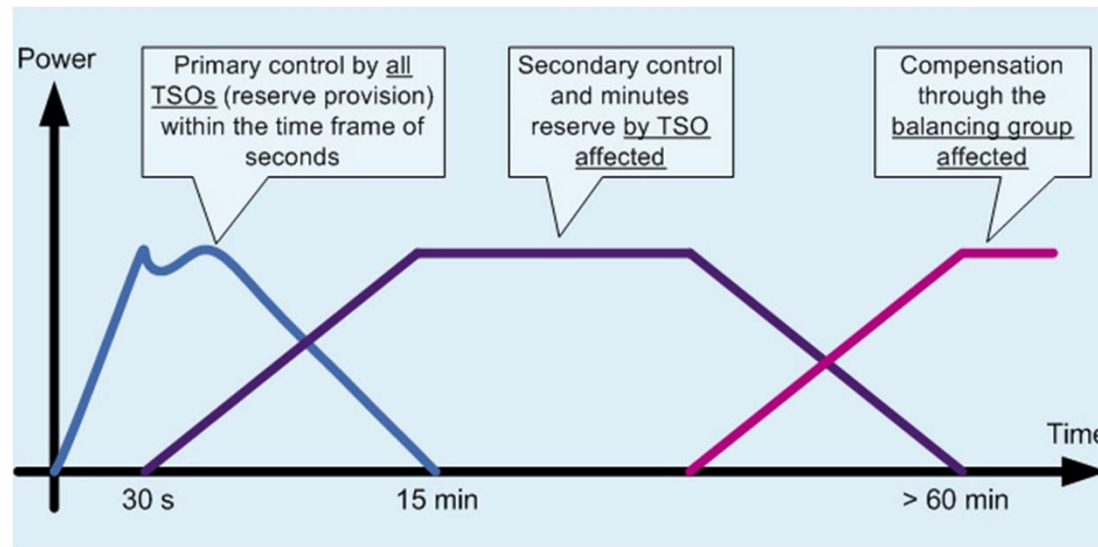
Übertragungsnetz

Kraftwerk

[1] Moser, 2011

Blindleistung kann derzeit nur mit thermischen Kraftwerken bewerkstelligt werden

Regelleistung zur Netzstabilisierung

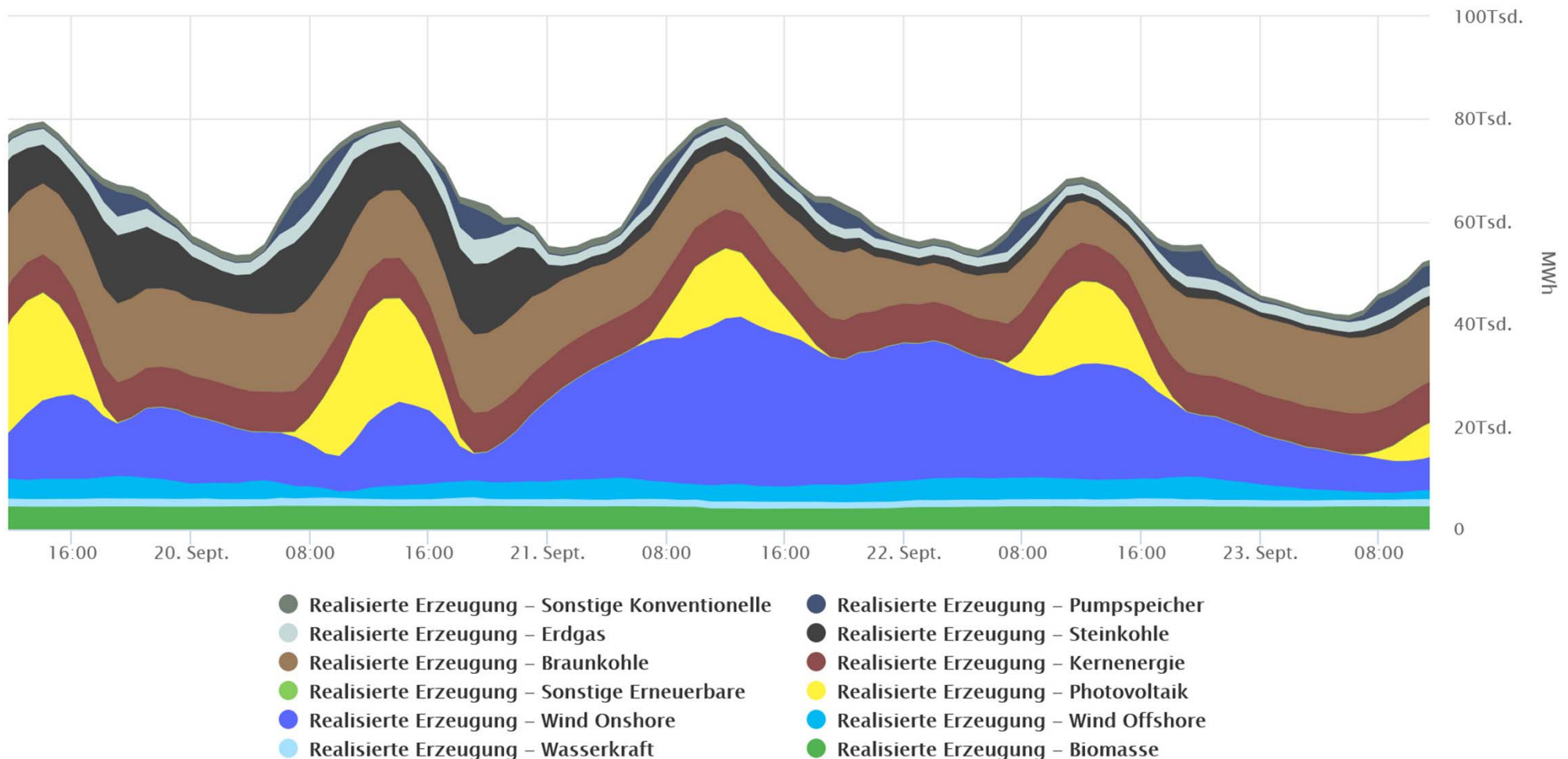


[1] regelleistung.net

	Primärregelung	Sekundärregelung	Minutenreserve
Aktivierung	30 Sekunden	5 Minuten	15 Minuten
Dauer	$0 < t < 15 \text{ min}$	$30 \text{ sec} > t < 60 \text{ min}$	$15 \text{ min} < t < 60 \text{ min}$
Marktgröße (MW)	550	$\pm 2.000 - 2.400$	$\pm 2.440 - 3.200$
Heutige Techniken	Dampf-/Gasturbinen, Speicher	Gas-/Kohlekraftwerke, Pumpspeicher, Speicher	Gas-/Kohlekraftwerke, Pumpspeicher, abschaltbare Verbraucher

... und Momentanreserve mit Millisekundenbereich (rotierende Massen)
 → thermische, steuerbare Kraftwerke notwendig

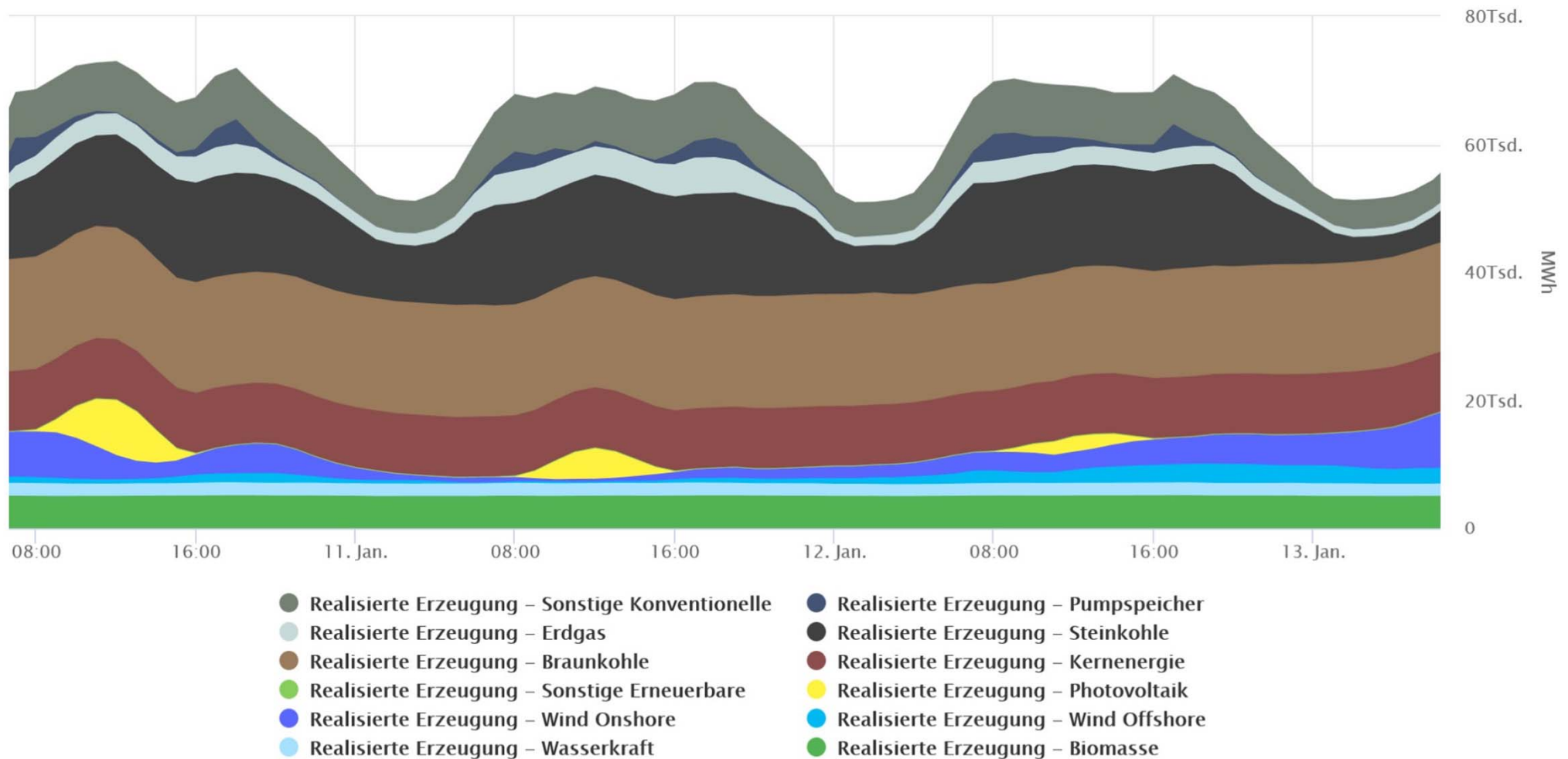
Stromerzeugung (20.9. – 23.9.2018) – viel Wind, viel Sonne^[1]



Hohe Lastrampen, sehr viele An- und Abfahrvorgänge: Thermische, steuerbare Kraftwerkskapazität

[1] www.smard.de

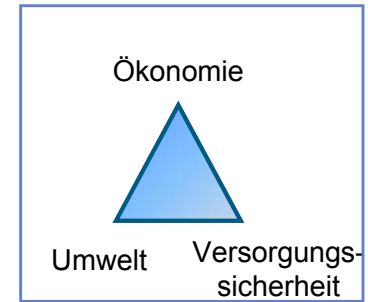
Stromerzeugung (10.1. – 13.1.2018) - Dunkelflaute ^[1]



Überbrückung von Dunkelflauten erfordert thermische, steuerbare Kraftwerkskapazität

[1] www.smard.de

Zusammenfassung



- Heutiger Anteil von Kohleverstromung ist historisch bedingt
- Hohe Bestandsdynamik aufgrund von überaltertem Kraftwerkspark
- Ein vorzeitiger Ausstieg aus der Kohleverstromung ist mit finanziellen Belastungen verbunden (Strukturwandel, Entschädigung der Kraftwerksbetreiber)
- Klimaschutz nur unter der Randbedingung von Versorgungssicherheit
- Veränderung von langlebigen Kapitalstöcken erfordert Zeit
- Weltweiter Ausstieg aus der Kohleverstromung notwendig (Zubau 2017: ca. 48 GW)



Quelle: RWE



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit !**

© Foto: Peter Markewitz