

Die dominierende Rolle bivalenter Power-to-Heat-Anlagen im zukünftigen Energieversorgungssystem

Berlin, 11. 6. 2018

Heinz Wenzl

Die Kernaussagen:

Power to Heat und vor allem duale Power to Heat-Anlagen sind nach dem Ausbau der Netze und der Installation weiterer PV- und Windkraftanlagen die wichtigsten Komponenten der Energiewende, weit vor allen Arten von Stromspeichern, Elektromobilität und Power to Gas. Der Grund:

- Vergleichsweise sehr geringe Investitionskosten, hohe Leistungsgradienten, keine Mindestlaufzeiten oder Mindeststillstandszeiten und leichte Einbindung in thermische Systeme
- Hoher Bedarf für thermische Energie ohne enge Korrelation an EE-Einspeisung
- Zur Vermeidung zusätzlicher Kraftwerkskapazität darf Power to Heat aber nicht die maximale Netzlast erhöhen – es müssen vor allem duale Energiesysteme installiert werden.
- Zur Sicherstellung aller Netzdienstleistungen eignen sich 4-Quadrantenkraftwerke mit leistungsorientierten Batterien – Überbrückungszeit von wenigen Minuten reichen.

Das Projekt ESPEN

Potentiale elektrochemischer Speicher in elektrischen Netzen in Konkurrenz zu anderen Technologien und Systemlösungen



- Projektlaufzeit: 01.11.2012 bis 31.10.2015
- Förderung durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Informationen unter: www.espen-projekt.de

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

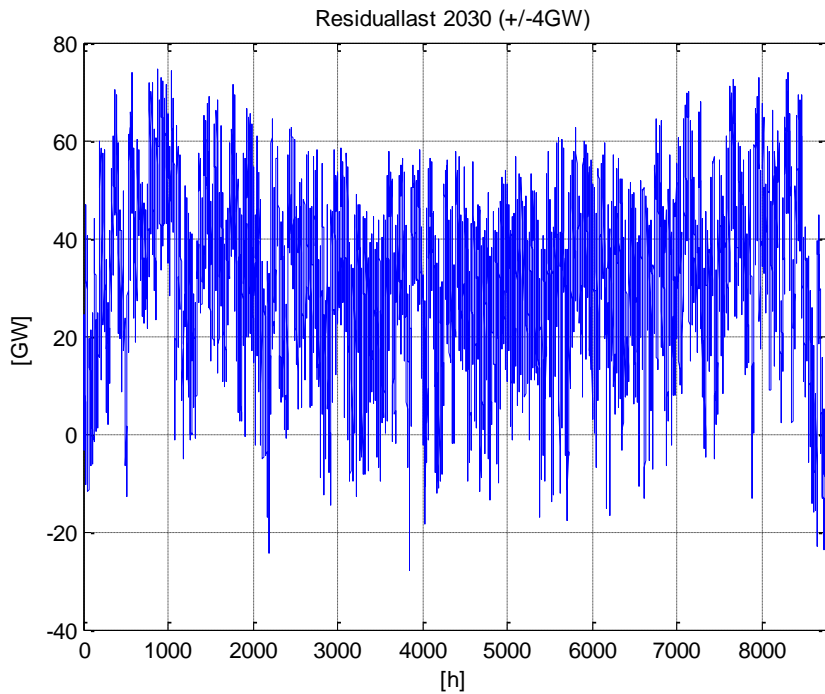
Gliederung

- Residuallastgänge und Jahresganglinien
Was kann man daraus lernen?
- Die Sicht eines Planers
Bereitstellen ausreichender Stromproduktion und Netzstabilität zu jedem Zeitpunkt
Unterschiedliche Betriebszustände des zukünftigen Stromversorgungssystems
- 3 „unproblematische“ Betriebszustände
Sehr hohe negative oder positive Residuallast, hohe Gradienten;
Notwendigkeit für hochdynamische Gasmotorenkraftwerke
- Wechsel zwischen positiver und negativer Residuallast,
Weitgehende Unabhängigkeit der Planungsdaten von den Annahmen zur
Berechnung von Residuallastgängen
- Bivalente Wärmesysteme als Komponente von zukünftigen Energiezentralen
Das vier-Quadranten-Kraftwerk als Basis der zukünftigen Energieversorgung!

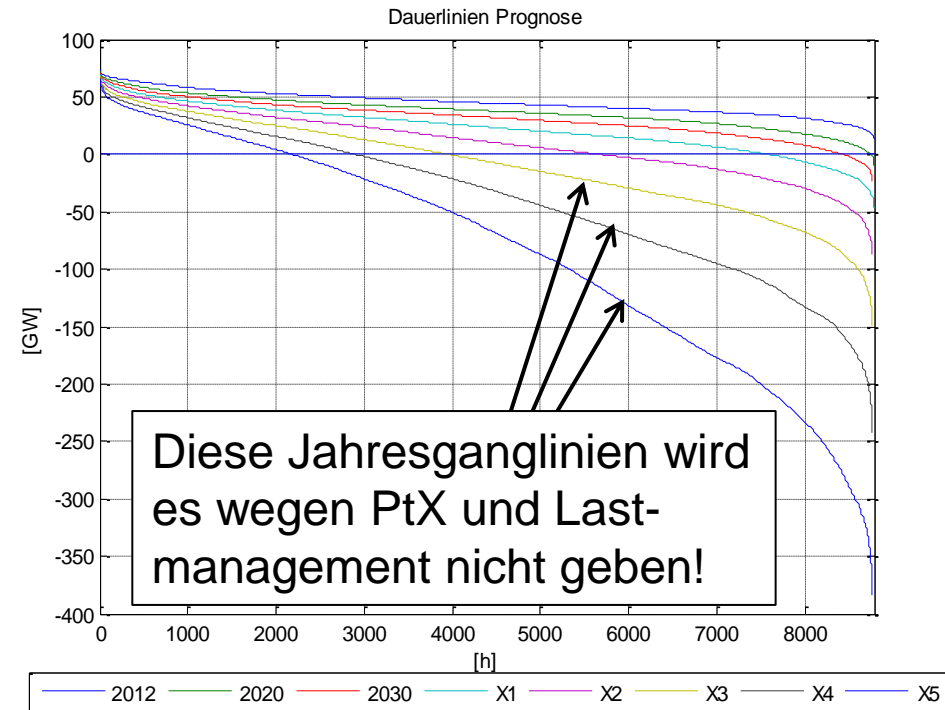
- Lastverlauf 2012 und Einspeiseleistung von PV, Wind und anderen erneuerbaren Stromerzeugern aus Daten der Übertragungsnetzbetreiber aus 2013.
- Hochrechnungen:
Gleicher Lastverlauf wie 2012
Einspeiseleistung für die Jahre 2020 und 2030 unter Verwendung der Daten aus ESPEN (NEP2013, Szenario B) und für die Folgeperioden mit einer Zuwachsrate wie von 2020 auf 2030, jeweils 167 %. Bezeichnung mit X1 bis X5, die Zuordnung von Jahresdaten vermittelt eine nicht vorhandene Prognosegenauigkeit.
- Um die Problematik der unsicheren Prognose zu behandeln, haben wir für das Jahr 2030, das wir als Referenzjahr verwenden, folgende Anpassung durchgeführt:
Modifikation der Residuallastgänge 2030 durch Addition von statistisch erzeugten Lastveränderungen: +/- 2, 4, 6, 8 und 10 GW
- Verwendung von Zusatzlasten, so dass die Jahresganglinie 2030 – 328 Stunden negativer Residuallast – auch für die Jahre X1 bis X5 immer gleich bleibt. Als Zusatzlasten wurden Wärmebedarfsabschätzungen für das Jahr 2030 aus ESPEN verwendet.

Residuallastgänge und Jahresganglinien

Residuallastgänge



Jahresganglinien



Residuallastgänge und Jahresganglinien

	2012	2020	2030	X1	X2	X3	X4	X5
Anzahl positiver bzw. negativer Residuallastgänge	0	13	83	178	402	390	385	332
PMax.[GW]	73,80	71,94	70,61	69,39	68,68	67,69	66,56	65,28
PMin.[GW]	13,84	-9,20	-24,07	-46,30	87,29	149,13	-242,40	-383,09
Gesamtdauer der negativen Residuallast [h]	0	37	328	1188,5	3089,5	4810,5	5873,75	6588,25
Gesamtdauer der negativen Residuallast [%]	0	0,42	3,74	13,53	35,27	54,91	67,05	75,21

+ Histogramme über Dauer, maximaler Leistung und Energieinhalt von Phasen positiver und negativer Residuallasten

Die Sicht eines Planers

Aufgabe: Bereitstellen ausreichender Stromproduktion und Netzstabilität zu jedem Zeitpunkt

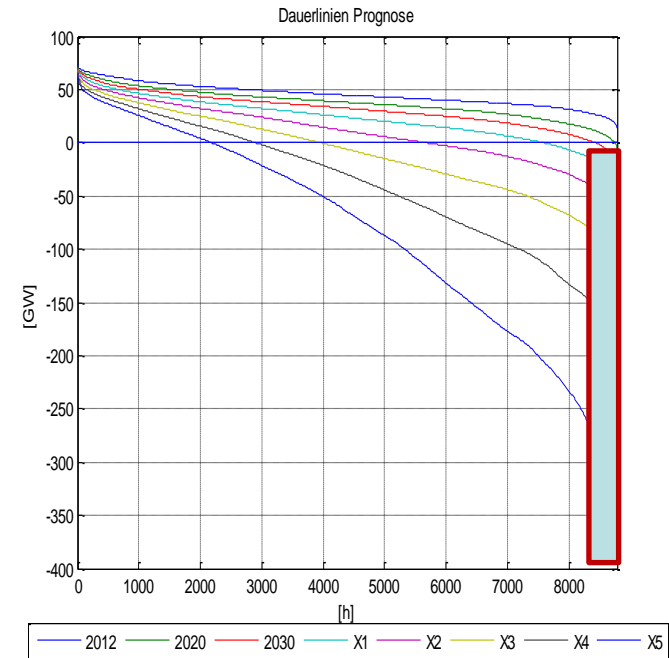
Es gibt keinen Normalzustand des Stromversorgungssystems sondern vier unterschiedliche Betriebszustände des zukünftigen Stromversorgungssystems.

4 Zustände des Energieversorgungssystems der Zukunft:

1. Sehr gute Bedingungen für PV- und Windkraft – „Überschussstrom“
2. Die lange Dunkelflaute
3. Leistungsgradienten der Residuallast
4. Lange Phasen geringer positiver oder negativer Residuallast oder Nutzung von Strom zur Dekarbonisierung des Energieversorgungssystems (Wärme- und Mobilitätssektor, Power to Gas, PtX) oder Residuallast ist Null.

Sehr gute Bedingungen für die Stromerzeugung aus PV- und Windkraftanlagen – hoher „Überschussstrom“

1. Kein technisches Problem
PV- und Windkraftanlagen können nach Ausschöpfung aller Lastmanagementpotentiale und neuen Stromanwendungen wie Power to Heat und Elektromobilität schnell und dynamisch ihre Ausgangsleistung verändern.
2. Es gibt genügend Leistungsreserven für alle Netzdienstleistungen.
3. Es handelt sich um seltene Ereignisse pro Jahr mit kurzer Dauer – nach Ausreizen aller Möglichkeiten zur energetischen Nutzung des Stromangebots.



Hohe positive Residuallast

Dunkelflaute – Deckung aus Stromspeichern?

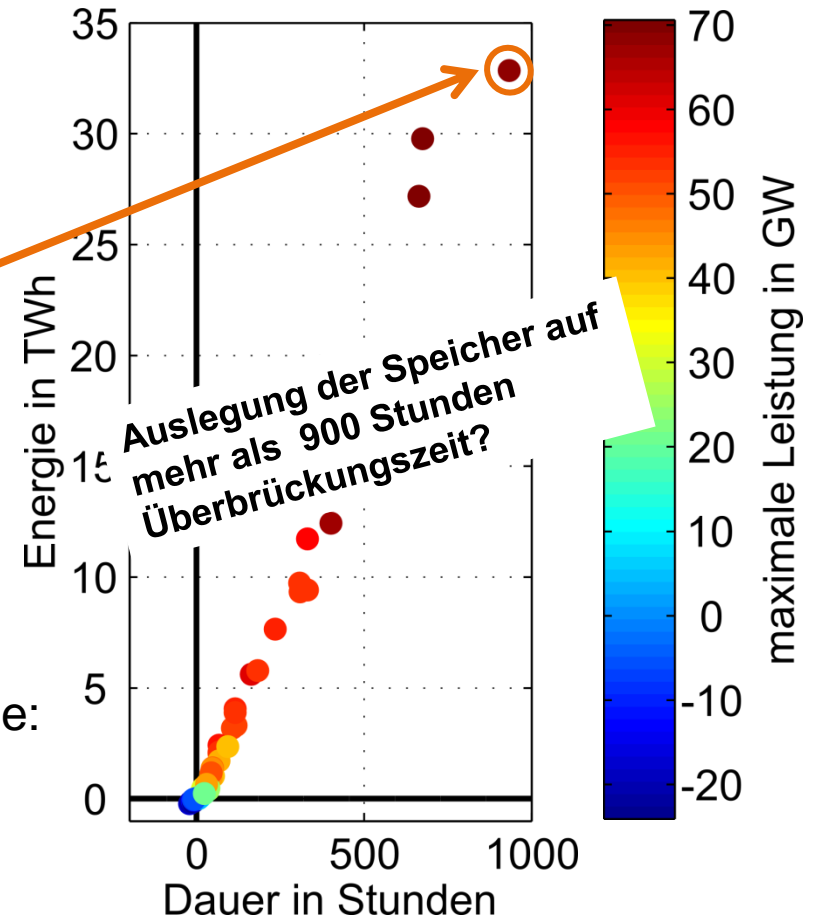
- Auswertung der Residuallast (Last – EE-Erzeugung) für ganz Deutschland im Jahr 2030

Positive Residuallast für eine Dauer von 950 h mit maximaler Leistung von ca. 70 GW und einem Gesamtenergiebedarf von ca. 33 TWh.

Überbrückungsdauer und gespeicherte Energie:

- Kein Simulationsergebnis, sondern Daseinsfürsorge
- Wie jetzige strategische Erdölreserve für 90 Tage?
- Kosten pro kWh inkl. langfristiger Energiespeicherung so klein wie möglich!

Lösung: Kraftwerke mit stofflich gespeicherter Energie



Quelle: Energie-Forschungszentrum Niedersachsen

Dunkelflaute – Deckung aus Stromspeichern?

1. Wie voll sind die Speicher bei Beginn der Dunkelflaute?
2. Wie voll müssen die Speicher am Ende sein, um eine nachfolgende Dunkelflaute überbrücken zu können?
3. Speicher, die für die längste Dunkelflaute des Jahres benötigt werden, werden nur einmal pro Jahr entladen.

Kosten der entnommenen Energie pro kWh?

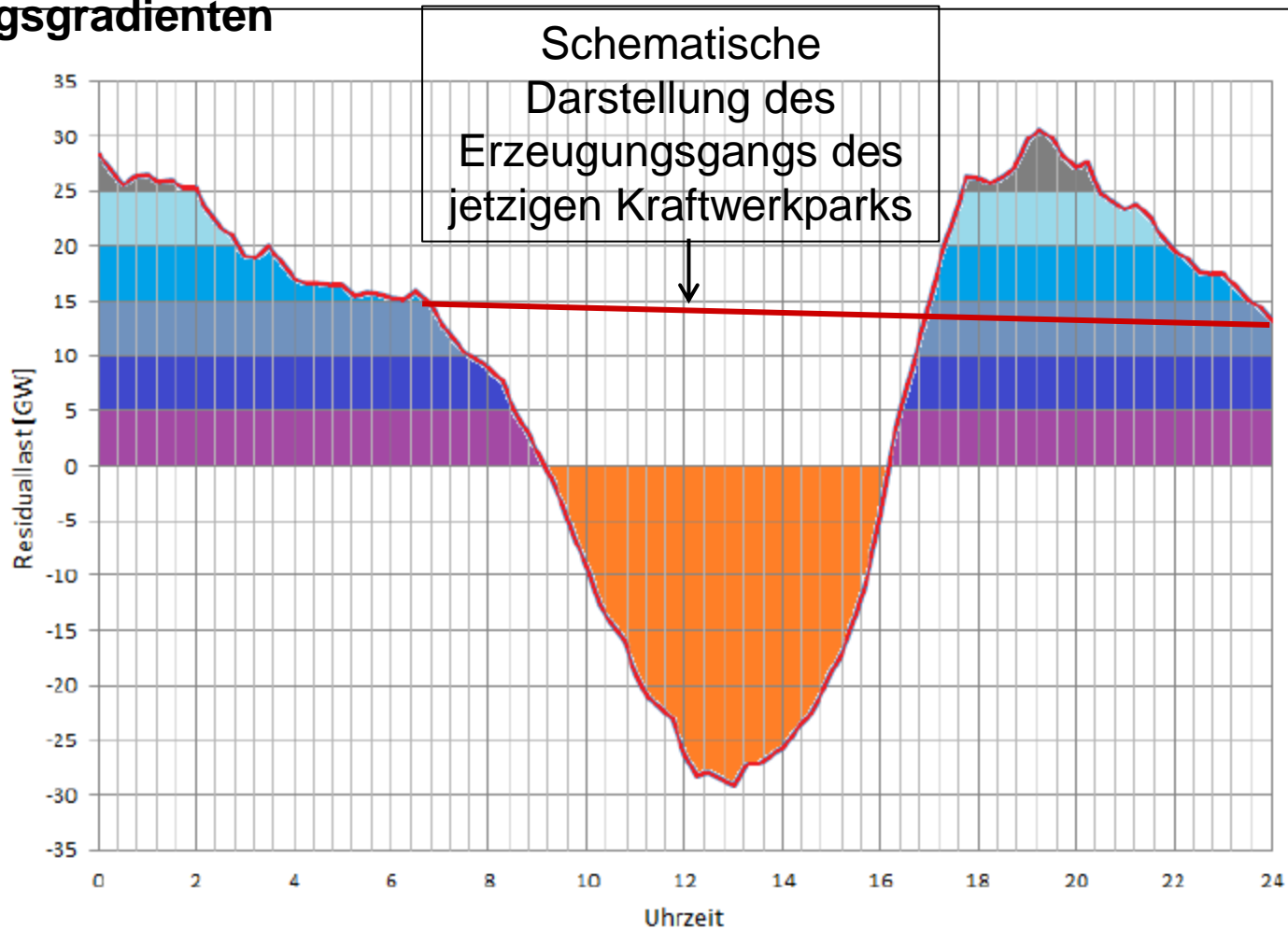
Die Auslegung ist keine technische Fragestellung sondern eine Frage der Daseinsfürsorge. Als Anhaltspunkt für den erforderlichen Energievorrat: Die strategische Erdölreserve Deutschlands deckt 90 Tage Verbrauch ab, die kommerzielle Erdgasreserve ca. 75 Tage.

Dunkelflaute – Deckung aus Speichern?

1. Die einzig mögliche Lösung scheinen Kraftwerke mit stofflich gespeicherter Energie zu sein – Erdgas, Erdöl oder synthetische Energieträger aus PV- und Windkraftanlagen.
2. Die Betriebszeiten von Kraftwerken werden immer kürzer. Der Begriff „Grundlastkraftwerk“ hat keine Bedeutung mehr.
3. Grundlastkraftwerke wie Braunkohle- und Kernkraftwerke passen nicht mit dem Ausbau von PV- und Windkraftanlagen zusammen. Derartige Kraftwerke können wirtschaftlich nicht gegen PV- und Windkraftanlagen konkurrieren, weil diese keine variablen Kosten der Stromproduktion haben – solange der Bau aus Gründen des Klimaschutzes gefördert wird.
4. Die Festlegung der Gesamtleistung des Kraftwerkparks auf einen Maximalwert ist viel kostengünstiger als die Festlegung des Gesamtenergieinhalts von Speichern auf den Maximalwert.

Hohe Leistungsgradienten

Leistungsgradienten



Maximaler Residuallastgangsgradient innerhalb von 4 Stunden am 16.9.2050

Leistungsgradienten

Nicht die fluktuierende Einspeisung von PV- und Windkraftanlagen ist das Problem, sondern die mangelnde Fähigkeit des Kraftwerkparks, dem Residuallastgang zu folgen.

Anforderungen an die Kraftwerke der Zukunft:

1. Wenige Minuten Startzeit
2. Wenige Minuten Abschaltzeit
3. Keine Mindestlauf- und Mindeststillstandszeiten
4. Keine Mindestleistung
5. Viele (deutlich über hundert pro Jahr) Start-Stop-Vorgänge ohne Zusatzverschleiß
6. Hoher Wirkungsgrad und hoher Teillastwirkungsgrad
7. Hohe Leistungsgradienten

Leistungsgradienten der Residuallast

Nicht die fluktuierende Einspeisung von PV- und Windkraftanlagen ist das Problem, sondern die mangelnde Fähigkeit des Kraftwerksparks, dem Residuallastgang zu folgen.

Kommerzielle, modular aufgebaute Gasmotorenkraftwerke (250 MW in Estland, 200 MW für Stadtwerke Kiel und 100 MW für Stadtwerke Mainz, beide im Bau) erfüllen diese Anforderungen.

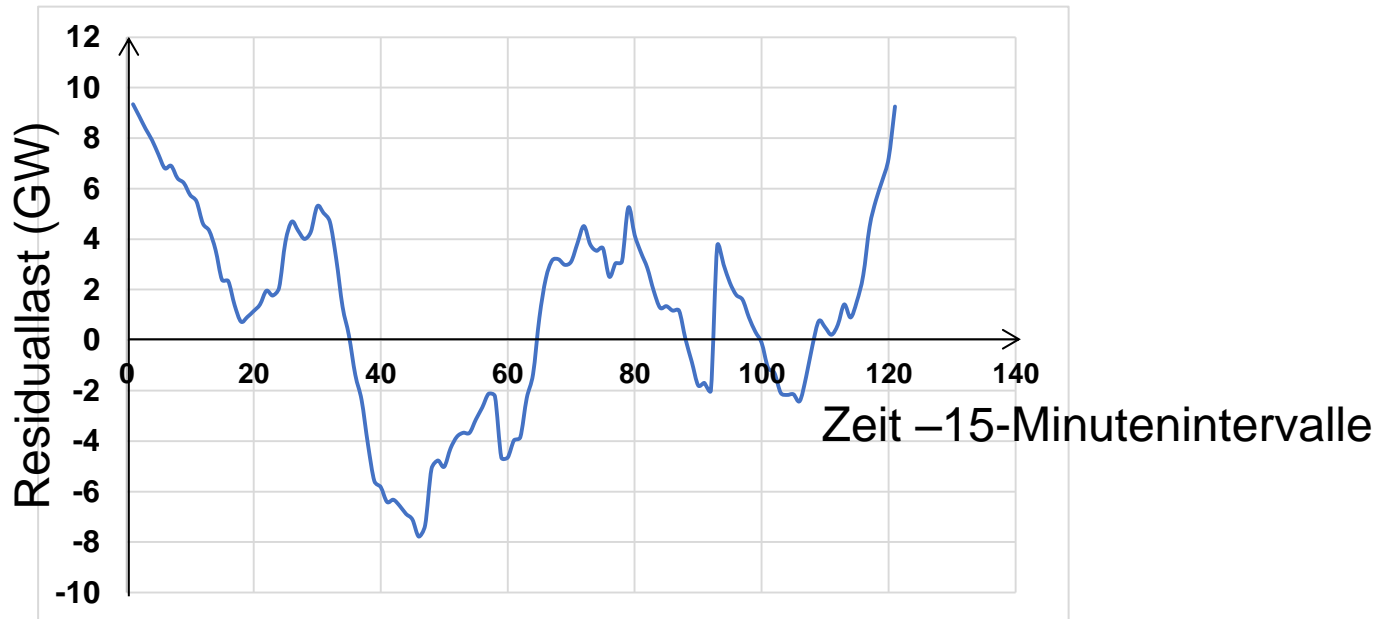
Gasmotorenkraftwerke können bei Preisen unterhalb der variablen Brennstoffkosten sehr schnell ausgeschaltete und sehr schnell wieder eingeschaltet werden können.

Bei einem Kraftwerkspark basierend auf Gasmotorenkraftwerken gibt es keine negativen Strompreise.

Geringe Residuallast

Phasen geringer positiver und negativer Residuallast

„Überschussstrom“ – Ausschnitt aus Residuallastgang für 2030
Leistung: Zwischen +10 und – 10 GW, Dauer 30,25 h



Stromspeicher können Betriebszeiten von Kraftwerken vermindern – zur Abdeckung der maximal zu erwartenden Dunkelflaute ist der Kraftwerkspark aber notwendig und kann durch den Speichereinsatz nicht verringert werden. Stromspeicher müssen mit ihren Vollkosten gegen die variablen Kosten von Kraftwerken konkurrieren!

Phasen geringer positiver und negativer Residuallast

„Wie kann man Phasen aus negativer Residuallast vermeiden:

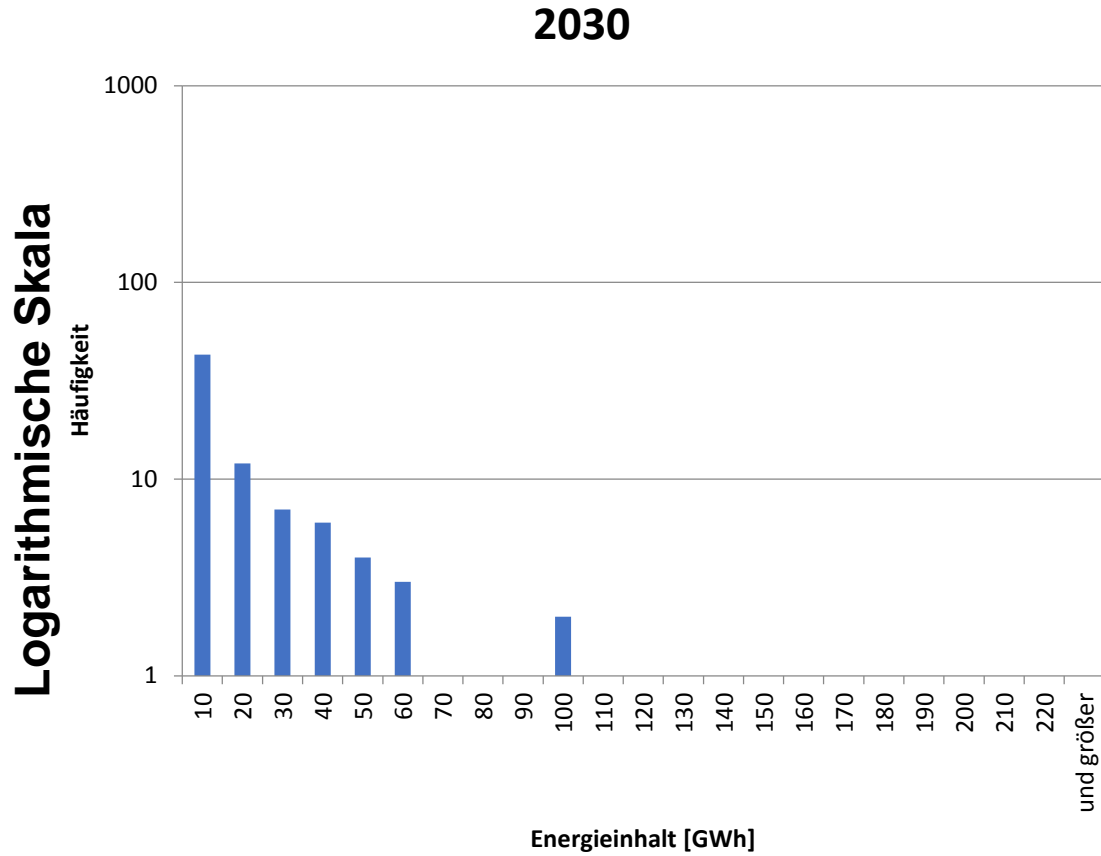
Sie treten ab diesem Jahr auf, sind selten und haben kurze Dauern.

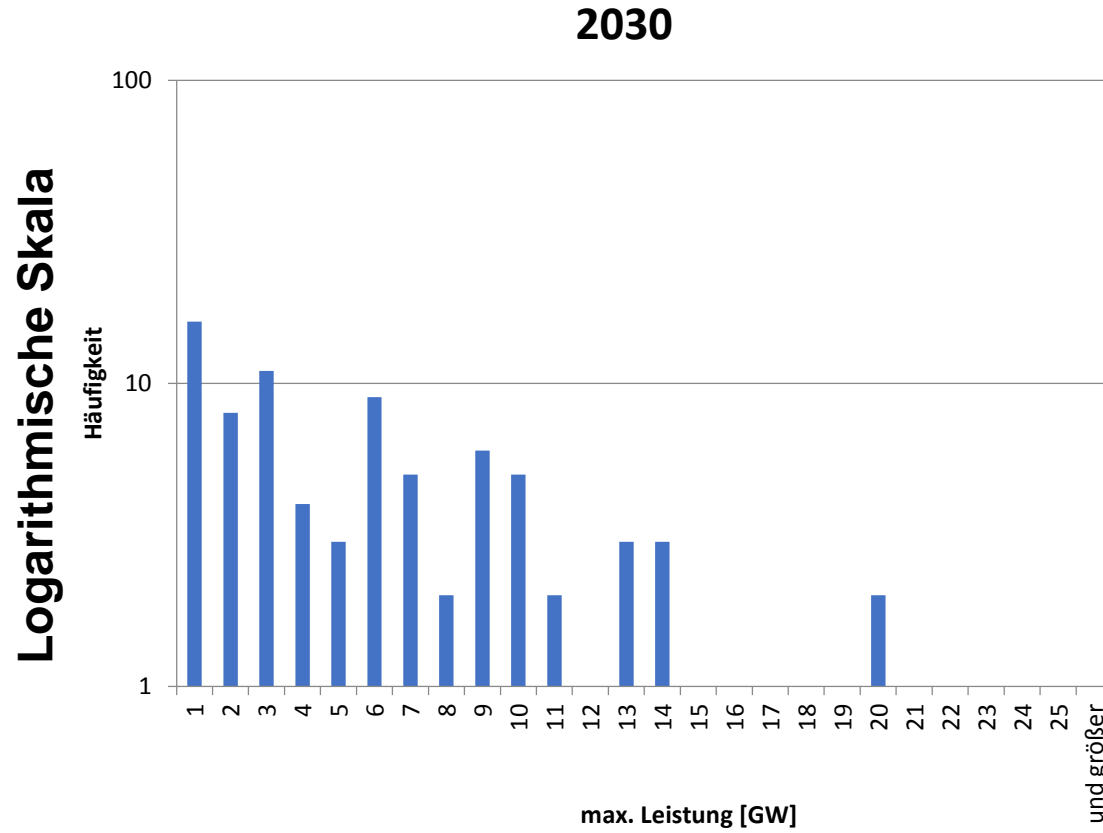
Wenn sie durch Lastmanagement und PtX in diesen Phasen energetisch sinnvoll genutzt werden, dann sind sie auch in der Zukunft selten und kurz.

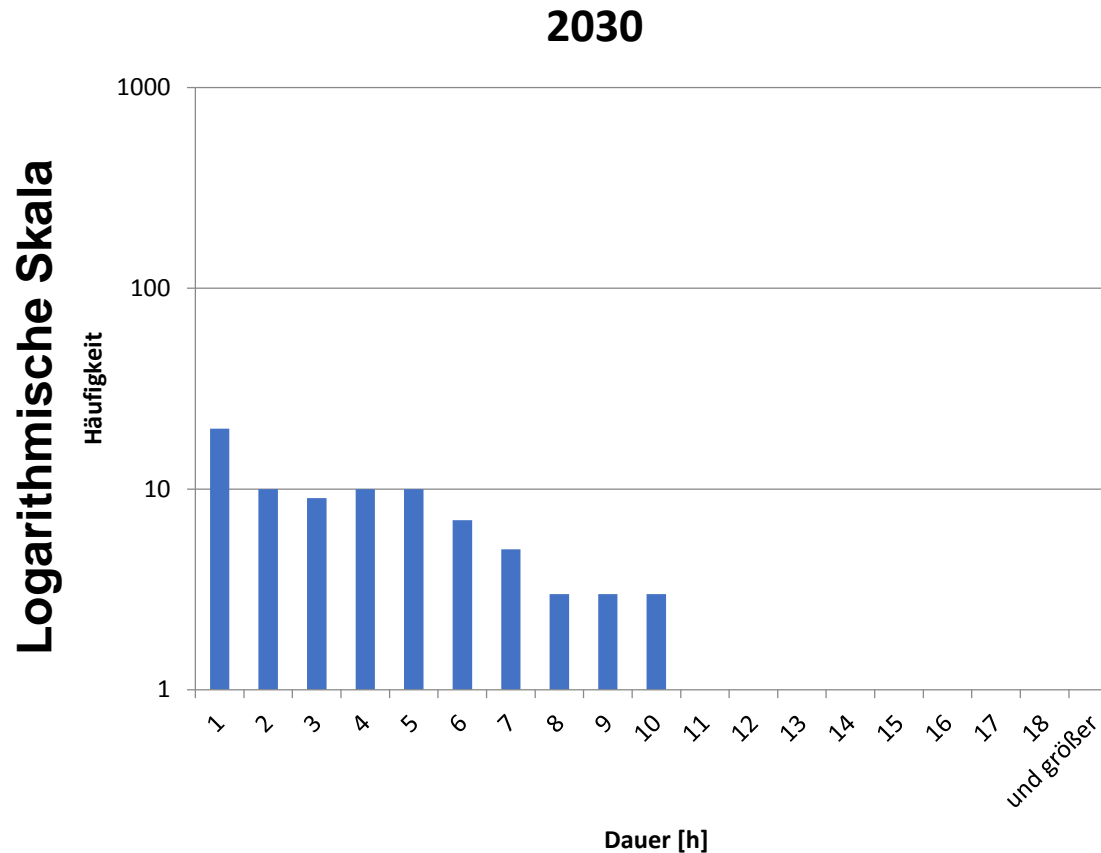
Anforderungen:

1. Geringe Investitionskosten, weil die Betriebszeiten gering sein werden, und leichte Integration in lokale Energieversorgungssysteme an vielen Orten, Spannungsebenen, etc.
Beste Lösung: Power to Heat
2. Maximale Nutzung der installierten Leistung für die Aufnahme von Energie durch Abgabe der aufgenommenen Energie unabhängig von der Stromerzeugung.
 - Nachteil von Stromspeichern, weil diese nach einer Ladung in einer Phase negativer Residuallast auf eine ausreichend lange Phase positiver Residuallast warten müssen, um entladen werden zu können.
 - Vorteil von Power to Heat und Power to Gas!

Geringe Residuallast





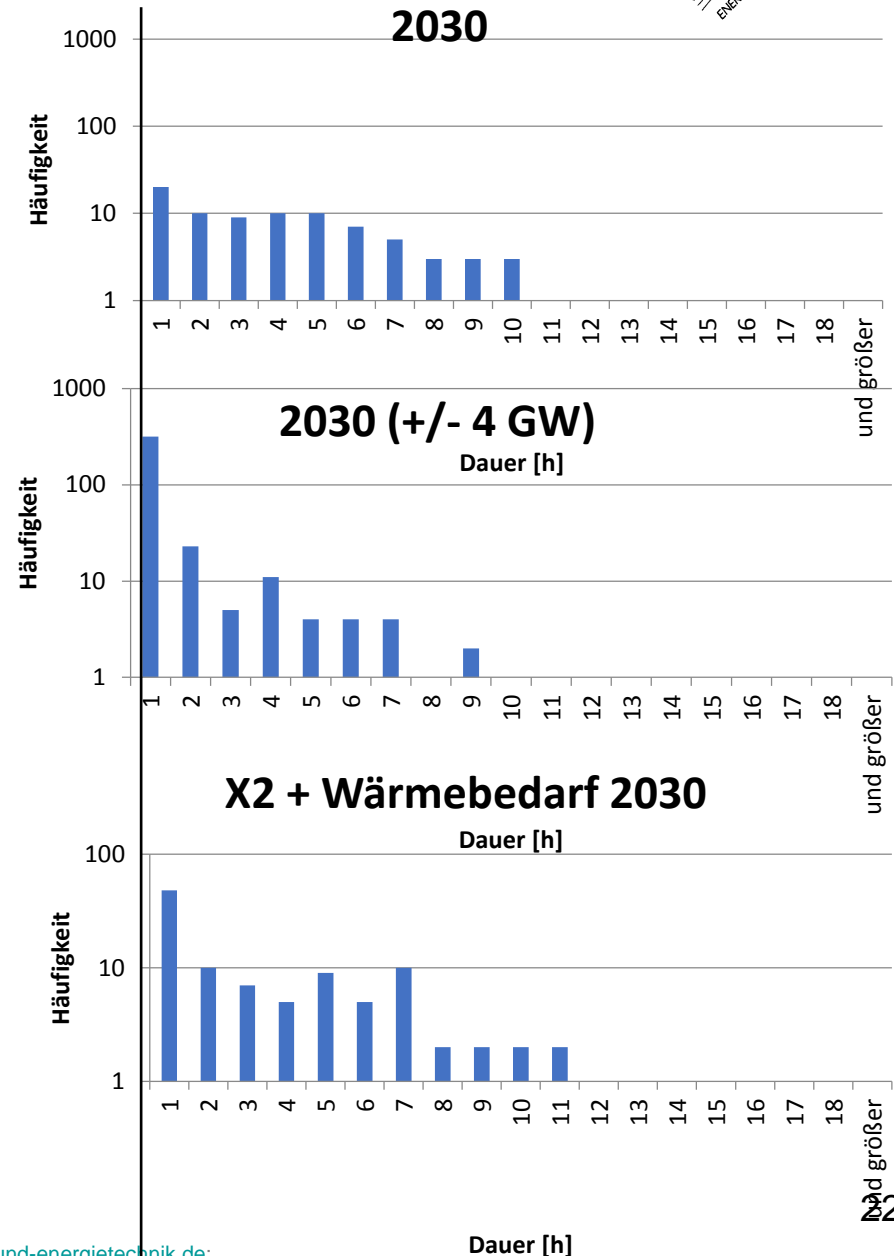


Fazit: Stromspeicher mit einer Überbrückungszeit von 15 Minuten können bis zu 83-mal pro Jahr teilzyklisiert werden, alle anderen Speicher seltener. Der maximale Energieinhalt bzw. die maximale Leistung dafür kann aus dieser Analyse nicht abgeleitet werden.

Geringe Residuallast

Die Häufigkeitsverteilungen bzgl. Dauer der Phasen mit negativer Residuallast (hier dargestellt)

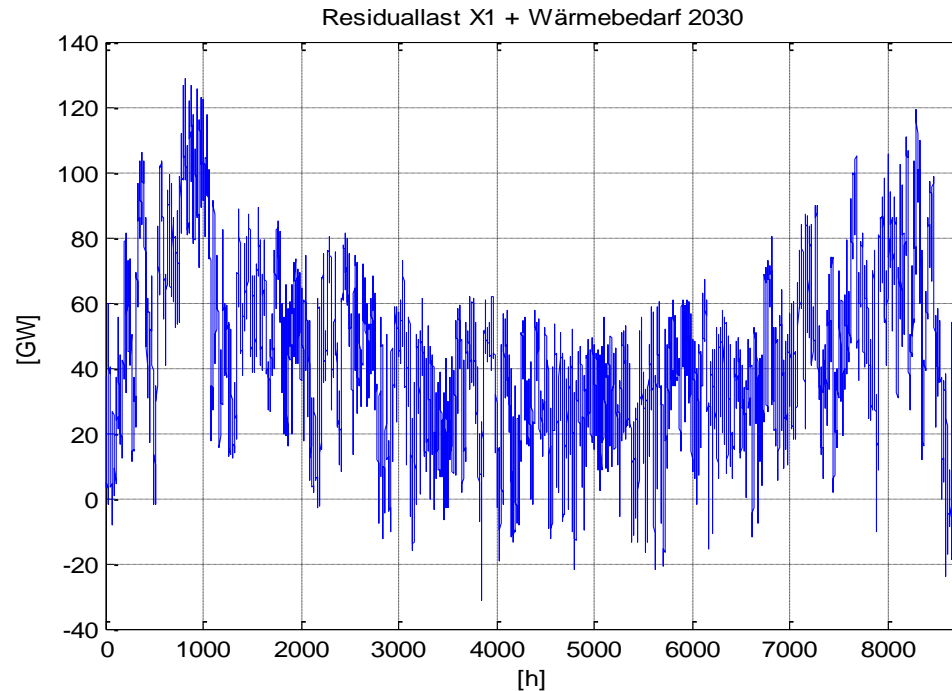
- Energieinhalt pro Phase und
- maximaler Leistung pro Phase unterscheiden sich kaum zwischen
- 2030 (Daten aus ESPEN)
- 2030 +/- mehrere GW statistische Abweichung (hier +/- 4 GW dargestellt) und
- bei massivem Einsatz von Power to Heat (hier X2, entsprechend ca. 2050 dargestellt).
- Lediglich die Zahl der Phasen mit negativer Residuallast nimmt zu. ´dem Zeitpunkt X2 – ca. 2050



Warum Power to Heat statt Stromspeicher, Power to Gas und anderen Möglichkeiten, Strom zu verwenden:

- Stromspeicher müssen vor der nächsten Ladung in einer Phase mit positiver Residuallast entladen werden. Das beschränkt die Zyklenzahl.
- Stromspeicher verdrängen Betriebszeiten von Kraftwerken, aber vermindern nicht deren installierte Gesamtleistung. Stromspeicher konkurrieren somit mit ihren Vollkosten gegen die variablen Kosten der Kraftwerke. Solange fossile Energieträger für irgendeine Energieanwendung noch benötigt werden, macht es keinen Sinn, sehr teuer Brennstoffe zu verdrängen oder Power to Gas großflächig einzusetzen.
- Power to Heat ist preiswert zu installieren und in Gesamtsysteme zu integrieren.
- Power to Gas ist energetisch ungünstig – erst am Ende der Nutzung fossiler Energieträger sinnvoll.

Duale Energiesysteme, damit keine weiteren Kraftwerke gebaut werden müssen!



Simulationsdetails:

- Basis 2030 (Last- und Einspeisegänge 2012, NEP 2013 Szenario B)
- Erhöhung der Einspeisung um 167 % (gleicher Faktor wie zwischen 2020 und 2030)
- 46 % des Wärmebedarfs aus ESPEN für 2030 wird durch Strom ($1 \text{ kWh}_{el} = 1 \text{ kWh}_{therm}$), ersetzt.

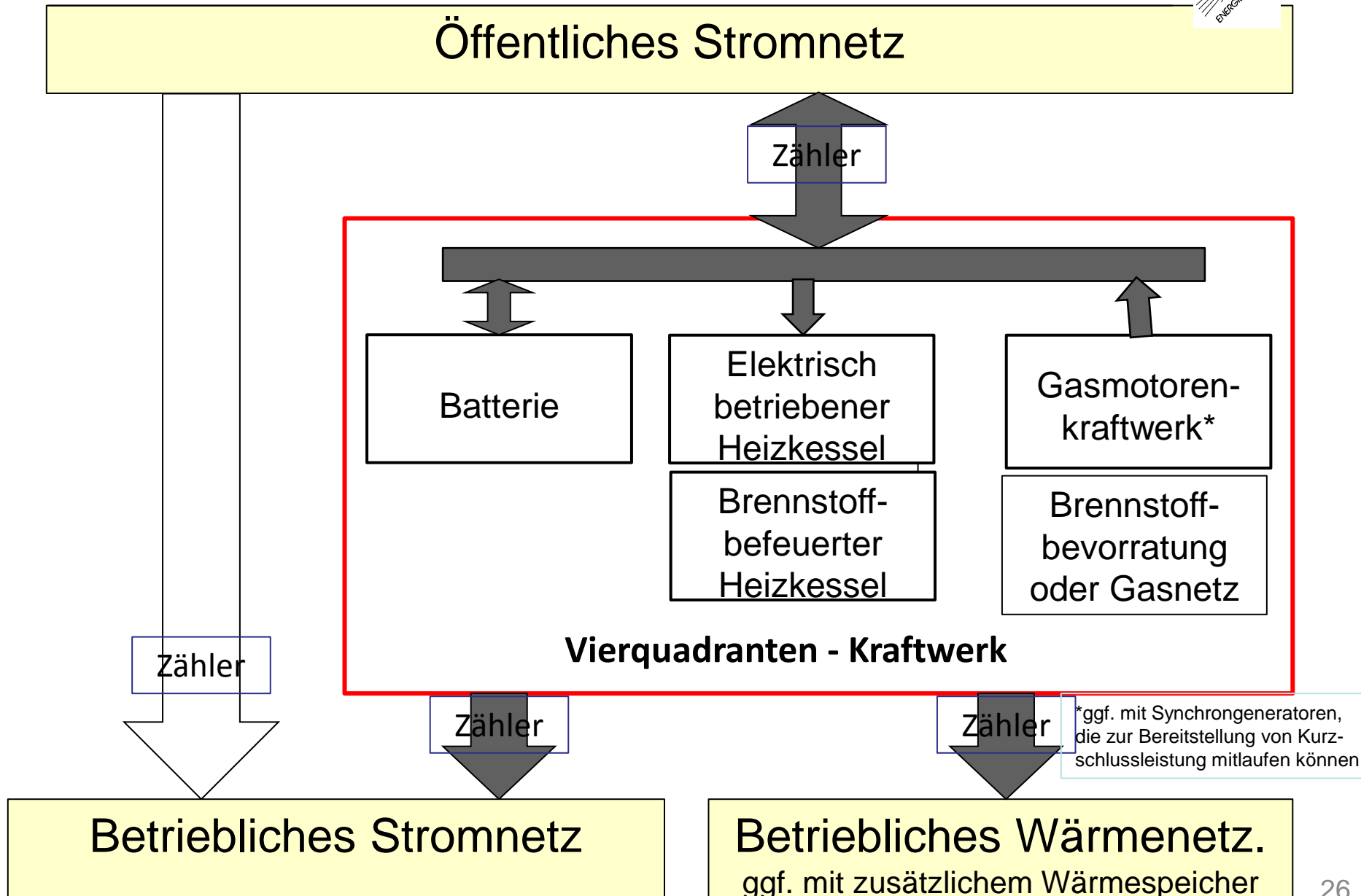
Als Alternative zu dualen Wärmesystemen: Wir können auch den jetzigen Gebäudebestand durch thermisch hoch effiziente Gebäude ersetzen.

Phasen geringer positiver und negativer Residuallast

Wie stellen wir Systemdienstleistungen in Betriebsphasen ohne Wirkleistungsbedarf auf Basis von Kraftwerken zur Verfügung?

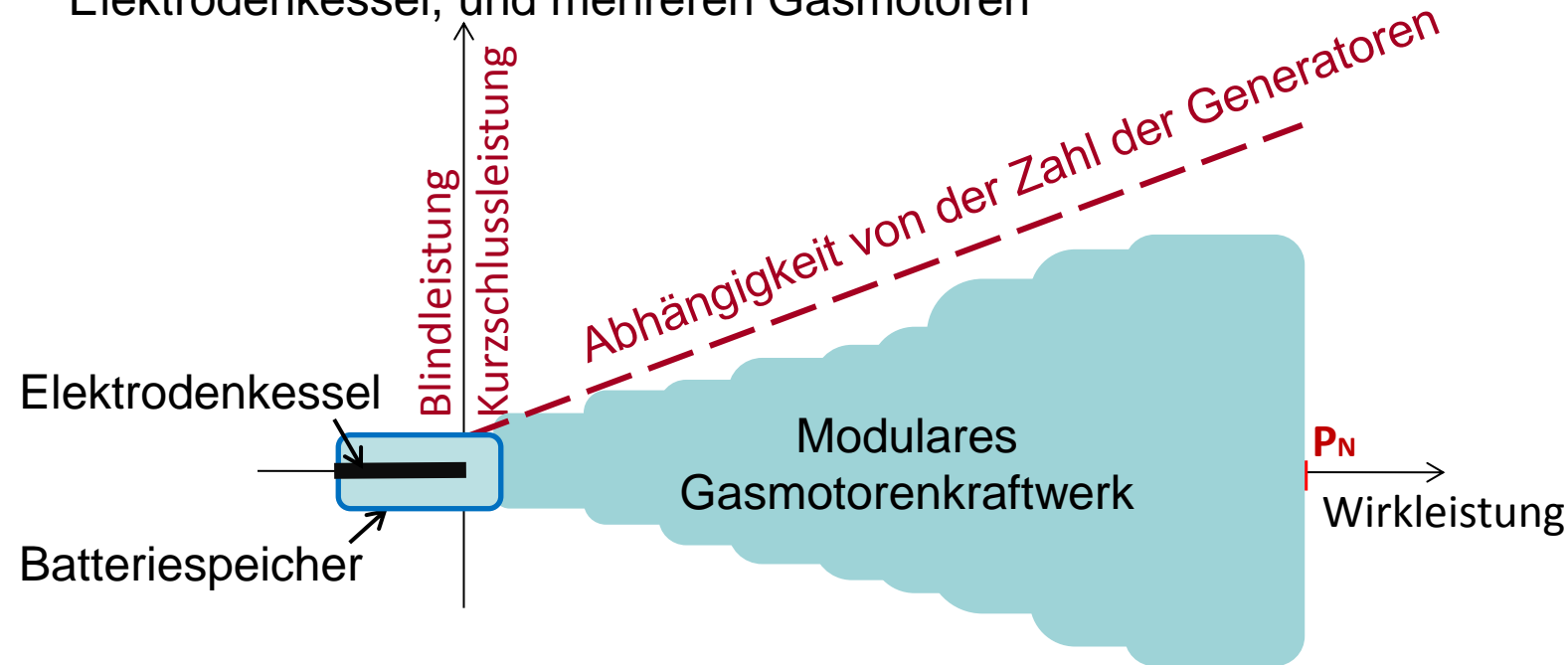
Vorschlag: 4-Quadranten-Kraftwerk oder Speicher-Kraftwerk mit elektrochemischen Speichern kurzer Überbrückungszeit (max. ca. 1 Stunde, Ca. 5 Minuten wären ausreichend)

4-Quadranten-Kraftwerk



4-Quadranten-Kraftwerk

Schematische Darstellung eines 4-Quadranten Kraftwerks mit Batterie, Elektrodenkessel, und mehreren Gasmotoren



Die Regelleistung, die bereitgestellt werden kann, hängt vom Betriebspunkt und der Betriebsstrategie ab, bei KWK-Anlagen zusätzlich von der Größe des Wärmespeichers und der Möglichkeit und Geschwindigkeit, mit der die Wärmeauskopplung unterbrochen werden kann.

Die Zusammenschaltung aller Komponenten ist eine komplexe, aber ingenieurtechnisch konventionelle Aufgabe. Wie aber werden die einzelnen Anlagenteile betrieben?

Ausgehend von einem digitalen Netzmodell und einer Netzberechnung*:

1. Lastfluss am Netzübergabepunkt auf Basis aller nicht schaltbarer Verbraucher und Erzeuger in Zeitschritten für den nächsten Tag berechnen.
2. Werden Spannungsgrenzen verletzt, Betriebsmittel überlastet, Kurzschlussleistung im richtigen Bereich bereitgestellt?
3. Schaltbare Lasten und Erzeuger in geeigneten Gruppen addieren, bis die Einsatzgrenzen der maximal und minimal zulässigen Leistungen (Gleichzeitigkeitsfaktoren) feststehen.
4. Strukturen schaffen, mit denen die Einhaltung der Grenzen erreicht wird.
5. Maximierung der Erträge durch Angebotsstrategie auf allen Energiemärkten.

*Vorschlag in Anlehnung an Tobias Hess, TU Dresden

Die Kernaussagen:

Power to Heat und vor allem duale Power to Heat-Anlagen sind nach dem Ausbau der Netze und der Installation weiterer PV- und Windkraftanlagen die wichtigsten Komponenten der Energiewende, weit vor allen Arten von Stromspeichern, Elektromobilität und Power to Gas. Der Grund:

- Vergleichsweise sehr geringe Investitionskosten, hohe Leistungsgradienten, keine Mindestlaufzeiten oder Mindeststillstandszeiten und leichte Einbindung in thermische Systeme
- Hoher Bedarf für thermische Energie ohne enge Korrelation an EE-Einspeisung
- Zur Vermeidung zusätzlicher Kraftwerkskapazität darf Power to Heat aber nicht die maximale Netzlast erhöhen – es müssen vor allem duale Energiesysteme installiert werden.
- Zur Sicherstellung aller Netzdienstleistungen eignen sich 4-Quadrantenkraftwerke mit leistungsorientierten Batterien – Überbrückungszeit von wenigen Minuten reichen.

Die wichtigsten Ergebnisse aus ESPEN

Solange

- die Kosten der Energiewende von Stromabnehmern statt den Abnehmern von Kohle, Gas und Erdöl bezahlt werden und
- die Netzkosten auf die bezogene Energiemenge statt als fester Sockelbetrag umgelegt werden

wird das alles nicht passieren und die Energiewende wird scheitern.

Ich hoffe, ich konnte Sie überzeugen und/oder neue
Sichtweisen eröffnen.

Danke für Diskussionen, Ausarbeitungen, Simulationen und Informationen an
Dipl.-Ing. Verena Spielmann, das Projektteam von ESPEN, sowie Jonas
Hofheinz, Christoph Klaas und Hareth AlAshwal.