

VDE-Studie: Erneuerbare Energie braucht flexible Kraftwerke – Szenarien bis 2020

Autorenteam

**Brauner, Glaunsinger, John, Schwing, &
Bofinger, Magin, Pyc, Schüler, Schulz, Seydel, Steinke**

The VDE logo is displayed in a bold, blue, sans-serif font.

Die Energiewende und ihre Konsequenzen für das elektrische Energiesystem bis 2020: Was ist für eine sichere und nachhaltige Energieversorgung erforderlich ?

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner
TU Wien, Institut für Energiesysteme und
Elektrische Antriebe**

Energie- und Klimastrategie Deutschland

(Auswahl)

Langfristszenarien und Strategie für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland.

„Leitszenario 2009“ BMU / DLR 2009

(Zeithorizont bis 2050)

Energieszenarien für ein Energiekonzept der Bundesregierung. Projekt Nr. 12/10, ewi / gws / prognos.

(Zeithorizont bis 2050)

Nationaler Aktionsplan für erneuerbare Energie gemäß Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen. BRD 2010

(Zeithorizont bis 2020)

The logo for VDE (Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik) is displayed in a bold, blue, sans-serif font.

Leitszenario 2009

Anteile EE an:	2010	2020	2050
Primärenergie	9,5 %	17,6 %	49,4 %
Strom-Endenergie	19,9 %	40,4 %	90,1 %
Bruttostromverbrauch	613 TWh	557 TWh	599 TWh
Veränderung gegen 2010	100 %	90,8 %	97,7 %
Verminderung Elektrizität		-9,1 %	-2,3 %

entspricht ungefähr -1%/a bis 2020

2020: Leitszenario 2009 und VDE-Szenario

Elektrizität	Leitszenario 2009		VDE-Szenario AT40	
Bedarfsänd.	-1 %/a		0 %/a	
EE-Anteil	40,4 %		40,3 %	
Bruttobedarf	557 TWh		603 TWh	
EE 2020	GW	TWh/a	GW	TWh/a
Wasser	5,12	24,5	5,0	21
Wind	41,94	96,3	58	127
<i>onshore</i>	32,94	66,1	42	73,4
<i>offshore</i>	9,00	30,2	16	53,6
Photovoltaik	23,16	20	60	48
Biomasse	7,85	50,6	7	47
Gesamt	78,9	196	130	243

2011 bereits 24,82 GW an PV installiert!



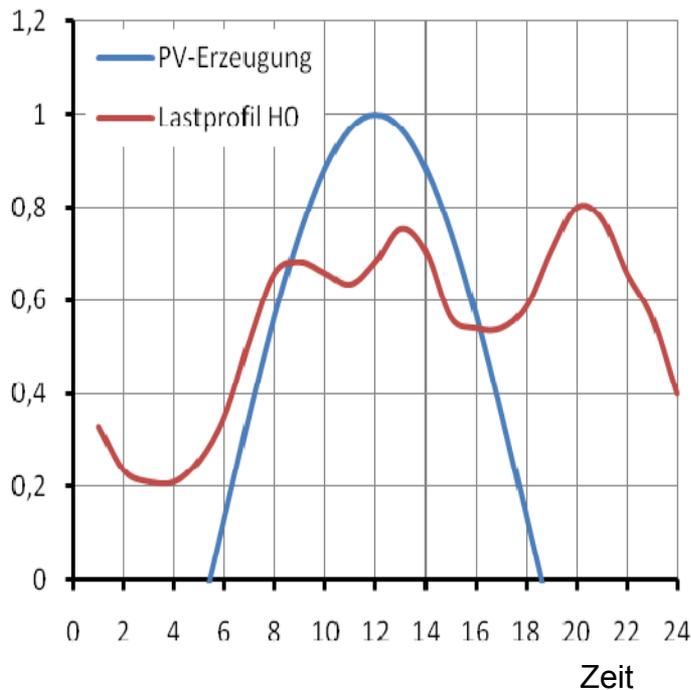
Fragestellungen:

Im Netz muss jederzeit die Leistung aller Erzeugung der Leistung der Summe aller Verbraucher entsprechen.

- Wie sieht ein sicherer und stabiler Netzbetrieb bei überwiegend fluktuierenden Einspeisungen aus Wind und PV aus ?
- Können alle thermischen Kraftwerke abgeschaltet werden und nur mit Wind und PV das Netz geregelt werden ?
- Wieviel Energie kann wie lange gespeichert werden – sind die Speicherkapazitäten nach Leistung und Energie ausreichend ?
- Welche neuen Aufgaben kommen auf die thermischen Kraftwerke zu und wie können diese erfüllt werden ?

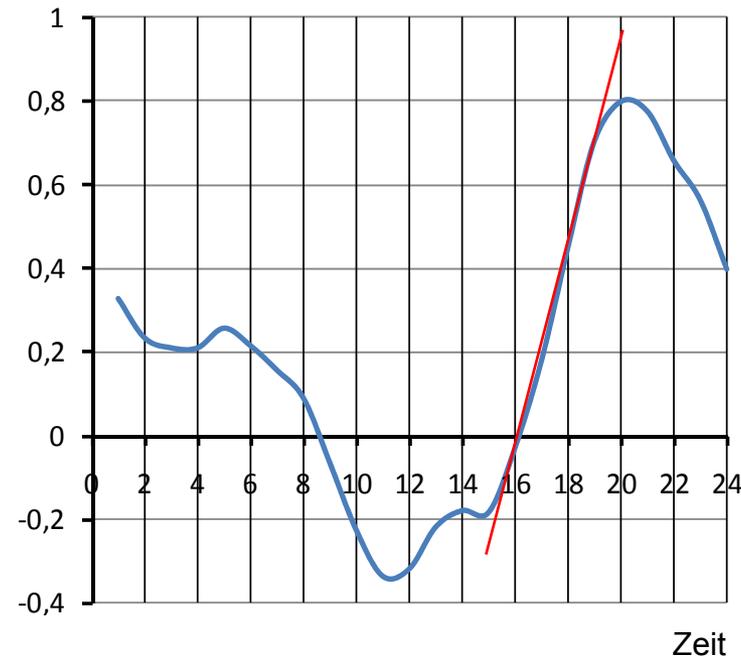
Elektrizität aus Photovoltaik in einer Siedlung

Leistung



**PV-Stromerzeugung
und Haushaltsbedarfsprofil**

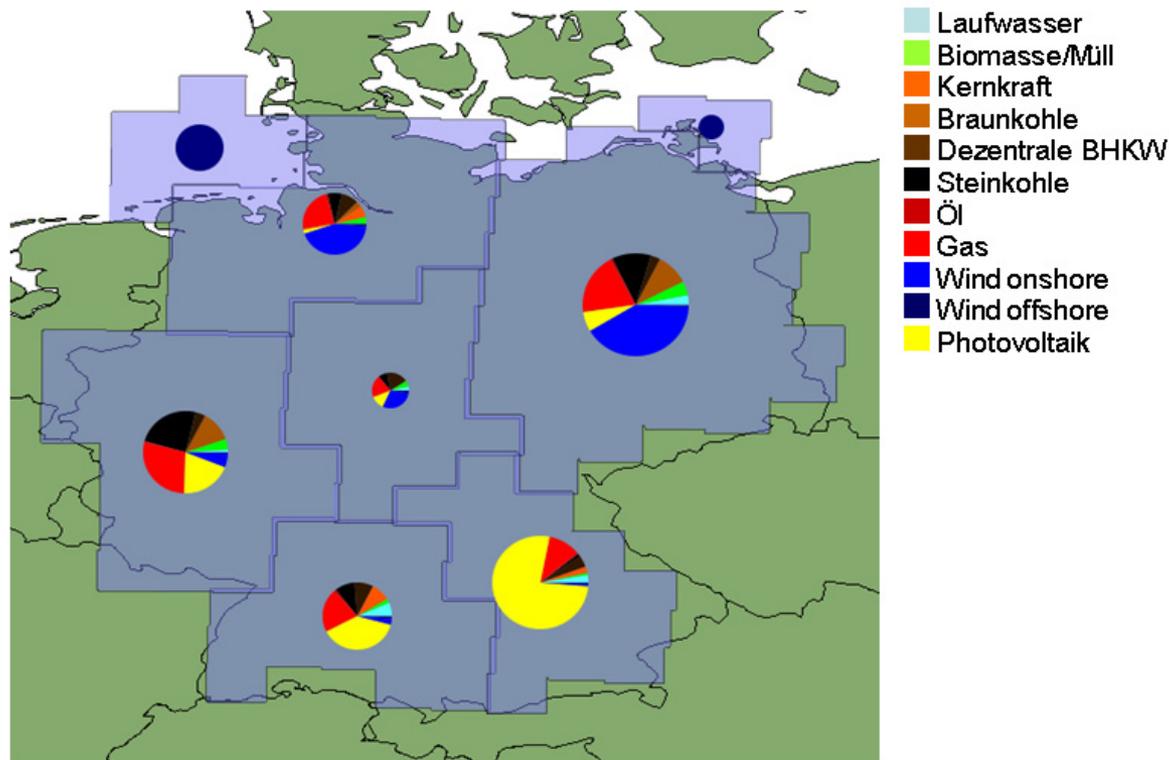
Leistung



**Bei Sonnen-
Untergang
muss mit
diesem
Gradienten
Leistung
bereitgestellt
werden aus
- Speichern
- Kraftwerken
oder über das
Netz**

**Ausgleichsleistung (Residuallast)
(Netz, Speicher, Kraftwerk)**

Simulationsmodell Deutschland 2020 (Regionenmodell)



Regionenmodell 2020

Berücksichtigen aller Kraftwerke

neueste Stilllegungsszenarien Kernkraft

Pumpspeicherkapazitäten (Leistung und Volumen)

Leitungskapazitäten zwischen den Regionen (summarisch)

Simulation der Solarstrahlung und des Winddargebots
anhand von regionalen Wetterzeitreihen (Wetterdienste)

Ergebnis:

Bestimmung des Verlaufs der Residuallast

Ableitung Gradienten, Leistungen, Flautezeiten...

Optimierter Kraftwerkseinsatz nach technischen und
wirtschaftlichen Regeln (Markt)

Erzeugungsgradienten von Wind und PV in Deutschland 2020 (Ergebnis)

	installierte Leistung	1h-Gradient	3h-Gradient
Onshore Wind	42 GW	4 GW/h	2,5 GW/h
Offshore Wind	16 GW	3 GW/h	2 GW/h
Photovoltaik	60 GW	12 GW/h	8 GW/h
Planerischer Maximalgradient		15 GW/h	10 GW/h

Ergebnis:

Im Netz sind aus Wind und PV Gradienten bis 15 GW/h möglich

Kraftwerke müssen flexibel einsetzbar sein

Pumpspeicher haben zu niedrige Leistung und zu kleine Speichervolumina

Netze können nicht zeitgerecht entsprechend dem Ausbau der EE verstärkt werden

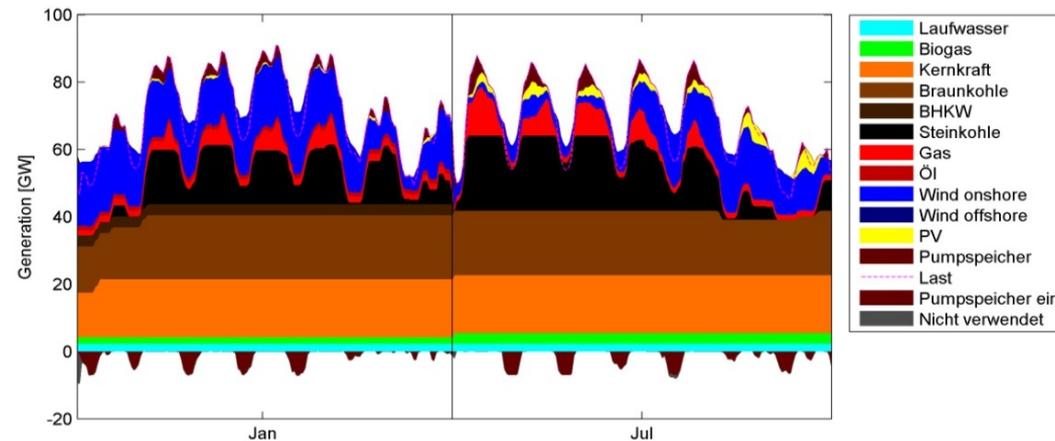
Betriebliche Anforderungen an die konventionellen Kraftwerke und Möglichkeiten der Umsetzung bis 2020

**Dr.-Ing. Ulrich Schwing
EnBW Kraftwerke AG**

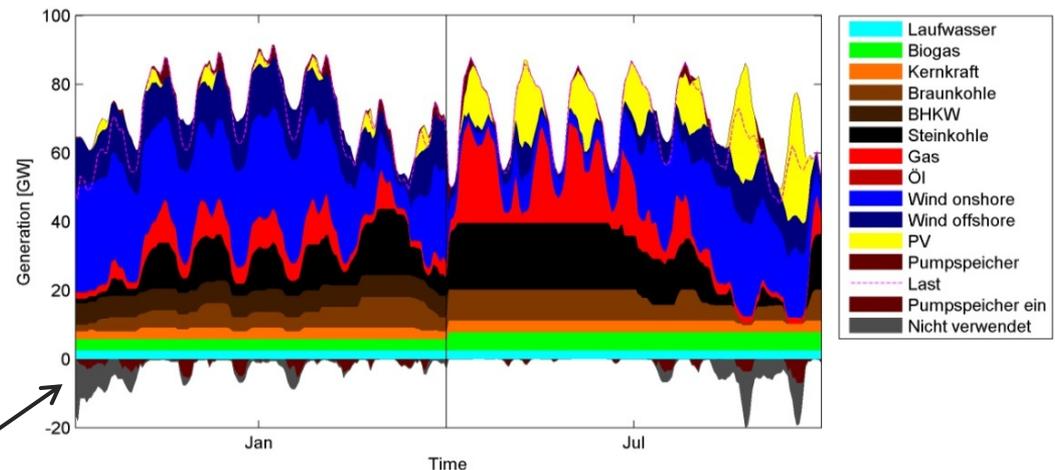
Kraftwerkseinsatz 2009 und 2020 (Simulation)

(Beispielwochen im Januar und Juli für das Jahr 2020)

2009
hoher Anteil an
Grundlast



2020
Grundlast wird
verdrängt, dafür
flexible Kraftwerke

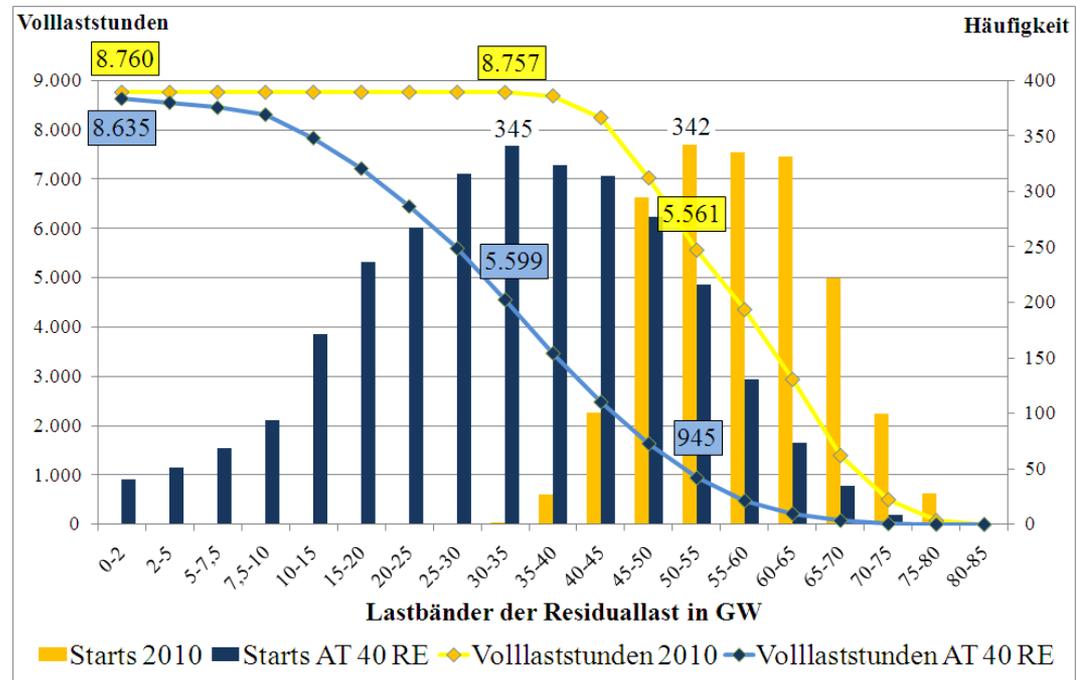


Nicht verwendete Überschussenergie: zu
geringe Speicherkapazitäten im Netz !

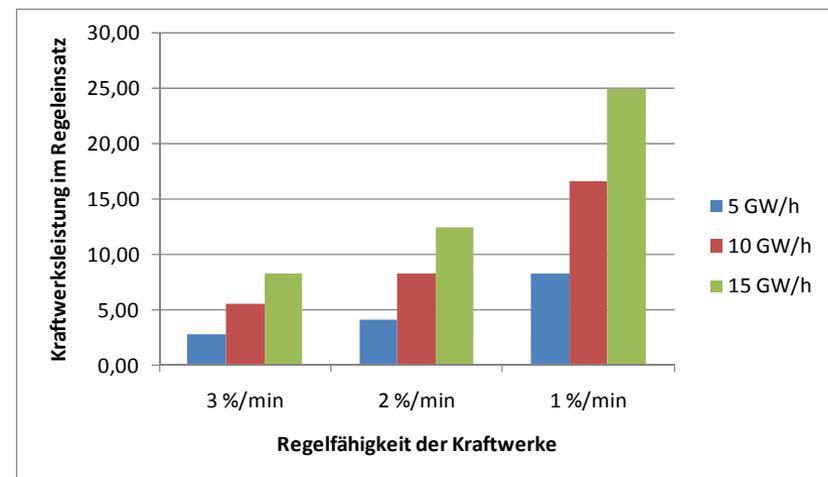
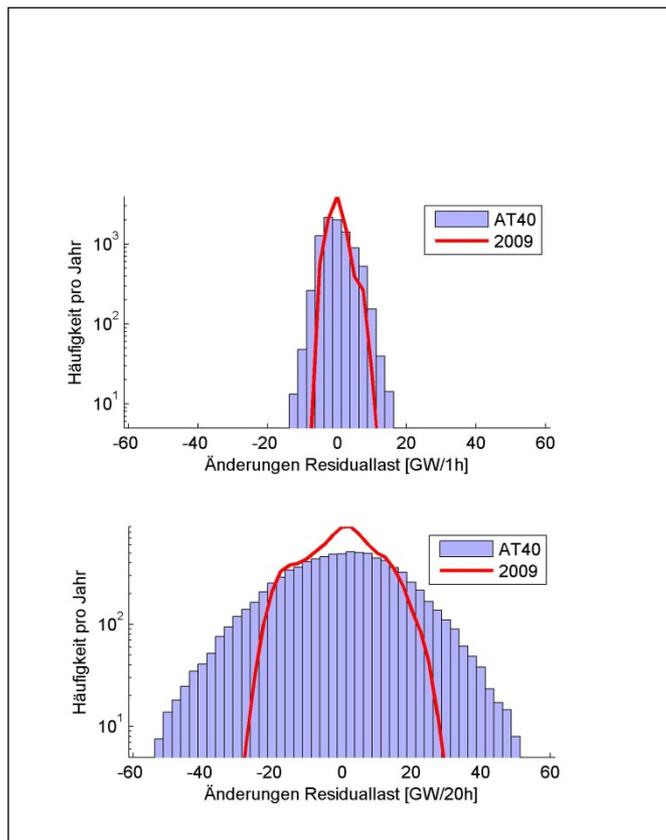
Konsequenzen für den Einsatz der thermischen Kraftwerke

Die Auswertung nach Lastbändern ergibt:

- Auch nach „Merit Order“ günstigste Kraftwerke müssen sich am Lastfolgebetrieb beteiligen
- Steinkohle- und Gas-kraftwerke müssen sich häufige An- und Abfahrten, starke Lastwechsel und sinkende Volllaststundenanzahlen einstellen



Anforderungen an die Lastwechselfähigkeit



- Erwartete tägliche Laständerungen erfordern eine disponierbare Kraftwerksleistung bis zu 60 GW
- Die stündlichen Gradienten haben heute bekannten Zuschnitt

Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

- Die Fluktuation der erneuerbaren Energien benötigt flexible disponible Kraftwerke
- Zukünftig müssen daher erneuerbare Erzeugung und konventionelle, überwiegend thermische Erzeugung auf einander abgestimmt zusammenwirken.
- Für die thermischen Kraftwerke ergeben sich höhere Anforderungen durch steile Gradientenfahrweise, häufigere An- und Abfahrten sowie niedrigere Mindestlast und hierdurch erhöhten Verschleiß und Lebensdauermin-derung
- Die Auslastung der thermischen Kraftwerke wird drastisch sinken und damit ist deren wirtschaftlicher Betrieb unter den heutigen Marktbe-dingungen gefährdet.
- Es sind geeignete Regulierungs- und Geschäftsmodelle zu entwickeln, um eine thermische Mindestkapazität auch bei niedrigen Volllaststunden wirtschaftlich darstellen zu können.

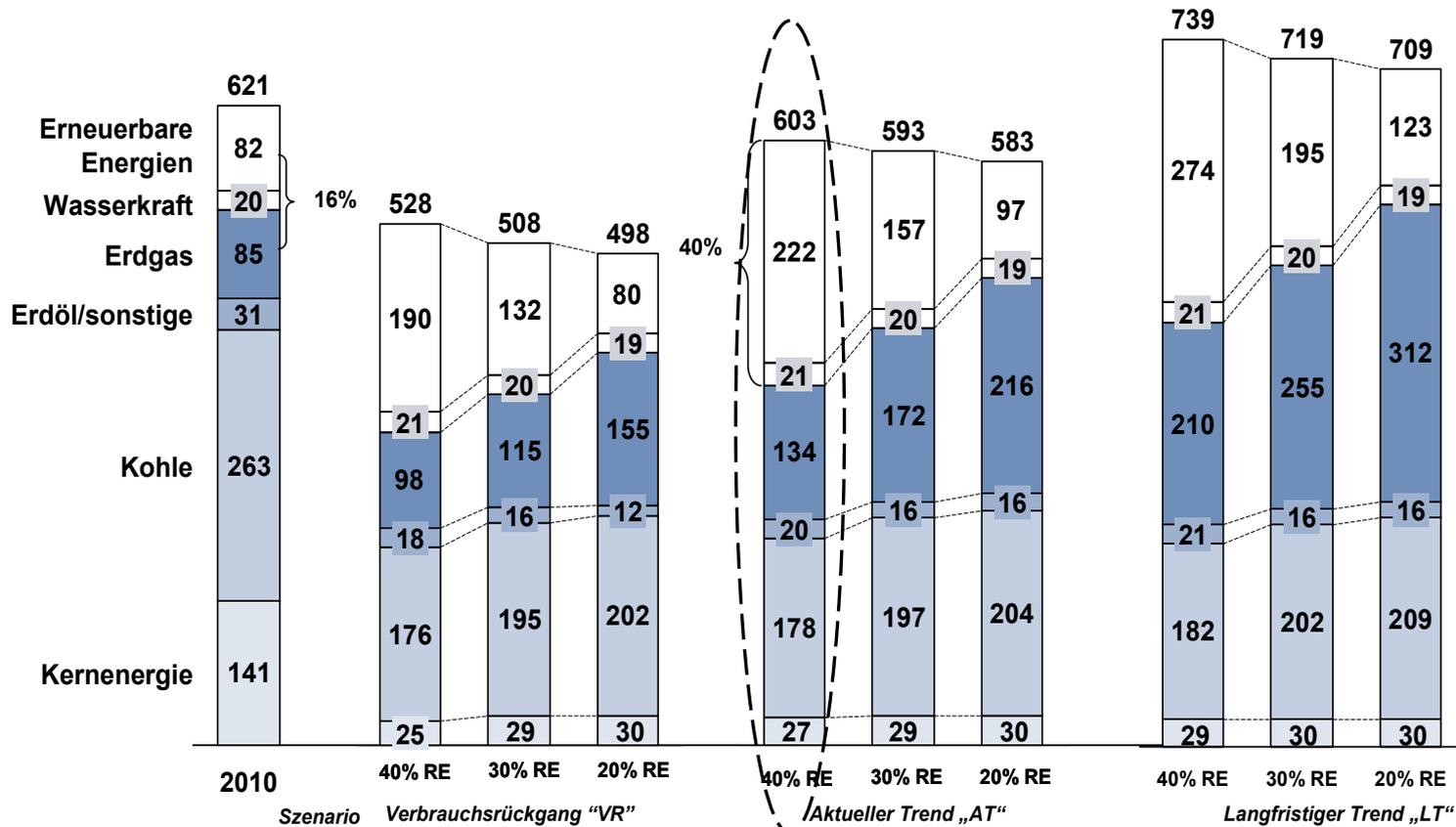
Heutige und zukünftige Möglichkeiten der Flexibilisierung der konventionellen Kraftwerke

Dipl.-Ing. Markus John, Dr. Alexander Frick, ABB AG
Dr.-Ing. Georg-Nikolaus Stamatelopoulos, Dr.-Ing. Ulrich Schwing, EnBW Kraftwerke AG

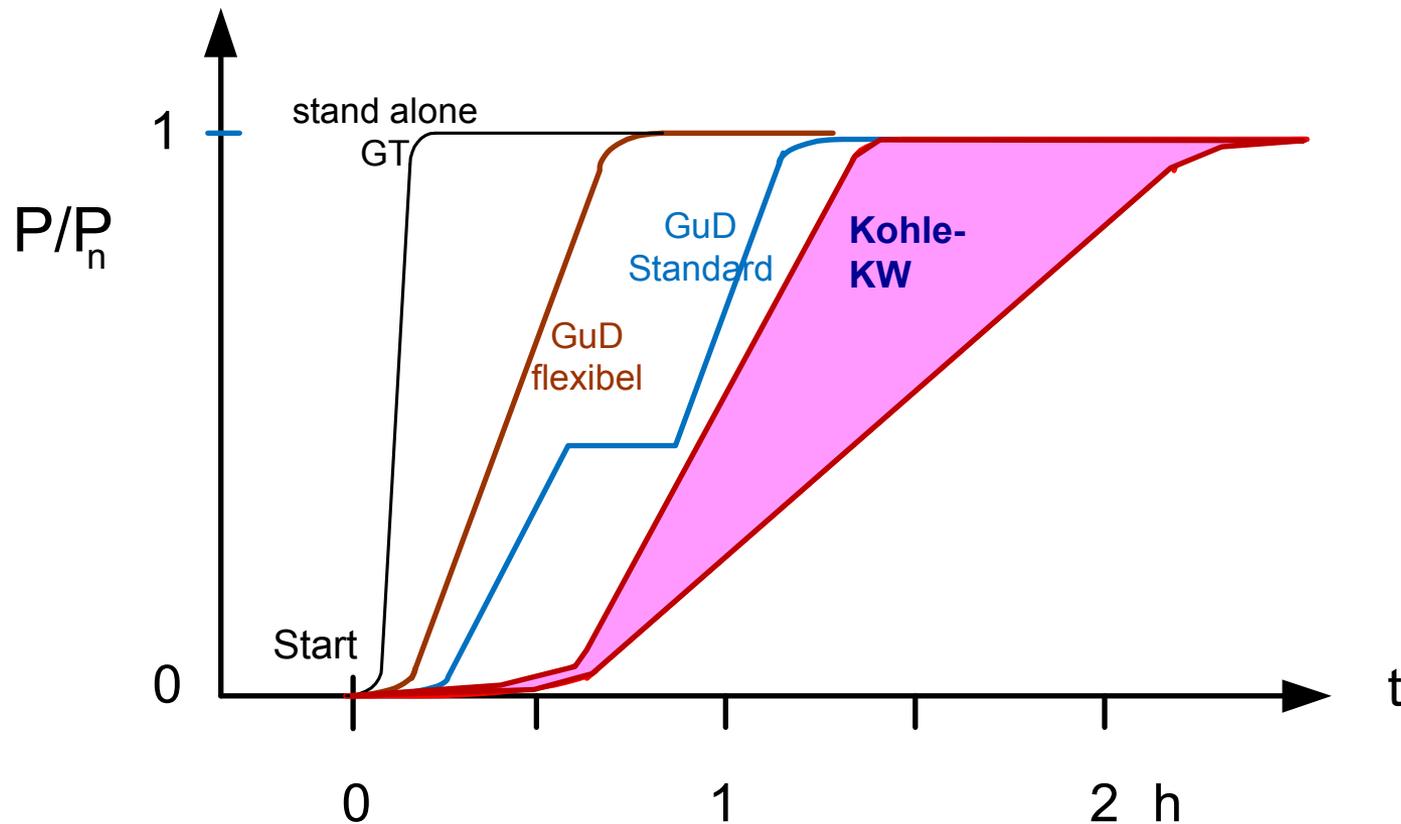
Zukünftige Anforderungen an die thermischen Kraftwerke

- hohe Laständerungsgeschwindigkeit (Gradienten)
- niedrige Mindestlast
- häufiges An- und Abfahren
- hohe Wirkungsgrade im Teillastbereich

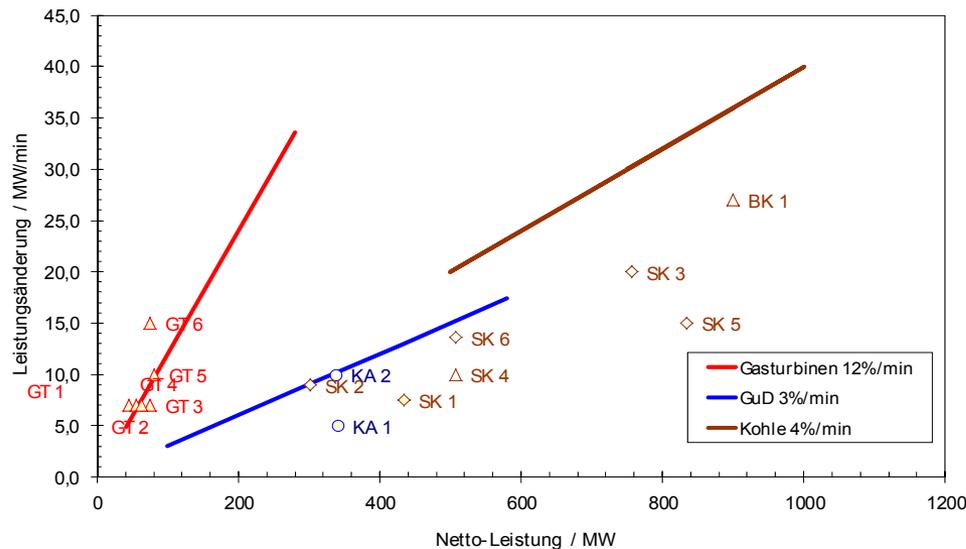
Erzeugungspark 2020: konventionell % EE



Leistungsgradienten von thermischen Kraftwerken (Prinzipielle Darstellung)



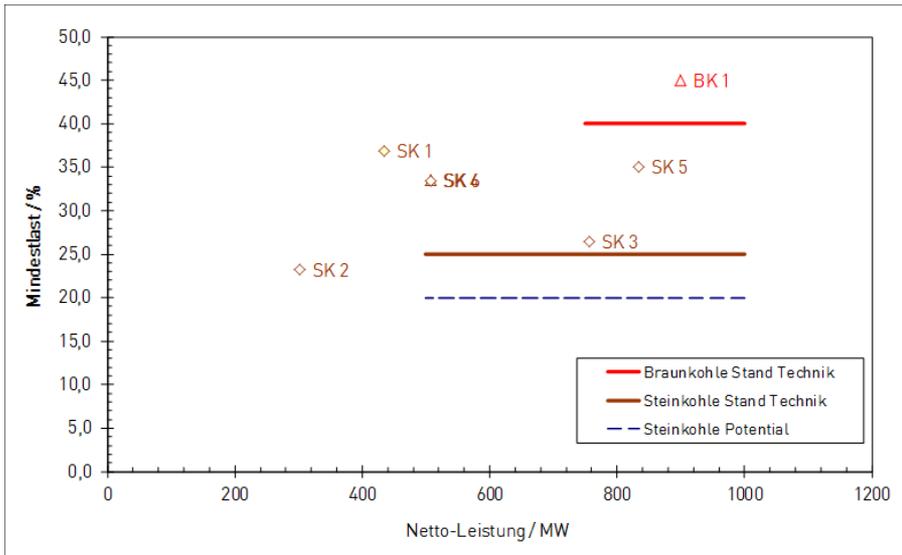
Stand der Technik konventioneller Anlagen Laständerungsgeschwindigkeiten



- **Der Stand der Technik**
 - 12%/min (Gas)
 - 4%/min (Kohle)
 - 3%/min (GuDs)
- **Anforderungen heute**
 - 2%/min innerhalb 5 min
 - Max Abweichung +/- 5MW
- **Aktuell erfüllen bei die Stein- und Braunkohleanlagen nicht alle Anlagen den Stand der Technik.**
- **Der häufigste Grund liegt in der fehlenden Notwendigkeit hierfür.**

Stand der Technik konventioneller Anlagen

Mindestlast



■ Der Stand der Technik

- ca. 25% (Steinkohle)
- ca. 40% (Braunkohle)
- ca. 40%- 50% (Gas)

■ Aktuell erfüllen nicht alle Anlagen den Stand der Technik.

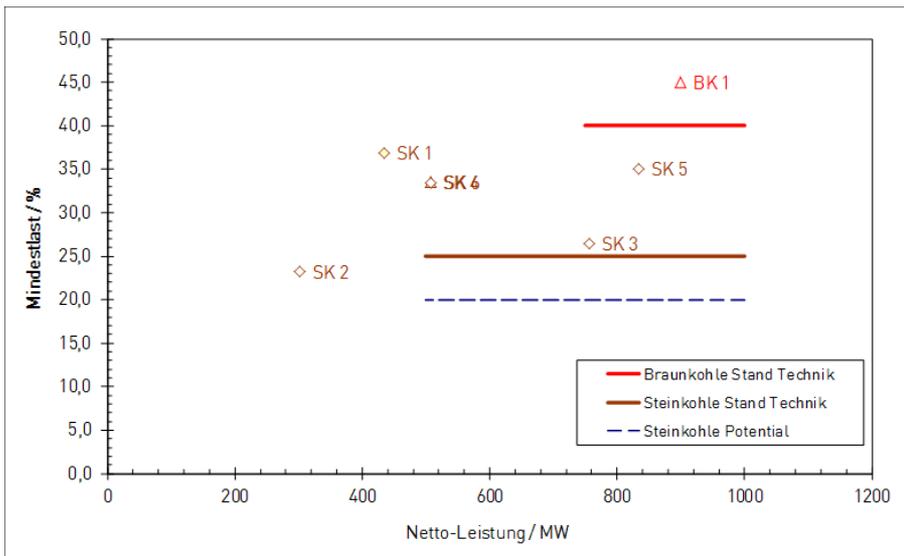
- Der häufigste Grund liegt in der fehlenden Notwendigkeit hierfür.

■ Heute optimiert auf

- Max Leistung
- Max Wirkungsgrad
- Max Lebensdauer
- Min Betriebskosten
- Min Emissionen

Potenzial und Grenzen der Flexibilisierung von konventionellen Kraftwerken

Mindestlast



■ Potenzial:

- Größtes Potenzial liegt bei den Steinkohleanlagen
- 1 Mühlenbetrieb (20%)
- Feuerraumüberwachung
- Brennstoffoptimierung

■ Grenzen:

- Emissionswerte (Gas)
- Unterschreitung Taupunkttemperaturen im Rauchgas
- Reduzierte Katalysator-effektivität in der DENOX
- Verdampfermindestmenge
- Absinken der Frischdampf- und ZÜ-Temperaturen

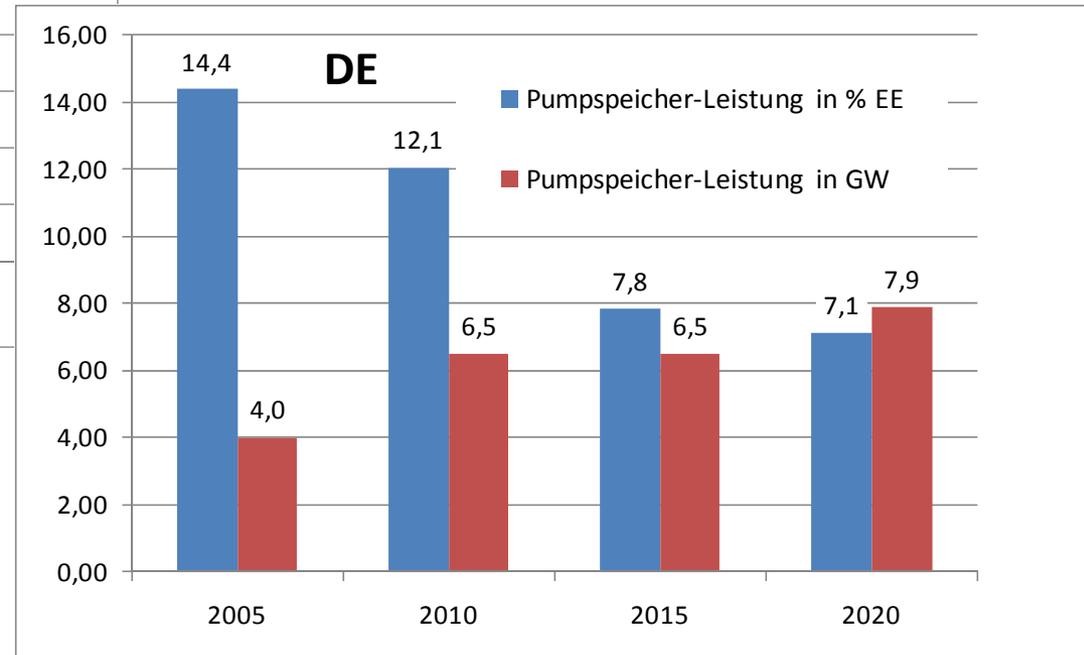
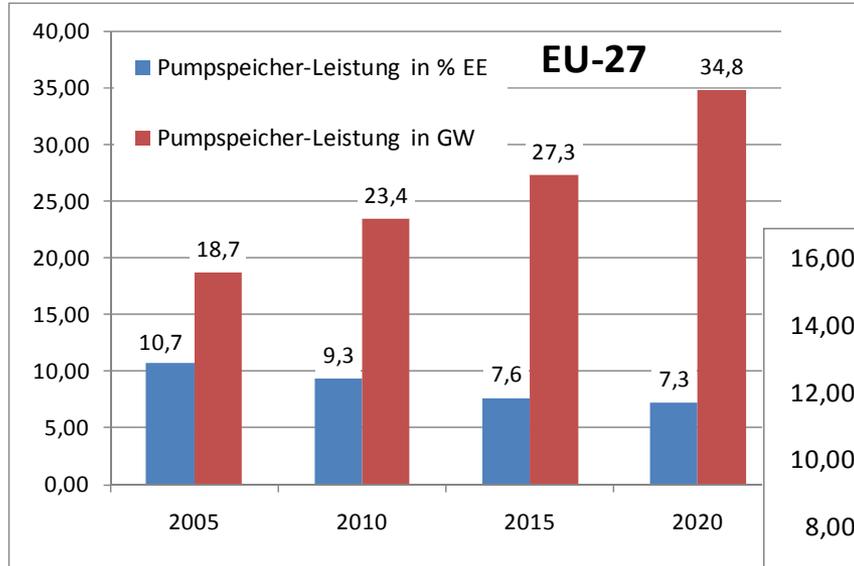
■ **Ausblick /Zusammenfassung**

- Transformation von Grund-, Mittel-, Spitzenlastkraftwerken zu flexiblen Erzeugungseinheiten
- Bestehende Anlagen haben noch Potential, den Anforderungen an flexible Erzeugung zu folgen:
 - ▶ Tiefere Mindestlasten
 - ▶ Höhere Laständerungsgeschwindigkeit
 - ▶ Optimierte Anfahren
- Optimierungsmöglichkeiten sind noch nicht ausgeschöpft:
 - ▶ Mechanische Anpassungen
 - ▶ Leittechnische Anpassungen
- Höhere Anforderungen an Laständerungsgeschwindigkeit hat direkte Auswirkung auf die Lebensdauer.
- Ideale Voraussetzungen bieten Gas- bzw. GUD-Anlagen, jedoch bei deutlich geringerer Betriebszeit (Vergütung?).

Handlungsbedarf bis 2020 bei unzureichenden Speicherkapazitäten und Netzausbau

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Günther Brauner
TU Wien, Institut für Energiesysteme und
Elektrische Antriebe

Pumpspeicherleistungen in der EU bis 2020



Pumpspeicherleistungen in der Deutschland bis 2020

Ergebnis Pumpspeicher

Die Pumpspeicherleistungen werden bis 2020 voraussichtlich in Deutschland verdoppelt.

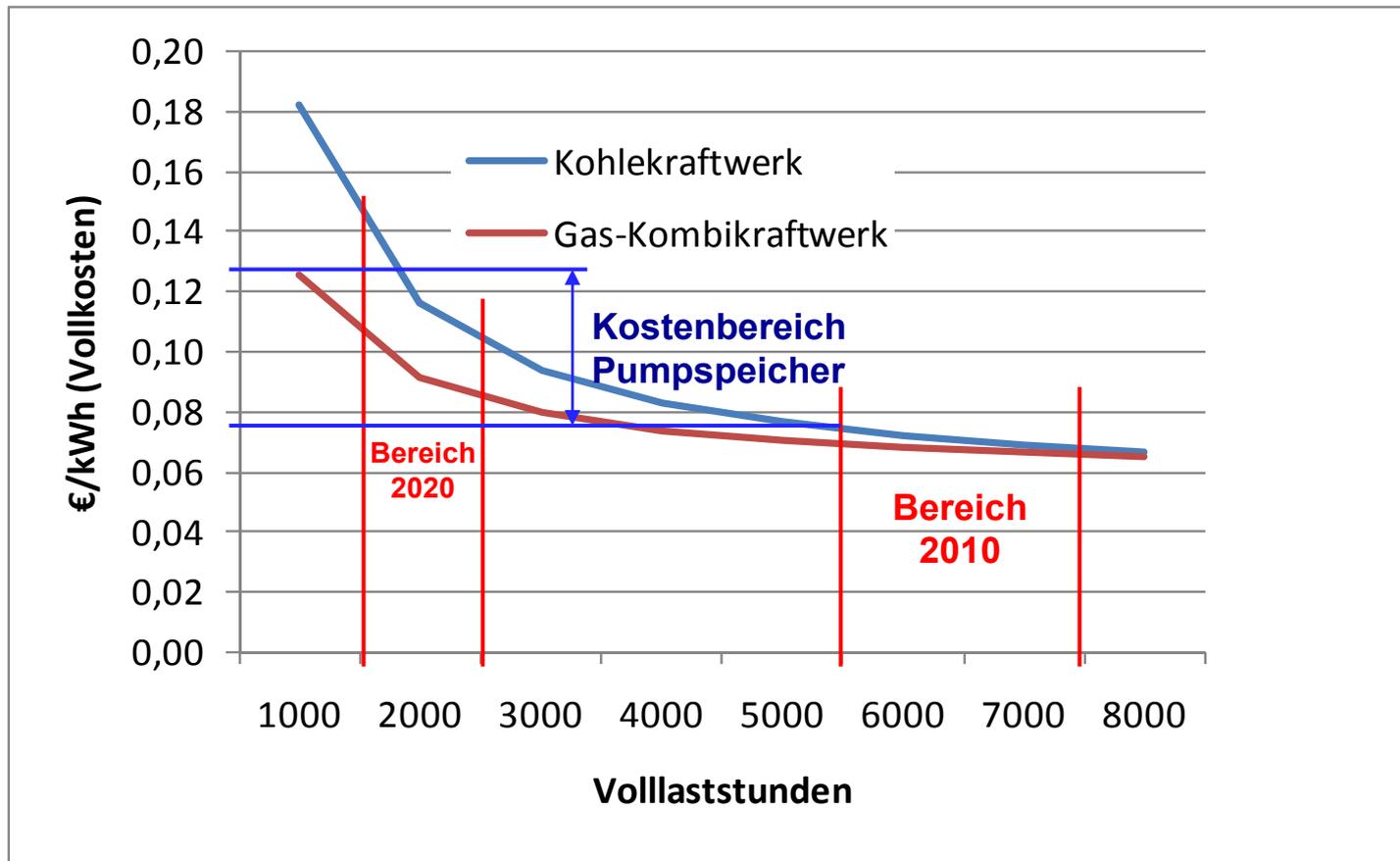
Im Vergleich zum Zubau der EE halbiert sich ihre Wirksamkeit (Leistung und Volumen).

Pumpspeicher können nur als Kurzzeitspeicher eingesetzt werden (Sonnenenergie vom Mittag auf den Abend verlagern).

Langfristige Speichermöglichkeiten von großen Energiemengen sind mit Pumpspeichern weder wirtschaftlich noch technisch zu realisieren

Thermische Kraftwerke haben zukünftig die Aufgabe, fehlende Speicher- und Netzkapazitäten auszugleichen.

Thermische Erzeugungskosten 2020 mit CO₂-Zertifikaten (24 €/t CO₂)



Zusammenfassung

- Die nachhaltige Energieversorgung erfordert eine stark leistungsorientierte Systemauslegung.
- Die Pumpspeicherkraftwerke werden sich bis 2020 in ihrer Kapazität verdoppeln, im Vergleich zu dem Ausbau der EE in ihrer relativen Leistung aber halbieren.
- Als Backup-Versorgung sind thermische Kraftwerke erforderlich, die flexibel einsetzbar sind.
- Neue thermische Kraftwerke müssen die fehlenden Pumpspeicher ersetzen. Ihre spezifischen Erzeugungskosten sind mit Pumpspeichern vergleichbar.

Schlussfolgerungen und Handlungsbedarf

- Die Fluktuation der erneuerbaren Energien benötigt flexible disponible Kraftwerke
- Zukünftig müssen daher erneuerbare Erzeugung und konventionelle, überwiegend thermische Erzeugung auf einander abgestimmt zusammenwirken.
- Für die thermischen Kraftwerke ergeben sich höhere Anforderungen durch steile Gradientenfahrweise, häufigere An- und Abfahrten sowie niedrigere Mindestlast und hierdurch erhöhten Verschleiß und Lebensdauermin-derung
- Die Auslastung der thermischen Kraftwerke wird drastisch sinken und damit ist deren wirtschaftlicher Betrieb unter den heutigen Marktbe-dingungen gefährdet.
- Es sind geeignete Regulierungs- und Geschäftsmodelle zu entwickeln, um eine thermische Mindestkapazität auch bei niedrigen Volllaststunden wirtschaftlich darstellen zu können.

Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

Anfragen an:

Melanie Mora

Pressesprecherin

**VDE VERBAND DER ELEKTROTECHNIK
ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK e.V.**

**Stresemannallee 15
60596 Frankfurt am Main**

Tel.: +49 69 6308-461

Mobil: +49 175 1874333

Fax: +49 69 63089461

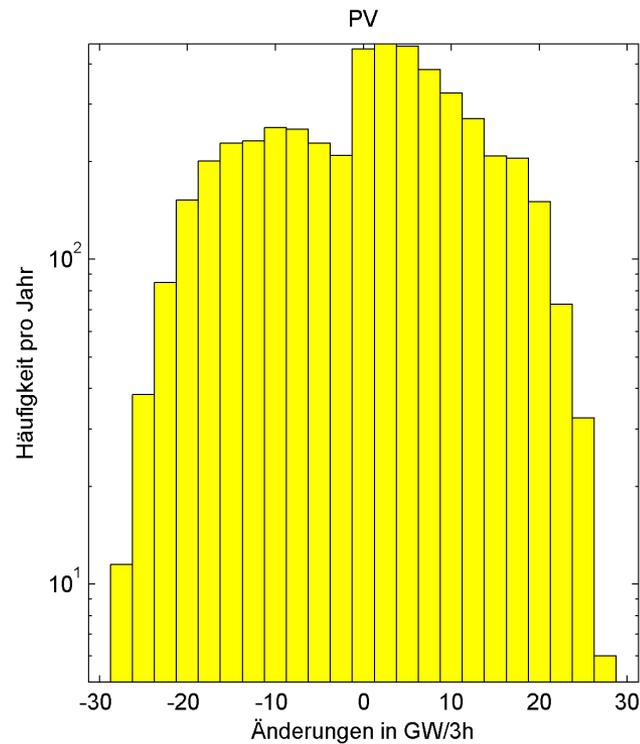
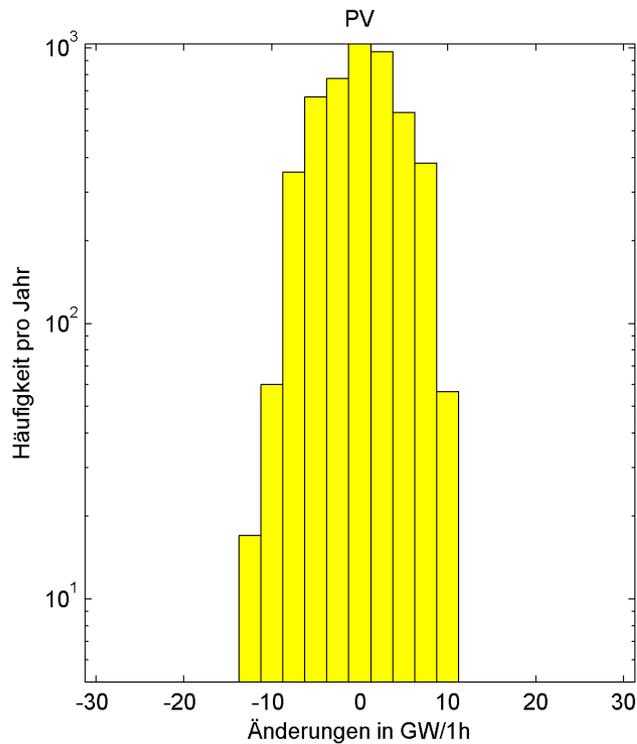
melanie.mora@vde.com

presse@vde.com

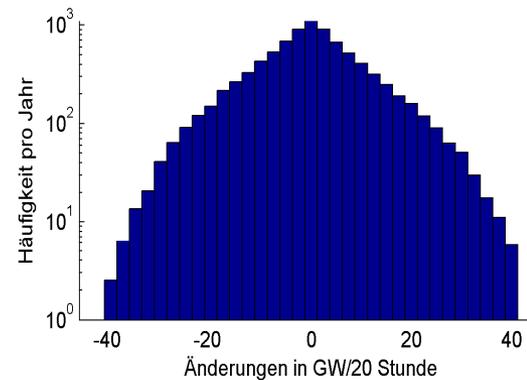
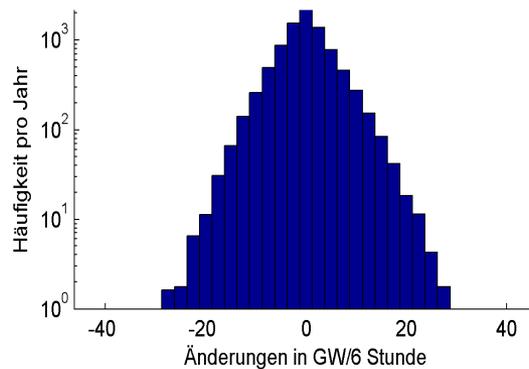
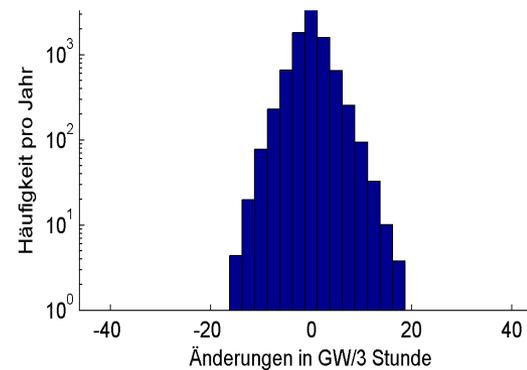
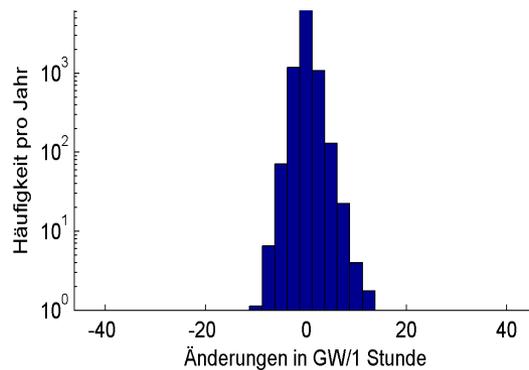
<http://www.vde.com>

The logo consists of the letters 'VDE' in a bold, blue, sans-serif font. The letters are closely spaced and have a slight shadow effect.

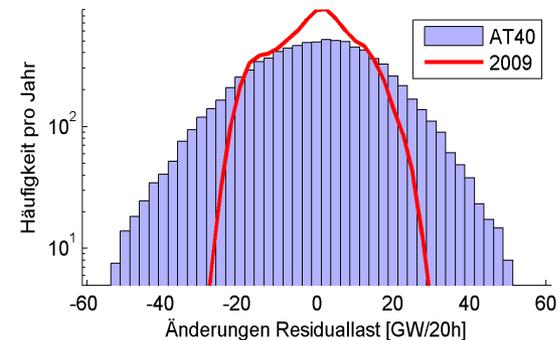
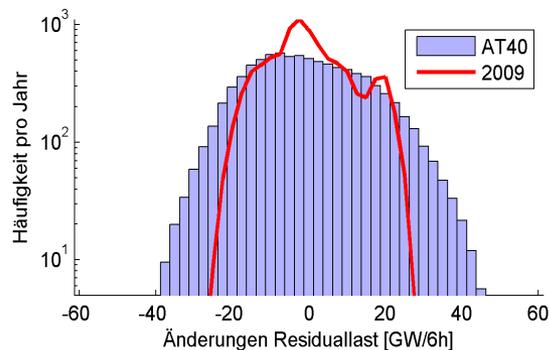
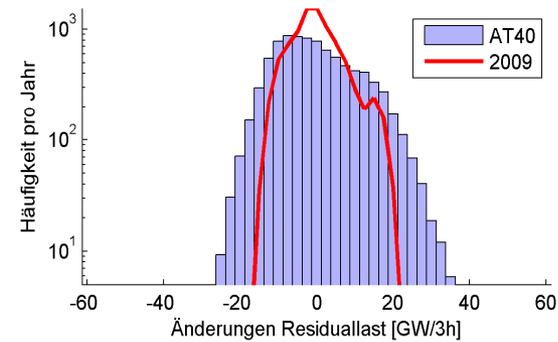
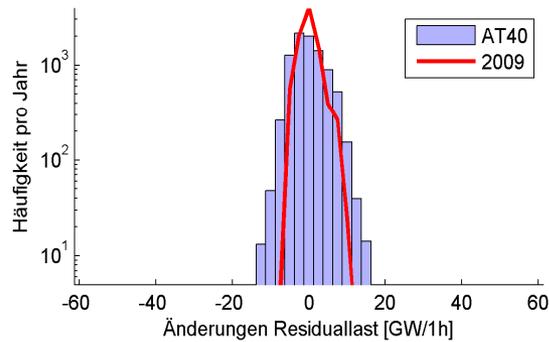
Wahrscheinlichkeitsverteilung der PV-Gradienten für das Deutsche Energienetz 2020 (bis 12 GW/h)



Wahrscheinlichkeit der Windgradienten bis 2020 im Deutschen Energienetz



Ergebnis 2020: Gradienten der Residuallast



Das Potential der heutigen thermischen Kraftwerke

Kraftwerkstyp		Steinkohle	Braunkohle	Gas- und Dampfkraftwerk (GuD)	Gasturbine solo
Lastgradient	%P _N /min	1,5 / <u>4</u> / 6	1 / <u>2,5</u> / 4	2 / <u>4</u> / 8	8 / <u>12</u> / 15
im Bereich	%P _N	40 – 90	50 - 90	40*) - 90	40*) - 90
Minimallast	%P _N	40 / <u>25</u> / 20	60 / <u>50</u> / 40	50 / <u>40</u> / 30	50 / <u>40</u> / 20
Anfahrzeiten:					
Heiß (< 8 h)	h	3 / <u>2,5</u> / 2	6 / <u>4</u> / 2	1,5 / <u>1</u> / 0,5	< 0,1
Kalt (> 48 h)	h	10 / <u>5</u> / 4	10 / <u>8</u> / 6	4 / <u>3</u> / 2	< 0,1

Anforderungen:

Niedrige Minimallast

Hohe Lastgradienten

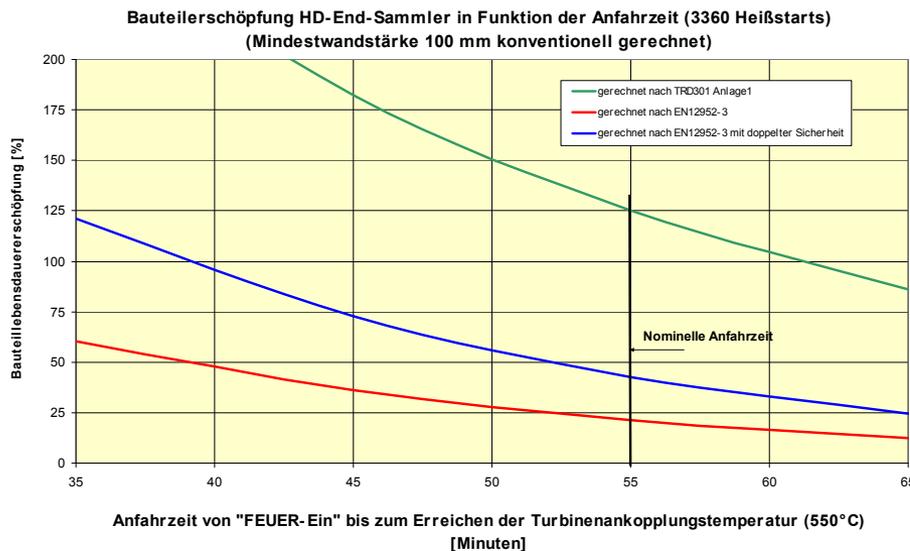
Kurze Anfahrzeiten

Lesehinweis: heute üblich / Stand der Technik / Optimierungspotential

- **Alle thermischen Kraftwerke sind grundsätzlich geeignet zur Lösung der zukünftigen Aufgaben beizutragen**

Potenzial und Grenzen der Flexibilisierung von konventionellen Kraftwerken

Gradienten / Anfahrzeiten



■ Potenzial:

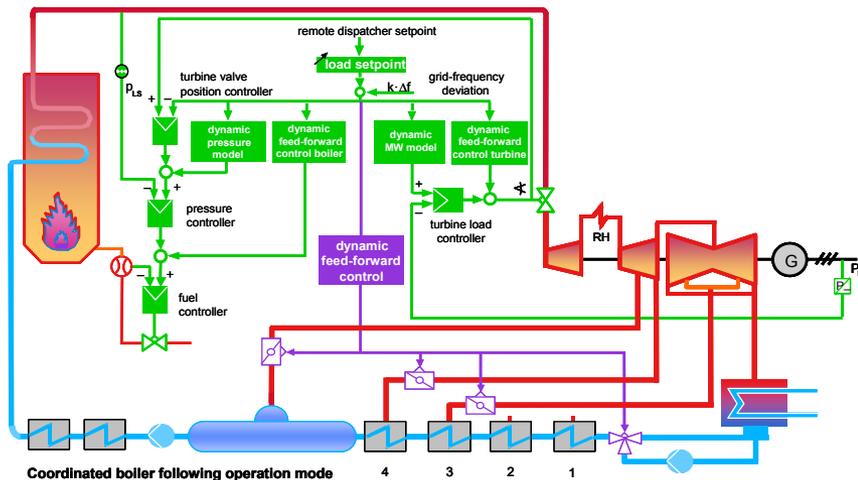
- Lebensdauerverbrauch für Bestandsanlagen wird sich durch Reduktion der Volllaststunden reduzieren.
- Heute 200.000 h
- Neue Bewertung der Bauteilerschöpfung
- Somit können die Lastgradienten angehoben werden.

■ Grenzen:

- Höhere Gradienten haben negativen Einfluss auf die Lebensdauer der Bauteile.
- Wanddicke bei dickwandigen Bauteile

Maßnahmen und leittechnische Lösungen

Modellbasierte Regelungen

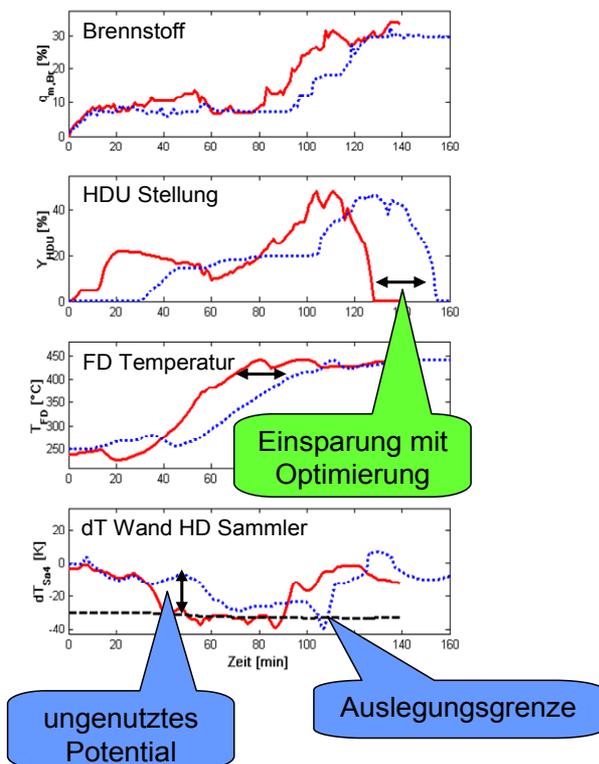


- Mind. Lastrampen von 2%/min innerhalb 5 Min; max Regelabweichung 5MW
- Modellbasierte (Block)regelungen
- Zusätzliche Maßnahmen:
 - Nachrüstung schneller Antriebe und Regeldrehklappen
 - Mühlenregelung
 - Verschiedene Androsselungen
- Berücksichtigung der thermischen Belastungsgrenzen während der Laständerungen

Maßnahmen und leittechnische Lösungen

Anfahrtoptimierung

Klassisch – Optimiert



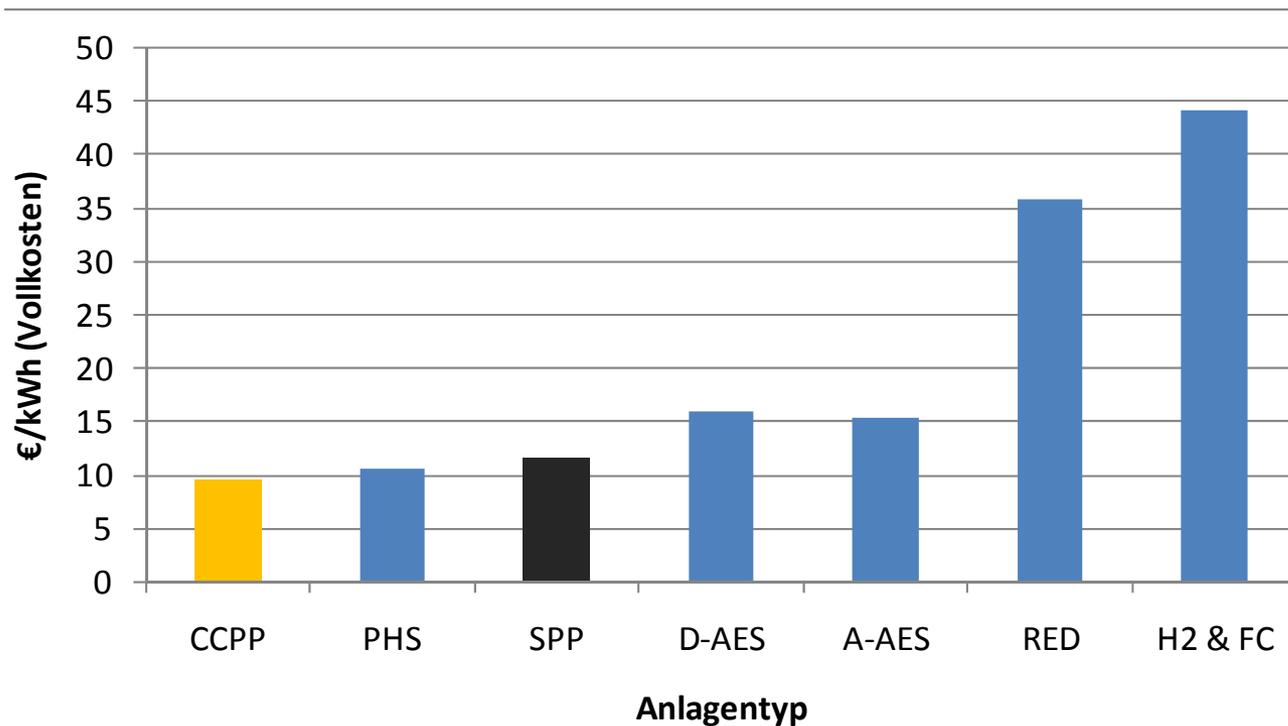
■ Klassischer Anfahrvorgang:

- Konservative Einstellung zur Einhaltung der Auslegungsgrenzen

■ Optimierter Anfahrvorgang:

- Gezielte Ausnutzung von Auslegungsgrenzen zur effizienten Prozessführung
- Basierend auf Prozessmodell
- vorausschauende Koordination mehrerer Einflussgrößen
- On-line Optimierung in Echtzeit
- Technologie: NMPC

Kostenvergleich von Speichertechnologien



CCPP combined cycle PP
PHS pumped hydro storage
SPP steam power plant
D-AES diabatic air energy storage
A-AES adiabatic air energy storage
RED redox battery
H2&FC hydrogen & fuel cell