

KOSTENOPTIMIERTE DEKARBONISIERUNG DER PROZESSWÄRMEVERSORGUNG

5. Praxis- und Wissensforum Fernwärme/ Fernkälte

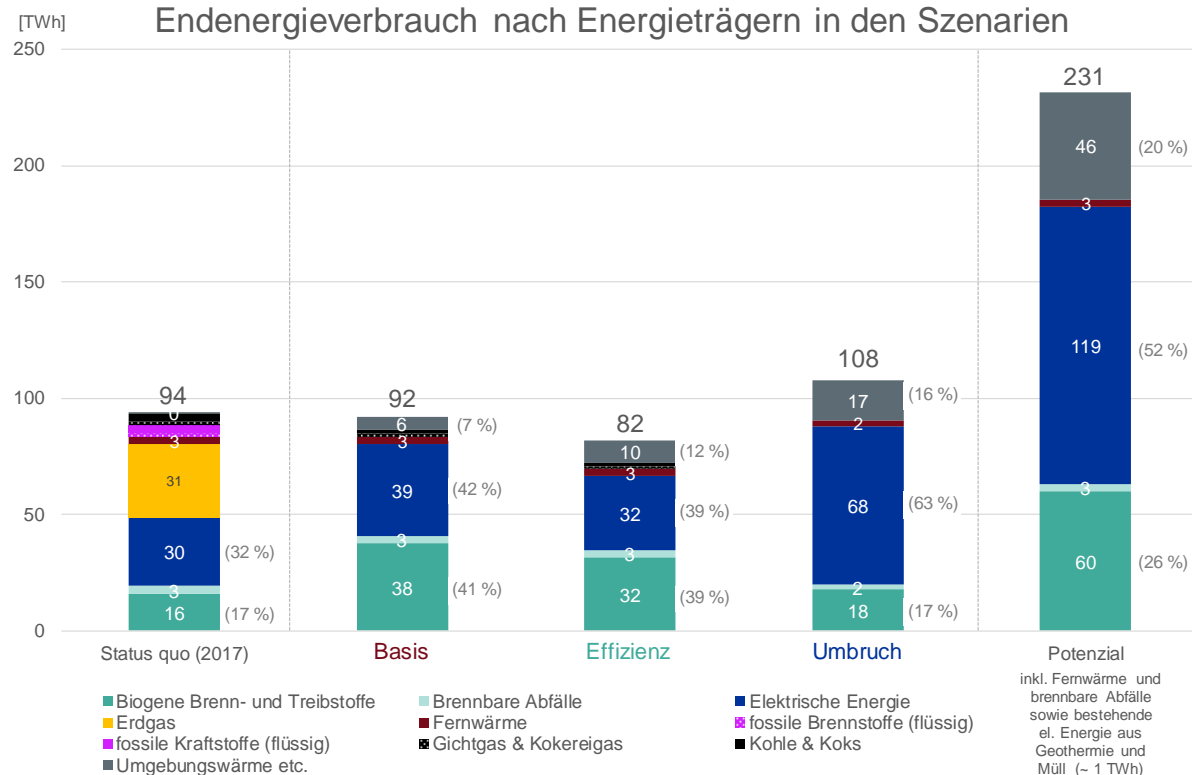
Dienstag, 19. November 2019 TECHbase, Giefinggasse 2, 1210 Wien

Gerwin Drexler-Schmid

Anton Beck



100% ERNEUERBARE ENERGIE FÜR DIE INDUSTRIE



WÄRMEGESTEHUNG 100% DEKARBONISIERT MAßNAHMEN & TECHNOLOGIEN FÜR

- Dampferzeugung
 - Fernwärme
 - Rein Elektrisch
 - Hochtemperaturwärmepumpen (bis 160 °C)
- Industrieöfen
 - Trocknungsprozesse → Wärmepumpen & Fernwärme
 - Hochtemperaturprozesse → elektrifiziert oder biogene
 - branchenabhängig
 - (Eisen & Stahl → H₂ durch Elektrolyse)



Projekt: HighButane 2.0

DEKARBONISIERUNG DER ENERGIEVERSORGUNG

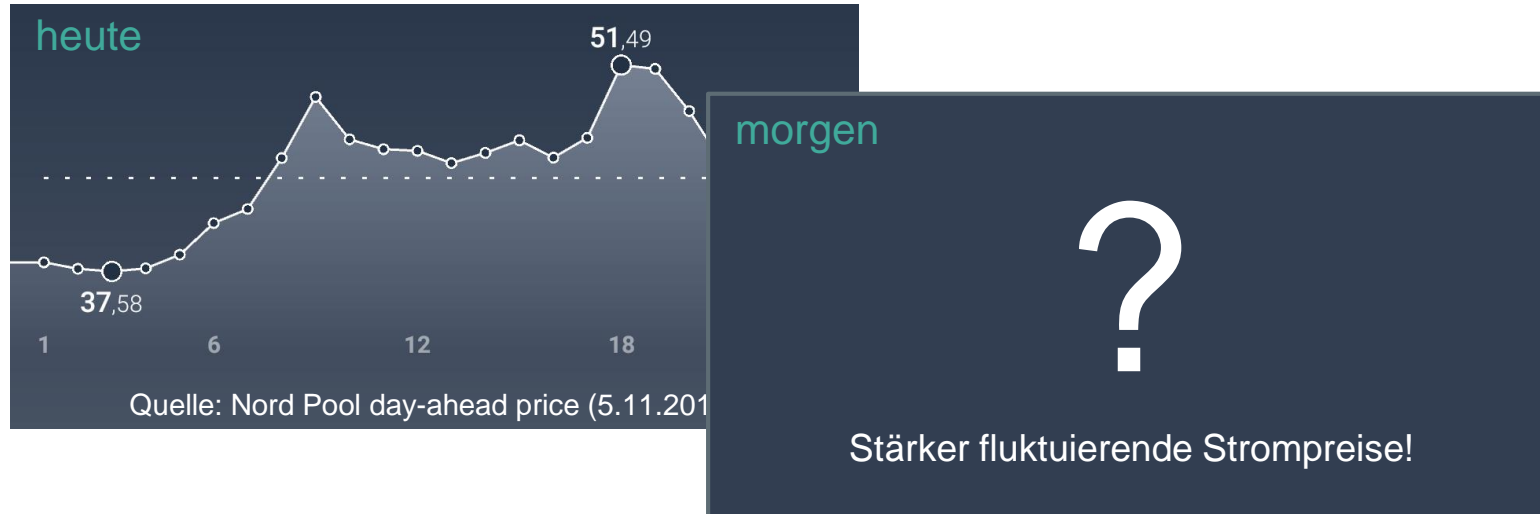
potentiell große Auswirkung auf zukünftige Energiemärkte



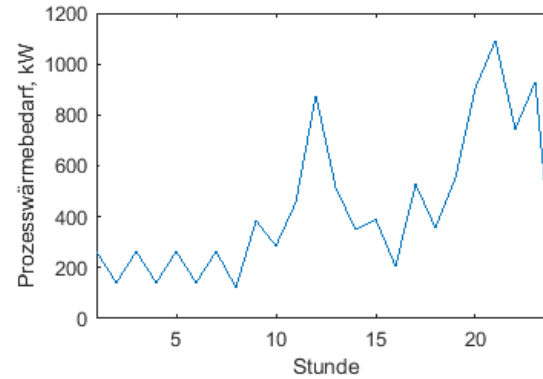
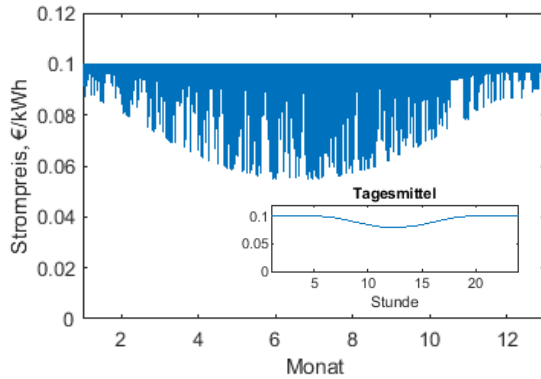
SCHWANKENDE ENERGIEPREISE

- Potentiale für Lastverschiebung
- Integration thermischer Speicher als Power-2-Heat Maßnahme

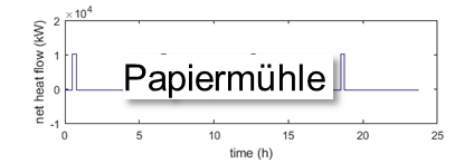
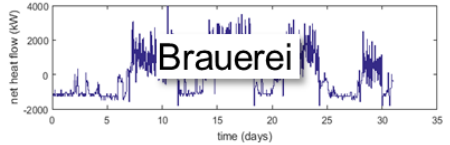
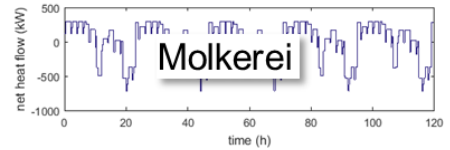
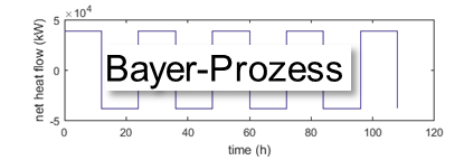
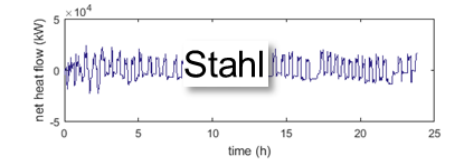
Day-ahead Market:



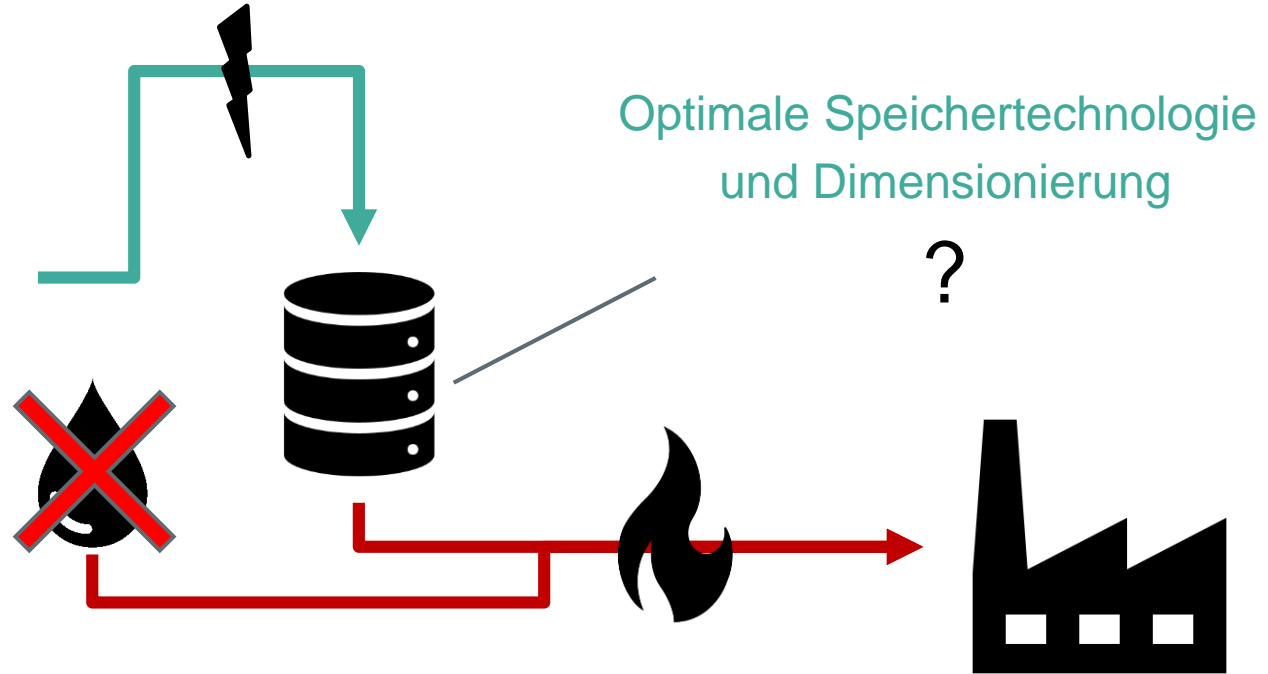
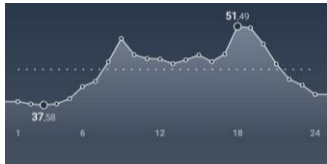
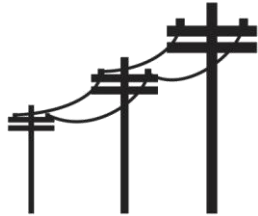
ENERGIESYSTEM



Annahmen Jahresprofil und Tagesmittel für Strompreis (links) und Prozesswärmebedarf (rechts)



WÄRMEGESTEHUNG & SPEICHERINTEGRATION

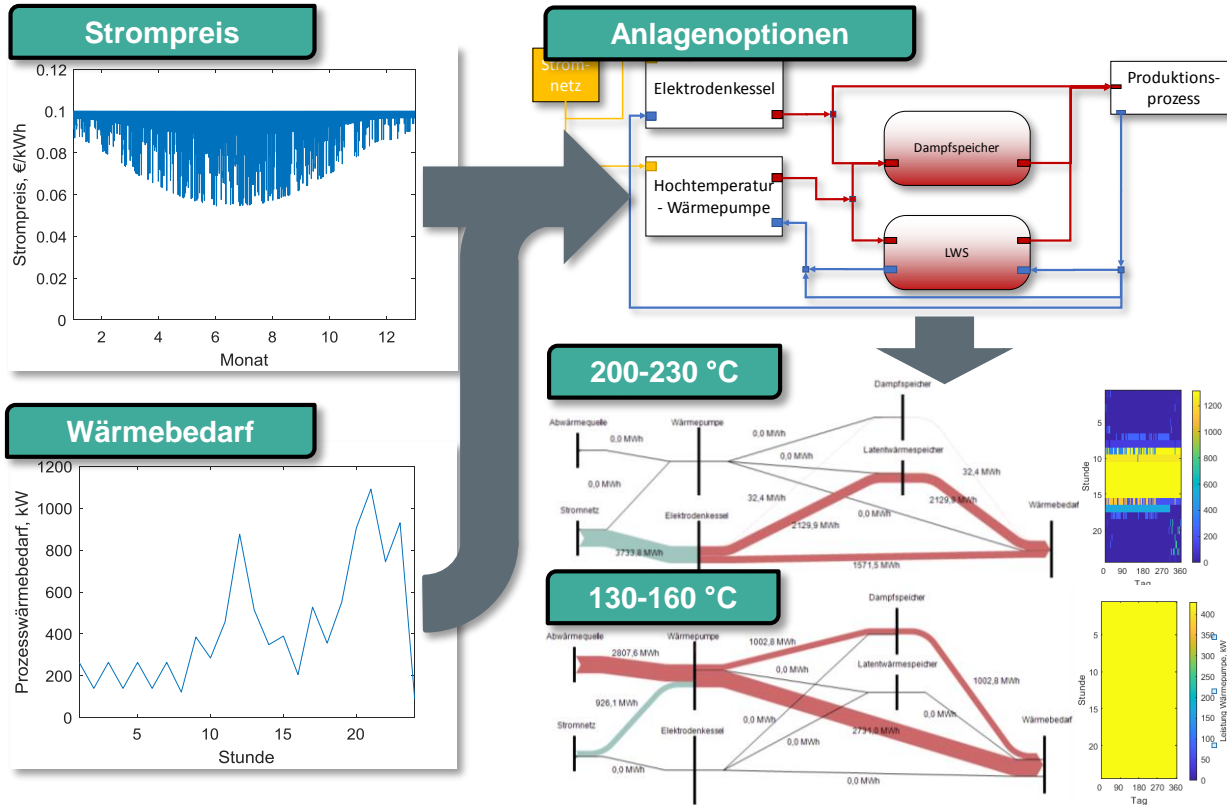


METHODIK FÜR KOSTENOPTIMIERTE SPEICHERINTEGRATION

- Identifikation von Kostentreibern
- Erstellung physikalischer Speichermodelle
- Ableitung von Kostenfunktionen (Kapazität und Be- und Entladeleistung)

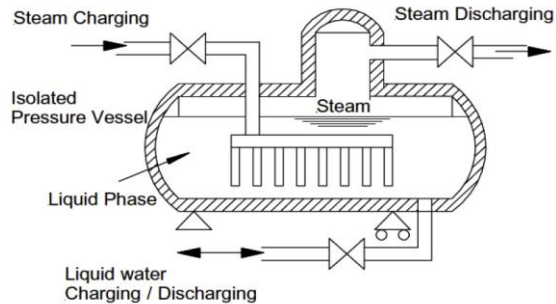
- Modellierung des Versorgungssystems (mathematisches Optimierungsmodell)
 - Strompreisprofil
 - Wärmebedarfsprofil
 - Versorgungsanlagen
 - Speicher
- Lösung des Optimierungsproblems

METHODE ZUR OPTIMIERUNG

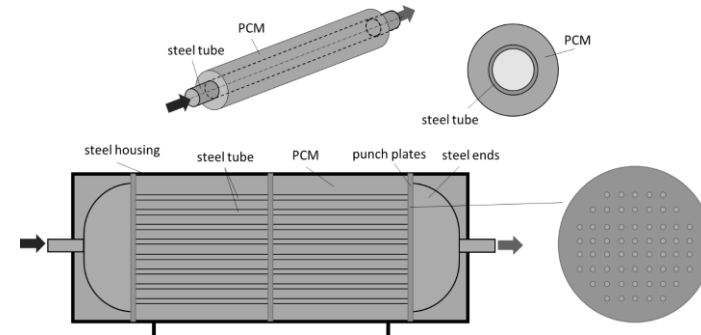


POTENTIELLE SPEICHERTECHNOLOGIEN

Ruths Dampfspeicher



Latentwärmespeicher



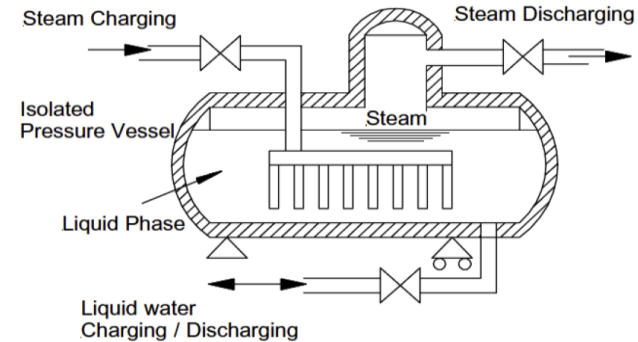
- Schnelles Be- und Entladen
- Hohe Wandstärken bei hohen Temperaturen (>200 °C)

- Hohe Energiedichten
- Leistung begrenzt durch Wärmeleitung im Speichermaterial

... aber auch z.B. Flüssigsalzspeicher oder Betonspeicher sind denkbar

RUTHS DAMPFSPEICHER

- Hauptkostentreiber:
 - Konstruktion
 - Stahlmasse
- Konstruktionskosten als Zuschlag für Stahlkosten berücksichtigt
- Stahlkosten ergeben sich aus der
 - erforderlichen **Speicherkapazität** und damit aus dem
 - **Speichervolumen** und der erforderlichen
 - **Wandstärke** des Behälters



RUTHS DAMPFSPEICHER

Die erforderliche Wandstärke ergibt sich mit der **Kesselformel** (DIN 2413) zu

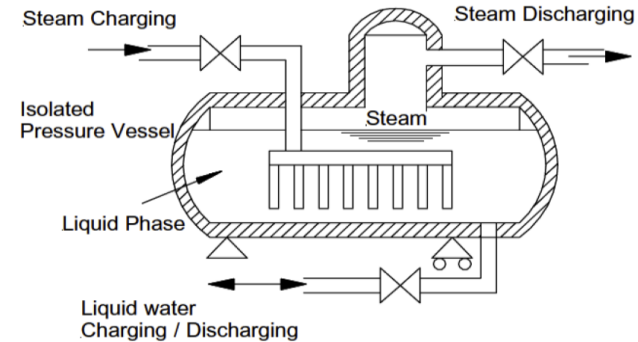
$$s_{min} = \frac{p(d + s)}{2\sigma_{Stahl}} + s_{korr} + s_{tol}$$

wobei sich die zulässige Spannung errechnet aus

$$\sigma_{Stahl} = \min\left(\frac{\sigma_{p0,2}}{s_{p0,2}}, \frac{\sigma_e}{s_e}, \frac{\sigma_R}{s_R}\right).$$

Die erforderliche Stahlmasse ergibt sich unter Vereinfachung der Speichergeometrie als Zylinder durch

$$m_{Stahl} = \left(\left(\frac{d + 2s_{min}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right) \pi l \rho_{Stahl} + 2 \left(\frac{d}{2} \right)^2 \pi s_{min} \rho_{Stahl}$$



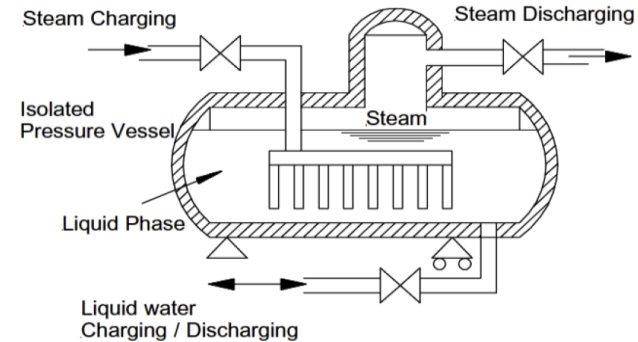
RUTHS DAMPFSPEICHER

Die Speicherkosten werden dann einfach mittels
 Kostenkoeffizienten k_{Stahl} bestimmt

$$K_{DS} = m_{Stahl} k_{Stahl}$$

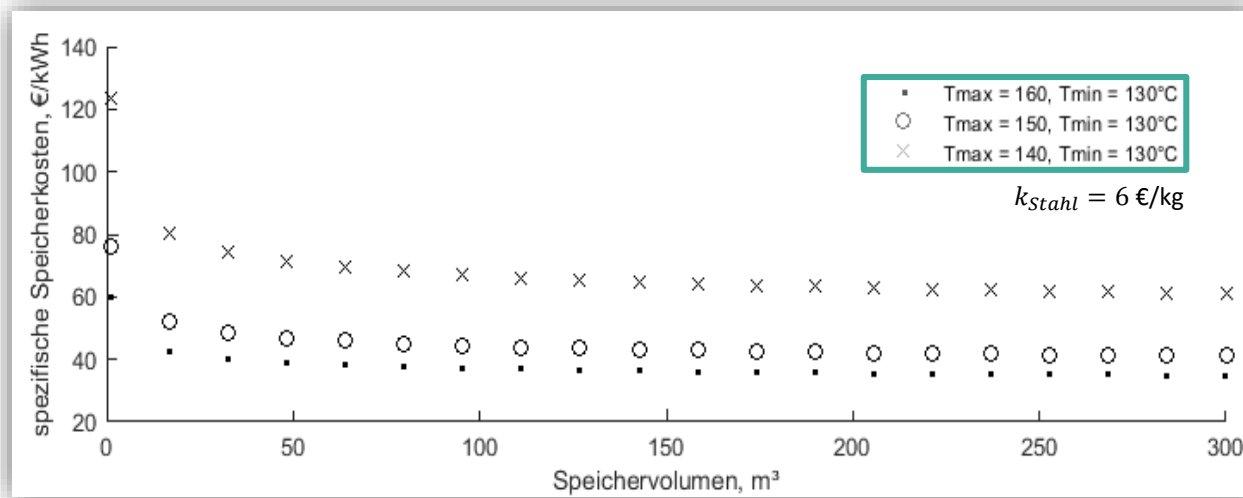
Die spezifische **Speicherkapazität (kWh/m³)** kann unter
 Vorgabe von Speicherfüllstand und Temperaturspreizung
 mittels Simulationsprogramme ermittelt werden.

So lässt sich ein Zusammenhang zwischen
Speicherkapazität und benötigtem **Speichervolumen**
 herstellen.



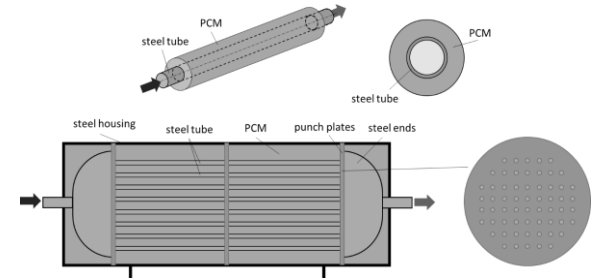
RUTHS DAMPFSPEICHER

Stahl	P355N	Korrosionszuschlag s_{korr} , m	0,001
Dichte, kg/m ³	7820	Toleranzzuschlag s_{korr} , m	0,001
0,2 % Dehngrenze, N/mm ²	216	Sicherheitsfaktor 0,2 % Dehngrenze	1,5
Streckgrenze, N/mm ²	315	Sicherheitsfaktor Streckgrenze	1,5
Zugfestigkeit, N/mm ²	470	Sicherheitsfaktor Zugfestigkeit	2,4



LATENTWÄRMESPEICHER

- Hauptkostentreiber:
 - Konstruktion
 - Material (PCM, Stahl, Alu)
 - Be- und Entladeleistung

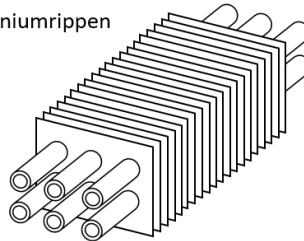


Wärmeleitung im PCM ist Flaschenhals des Systems.

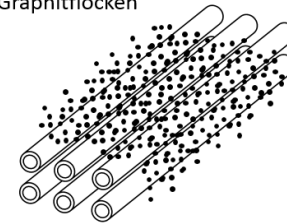
Möglichkeiten zur Verbesserung z.B.:

- Aluminium
- Graphitflocken

Aluminiumrippen



Graphitflocken

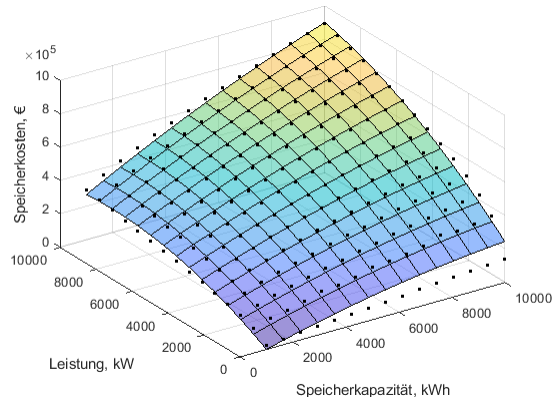
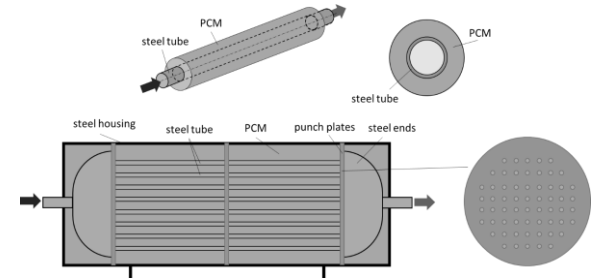


LATENTWÄRMESPEICHER

Für vorgegebene

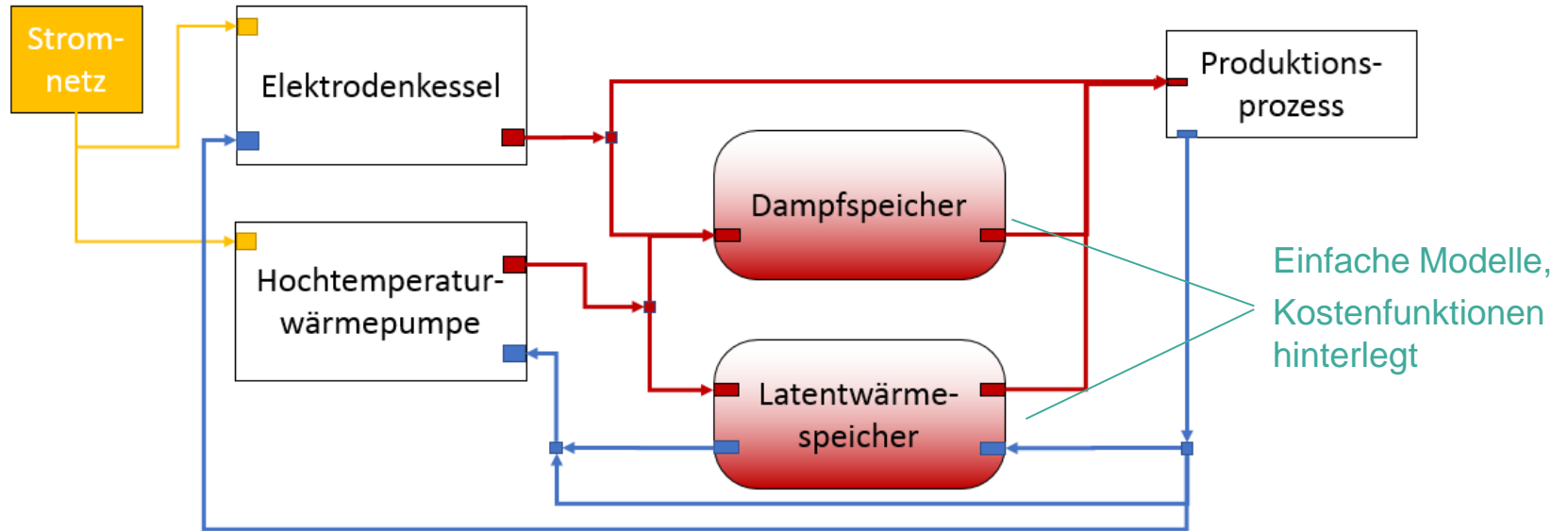
- Speicherleistung,
- Speicherkapazität,
- Be- und Entladetemperaturen und
- Speichermaterial

können mittels nichtlinearem Optimierungsmodell die minimalen Speicherkosten für alle möglichen Datenpunkte berechnet werden.



Ermittelte Datenpunkte
(schwarz) und daraus
abgeleitete quadratische
Kostenfunktion

ENERGIESYSTEM



Abgebildet als Mathematical Programming Optimierungsmodell

BEISPIELE

Beispiel 1:

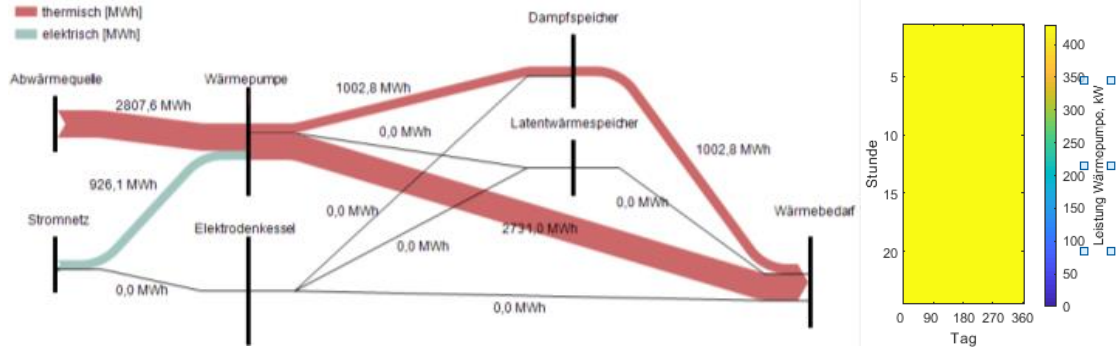
- 130°C - 160°C
- Wärme mittels HTWP und Elektrodenheizkessel bereitgestellt
- Abwärmequelle mit 80°C für die Wärmepumpe zur Verfügung
- ergibt COP von 2,7 mit einem angenommenen Carnot-Wirkungsgrad von $\eta_c = 50\%$

Beispiel 2:

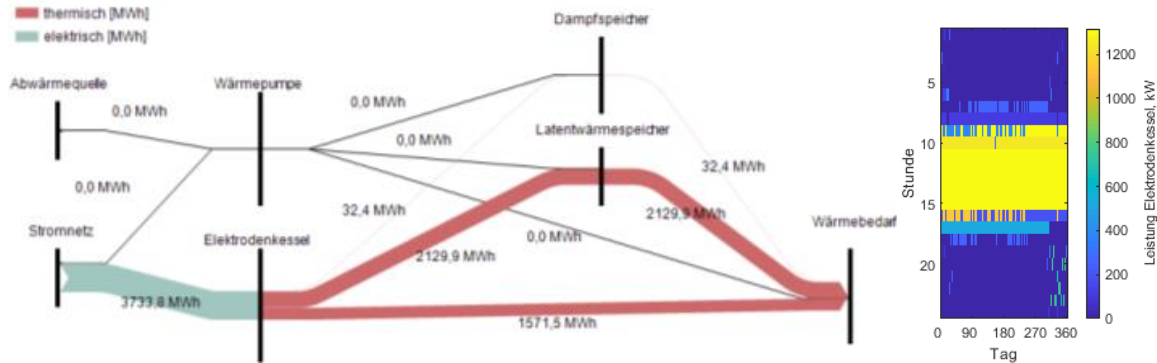
- 200°C - 230°C
- Wärme mittels Elektrodenheizkessel bereitgestellt
- Temperaturbereich für HTWP zu hoch

ERGEBNISSE

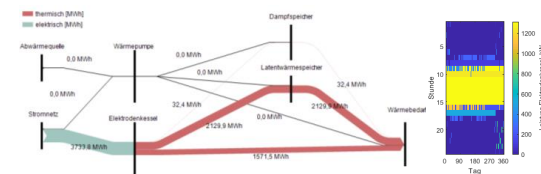
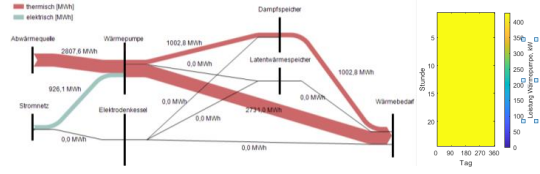
Beispiel 1: (130°C - 160°C) für ein Jahr



Beispiel 2: (200°C - 230°C) für ein Jahr



ERGEBNISSE



Bsp. 1 (130°C-160°C) Bsp. 2 (200°C-230°C)

Elektrodenkessel, k€	-	263,04
Hochtemperaturwärmepumpe, k€	427,40	-
Dampfspeicher, k€	76,45	5,28
Latentwärmespeicher, k€	-	484,67
Netzbezug, k€/Jahr	86,67	312,70
annualisierte Kosten, k€/Jahr	111,86	350,43

	Bsp. 1 (130°C-160°C)	Bsp. 2 (200°C-230°C)
Elektrodenkessel Leistung, kW _{th}	-	1315,2
Elektrodenkessel Energie, MWh _{th}	-	3733,8
Hochtemperaturwärmepumpe Leistung, kW _{th}	427,4	-
Hochtemperaturwärmepumpe Energie, MWh _{th}	3733,8	-
Dampfspeicher Kapazität, kWh	2344,8	40,9
Latentwärmespeicher Kapazität, kWh	-	5840,6
Latentwärmespeicher Leistung, kW	-	925,6

AUSBLICK

- Integration weiterer Technologien
 - Speicher
 - Energieträger
- Implementierung realistische Strompreisszenarien
- Anwendung auf andere Prozesse

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Gerwin Drexler-Schmid, 19. November 2019

