Virtuelle Kraftwerke und Wärmespeicher

Wärmespeicher: Welche Vermarktungsstrategien sind im aktuellen Marktumfeld sinnvoll?

Dr. Armin Kraft
EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH

3.6.2015



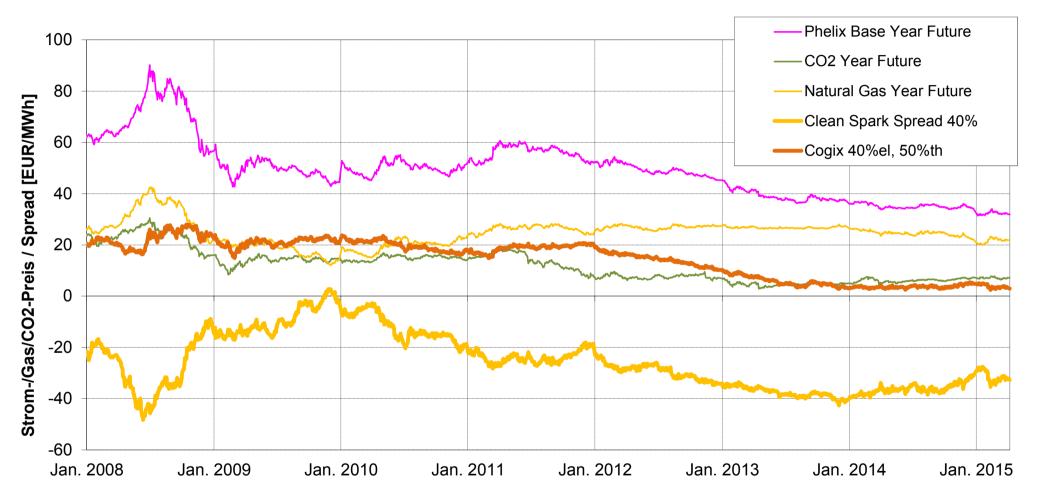


Agenda

- Energiemarkt 2015 und Überblick Wärmespeicher
- Einsatzstrategien für Wärmespeicher
 - Einsatzplanung im Verbund mit Kohlekraftwerk
 - Einsatzplanung im Verbund mit flexiblen Gas-Kraftwerken
 - Projektbeispiel: Der Großwärmespeicher in Kiel
- Zukunftsperspektiven und Ausblick
 - Der Wert der Flexibilität: Regelenergie, Realoptionserlöse und Intraday-Vermarktung
 - Wärmespeicher als "besserer" Stromspeicher?



Marktentwicklung 2008-heute



- Gas- und Strompreise nähern sich immer mehr an
- Der Spread sinkt selbst bei hocheffizienten Kraftwerken seit Mitte 2014 leichte gaspreisbedingte Erholung
- Der KWK-Index COGIX ist seit 2012 rückläufig



Stand der KWK Mitte 2015

- In den letzten 3 Jahren zeigten sich zwei gegenläufige Tendenzen:
 - KWK-Anlagen zur Eigenstromnutzung sind wegen der Vermeidung stetig steigender Abgaben und Umlagen in vielen Fällen wirtschaftlicher geworden. Das EEG 2014 hat den Vorteil für Neuanlagen reduziert
 - KWK-Anlagen ohne Eigenstromnutzung (Kraftwerke mit Wärmeauskopplung, Heizkraftwerke, Contracting-Anlagen, Wohnungswirtschaft) sind in gleichem Zeitraum zunehmend unwirtschaftlich geworden
- Die Novellierung des KWK-G 2016 soll bis Herbst 2015 abgeschlossen sein:
 - Das KWK Ziel von 25% ist relativiert worden und bezieht sich nun auf die Nettostromerzeugung aus thermischen Kraftwerken => Fokus auf Erhalt der KWK-Erzeugung
 - Die Fördersätze für Neuanlagen sollen gem. BMWi Vorschlag erhöht werden um 1 ct/kWh, Eigenerzeugungsförderung wird reduziert
 - Netz- und Speicherförderung bleibt erhalten bzw. wird leicht verbessert (Verdopplung der maximalen Projektsumme)



Eckpunkte KWK Förderung gem BMWi-Vorschlag

| | | alt (KWK-G 2012) | neu (Entwurf KWKG 2016) | |
|------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|--|
| KWK-Zuschlag bis 50 kW | | 5,41 | 8 | |
| ct/kWh | 50-250 kW | 4 | 5 | |
| | 250 kW-2 MW | 2,4 | 3,4 | |
| | >2 MW | 1,8 | 2,8 | |
| | ETS Anlagen | 0,3 | 0,3 | |
| Förderdauer | bis 50 kW | 10 Jahre | 45.000 VBh | |
| | > 50 kW | 30.000 VBh | 30.000 VBh | |
| Wärmespeicher | kleine Speicher (<50 m³) | 250 EUR/m³ | 250 EUR/m³ | |
| | Große Speicher | 250 EUR/m³, max. 30% | 250 EUR/m³, max. 30% | |
| | Maximal Projektförderung | 5 Mio. EUR | 10 Mio. EUR | |

Quelle: BMWi Eckpunktepapier

Strommarkt, März 2015

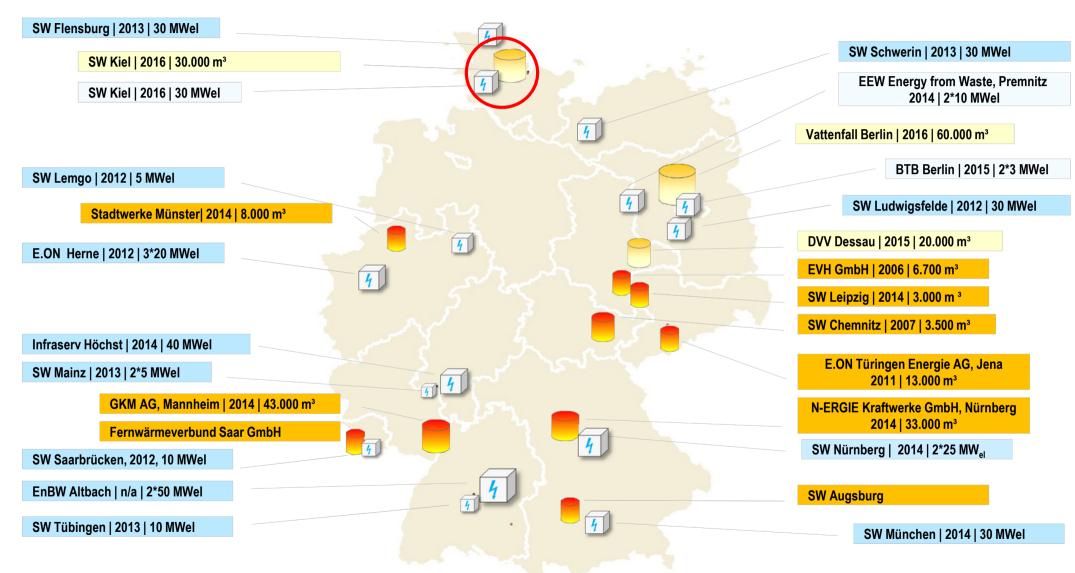


Übersicht Speichertypen

| | Drucklose (atmosp | Druckspeicher | | | |
|---|-------------------|---|---------------------------------------|--|--|
| | 1 Zonen speicher | 2 Zonen Speicher | | | |
| Prinzip | 98°C | 115°C | | | |
| Volumen | Bis rd. 60.000 m³ | Bis rd. 60.000 m³ | Modular, Einzelbehälter bis 150 m³ | | |
| Max. Temperatur | 98°C | bis 115°C (abhängig vom Wasserpolster) | Bis ca. 140 °C | | |
| Spez. Kapazität (bei 60° Rücklauftemperatur) | 44 kWh/m³ | Bis 64 kWh/m³ | Bis ca. 90 kWh/m³ | | |
| Kosten (ca.) | 300-500 EUR/m³ | 400-700 EUR/m³ | 800-1.200 EUR/m³ | | |



Überblick Wärmespeicher- und PtH-Projekte in Deutschland





Agenda

- Energiemarkt 2015 und Überblick Wärmespeicher
- Einsatzstrategien für Wärmespeicher
 - Einsatzplanung im Verbund mit Kohlekraftwerk
 - Einsatzplanung im Verbund mit flexiblen Gas-Kraftwerken
 - Projektbeispiel: Der Großwärmespeicher in Kiel
- Zukunftsperspektiven und Ausblick
 - Der Wert der Flexibilität: Regelenergie, Realoptionserlöse und Intraday-Vermarktung
 - Wärmespeicher als "besserer" Stromspeicher ?



Flexibilisierung KWK-Kraftwerke durch Speicher und E-Kessel

- Durch niedrige Spreads sind die meisten Kraftwerke nicht mehr dauerhaft "im Geld"
- KWK-Anlagen ohne Wärmespeicher <u>müssen</u> Stunden mit geringen Strompreisen "überfahren" oder Heizwerke einsetzen
- KWK-Anlagen mit Wärmespeicher suchen sich die besten Stunden ja Tag zur Wärmeproduktion aus (Cherry picking)
- Flexible KWK-Anlagen mit Wärmespeicher produzieren feste Fahrpläne (Day Ahead) und haben Möglichkeiten der Intraday Optimierung
- Wärme lässt sich (über einen Tag) quasi verlustfrei speichern => aber technisch anspruchsvoll
- KWK-Anlagen k\u00f6nnen die Produktion automatisch der Strom-Nachfrage anpassen, Begrenzung \u00fcber den W\u00e4rmebedarf
- Wärmespeicher sind günstig im Vergleich zu Stromspeichern
 - Investition (Förderung durch KWK-G) / Betriebskosten / Umwandlungsverluste
- Je höher die Stromkennzahl desto größer der wirtschaftliche Hebel für den Speichereinsatz
- Speicher und E-Kessel ergänzen sich gut
- Je schlechter der Strommarkt wird, desto höher wird das Optimierungspotenzial durch (Wärme-)Speicher !!

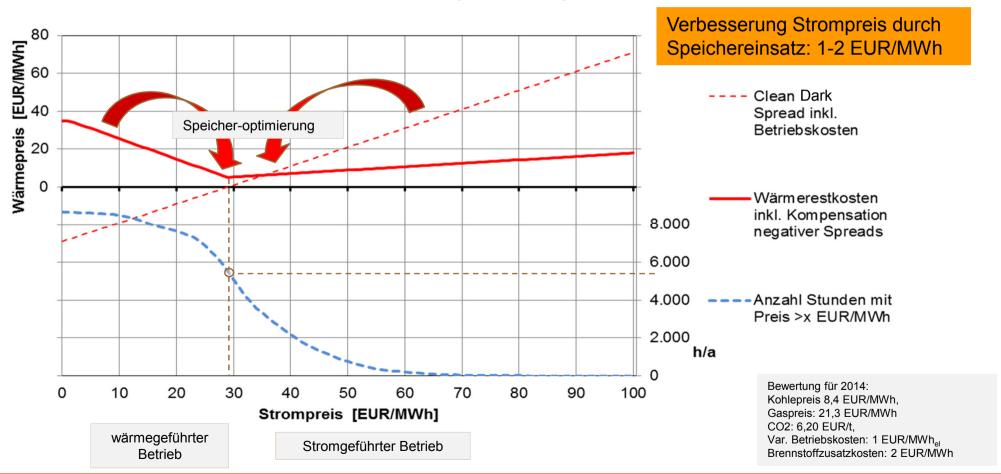


Speicherneubau am GKM Mannheim



Wärmerestkosten KWK-Kraftwerke: Beispiel Steinkohle-KW (45%)

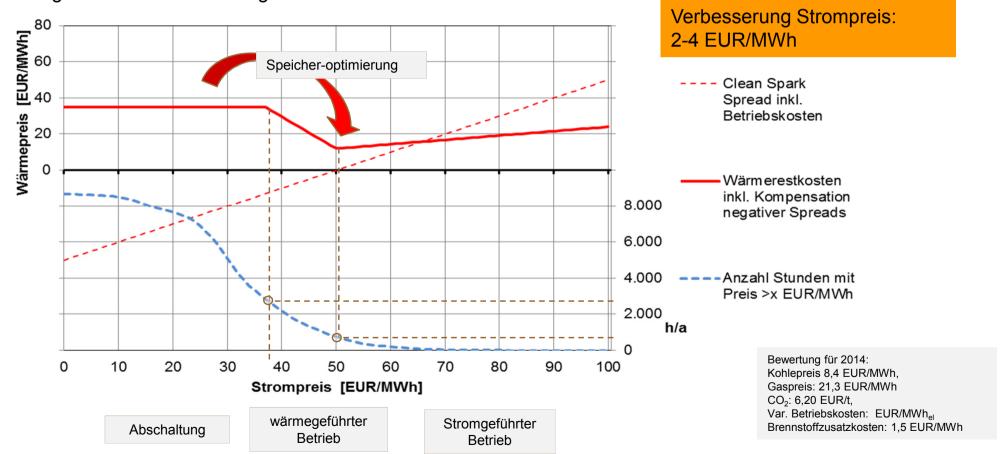
- KW im Geld: Bei positivem Clean Dark Spread (CDS) sind die variablen Kosten der Fernwärmeauskopplung durch die Stromeinbusse bestimmt (Volllastbetrieb)
- KW nicht im Geld: Bei negativem CDS sind zusätzlich negative Deckungsbeiträge in die Fernwärmekosten einzupreisen, da der Block im Bereich der stromseitigen Minlast gefahren werden muss





Wärmerestkosten KWK-Kraftwerke: GuD-KW (56%, ohne KWK-G)

- KW im Geld: Bei positivem Clean Spark Spread (CSS) sind die variablen Kosten der Fernwärmeauskopplung durch die Stromeinbusse bestimmt (Volllastbetrieb) => kommt kaum vor !
- KW nicht im Geld: Bei negativem CSS sind zusätzlich negative Deckungsbeiträge in die Fernwärmekosten einzupreisen, da der Block im Bereich der stromseitigen Minlast gefahren werden muss => bei hinreichend niedrigen Preisen Abschaltung!

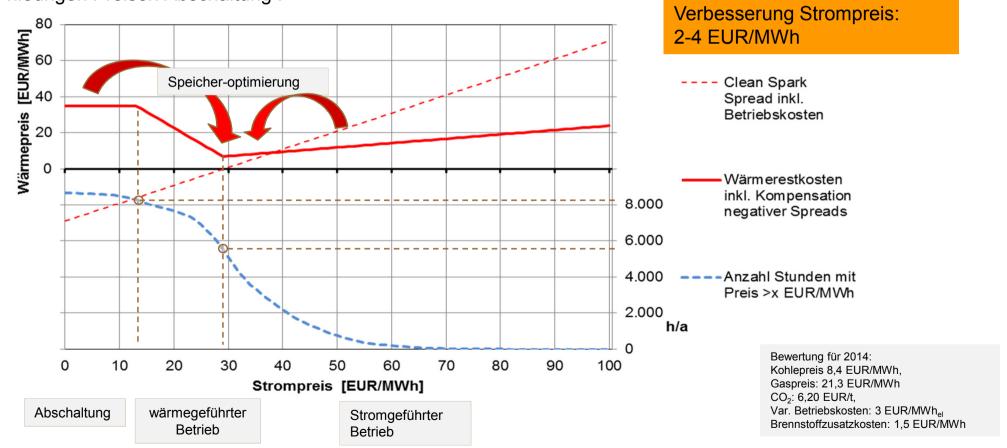




Wärmerestkosten KWK-Kraftwerke: Beispiel GuD-KW (mit KWK-G)

 KW im Geld: Bei positivem Clean Spark Spread (CSS) sind die variablen Kosten der Fernwärmeauskopplung durch die Stromeinbusse bestimmt (Volllastbetrieb)

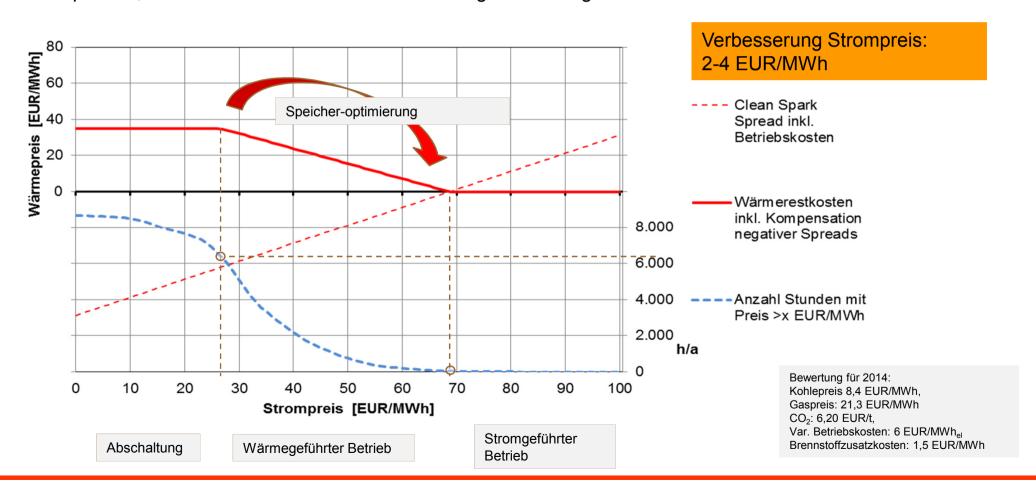
KW nicht im Geld: Bei negativem CSS sind zusätzlich negative Deckungsbeiträge in die Fernwärmekosten einzupreisen, da der Block im Bereich der stromseitigen Minlast gefahren werden muss => bei hinreichend niedrigen Preisen Abschaltung!





Wärmerestkosten KWK-Kraftwerke: Motor-BHKW (42%, ohne KWK-G)

- KW im Geld: Bei positivem Clean Spark Spread (CSS) sind die variablen Kosten der Fernwärmeauskopplung 0 (keine Stromeinbusse) => kommt kaum vor
- KW nicht im Geld: Bei negativem CSS sind zusätzlich negative Deckungsbeiträge in die Fernwärmekosten einzupreisen, da der Block im Bereich der stromseitigen Minlast gefahren werden muss





Praxisbeispiel*: Wärmespeicher und KWK-Erzeugung in Kiel

- Ausgangssituation:
 - Die Stadtwerke Kiel betreiben zusammen mit E.ON ein kohlegefeuertes Heizkraftwerk (320 MW) in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an der Kieler Förder
 - inzwischen werden 1/3 aller Gebäude in Kiel mit Fernwärme beheizt und die Stadtwerke Kiel wollen diesen Anteil weiter steigern.
 - Das GKK ist das "Arbeitspferd" der Fernwärme-Versorgung Kiel
 - Das Heizkraftwerk wurde in 1970 errichtet, nach 45 Jahren Betrieb ist bald das Ende Lebensdauer erreicht
 - Verfügbarkeit und Wirtschaftlichkeit haben sich in den letzten Jahren deutlich verschlechtert

^{*)} mit freundlicher Genehmigung der Stadtwerke Kiel

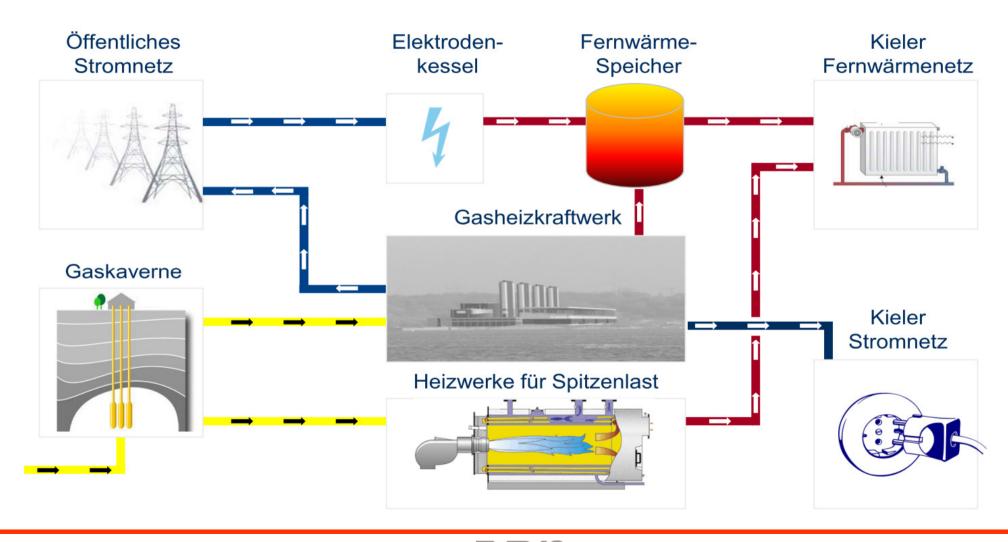


Historie des Projektes

| 2000-2006: | Beginn der Voruntersuchungen GKK Nachfolge (Kohlebasis) |
|------------|--|
| 2007 | Plan A : Start der Planung mit Fokus Großes Steinkohlekraftwerk (800-1100 MW) |
| 2008 | Bewertung Kohleblock (groß/klein) und gasbasierte Alternativen |
| 2008/2009 | Widerstand gegen Steinkohle, Bürgerproteste, verschlechterte Wirtschaftlichkeit => Projektstopp Kohleblock |
| 2009 | Plan B: Untersuchung GuD (400 MW –Klasse) |
| 2010 | Plan C : Fernwärmeschiene nach Neumünster und (Mit-)Nutzung der dort vorhandenen Kapazitäten |
| 2011 | Plan D : Untersuchung an Wärmebedarf angepasster Gas KWK (Motoren / Turbinen, max 200 MW) mit Wärmespeicher |
| 2013 | Grundsätzlicher Beschluss zur Umsetzung des Motoren-Konzeptes, Beginn der vorbereitenden Arbeiten (Grundstück, Baufeldfreimachung, Gasanbindung) |
| 2014 | Bauentscheidung 30.000 m³ Speicher und Elektrokessel, Bauentscheidung Großmotoren-KW ist noch offen |
| 2015 | Beginn Wärmespeicherbau |



Konzept des GHKW: Kombination aus Gasspeicher, Wärmespeicher, Flexibler KWK-Anlage und Elektrokessel





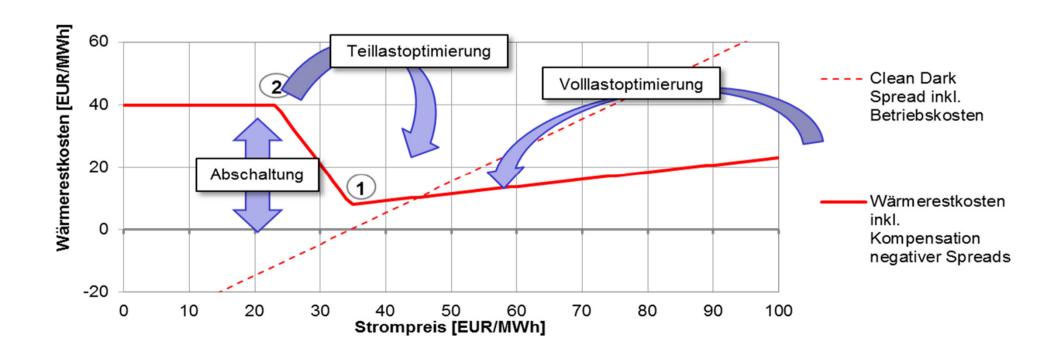
Grundprinzip Wärmespeichereinsatz und Elektrokessel

| | | Stromgeführter Einsatz | Wärmegeführter Einsatz |
|------------|--|---|--|
| Bis 2018 | Betrieb mit Kohlekraftwerk GKK (alt, bis 2018) => Variables Strom/Wärtmeverhältnis Prinzip der Entnahmekondensation | Verringerung der Wärmeauskopplung und Erhöhung der Stromproduktion in Zeiten hoher Strompreise => Entladung Speicherladung in Zeiten mittlerer Strompreise Vermeidung von Minlastbetrieb (z.B. Nachtabschaltung) Neg. Regelleistung durch E-Kessel/Speicher-Kombination | Dämpfung thermischer Lastspitzen im Netz Durch Zwei- Zonen Speicherkonzept auch bei Netztemperaturen >100 °C einsetzbar ohne Nachheizung Zusätzliche schnelle Reserveleistung in Verbindung mit E-Kessel, |
| Ab 2019 | Betrieb mit modularem Motoren-Kraftwerk (neu, geplant ab 2019) => Festes Strom/Wärmeverhältnis, Prinzip der Gegendruck- Turbine | <u>Erhöhung der Wärmeauskopplung</u> und Erhöhung der Stromproduktion in Zeiten <u>hoher Strompreise</u> => Ladung Abschaltung in Zeiten negativer spreads => Entladung Neg. Regelleistung durch E-Kessel/Speicher-Kombination | Dämpfung thermischer Lastspitzen im Netz Durch Zwei- Zonen Speicherkonzept auch bei Netztemperaturen >100 °C einsetzbar Zusätzliche schnelle Reserveleistung in Verbindung mit E-Kessel, |



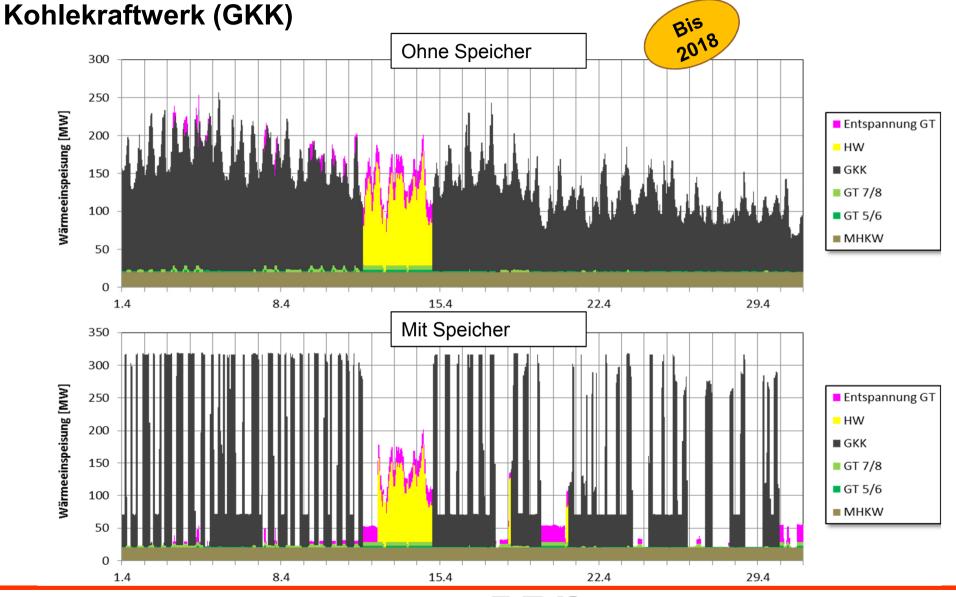
Ermittlung Wertbeitrag Speicher: Methodisches Vorgehen

- Die Bewertung baut auf einem integierten Kalkulationsmodell der EEB Enerko auf, das auch bereits in vorangegangenen Studien für die Stadtwerke Kiel eingesetzt wurden.
- Optimiert werden alle Einsatzparameter bzw. Aktivitäten in den vorgegebenen Einsatzgrenzen unter Maßgabe der Kostenminimierung des Gesamtsystems auf Stundenebene.
- Das hier gezeigte Energieszenario basiert auf den Forward-Preisen Oktober 2014



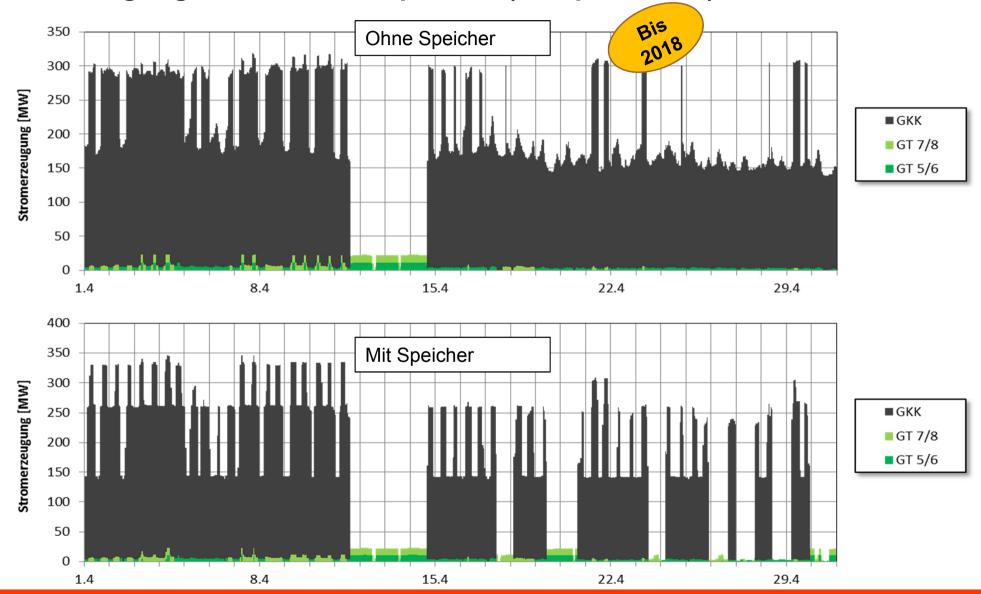


Wärmeerzeugung mit und ohne Speicher (Beispielmonat) – Parallelbetrieb mit





Stromerzeugung mit und ohne Speicher (Beispielmonat)



1.4

8.4



Wärmeerzeugung mit und ohne Speicher (Beispielmonat) – Parallelbetrieb mit flexiblem Gaskraftwerk dA 300 Nur Pufferspeicher (1.000 m³) 250 ■ GHKW Wärmeeinspeisung [MW] ■ Entspannung GT 200 ■ HW 150 ■ Flektrodenkessel ■ GT 7/8 100 ■ GT 5/6 50 ■ MHKW 8.4 15.4 22.4 29.4 300 Mit Groß-Speicher (30.000 m³) 250 ■ GHKW Wärmeeinspeisung [MW] ■ Entspannung GT 200 ■ HW 150 Elektrodenkessel ■ GT 7/8 100 ■ GT 5/6 50 Leistungsvorhaltung für Regelleistung

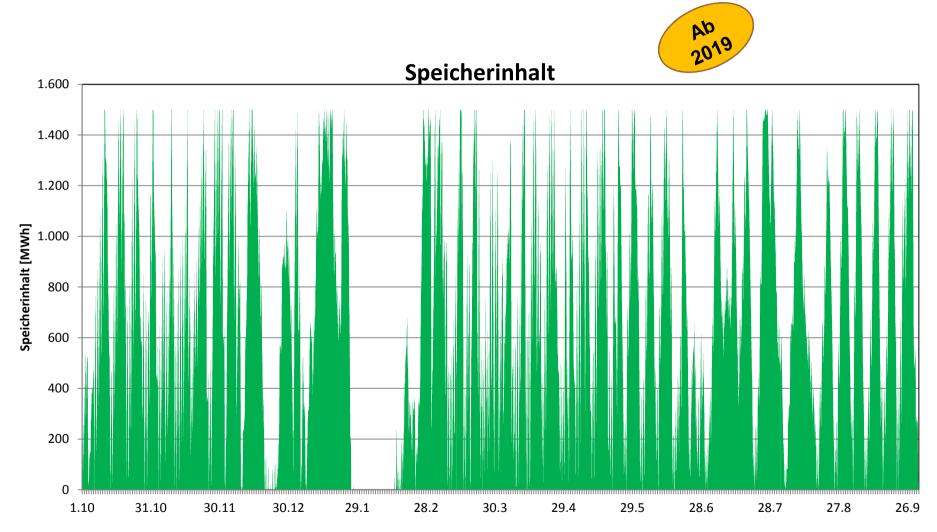
22.4

29.4

15.4



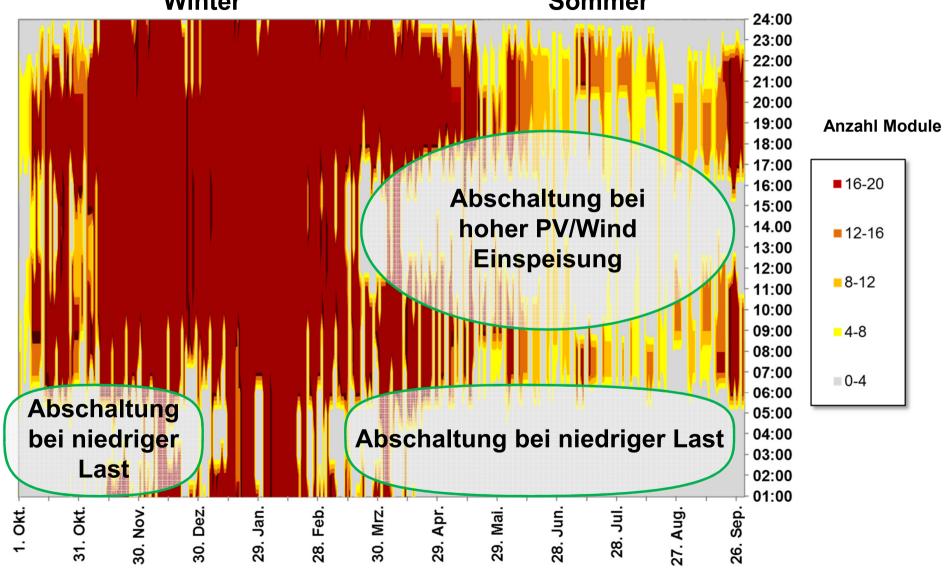
Speicherladezustand – Parallelbetrieb mit flexiblem Gaskraftwerk



Der Speicher wird ganzjährig eingesetzt ausser bei Maximallast: rd. 100 Ladezyklen



Kraftwerkseinsatz GHKW: eine ideale Ergänzung erneuerbarer Erzeugung! Winter Sommer





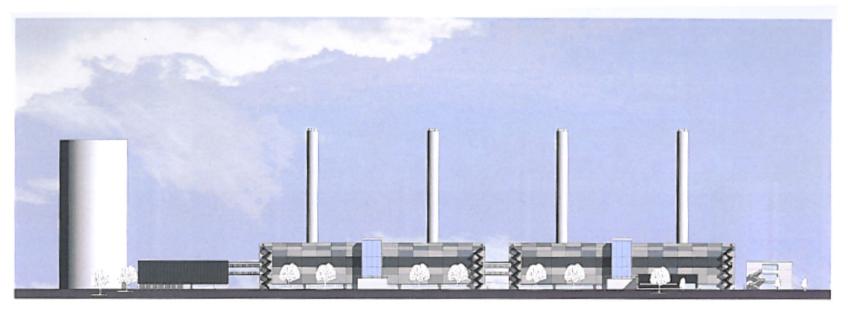
Stand des Projektes: Baufeld Mai 2015

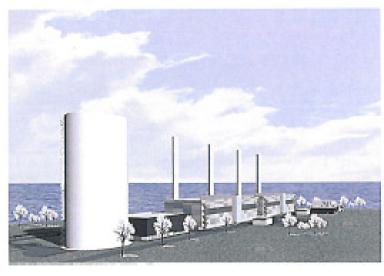






Visiualisierung Motoren-HKW und Wärmespeicher









Fazit zum Projekt Kiel

- Der Zubau des Wärmespeichers führt zu einem großen Flexibilitätsgewinn:
 - Während des Parallelbetrieb von Speicher und kohlegefeurten GKK (Restlebensdauer) lassen sich signifikante Vorteile erschließen durch höhere Wertigkeit des erzeugten Stroms und Einsparungen bei der Brennstoffbeschaffung (Erdgas und Kohle).
 - Nach Inbetriebnahme des neuen Motoren-HKW ändert sich die Betriebsweise des Speichers, führt aber ebenfalls zu erheblichen Einsatzvorteilen
- Kombination aus Motoren-HKW, Speichersystem (Erdgas + Wärme) und Elektrokessel ist ein wichtiger Baustein der Energiewende
- Aber: Das Gesamtprojekt mit hochflexiblem Motoren-Heizkraftwerk ist weiterhin wegen des schwierigen Marktumfeldes wirtschaftlich unter hohem Druck:
 - Verbesserung KWK-Förderung in der Größenordnung des BMWi-Vorschlags ist unabdingbar
 - Stabilisierung des Marktumfeldes (Marktdesign, ETS, Regulatorische Anforderungen) wäre wünschenswert



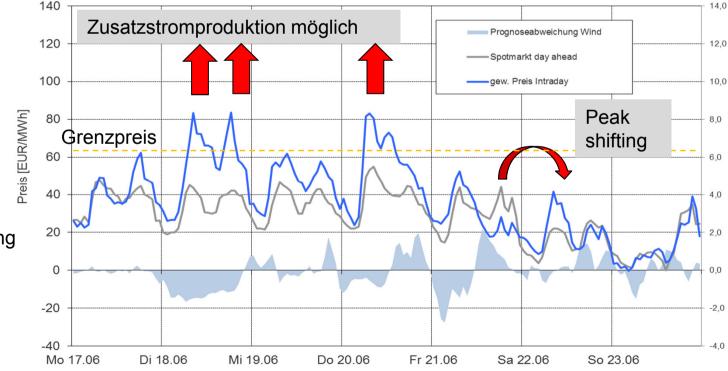
Agenda

- Energiemarkt 2015 und Überblick Wärmespeicher
- Einsatzstrategien für Wärmespeicher
 - Einsatzplanung im Verbund mit Kohlekraftwerk
 - Einsatzplanung im Verbund mit flexiblen Gas-Kraftwerken
 - Projektbeispiel: Der Großwärmespeicher in Kiel
- Zukunftsperspektiven und Ausblick
 - Der Wert der Flexibilität: Regelenergie, Realoptionserlöse und Intraday-Vermarktung
 - Wärmespeicher als "besserer" Stromspeicher?



Zusatznutzen Wärmespeichersysteme

- Speicher sind ein wichtiges Instrument in der Intradayvermarktung und ermöglichen Realoptionserlöse
- In Verbindung mit flexiblen Erzeugern (Motoren-Kraftwerken, Elektrokessel) erweiterte Regelenergie-Flexibilität
- Minimierung von Fahrplanabweichungen (Wärme, Gas und Strom) durch Ausregeln von Prognoseabweichungen



Beispiel: Nachvermarktung im Intraday handel



Ausblick: Sind Wärmespeicher die "besseren" Stromspeicher?

| | | Stromspeicher | | Wärmespeicher | | | | |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------|---|----------------------|------------------|---|
| | | Pumpspeicher-KW | Batterie | | Druckspeicher große atmosphärische Speicher | | | ische Speicher |
| | | Großanlage (z.B: Goldisthal) | groß- technisch | klein (PV- Speicher) | Wärme aus BHKW (2 MW) | Wärme aus BHKW/GT | Wärme aus GuD | Bemerkung |
| Leistung | Mw _{el} | 1.000 | 25 | 0,005 | - | - | - | |
| | MW_{th} | - | - | - | 2 | 250 | 250 | bei 115/60°C |
| Wasservolumer | n m³ | 12.000.000 | - | - | 200 | 30.000 | | |
| Stromkennzahl | | - | - | - | 0,8 | 1,0 | 0,2 | ~1 bei Motor, sonst Stromverlustkennziffer |
| Entladedauer | in h | 8 | 4 | 4 | 4 | 6 | 6 | |
| Entladearbeit | MWh _{el} | 8.000 | 100 | 0,02 | 6,4 | 1.500 | 300 | Stromäquivalent |
| | MWh_{th} | - | - | - | 8 | 1.500 | 1.500 | |
| Lebensdauer in Zyklen | | 14.600 | 5.000 | 2.500 | 3.000 | 3.000 | 3.000 | PsP: 40 a, WSp: 15 a |
| Zyklen pro Jahr | | 365 | 365 | 365 | 100 | 100 | 100 | · |
| Invest | in tEUR | 600.000 | 30.000 | 10 | 200 | 18.000 | 18.000 | |
| Invest | in €/kWh Kapazität | 75 | 300 | 500 | 31 | 12 | 60 | |
| Capex | in €/Entladeyzklus | 106.849 | 6.600 | 4 | 100 | 9.000 | 9.000 | |
| Capex | in €/MWh / Zyklus | 13 | 66 | 220 | 16 | 6 | 30 | |
| Wirkungsgrad | | 80% | 95% | 90% | 98% | 98% | 98% | |
| Kosten | pro MWh _{el} | 17 | 69 | 244 | 16 | 6 | 31 | |

- Überschlagsrechnung ohne Betriebskosten
- Abschätzungen zu Invest, Wirkungsgrad und Zyklen, je nach Projekt ergeben sich deutliche Unterschiede
- Grundsätzlich ist ein Wärmespeicher wegen der Abhängigkeit vom Wärmebedarf "nur" ca. 50% der Zeit einsatzfähig, dennoch sind seine Fixkosten geringer als die von Stromspeichern (PSK, Batterie)



Zum Schluss: Wer wir sind....



EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH

www.enerko.de Landstrasse 20 • 52457 Aldenhoven • Telefon: 0 24 64 / 971 –537 • armin.kraft@enerko.de