



## Die Berater der Energie- und Wasserwirtschaft

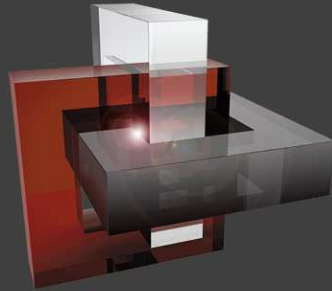


### BEE Plattform Systemtransformation 2012 Modul Ausgleichsmöglichkeiten – Vorstellung erster Zwischenergebnisse

---

Dr. Norbert Krzikalla

BEEtreff: Dialogkonferenz, Berlin, 14.12.2012



**Netzberatung**  
**Managementberatung**  
**Marktberatung**

## Unternehmen

BET ist seit 20 Jahren ein führendes Beratungsunternehmen für die Energie- und Wasserwirtschaft mit Büros in Hamm und Leipzig und einer Tochtergesellschaft in der Schweiz. Die BET steht für Konzepte, die Wettbewerb fördern und funktionierende Märkte gewährleisten. Wir sind ein von Einzelinteressen unabhängiges Beratungsunternehmen. Alle Gesellschaftsanteile werden von den Geschäftsführern und Mitarbeitern gehalten.

## Kunden

Zu den Kunden der BET gehören Stadtwerke, Netzbetreiber, Energiehändler, dezentrale Erzeuger, Großkraftwerksbetreiber, Kooperationsgesellschaften und energieintensive Industriekunden. Im Rahmen unserer Politikberatung betreuen wir Behörden, Ministerien und politische Entscheidungsträger. Deutschland ist unser Kernmarkt. Wir richten unseren Fokus aber zunehmend auch auf die europäischen Energiemärkte.

## Beratung

Unsere Arbeit umfasst alle Schritte vom strategischen Konzept bis hin zur Umsetzung in allen Wertschöpfungsstufen der Energie- und Wasserwirtschaft. Wir erarbeiten gemeinsam mit unseren Kunden innovative und praxisnahe Lösungen, weil wir sowohl die betriebs- und energiewirtschaftlichen, als auch die technischen Grundlagen umfassend beherrschen. Wir verfügen über ein erfahrenes Expertenteam aus mehr als 50 Ingenieuren, Wirtschaftsingenieuren und Ökonomen.

Entsprechend der Aufgabenstellung werden die Projektteams geschäftsbereichsübergreifend besetzt. Unser Anspruch ist, mit interdisziplinär vereintem Fachwissen und erfolgsorientierter Kreativität genau die Lösung zu finden, die passt.

## Kurzvorstellung



**Dr.-Ing. Norbert Krzikalla**

- Jahrgang 1959
- Studium des Maschinenwesens, Fachrichtung Wärmetechnik an der RWTH Aachen, Diplom 1986, Promotion 1993 am Forschungszentrum Jülich auf dem Gebiet "Innovative Kohlekraftwerkskonzepte"
- 1992 - 1998: beratender Ingenieur bei Industrie & Communal Consulting GmbH, Aachen
- seit 1998: Berater und Gutachter bei BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH in Aachen
- Thematische Schwerpunkte:
  - Kraftwerksprojekte
  - Energiemarktmodelle und -szenarien
  - Erzeugungsmarkt
  - Kraft-Wärme-Kopplung
  - Erneuerbare Energien
  - CO<sub>2</sub>-Emissionshandel
- Autor diverser Fachartikel zum EEG, KWK-Gesetz und zur Bewertung von Kraftwerksprojekten

# Inhalt

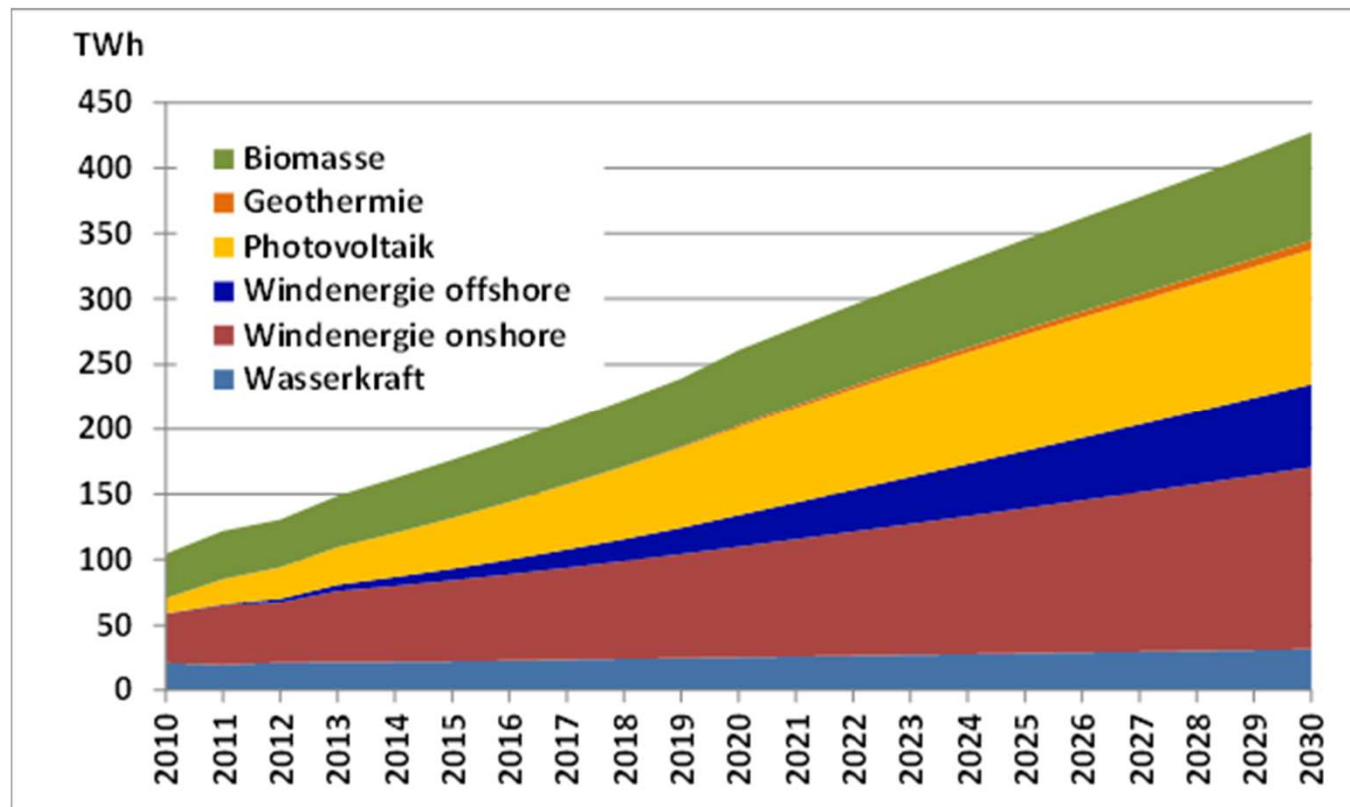
<b>Bedarf an Ausgleichsmaßnahmen</b>	Teil 1
<b>Technologieübersicht und Kriterien</b>	Teil 2
<b>Exemplarische Ergebnisse einzelner Technologien und Maßnahmen</b>	Teil 3
<b>Fazit</b>	Teil 4

## Definition Flexibilität

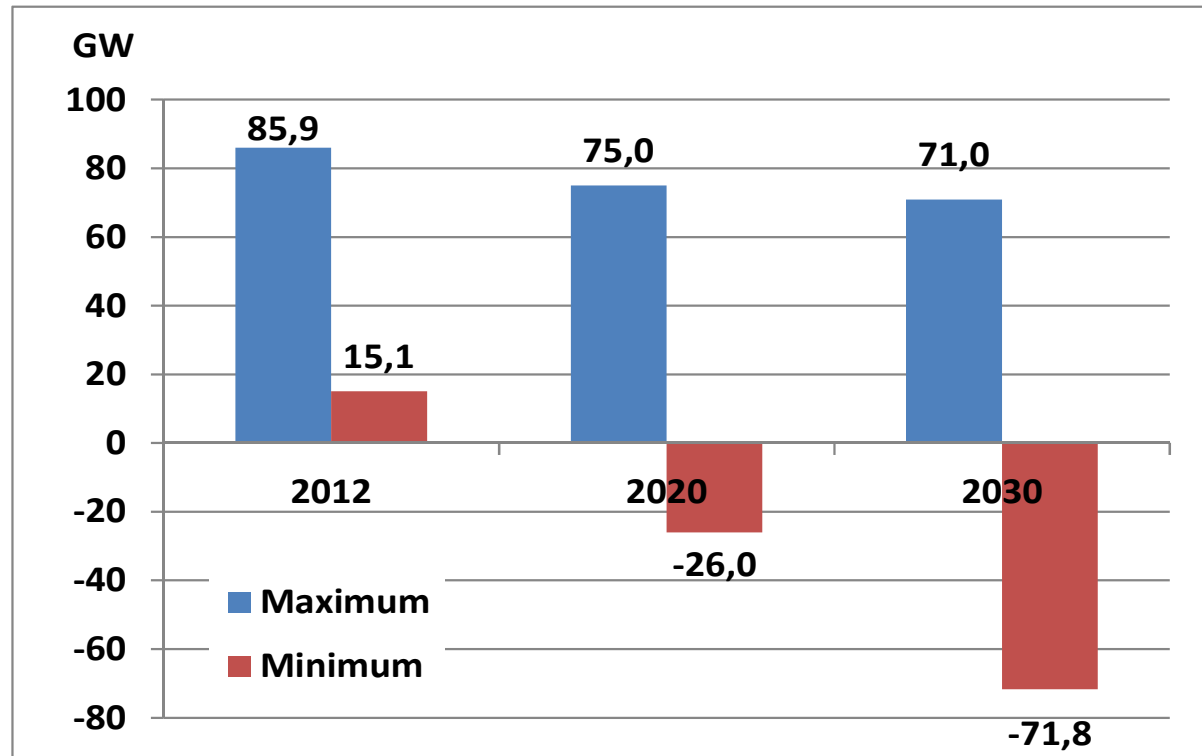
- Flexibilität ist die Eigenschaft der Summe aller Erzeugungsanlagen und Stromverbraucher, die Schwankungen der Residuallast (Nachfrage minus nicht disponible Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien) auszugleichen.
- Sie kann in folgende Teilaspekte gegliedert werden:
  - Positive und negative Bereitstellung von Leistung
  - Maximale Dauer der Leistungsbereitstellung
  - Schnelligkeit der Leistungsbereitstellung (Gradient)
- Derzeit wird nahezu alle benötigte Flexibilität durch den konventionellen Kraftwerkspark bereit gestellt.
- Mit zunehmendem Anteil Erneuerbarer Energien steigt der Bedarf an Flexibilität und sinkt das Angebot aus konventionellen Kraftwerken.
- Netzausbau wird hier nicht als eigene Flexibilitätsoption betrachtet, sondern als Voraussetzung, dass die Flexibilitätsoptionen optimal eingesetzt werden können.
- Gleichwohl kann durch Einsatz anderer Flexibilitätsoptionen auch Netzausbau vermieden werden.

## Bedarf an Ausgleichsmaßnahmen

### Ausbau der Erneuerbaren Energien im BEE-Szenario

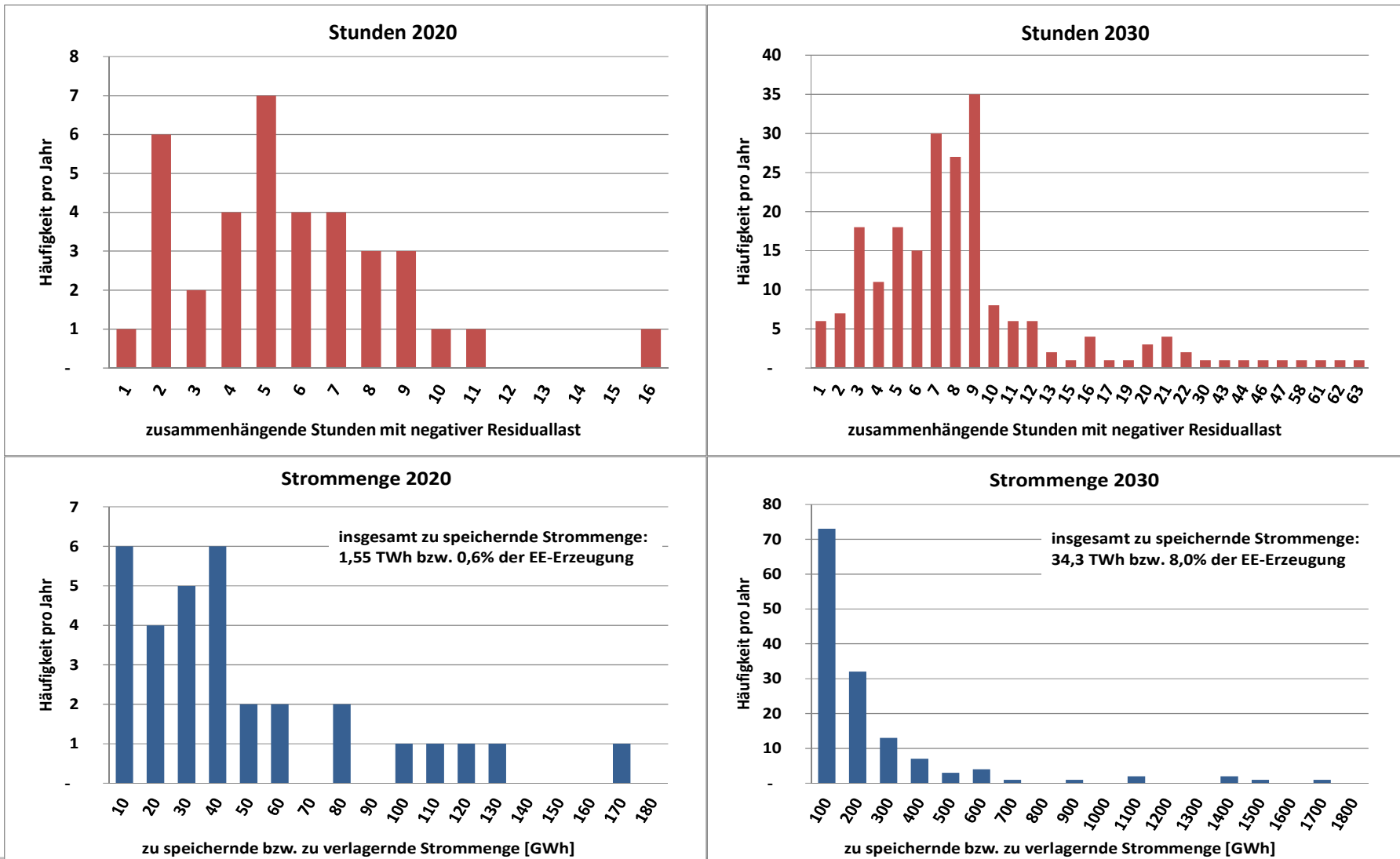


## Maximale und minimale Residuallast



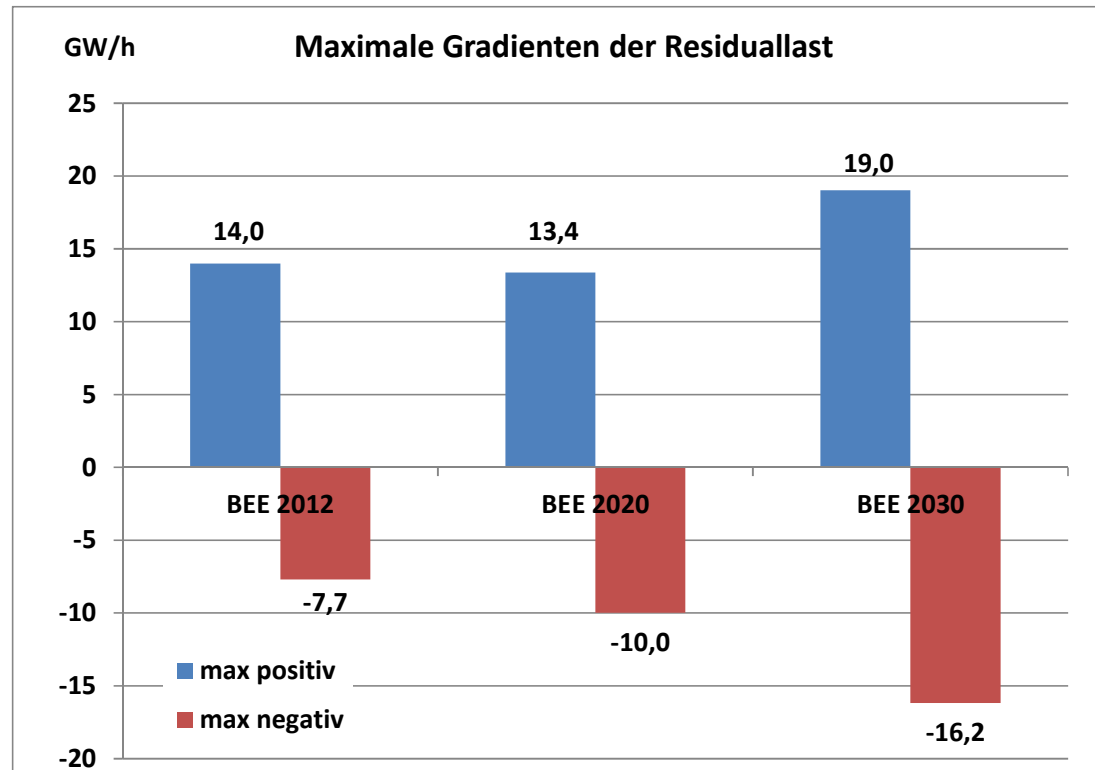
- Erneuerbare Energien senken kaum die Höchstlast der Residuallast.
- Nach 2020 treten vermehrt Überschüsse aus Erneuerbaren Energien auf, die verlagert, gespeichert oder abgeregelt werden müssen.

# Häufigkeit zusammenhängender Perioden mit negativer Residuallast





## Gradienten der Residuallast in GW/h



Nach 2020 nehmen die Gradienten der Residuallast stark zu.

## Technologien (1)

Es werden die im Bericht über die Ergebnisse der Auftaktsitzung der Plattform Erneuerbare Energien, AG Interaktion vom 23.08.2012 benannten Technologien betrachtet:

- Lastmanagement
  - Flexibilisierung der Nachfrage in der Industrie
  - Flexibilisierung der Nachfrage in Haushalten und Kleinverbrauch
  - Power to Heat
- Bedarfsgerechte EE-Stromerzeugung
  - Einspeisemanagement Wind & PV
  - stromgeführte Fahrweise EE-Anlagen (Geothermie, Speicherwasserkraft)
  - stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen
  - Verbesserte Auslegung von Wind/PV Anlagen

## Technologien (2)

- konventionelle Kraftwerke (inkl. KWK)
  - Bestehende Kraftwerke
  - Retrofit bestehender Kraftwerke
  - Neubau hochflexibler thermischer Kraftwerke
  - Stromgeführte Fahrweise KWK (in Verbindung mit Wärmespeichern)
  - Nutzung von Netzersatzanlagen
  
- Speicher
  - Pumpspeicher in Deutschland
  - Pumpspeicher im Ausland
  - Gasproduktion aus Biomasse statt direkter Verstromung
  - Power to gas
  - Batterien (unterschiedliche Typen)
  - Elektromobilität
  - Druckluftspeicher

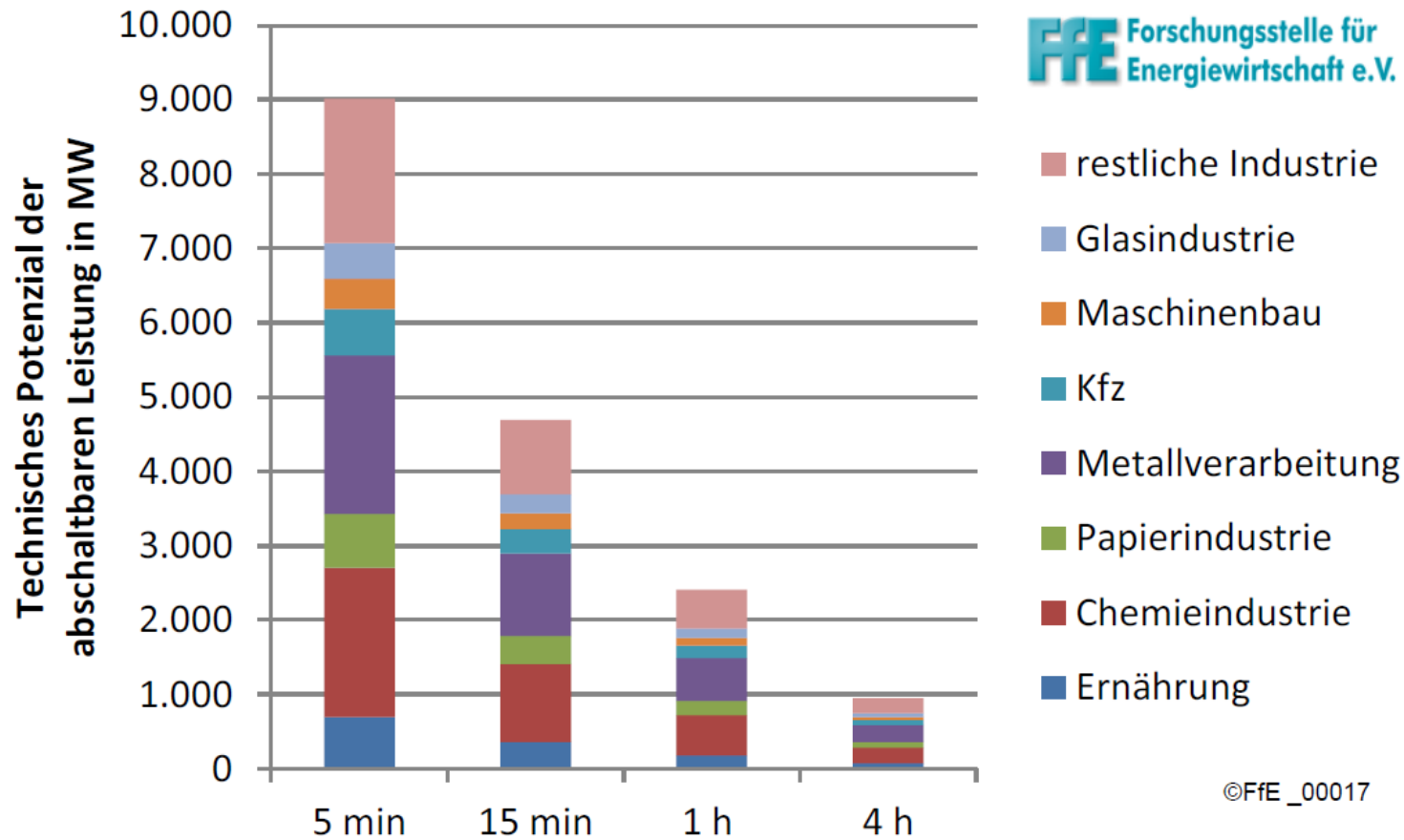
## Kriterien, Eigenschaften

- Entwicklungsstand der Technik
- Heute vorhandene installierte Leistung
- Potenzial für künftig nutzbare Leistung (positiv, negativ; 2020, 2030, 2050)
- Maximale Bereitstellungsdauer (Minuten, Stunden, Tage, Wochen)
- Laständerungsgeschwindigkeit (%/min.)
- Zuschaltgeschwindigkeit aus dem Stillstand
- Laständerungspotenzial (GW/h) (2020, 2030, 2050)
- Kosten (Bandbreite €/kW)
- Wirtschaftlichkeit
- Wann voraussichtlich benötigt?
- Umsetzungshemmnisse
- Maßnahmen zur Förderung der Technik bzw. zum Abbau der Hemmnisse

## Lastmanagement in der Industrie

- Zeitliche Verlagerung von Stromverbrauch
- Technische Voraussetzungen sind weitgehend gegeben
- Grundsätzlich geeignete Branchen: Zement, Chlor, Aluminium, Stahl, Papier
- Derzeit werden ca. 500 MW positive und 125 MW negative Minutenreserve vermarktet.
- Das Potenzial hängt stark davon ab, für welche Dauer die Last verlagert werden soll.
- Für kurzfristige Verlagerungen für Dauern von bis zu einer Stunde besteht ein Potenzial, das zu sehr niedrigen Kosten erschließbar ist, solange hierdurch keine Produktionsausfälle entstehen.
- Im Fall von Produktionsverzicht wird es schnell sehr teuer.
- Hemmnis: Regelungen der Netzentgeltverordnung zielen auf eine Vergleichmäßigung des Strombezugs aus dem Netz → Zielkonflikt zu kurzfristigen Lastverlagerungen

## Abschaltbare Lasten in der Industrie



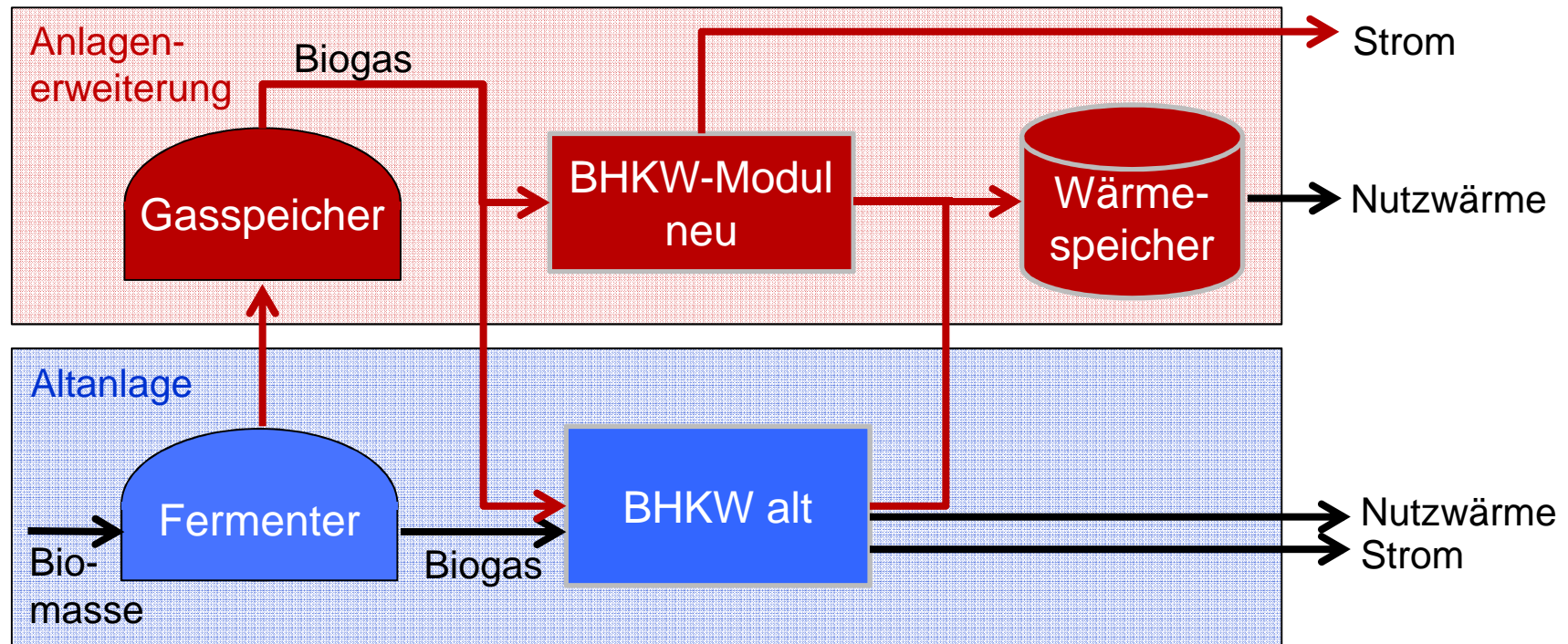
Quelle: von Roon, S., Gobmaier, T.: Demand Response in der Industrie – Status und Potenziale in Deutschland, 2010

## Stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen

- Biomasse-Anlagen wurden bisher als Grundlastanlagen konzipiert.
- Um die Anlagen stromgeführt fahren zu können, ist sowohl die Errichtung eines Gasspeichers, eines Wärmespeichers und eine Leistungserhöhung der Anlage erforderlich, da dieselbe Brennstoffmenge in kürzerer Zeit verbrannt werden muss bzw. dieselbe Wärmemenge in diesem Zeitraum erzeugt werden muss.
- Seit 2012 wurde mit der Flexibilitätsprämie im EEG erstmals ein Anreiz geschaffen, die Leistung der Anlagen entsprechend zu erhöhen.
- Unter der Annahme, dass 20% aller Bestandsanlagen und 50% aller Neuanlagen für stromgeführte Fahrweise nachgerüstet bzw. ausgelegt werden, ergibt sich für das Jahr 2020 ein Potenzial für Lastverlagerungen von ca. +/-3,6 GW, das bis 2030 auf +/-4,6 GW und bis 2050 auf +/-4,9 GW ansteigt. Würden alle Biomasse-Anlagen entsprechend erweitert bzw. konzipiert, ergäbe sich ein Potenzial von +/-14 GW in 2020 bzw. 16 GW in 2030 und 17 GW in 2050.
- Verlagerungsmöglichkeit über mehrere Stunden
- An- und Abfahren innerhalb von ca. 5 Minuten

# Stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen

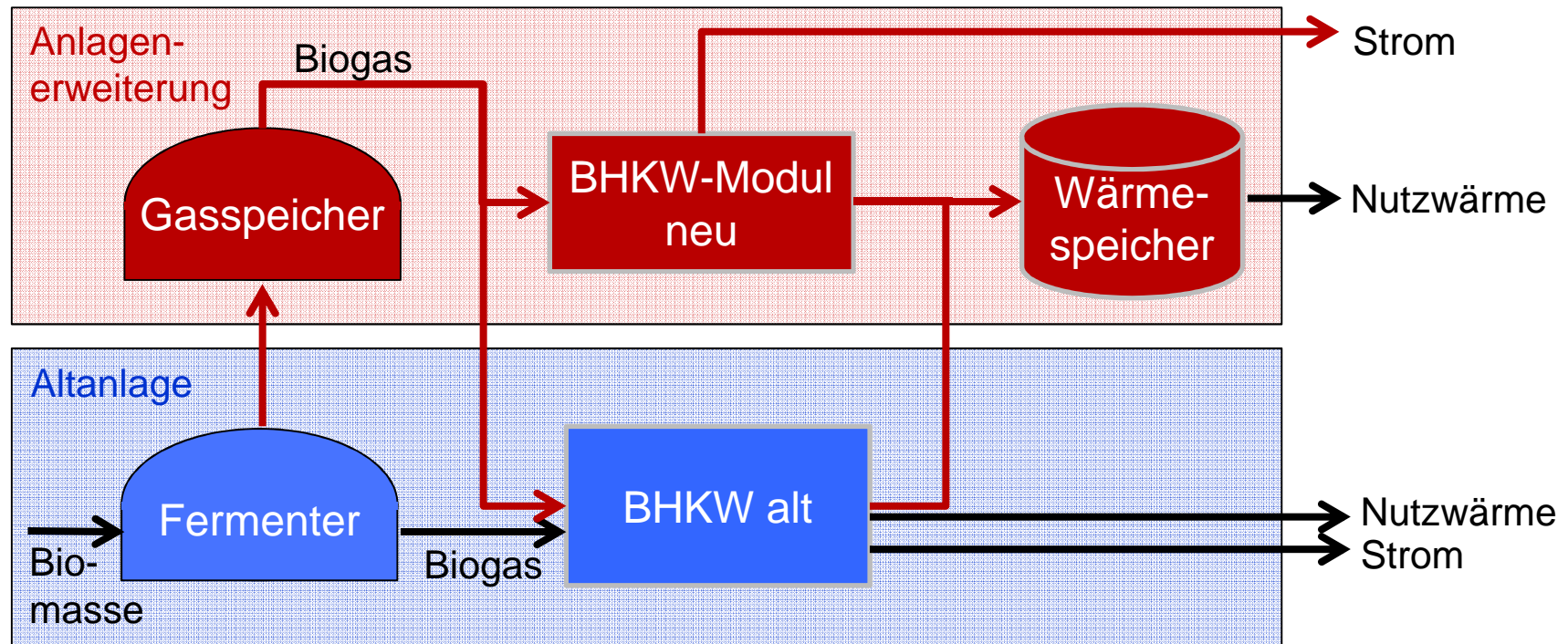
## Erforderliche Erweiterung von Bestandanlagen





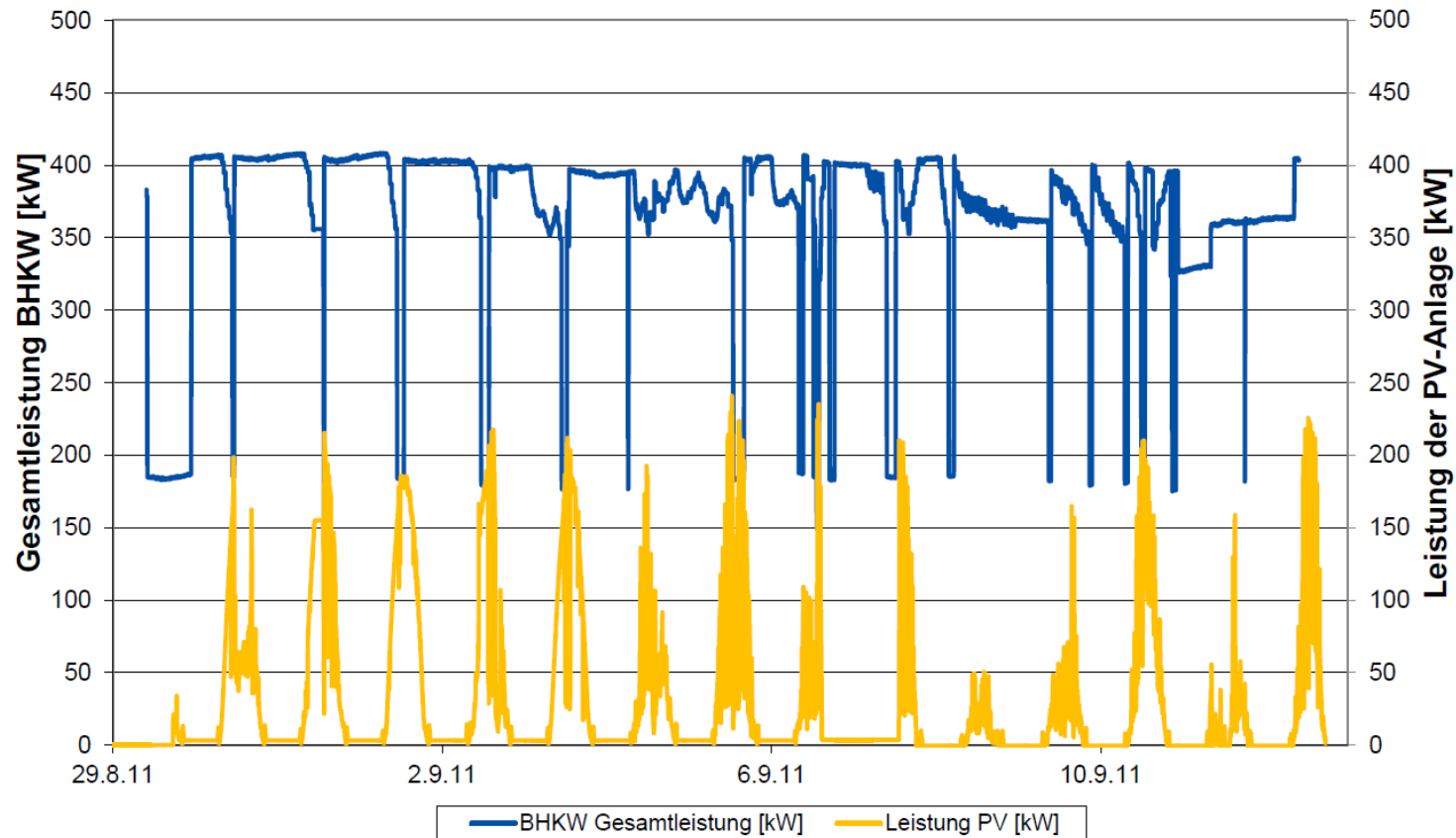
# Stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen

## Erforderliche Erweiterung von Bestandanlagen



# Stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen

## Biogasspeicherung in Abhängigkeit von der PV-Einspeisung - Praxisbeispiel

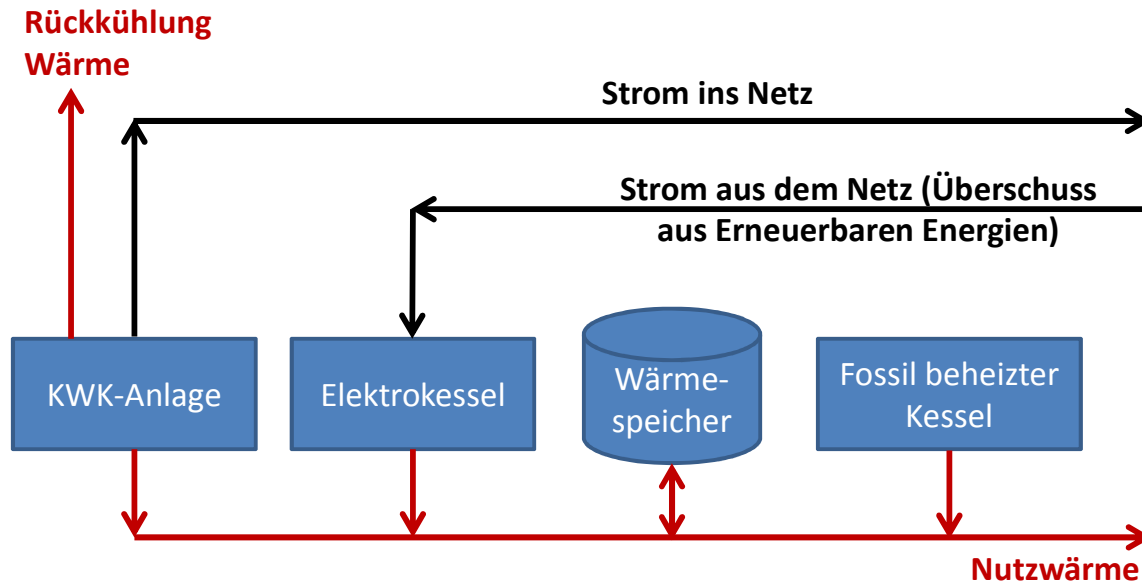


Quelle: Dr. Jürgen Gröner, RWE: "Smart Country" im Praxistest Modellregion Eifel

## Stromgeführte Fahrweise Biomasse-Anlagen – Wirtschaftlichkeit

- Flexibilitätsprämie bei 130 €/kW zusätzlicher elektrischer Leistung
- Entspricht bei 50% Leistungserhöhung und 4.000 Vollbenutzungsstunden 1,1 ct/kWh
- Annahme zusätzliche Stromerlöse: 0,5 ct/kWh
- Zusätzliche Kosten laut „Berger, K.; Kostenermittlung der notwendigen technischen Maßnahmen zur bedarfsgerechten Stromeinspeisung aus Biogasanlagen, Masterarbeit Hochschule Mannheim, 2010“: 2-4 ct/kWh
- Damit wäre die Wirtschaftlichkeit der Erweiterungsmaßnahmen noch nicht gegeben.
- Der Einsatz könnte in Verteilnetzen mit viel PV heute schon sinnvoll sein zur Vermeidung von PV-Abregelung. Ggf. ist hier ein zusätzlicher Anreiz erforderlich durch fast kostenlose Lieferung des Überschussstroms an den Betreiber der Biomasse-Anlage (analog „Power to Heat“)
- Ohne Netzengpässe eher nach 2020

## Stromgeführte Fahrweise KWK – Technische Optionen



- Nur Wärmespeicher kann KWK-Stromerzeugung zeitlich verlagern → erfordert bei gleicher Wärmeerzeugung größere Auslegung der KWK-Anlage.
- Mit Rückkühlung kann zusätzlicher Kondensationsstrom erzeugt werden.
- Fossil beheizter Kessel vermeidet unwirtschaftliche KWK-Stromerzeugung bei niedrigen Strompreisen.
- Elektrokessel vermeidet unwirtschaftliche KWK-Stromerzeugung bei sehr niedrigen Strompreisen und kann Überschüsse aus Erneuerbaren Energien nutzen.

## Stromgeführte Fahrweise KWK – Potenzial

- Durch Ausstattung aller KWK-Anlagen mit Wärmespeichern und eine entsprechende Leistungserhöhung lassen sich prinzipiell alle KWK-Anlagen zu stromgeführten Anlagen umrüsten.
- Bei Umsetzung des anvisierten KWK-Ausbaus auf 25% der Stromerzeugung führt dies zu einem Potenzial an Leistungsbereitstellung von ca. +/-25 GW bis 2020.
- Geschätzt werden hiervon bisher ca. +9 / -4,5 GW genutzt vor allem durch Entnahme-Kondensationsanlagen.
- Das zeitliche Verlagerungspotenzial beträgt abhängig von der Größe des Wärmespeichers einige Stunden.
- Die Laständerungsgeschwindigkeiten sind abhängig von der jeweiligen Technik sehr unterschiedlich. Besonders schnell am Netz sind BHKW-Anlagen ( $\leq 5$  Minuten).

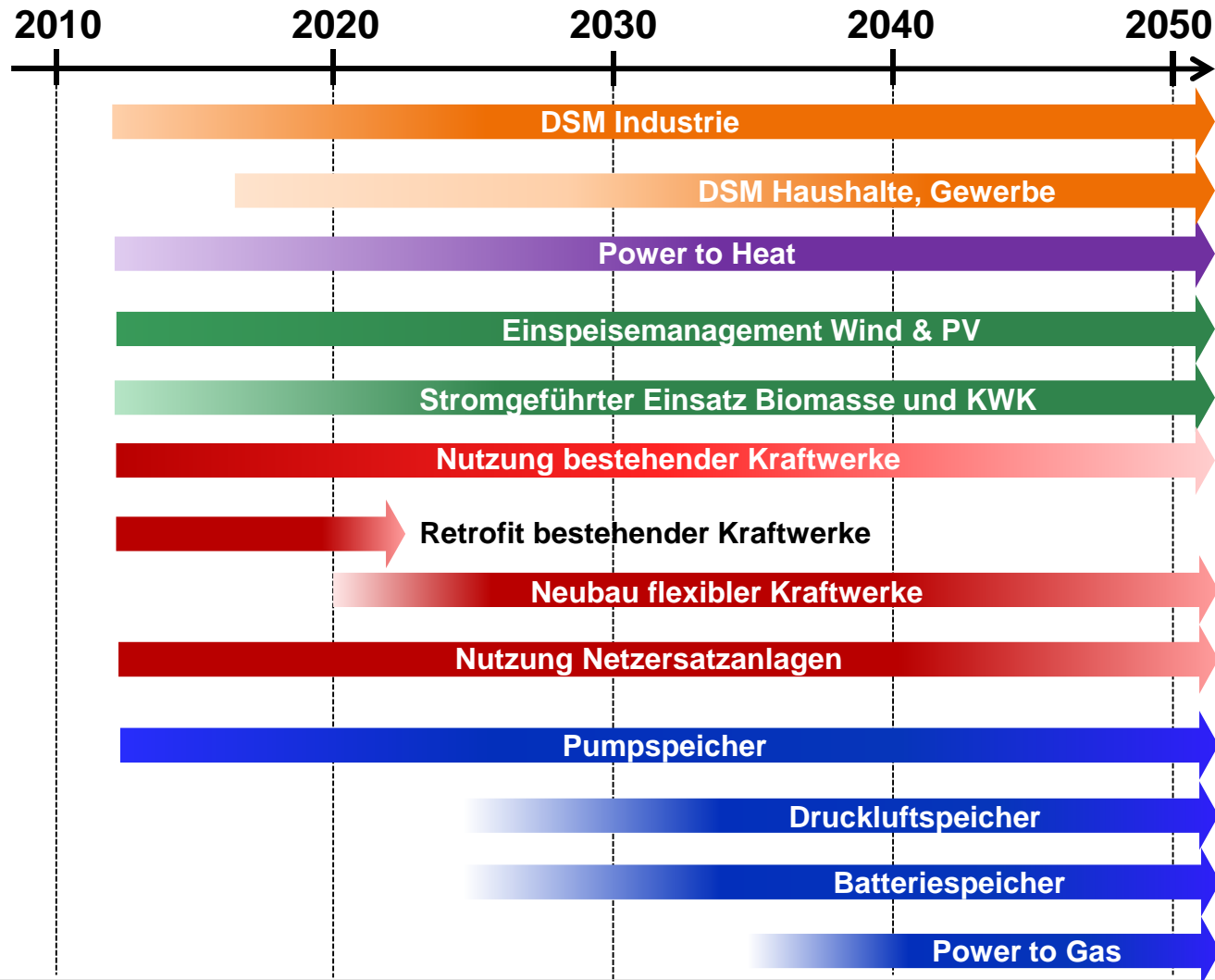
## Stromgeführte Fahrweise KWK – Hemmnisse

- Der KWK-Zuschlag im KWK-Gesetz ist unabhängig vom Zeitpunkt der Einspeisung und bietet daher keine Anreize für eine stromgeführte Fahrweise. Dies gilt insbesondere für kleine und mittelgroße KWK-Anlagen, die auch für den erzeugten Strom eine konstante Vergütung erhalten („üblicher Preis“ = Durchschnittsbörsenpreis der letzten 3 Monate)
- Geringe Spreads liefern derzeit wenig Anreiz zu stromgeführter Fahrweise.
- Wärmenetzausbau ist oft trotz Förderung nicht wirtschaftlich.

## Übersicht: Wesentliche Eigenschaften der Flexibilitätsoptionen

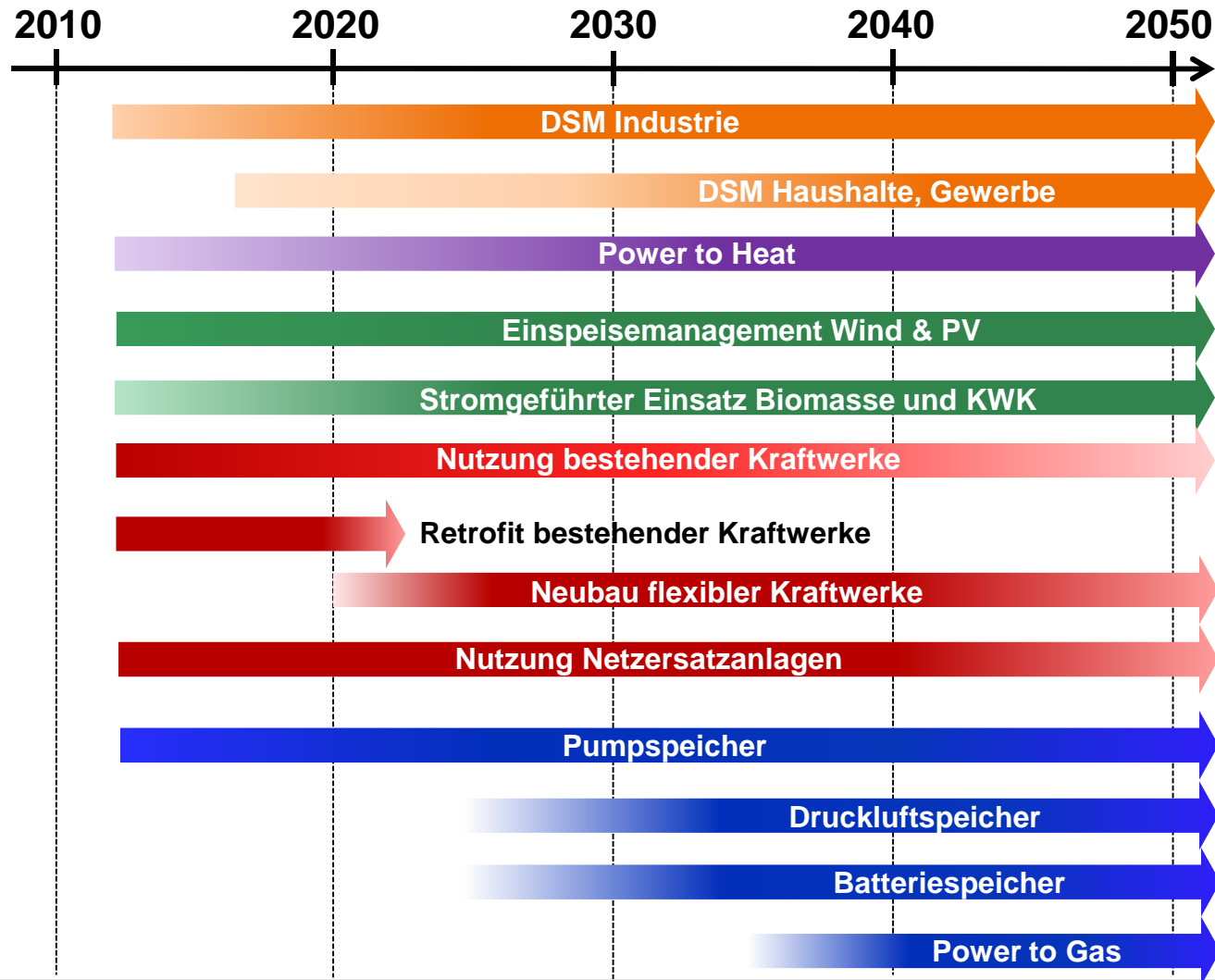
	Potenzial	Dauer	Schnelligkeit in %/min.	Bemerkungen
<b>DSM Industrie</b>	ca. +2 / -0,7 GW	1 bis 4 Stunden	20-100%	höheres Potenzial für Abschaltungen im Minutenbereich bzw. zu hohen Kosten
<b>DSM Haushalte</b>	ca. +0,6 GW/ -2,3 GW	Minuten bis Stunden	100%	bis 2030, Zahlen ohne Nachtspeicher und Wärmepumpen
<b>Power to Heat</b>	> -10 GW	unbegrenzt	20-100%	nur negative Leistung, abh. vom Wärmebedarf
<b>Einspeisemanagement Wind &amp; PV</b>	„unbegrenzt“	unbegrenzt	100%	nur negative Leistung
<b>Stromgeführter Einsatz Biomasse und KWK</b>	ca. +/- 20 GW	einige Stunden	5-20%	bis 2030; zus. zu ca. 8 GW bereits genutzter flexibler Leistung
<b>Nutzung bestehender Kraftwerke</b>	heute ca. 80 GW	unbegrenzt	1-2%	Leistung abnehmend gemäß „Sterbelinie“
<b>Retrofit bestehender Kraftwerke</b>	ca. +2,9 GW Delta zw. $P_{min}$ und $P_{max}$ bis 2020	unbegrenzt	4-8%	Entscheidung für Retrofit nur wenn wirtschaftlich
<b>Neubau flexibler Kraftwerke</b>	unbegrenzt	unbegrenzt	4-10%	abh. von Technik, Gasturbinen auch schneller
<b>Nutzung Netzersatzanlagen</b>	ca. 7 GW	einige Stunden	20-100%	nur positive Leistung
<b>Pumpspeicher (Deutschland)</b>	ca. 10 GW	Stunden bis Tage	100%	geringe Energiedichte, einzige bewährte und kostengünstige Speichertechnologie
<b>Druckluftspeicher („CAES“)</b>	beliebig groß, ca. 0,8 – 2,5 TWh	Stunden bis Tage	20-100%	adiabate CAES noch in der Entwicklungsphase, diabate haben niedrigen Wirkungsgrad, kostengünstig
<b>Batteriespeicher</b>	Unbegrenzt	Stunden bis Tage	100%	teure Option
<b>Power to Gas</b>	Unbegrenzt	Wochen bis Monate	Nicht relevant	geringer Wirkungsgrad, aus heutiger Sicht einzige realistische Langfristspeicheroption

## Sinnvoller Einsatz der Flexibilitätsoptionen auf der Zeitschiene





## Sinnvoller Einsatz der Flexibilitätsoptionen auf der Zeitschiene



## Fazit (1)

- Netzausbau ist vorrangig.
- Geringe Abregelmengen von Sonnen- und Windenergie sind tolerierbar, in fernerer Zukunft auch größere Mengen (gezielter Bau von Überkapazität ist in gewissem Rahmen kostengünstiger als Speichern).
- Bis ca. 2020 besteht ausreichende Flexibilität durch den vorhandenen Kraftwerkspark.
- In der Industrie besteht ein (geringes) Potenzial für kostengünstige Lastmanagementmaßnahmen, das kurzfristig erschlossen werden kann.
- Später können auch teurere Lastmanagementmaßnahmen erschlossen werden, wenn diese günstiger sind als Stromspeicher.
- Dasselbe gilt für Lastmanagement in Haushalten. Aufgrund langer Markteinführungsdauern sollte die Markteinführung bald beginnen.
- KWK- und Biomasseanlagen sollten künftig nur noch für stromgeführten Betrieb ausgelegt werden.
- Power to Heat ist kurzfristig interessant, um bei bestehenden Netzengpässen den Anteil nutzbarer Erneuerbarer Energie zu erhöhen, langfristig auch im Gesamtsystem.

## Fazit (2)

- Neue Kraftwerke, insbesondere Gasturbinen, werden nach 2020 benötigt und stellen für einige Jahrzehnte eine günstige Option zur Kapazitätssicherung dar.
- Das Potenzial für Pumpspeicher in Deutschland ist begrenzt.
- Großes Potenzial für Druckluftspeicher, die sich noch in der Entwicklungsphase befinden.
- Batteriespeicher sind noch sehr teuer und können ca. nach 2030 sinnvoll eingesetzt werden, in Verteilnetzen mit hohen PV-Anteilen auch früher.
- Power to gas ist die einzige Technologie für Langzeitspeicherung (mehrwöchige Windflaute).
- Stromaustausch mit dem Ausland kann den Flexibilitätsbedarf in Deutschland deutlich reduzieren, europaweite Optimierung sinnvoll.
- In der ferneren Zukunft (EE-Anteil > 80%) wird ein wirtschaftliches Optimum aus den Maßnahmen Lastmanagement, Speichern, Abregeln zu finden sein.



# Die Berater der Energie- und Wasserwirtschaft

Büro für Energiewirtschaft und  
technische Planung GmbH



## BET GmbH

### Aachen

Alfonsstraße 44  
52070 Aachen

Telefon +49 241 47062-0  
Telefax +49 241 47062-600  
info@bet-aachen.de  
[www.bet-aachen.de](http://www.bet-aachen.de)

### Leipzig

Karl-Liebnecht-Straße 64  
04275 Leipzig

Telefon +49 341 30501-0  
Telefax +49 341 30501-49  
info@bet-leipzig.de  
[www.bet-leipzig.de](http://www.bet-leipzig.de)

### Hamm

Rotdornscheife 23  
59063 Hamm

Telefon +49 2381 4500-76  
Telefax +49 2381 4500-57  
info@bet-hamm.de  
[www.bet-hamm.de](http://www.bet-hamm.de)

## BET Dynamo Suisse AG

### Zug

Poststrasse 26  
6301 Zug

Telefon +41 41 544 4602  
Telefax +41 41 544 4603  
info@bet-dynamo.ch  
[www.bet-dynamo.ch](http://www.bet-dynamo.ch)

### Zofingen

Junkerbifangstrasse 2  
4800 Zofingen

Telefon +41 62 751 5894  
Telefax +41 62 751 6093  
info@bet-dynamo.ch  
[www.bet-dynamo.ch](http://www.bet-dynamo.ch)

### Puidoux

Route du Vergnolet 8  
1070 Puidoux

Telefon +41 21 791 6545  
Telefax +41 21 791 6530  
info@bet-dynamo.ch  
[www.bet-dynamo.ch](http://www.bet-dynamo.ch)