Flexibilisierung der Strom- und Wärmeerzeugung durch Wärmespeicher

Dr.-Ing. Marius Maximini

13.11.2019

EEB ENERKO
Energiewirtschaftliche
Beratung GmbH

ENERKO
changing **energy**

EEB ENERKO: Beratungsschwerpunkte

Standorte Aldenhoven bei Aachen und Berlin • 40 Mitarbeiter

ENERKO *changing* **energy**

Konzepte und Gutachten

- Unternehmensentwicklung
- Klimaschutzkonzepte
- Kraftwerks- und KWK-Analysen
- Fernwärmekonzepte
- Primärenergiefaktoren und Hocheffizienznachweise
- Energiemanagement

Energie-wirtschaftliche Beratung

- Unternehmensbewertung
- Netzbewertung und -kauf
- Netznutzungsentgelte
- Strom- und Gasbeschaffung
- Emissionshandel
- Betriebswirtschaftliche Begleitung

Technische Planung

- Heizkraftwerke und BHKW
- Netze Strom, Gas, Fernwärme
- Industrielle Medienversorgung
- Speicher für Fernwärme und Gas
- Regenerative Stromerzeugung

Inhalt

- Anforderungen an Wärmenetze der Zukunft
  - Energiewende
  - Sektorenkopplung
- Flexibilisierung von Strom- und Wärmeerzeugung
  - Einsatzmöglichkeiten und Chancen am Strommarkt
  - Fallbeispiel Einsatzplanung KWK-Anlage
- Fernwärmespeicher
  - Technologien
  - Realisierungsbeispiele Fernwärmespeicher
- Ausblick

Motivation

Klimaschutz als Haupttreiber

- Internationalen Klimaschutzvereinbarungen (Paris Agreement 2015)

- Deutsche Klimaschutzziele:
  - **Reduktion THG-Emissionen um 80-95% bis 2050**
  - **Kohleausstieg bis 2038**

- Umsetzung der Klimaschutzziele erfordert eine Transformation der Energiesysteme

→ **Umstieg auf erneuerbare Energien**

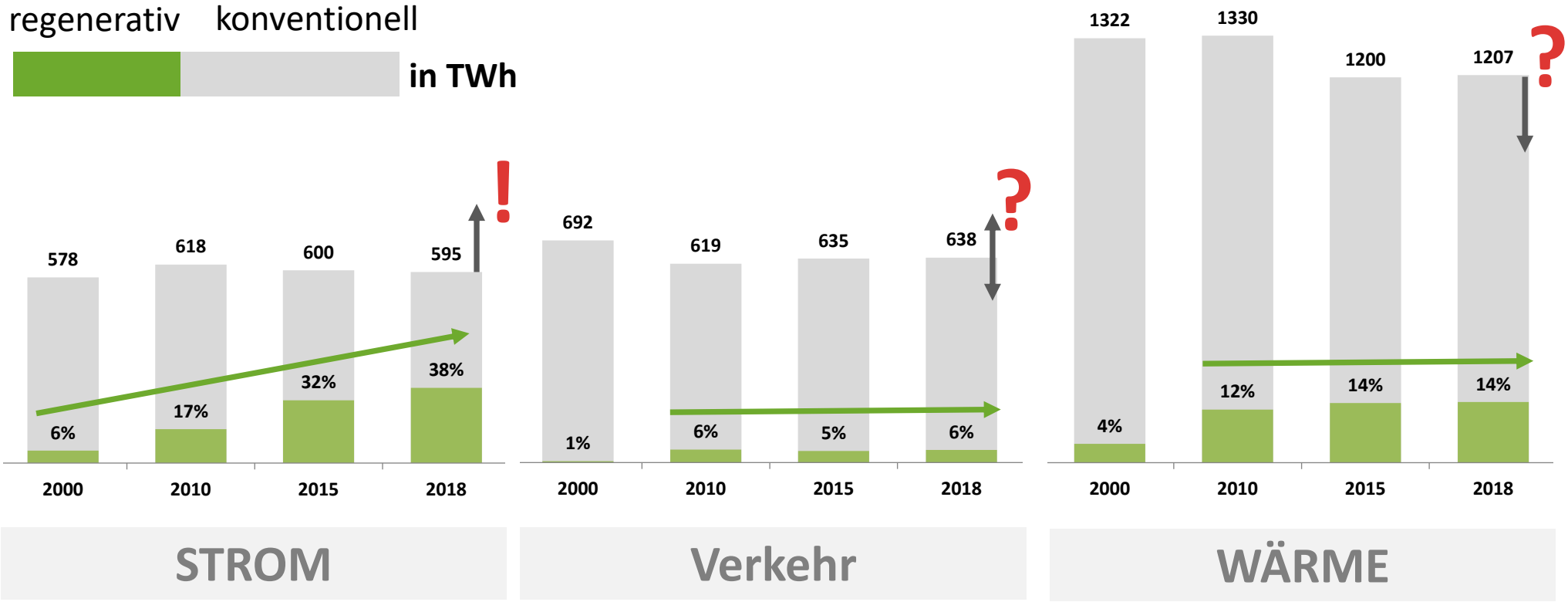
→ **Steigerung der Energieeffizienz**

→ **Ausbau der Sektorenkopplung**

Stand der Energiewende

Endenergie nach Sektoren

Zahlen aus: Zeitreihen zur Entwicklung der Erneuerbaren Energien in Deutschland, BMWI



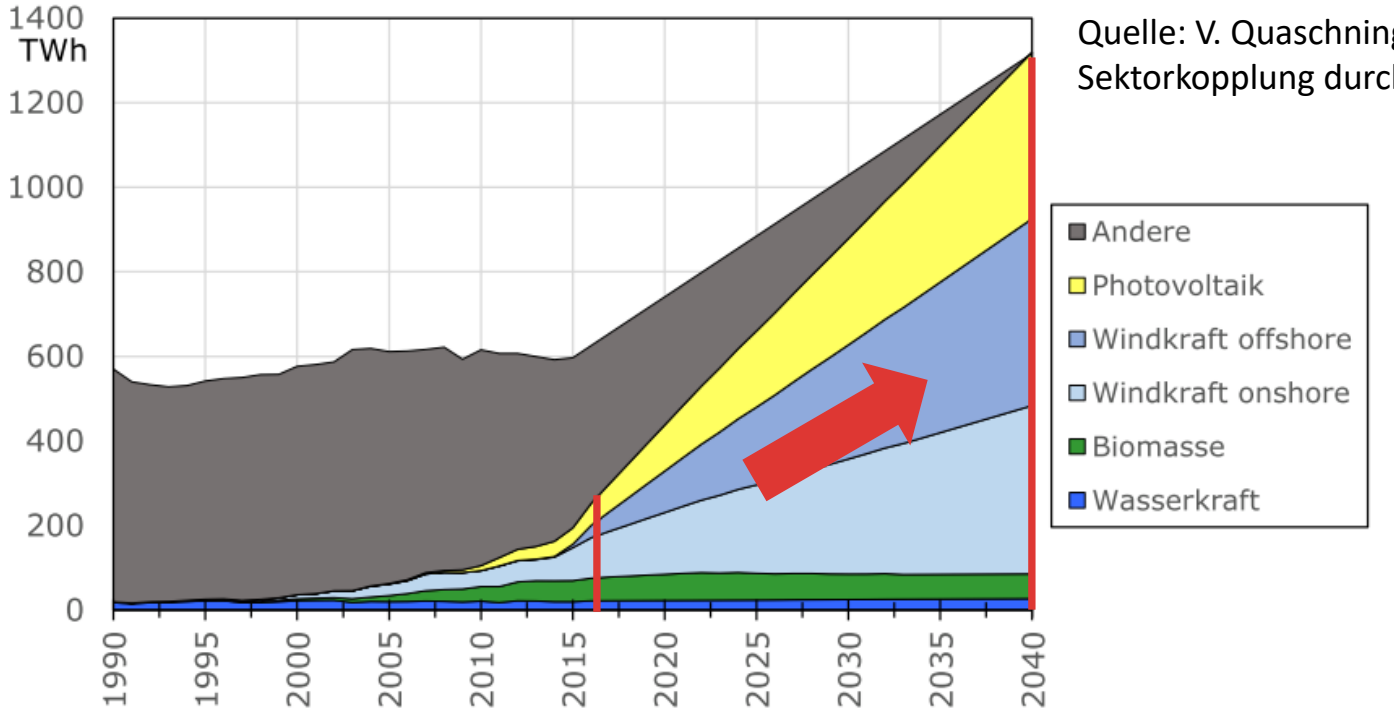
- Spürbare Zunahme der Erneuerbaren nur im Stromsektor durch das EEG
- Der Ausbau Erneuerbaren im Wärmesektor tritt auf der Stelle
- **Wärmesektor ist aber zweimal so groß!**

Sektorenkopplung: Transformation des Stromsektors

Ausbau zur Elektrifizierung von Verkehr und Wärme

- Potentiale für Erneuerbare Energie in Deutschland überwiegend in PV und Wind
- Stromsektor muss zusätzlich erneuerbare Energie für Verkehr und Wärme liefern

→ **EE-Kapazitäten müssen verfünffacht (!) werden – Wir stehen immer noch am Anfang!**



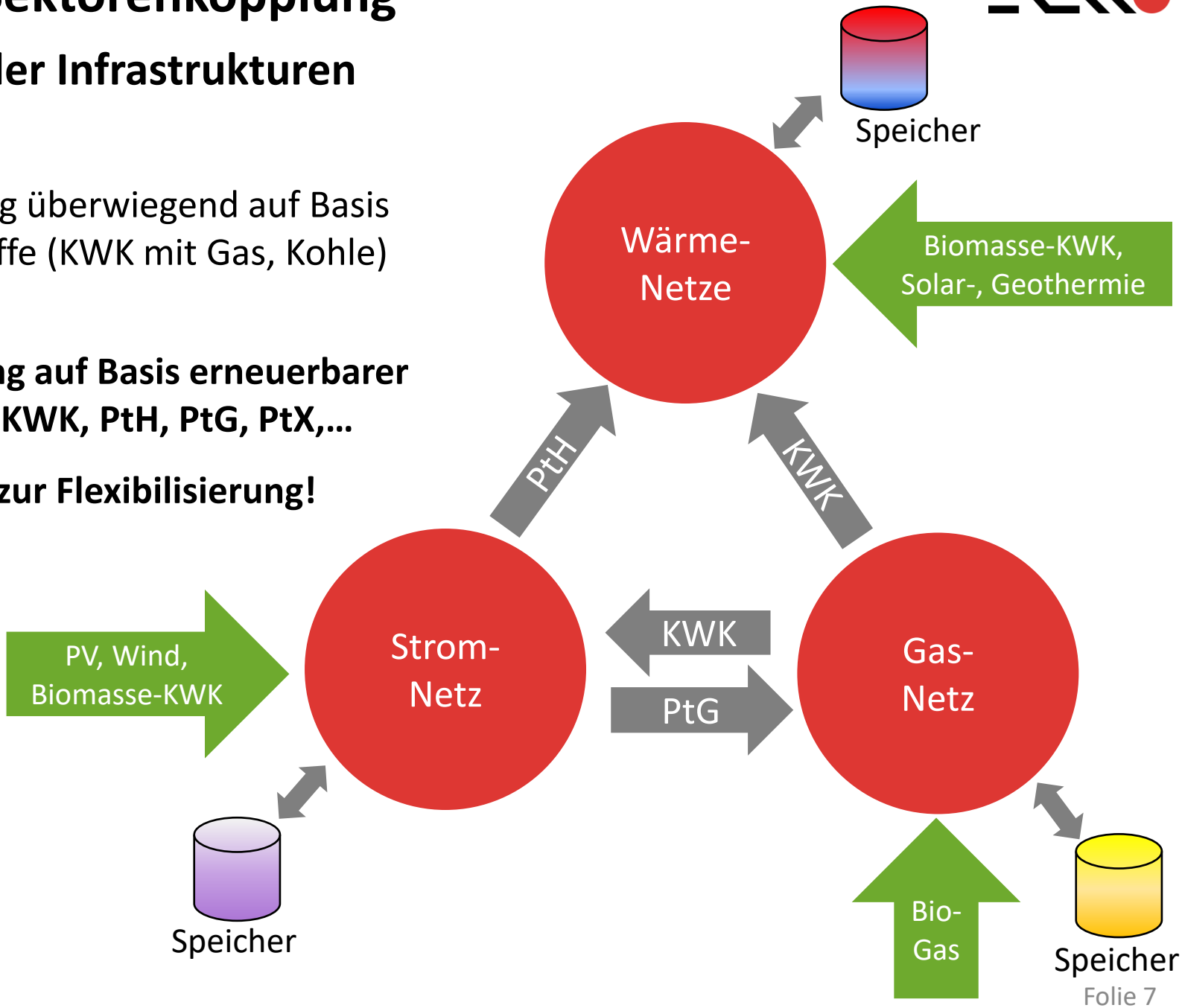
Quelle: V. Quaschning (HTW Berlin) – Sektorkopplung durch die Energiewende

Bild 16 Entwicklung der regenerativen Stromerzeugung und des Stromverbrauchs bis 2040 zum Erreichen einer klimaneutralen Energieversorgung bei Berücksichtigung von Effizienzmaßnahmen

Schlüssel zur Sektorenkopplung

Verknüpfung der Infrastrukturen

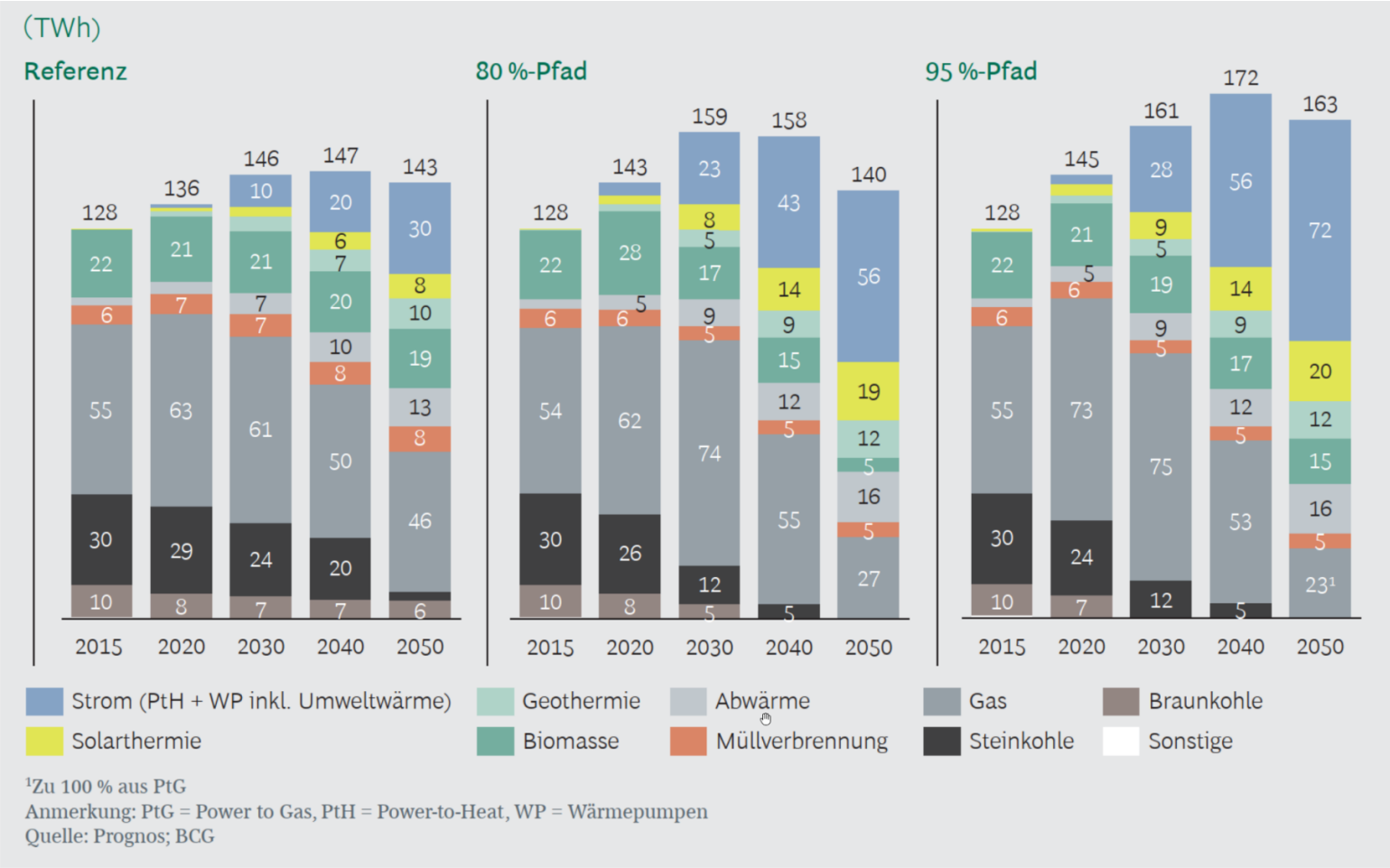
- Heute:
  Sektorenkopplung überwiegend auf Basis fossiler Brennstoffe (KWK mit Gas, Kohle)
- **Zukünftig:**
  Sektorenkopplung auf Basis erneuerbarer Energien mittels KWK, PtH, PtG, PtX,…
- **Energiespeicher zur Flexibilisierung!**



Wärmenetze: Schlüsseltechnologie der Wärmewende

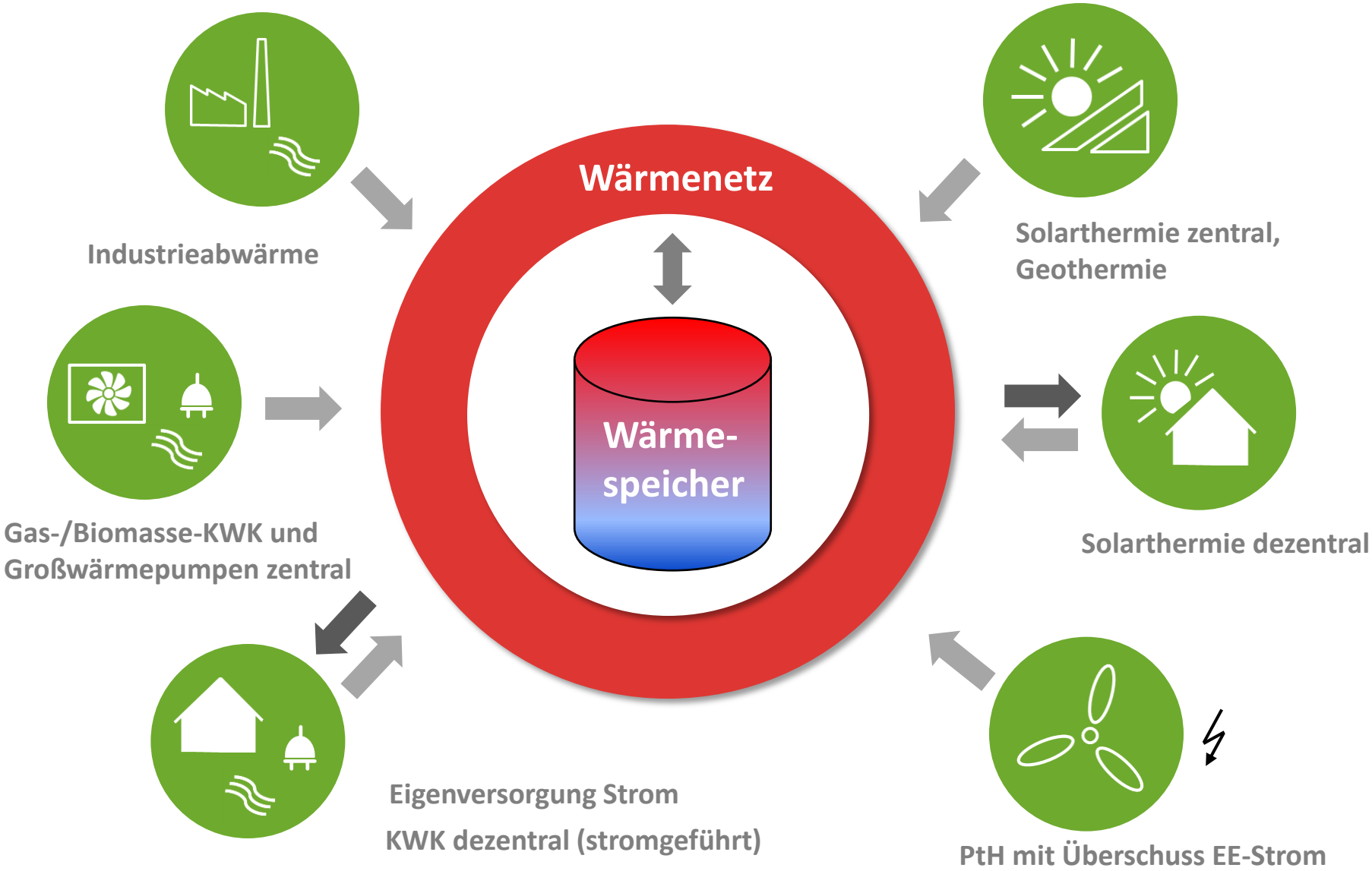
Transformation der Fernwärme

- Nah- und Fernwärmenetze sind entscheidende Infrastruktur zur Nutzung der zukünftigen Wärmequellen und Schlüsseltechnologie der Sektorenkopplung



BCG/Prognos: Klimapfade für Deutschland, 2018

Zukunft der Wärmenetze: Plattform zur Integration von erneuerbaren Energien, Abwärme und KWK



Inhalt

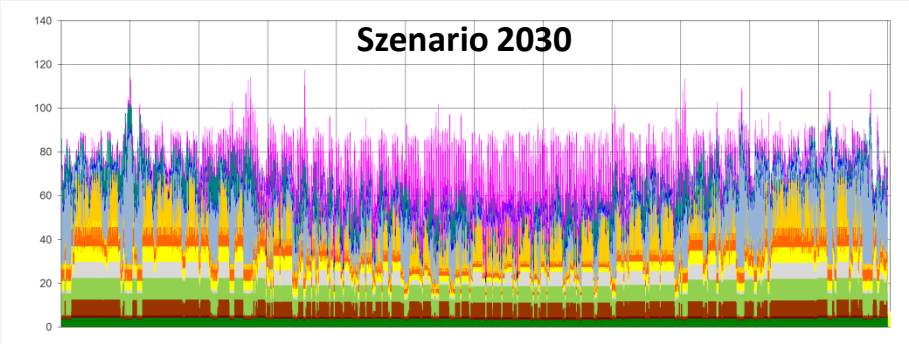
- Anforderungen an Wärmenetze der Zukunft
  - Energiewende
  - Sektorenkopplung
- Flexibilisierung von Strom- und Wärmeerzeugung
  - Einsatzmöglichkeiten und Chancen am Strommarkt
  - Fallbeispiel Einsatzplanung KWK-Anlage
- Fernwärmespeicher
  - Technologien
  - Realisierungsbeispiele Fernwärmespeicher
- Ausblick

Flexibilisierung von Strom- und Wärmeerzeugung

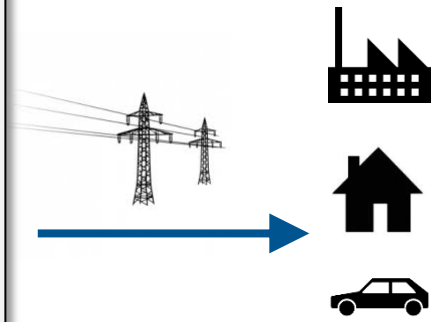
Einsatz von KWK, PtH und Wärmespeichern

Stromerzeugung mit hohem EE Anteil:

- Überschüsse im Sommer und Übergangjahreszeit, sehr volatil oft nur stundenweise
- Back-up Bedarf („Dunkelflaute“)



Stromsektor

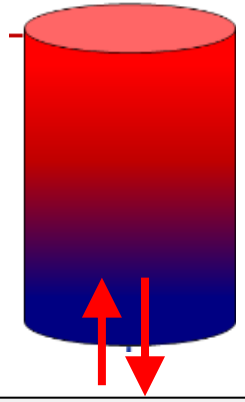


zeitgleich

zeitgleich

PtH

KWK

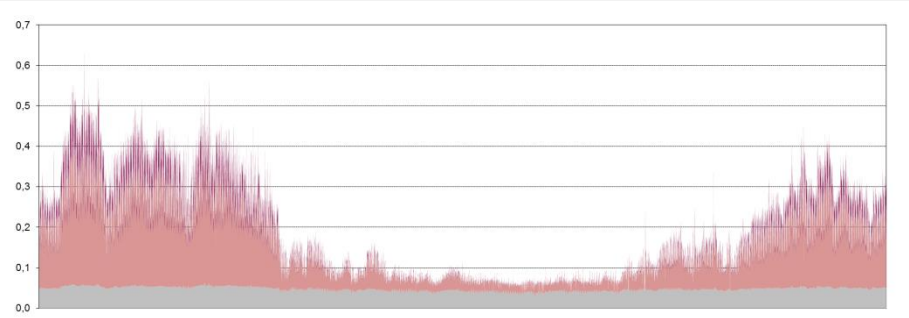


entkoppelt

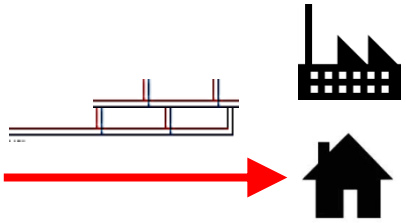
entkoppelt

Wärmenetzlast

- Winterlastiger Bedarf
- Überschüsse durch Abwärme (Industrie, Müllverbrennung, dez. KWK)



Wärmesektor



Wärmespeicher für die Sektorenkopplung

Einsatzmöglichkeiten und Chancen heute

- KWK-Anlagen ohne Wärmespeicher müssen Stunden mit geringen Strompreisen „überfahren“ – oder Heizwerke einsetzen, um Wärmeversorgung zu sichern

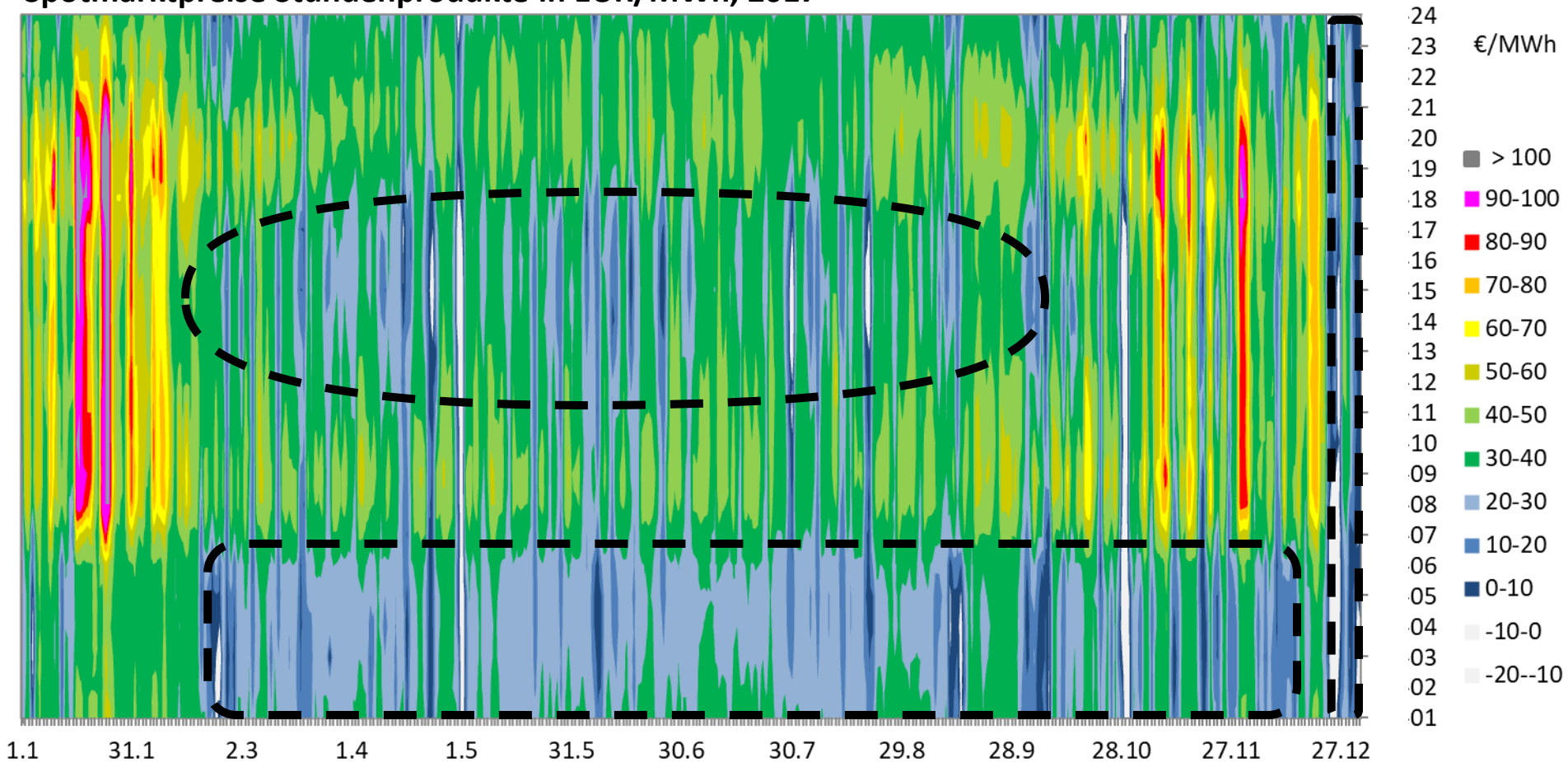
→Wärmespeicher können Lastspitzen glätten und Spitzenerzeugung vermeiden

- Wärmespeicher flexibilisieren KWK-Anlagen, entkoppeln Strom- und Wärmeerzeugung
  - Max. Stromerzeugung bei hohen Preisen, Wärmespeicher gleicht Differenzen zur Wärmelast aus
  - Abschaltung der KWK-Anlage bei geringen Strompreisen, Wärmeversorgung aus dem Speicher
  - stromgeführte Fahrweise, trotzdem hoher KWK-Anteil der Stromerzeugung dank Speicher
- Wärmespeicher speichern überschüssigen Strom mittels Power-to-Heat
  - Instrument der Sektorenkopplung (Regelleistung für das Stromnetz)
  - Günstiger als Stromspeicher

Chancen am Strommarkt

- Hoher Leidensdruck für die KWK: Niedrige und volatile Strompreise wegen Überschüssen
- KWK-Einsatz oft nicht wirtschaftlich → **Lösung: Einsatz von Wärmespeichern**

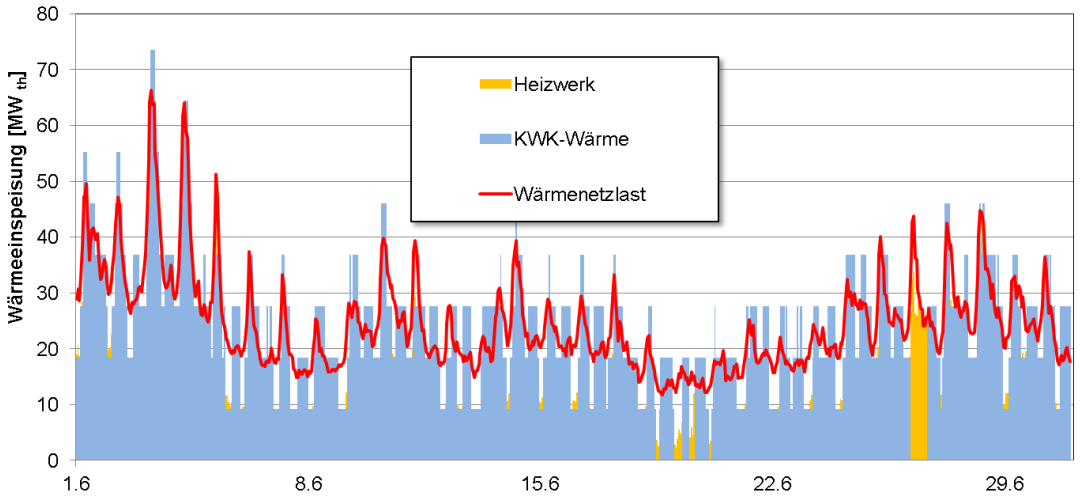
Spotmarktpreise Stundenprodukte in EUR/MWh, 2017



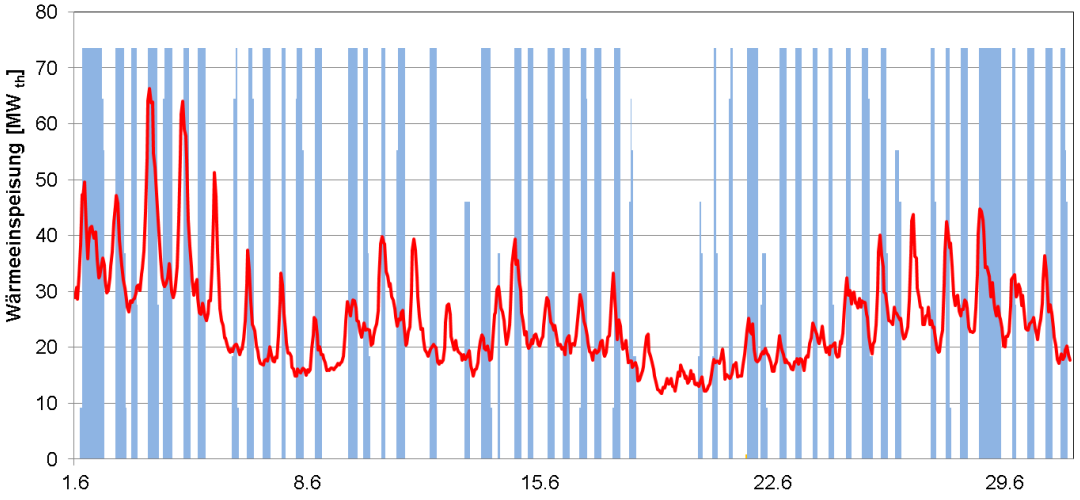
Fallbeispiel

Einsatzplanung für eine KWK-Anlage mit Wärmespeicher

- Oben: Einsatzplanung KWK (80 MW) **Standard Pufferspeicher**
  - KWK muss zur Wärmeversorgung laufen
  - Einsatz von Spitzenheizwerken z.T. wirtschaftlicher



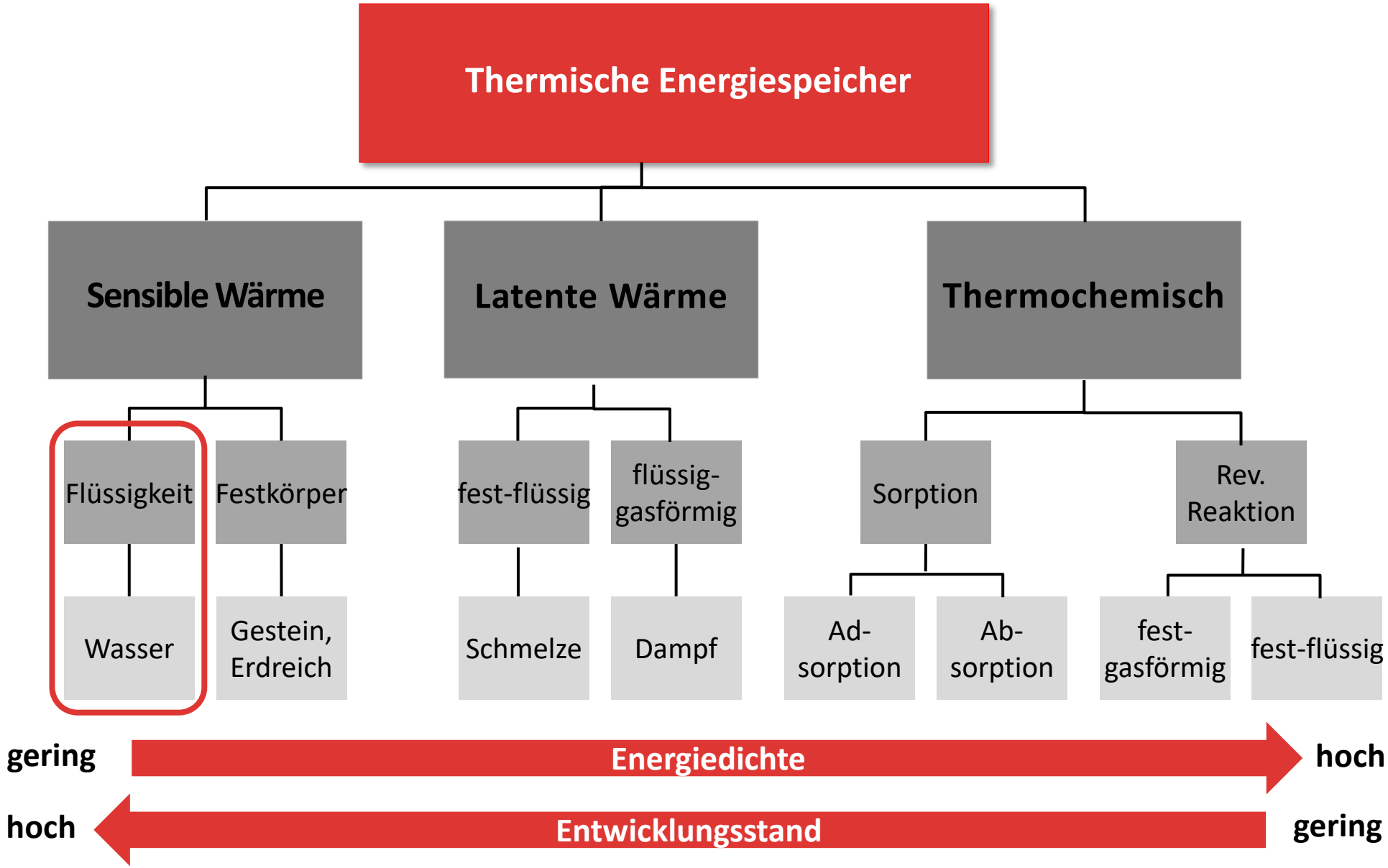
- Unten: Einsatzplanung KWK (80 MW) **mit Wärmespeicher (700 MWh)**
  - Stromgeführter Betrieb der KWK wirtschaftlich optimiert
  - Abschalten der KWK-Anlage bei geringen Strompreisen



Inhalt

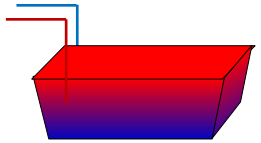
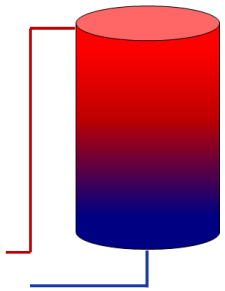
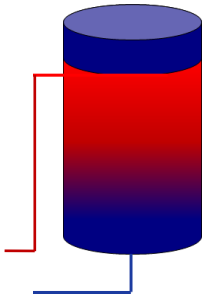
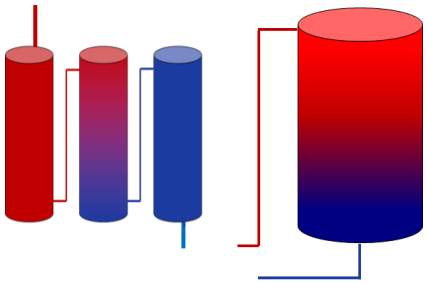
- Anforderungen an Wärmenetze der Zukunft
  - Energiewende
  - Sektorenkopplung
- Flexibilisierung von Strom- und Wärmeerzeugung
  - Einsatzmöglichkeiten und Chancen am Strommarkt
  - Fallbeispiel Einsatzplanung KWK-Anlage
- Fernwärmespeicher
  - Technologien
  - Realisierungsbeispiele Fernwärmespeicher
- Ausblick

Übersicht Wärmespeicher



Übersicht Wärmespeicher

Technologien in der Fernwärme

	Drucklose Speicher			Druckspeicher
	Erdbeckenspeicher (Saisonalspeicher)	Atmosphärischer Speicher	Atmosphärischer Zweizonenspeicher	
Prinzip				
Volumen (realisiert)	200.000 m³ (Vojens, DK)	50.000 m³ (Halle / Saale)	43.000 m³ (Duisburg)	Kaskade von Behältern je 390 m³ (Magdeburg) Einzelbehälter bis 24.000 m³ (Kopenhagen, DK)
Max. Temperatur	90°C (überwiegend Solarthermie)	98°C	> 100°C (realisiert 120°C)	> 100°C (realisiert 160 °C, Dresden)
Kosten (ca.)	100-250 EUR/m³	300-500 EUR/m³	400-700 EUR/m³	800-1.200 EUR/m³
Referenzen ENERKO		Halle (Saale), Mannheim	Duisburg, Kiel, Heidelberg	In Kombination mit BHKW z.B. Aachen, Werningerode, Lübeck, Merseburg, Sangerhausen,…..

Erdbeckenspeicher

Realisierungsbeispiele in Dänemark

- Hohe Kosteneffizienz, sehr große Volumina

→Einsatz als Saisonalspeicher

- Angeschlossene Erzeuger in DK:
  - Zentrale Solarthermie-Anlagen
  - Große Wärmepumpen, Elektrokessel
  - Biomasse-KWK, u.A.
- Tiefenentladung durch Wärmepumpen
- **In Deutschland benachteiligt, da nicht wie andere Wärmespeicher im Rahmen des KWKG gefördert**

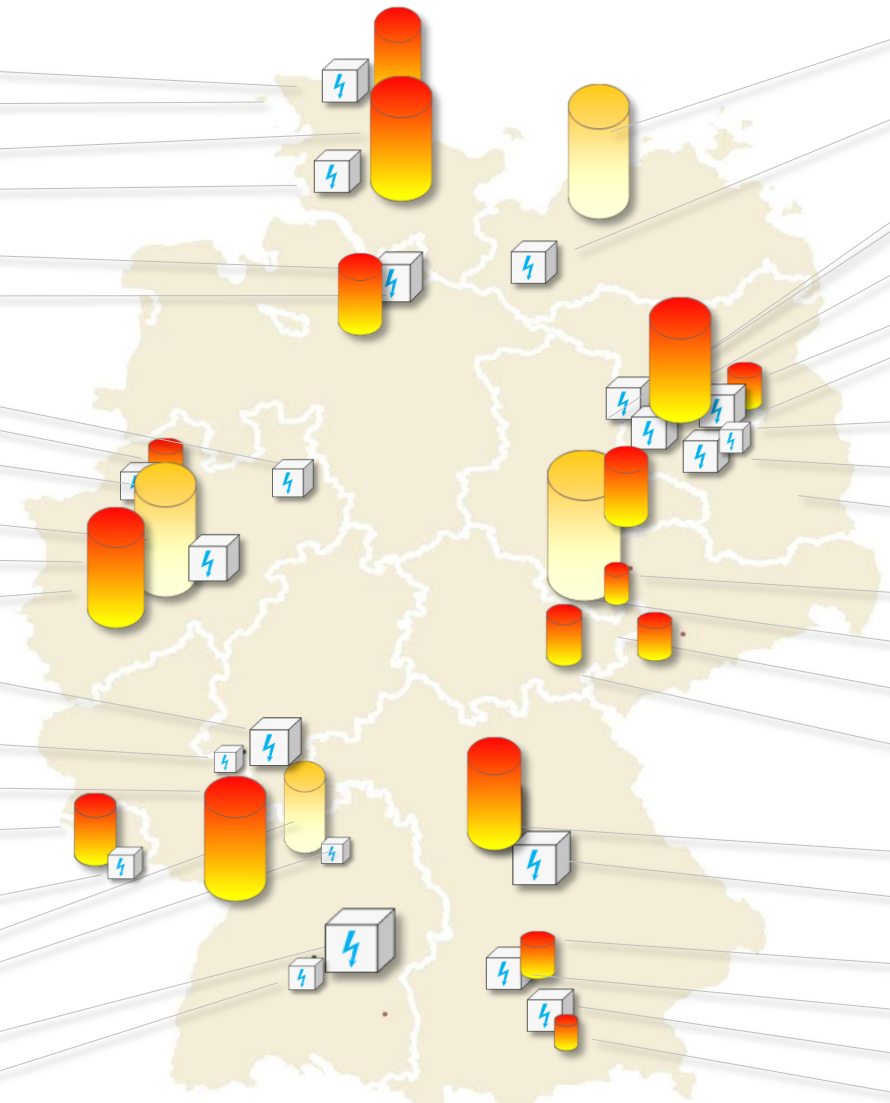
→ **Nachholbedarf in der Förderlandschaft**

Quelle: Arcon Sunmark

Erdbeckenspeicher Bauphase / Nach Fertigstellung (Dänemark)

Wärmespeicher- und PtH-Projekte in Deutschland

Auszug



- SW Flensburg | 2013 | 30 MWel
- SW Flensburg | 2013 | 29.000 m³
- SW Kiel | 2016 | 42.000 m³
- SW Kiel | 2015 | 30 MWel
- Vattenfall, Hamburg| 2015 | 40 MWel
- Vattenfall, Hamburg| 2013| 20.000 m³
- SW Lemgo | 2012 | 5 MWel
- Stadtwerke Münster| 2007| 8.000 m³
- Stadtwerke Münster| 2014| 22 MWel
- E.ON Herne | 2014 | 3*20 MWel
- SW Duisburg| 2018 | 43.000 m³
- SW Düsseldorf| 2016 | 35.000 m³
- Infraserv Höchst | 2014 | 2 x 20 MWel
- SW Mainz | 2013 | 2*5 MWel
- GKM AG, Mannheim | 2014 | 43.000 m³
- STEAG AG | 23.000 m³
- Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft Saarbrücken | 2012 | 10 MWel
- *SW Heidelberg | 2018 | 20.000 m³*
- SW Heidelberg | 2018 | 4 MWel
- EnBW Altbach | 2 x 50 MWel
- SW Tübingen | 2013 | 5 MWel

- *SW Rostock | 2021 | 45.000 m³*
- SW Schwerin | 2013 | 3 x 5 MWel
- EWP, Potsdam | 2016 | 41.000 m³
- EWP, Potsdam | 2015 | 2 x 10 MWel
- EEW Energy from Waste, Premnitz | 2014 | 2*10 MWel
- Fernheizwerk Neukölln | 2015 | 10.000 m³
- Fernheizwerk Neukölln | 2015 | 4 x 2,5 MW_{el}
- BTB Berlin | 2015 | 6 MWel
- ENRO, Ludwigsfelde | 2014 | 15 MWel
- DVV Dessau | 2016 | 20.000 m³
- EVH GmbH | 2006 | 6.800 m³, Halle/Saale
- EVH GmbH | 2017 | 50.000 m³, Halle/Saale
- SW Chemnitz| 2007 | 8.000 m³, Georgstraße
- E.ON Thüringen Energie AG, Jena 2011 | 13.000 m³
- N-ERGIE, Nürnberg | 2014 | 33.000 m³
- N-ERGIE Nürnberg | 2014 | 2 x 25 MWel
- SW Augsburg | 8.000 m³
- SW Augsburg | 2015 | 10 MWel
- SW München | 2014 | 4 x 2,5 MWel
- SW München | 2007 | 5.700 m³

Studie / Planung ENERKO

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Duisburg

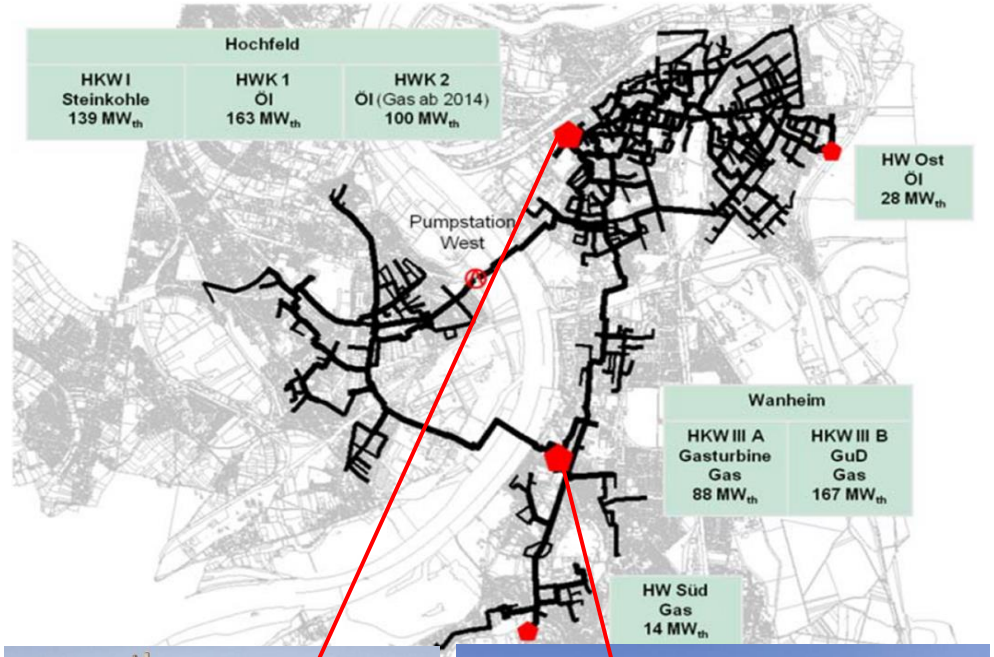
Motivation

- Abgängiges HKW I (Kohle) in 2018
- GuD-Anlage des HKW III als zukünftiger Haupterzeuger
- für wirtschaftlichen Betrieb der KWK-Anlage

→ **Entkopplung von Strom- und Wärmeerzeugung durch Bau eines Wärmespeichers**

→ **Versorgung des FW-Netzes aus dem Speicher über ein Sommerwochenende (geringe Strompreise, geringe Wärmelast)**

→ **Hohes Einsatzpotential durch hohe Speichertemperatur**



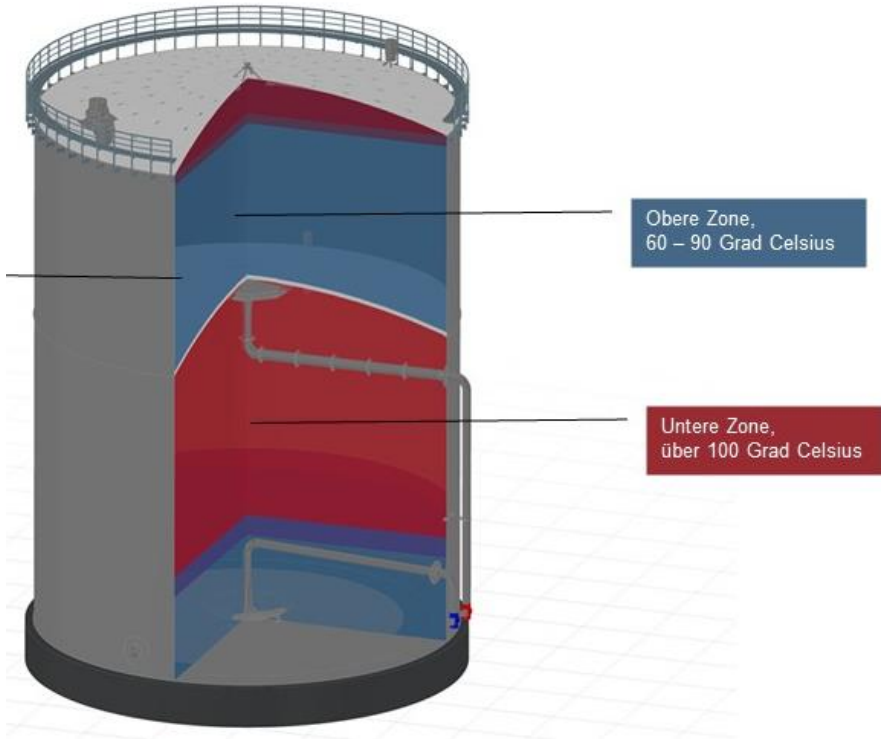
Abgängiges HKW I (Kohle)

HKW III - GuD

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Duisburg

Speicherdaten

- **Atmosphärischer Zweizonenspeicher**
- Speichermedium: Wasser
- Bruttovolumen: 43.000 m³
- Speicherkapazität: 1450 MWh
- Temperaturbereich: 60 - 115°C
- Beimischung aus Erzeugern: bis 130°C
- Be- und Entladeleistung: 140 MW
- Versorgung des FW-Netzes: bis 70 h (Sommer)
- Planung: EEB ENERKO
- Generalunternehmer Gesamtanlage: Bilfinger VAM



Visualisierung: SW Duisburg

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Duisburg

weitere Funktionen des Speichers

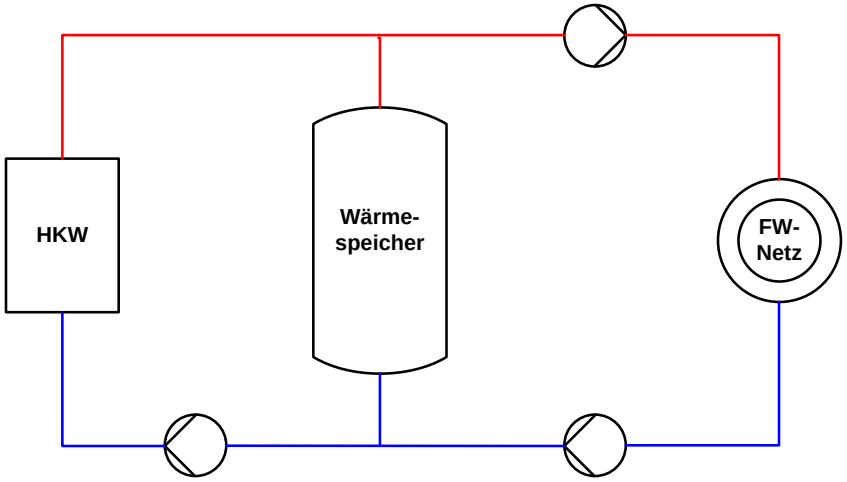
Optimierung der Netzhydraulik

- Bau neuer Netzumwälzpumpen
- Speicher als hydraulische Weiche zur KWK-Anlage
- Druckhaltung des FW-Netzes über statischen Druck des Speichers

→ Auslegung der Speicherhöhe auf das Ruhedruckniveau des FW-Netzes

→ Berücksichtigung des Expansions- und Kontraktionsvolumens des FW-Netzes in der Speicherhöhe

→ Berücksichtigung einer Nachspeisereserve für das FW-Netz in der Speicherhöhe



Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

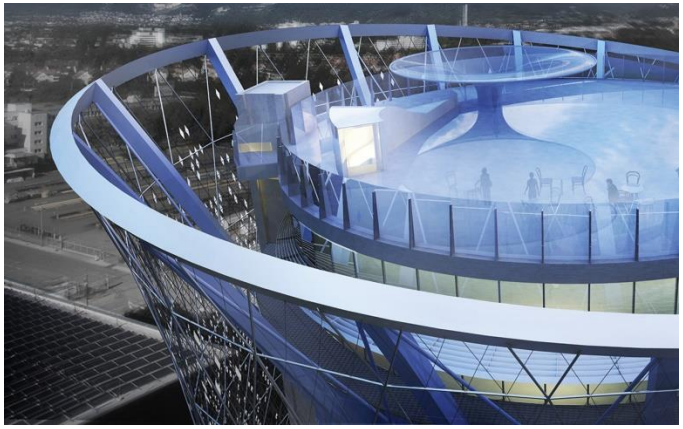
Motivation

- Wärmespeicher als Baustein der „Energiekonzeption 2020/2030“ der SW Heidelberg
  - Entkopplung von Strom- und Wärmeerzeugung aus eigenen KWK-Anlagen
  - Ersatz von Spitzenerzeugung
  - Steigerung der Eigenerzeugung und von Erneuerbaren Strom und Wärme
    - Bau von zwei iKWK-Anlagen geplant (jeweils BHKW, Luft-WP, PtH-Anlage)

- Wärmespeicher als Kontaktplattform mit Bürgern und Besuchern
  - Gastronomie auf dem Speicherdach
  - Architektonische Gestaltung als städtebauliche Marke
  - Energie- und Bewegungspark um den Speicher als Freizeitangebot

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

„Energie- und Zukunftsspeicher“ Heidelberg als städtebauliche Marke



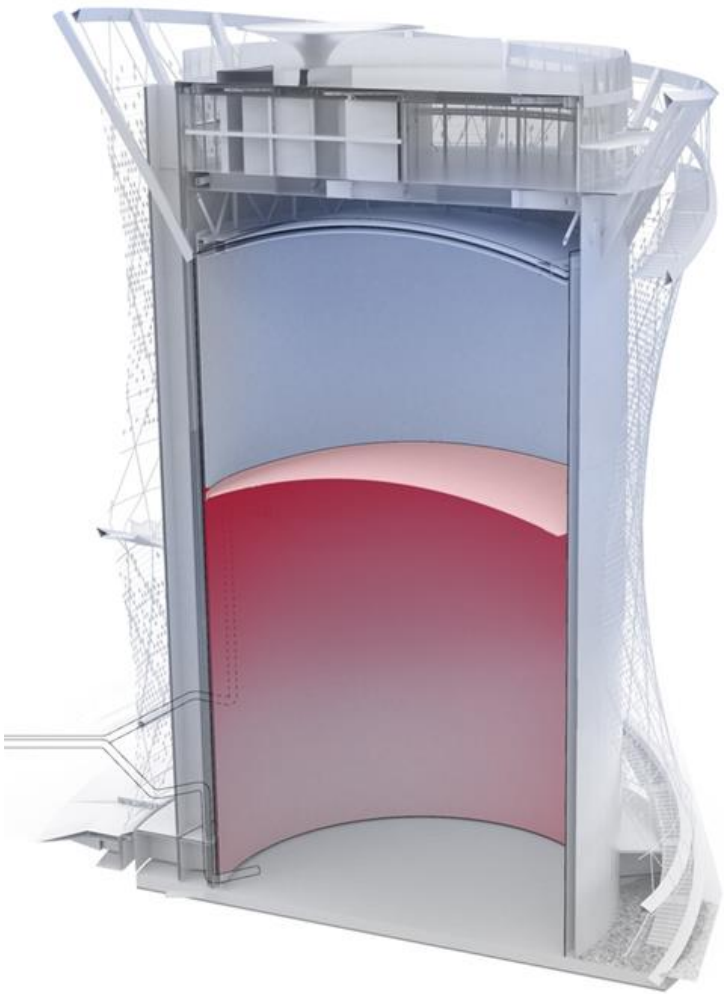
Visualisierung: LAVA LAboratory for Visionary Architecture, Stuttgart/Berlin

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

Speicherdaten

- **Atmosphärischer Zweizonenspeicher**

Speichermedium	Wasser
Bruttovolumen	20.000 m³
Speicherkapazität	660 MWh
Temperaturbereich	60 - 115°C
Nachheizung VL mit Gaskessel	bis 130°C
Be- und Entladeleistung	40 MW
Planung Anlagentechnik	EEB ENERKO
Generalplanung Anbauten	LAVA Architekten



Visualisierung: LAVA Laboratory for Visionary Architecture, Stuttgart/Berlin

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

Bautechnische Herausforderungen

- Berücksichtigung des architektonischen Entwurfs bei der Speicherkonstruktion
  - Gemeinsames Fundament von Speicher und Nebengebäuden wegen der Setzung des Speichers
  - Lastabtrag von Gastronomie und Fassade durch den Speicher
    → hoher Anspruch an Speicherstatik

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

Weitere Funktionen der Anlage

- Massenkonstante Betriebsweise → zusätzliches Volumen für das FW-Netz „unsichtbar“
- Speicher kann hydraulisch direkt mit dem FW-Netz oder indirekt über Wärmeübertrager betrieben werden
- Hydraulische Einbindung eines Heißwasserkessels mit zwei Funktionen
  - Nachheizen des Speichervorlaufs in der Heizperiode
  - Spitzenerzeuger unabhängig vom Speicher
- Hydraulische Einbindung eines **Elektrokessels als PtH-Anlage**
  - Herausforderung: Teilnahme am SRL-Markt, dadurch z.T. Anwahl des Kessels von Dritten

  → Speicherbetrieb darf nicht durch plötzliches Zu- und Abschalten gestört werden

Realisierungsbeispiel Wärmespeicher Heidelberg

Projektstand

- Speicherbau abgeschlossen, Speicher befüllt und isoliert
- Technische Inbetriebnahme in Kürze

Inhalt

- Anforderungen an Wärmenetze der Zukunft
  - Energiewende
  - Sektorenkopplung
- Flexibilisierung von Strom- und Wärmeerzeugung
  - Einsatzmöglichkeiten und Chancen am Strommarkt
  - Fallbeispiel Einsatzplanung KWK-Anlage
- Fernwärmespeicher
  - Technologien
  - Realisierungsbeispiele Fernwärmespeicher
- Ausblick

Fazit und Ausblick

Wärmewende hat großen Aufholbedarf und muss stark beschleunigt werden

- Bisher: Wärmespeicher zur Flexibilisierung von KWK-Anlagen bringen wirtschaftliche Vorteile → weitere Projekte bei ENERKO in der Konzeptphase oder Planung
- Zukünftig: Wärmenetze sind Schlüsseltechnologie zur Integration von erneuerbaren Energien und industrieller Abwärme in den Wärmesektor
- Bedarf an Speicherkapazität zur Flexibilisierung steigt mit der Nutzung volatiler Quellen
- KWK und PtH sind Schlüsseltechnologien der Sektorenkopplung in Verbindung mit Wärmespeichern

→ Ausbau von KWK, Wärmenetze und Wärmespeichern wird gefördert durch das BAFA über KWKG und Wärmenetzsysteme 4.0

→ Nachholbedarf zur Förderung von Erdbeckenspeichern

ENERKO erwartet einen starken Ausbau von Wärmespeicherkapazitäten in naher Zukunft

changing energy

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

EEB ENERKO Energiewirtschaftliche Beratung GmbH

Landstraße 20
52457 Aldenhoven

Telefon +49 (2464) 971-3
Mail info@enerko.de
Web enerko.de