



INSTITUT FÜR
ENERGIETECHNIK UND
THERMODYNAMIK
Institute for Energy Systems and Thermodynamics



Thermische Hochtemperatur-Speicher

Hybrid PCM/Dampf-Speicher für Sattedampfspeicherung und Festbettregeneratoren für Hochtemperatur-Anwendungen

„Wirtschaftlichkeit der Energiespeicherung“, 19.März 2024 | Lukas Kasper

1) Hybrid PCM/Dampf-Speicher für Sattdampfspeicherung

Weltweit macht Dampfproduktion etwa **30% des Energieverbrauchs der Industrie** aus^[1], welche ihrerseits für ca. **ein Drittel des weltweiten Energieverbrauchs**^[2] verantwortlich ist.



IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT



2) Festbettregeneratoren für Hochtemperatur-Anwendungen

Die **Eisen- und Stahlindustrie** ist aktuell für ca. **8% der globalen CO₂ Emissionen**^[3] verantwortlich. Gleichzeitig liegt der **Abwärmee-Nutzungsgrad** bei nur **45%**^[4].



IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT



[1] EINSTEIN ET AL., STEAM SYSTEMS IN INDUSTRY: ENERGY USE AND ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT POTENTIALS LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (2001), RETRIEVED FROM [HTTPS://ESCHOLARSHIP.ORG/UC/ITEM/3M1781F1](https://escholarship.org/uc/item/3M1781F1).

[2] YANG ET AL., INVESTING IN EFFICIENT INDUSTRIAL BOILER SYSTEMS IN CHINA AND VIETNAM, ENERGY POLICY, 40 (2012), PP. 432-437, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ENPOL.2011.10.030](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.10.030).

[3] SUN ET AL., DECARBONISING THE IRON AND STEEL SECTOR FOR A 2°C TARGET USING INHERENT WASTE STREAMS, NATURE COMMUN, 13 (1) (2022), P. 297, [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41467-021-27770-Y](https://doi.org/10.1038/s41467-021-27770-y).

[4] JA'FAR ET AL., WASTE HEAT RECOVERY IN IRON AND STEEL INDUSTRY USING ORGANIC RANKINE CYCLES, CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 477, 2023, 146925, ISSN 1385-8947, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CEJ.2023.146925](https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146925).

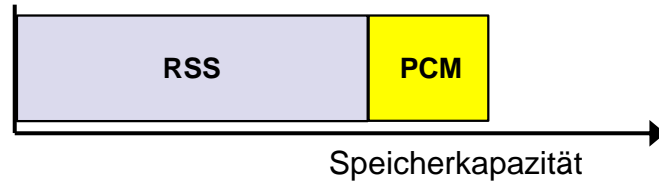
Teil 1:

Hybrid PCM/Dampf-Speicher für Sattedampfspeicherung

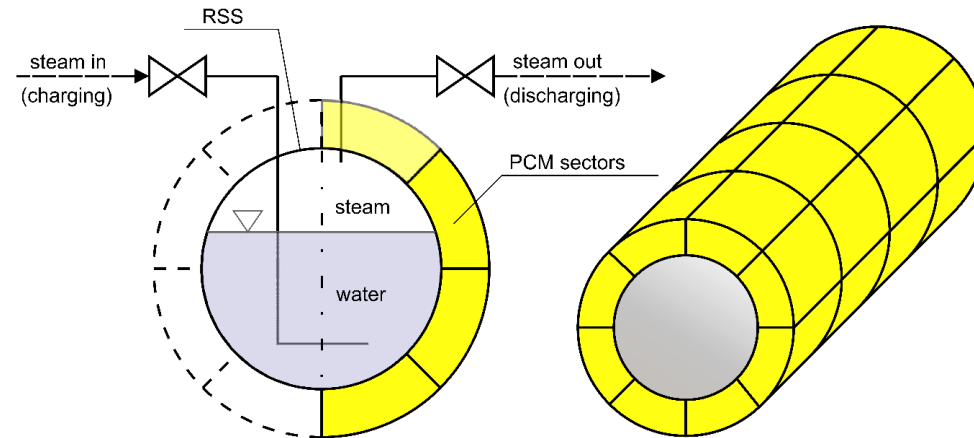


IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT

→ **PCM Material auf RSS
Druckbehälter montieren**^[5]



Ruths steam storage (RSS) =
Sensibler Wärmespeicher
Phase change material (PCM) =
Latentwärmespeicher



- PCM günstiger als RSS (€/kWh)
- Retrofit existierender Dampfspeicher
- Hohe Energiedichte
- Keine aufwändige Prozess-Integration
- Bis zu 40% zusätzliche Kapazität

[5] PATENT: R. HOFMANN, C. ZAUNER, S. DUSEK, F. HENGESBERGER: "DAMPFSPEICHER"; PATENT: EU, NR. EP326080381, ISSUED 2017-12-27.

Hybrid PCM/Dampf-Speicher – Implementierung

- Lab-scale Prototyp @ [voestalpine](#)  (FFG Projekt HyStEPs )

- 1 RSS Druckbehälter: ~1m³ Volumen, bis zu 25bar
- 8 PCM Module: 8 x 19,5kg LiNO₃-NaNO₃, T_m ≈ 192°C

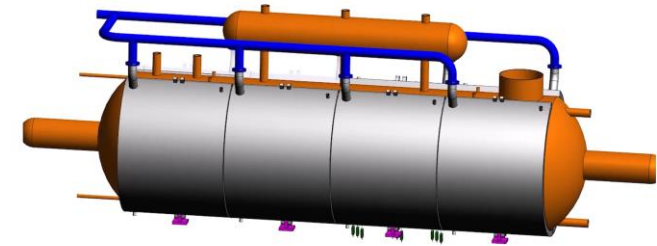
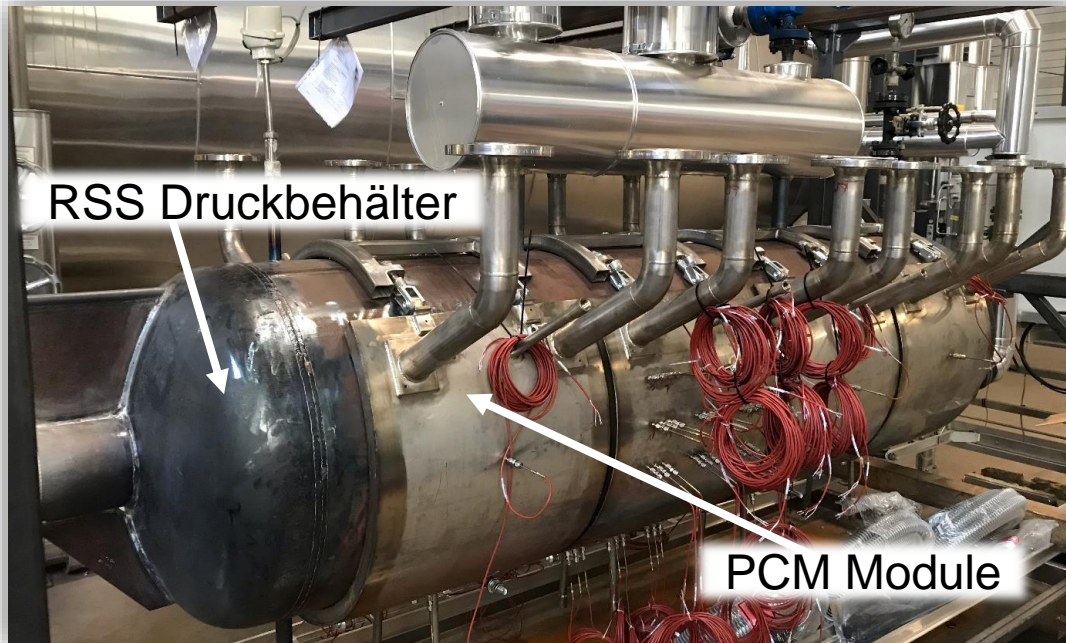


IMAGE SOURCE: HYSTEPS



PCM Module angebracht auf RSS Druckbehälter

IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT



Speicher mit Isolation

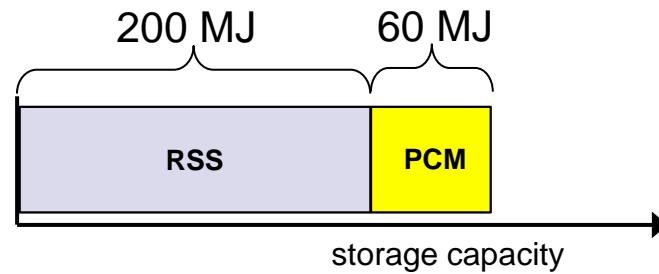
IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT

Hybrid PCM/Dampf-Speicher – Ergebnisse

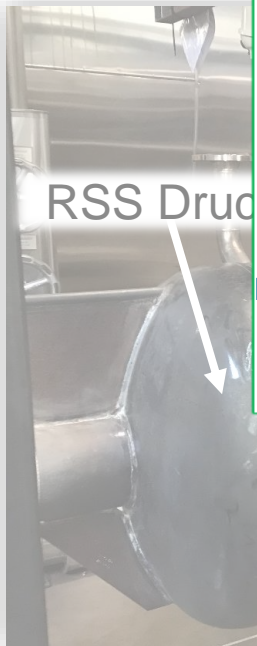
- Lab-scale Prototyp @ voestalpine  (FFG Projekt HyStEPs )

Ergebnisse:

- 1 RSS
- 8 PCM
- Speicherkapazität um ca. 30% erhöht



- Durchschnittliche PCM Modul Be-/Entladedauer: 8/12 h



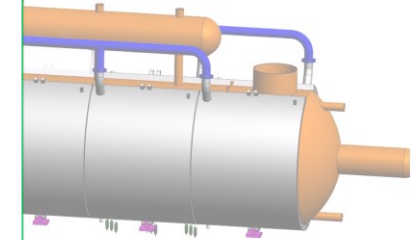
RSS Druck

PCM Module angebracht auf RSS Druckbehälter



PCM Module

IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT



Speicher mit Isolation

IMAGE SOURCE: VOESTALPINE/AIT

- Theoretische Einsparpotentiale** aufgliedert nach Branchen (verschiedene PCM)

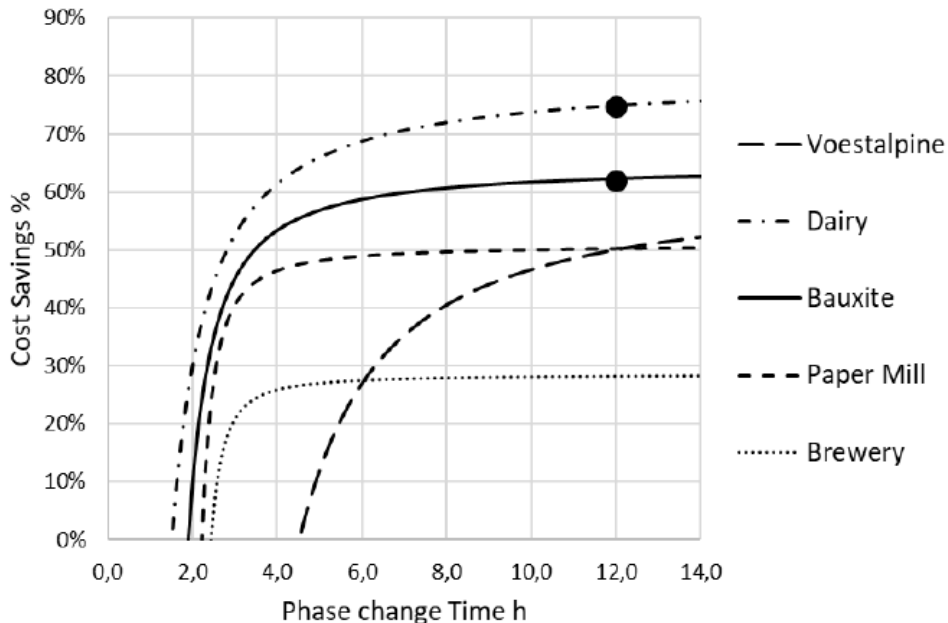


FIGURE SOURCE: HYSTEPS – FINAL REPORT

- Ergebnisse für 1. Prototyp:** (skaliert auf Industrie-RSS -> Faktor 55)

Hybrid-Speicher **günstiger** als RSS bei Vernachlässigung der Modul-Kosten:

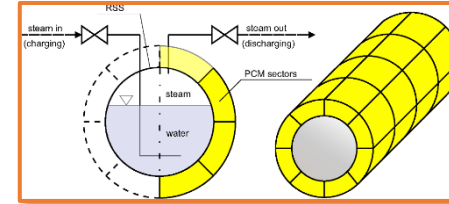
Zusätzliche Kapazität	RSS	PCM Kosten	PCM vs. RSS
10%	€ 37950.0	€ 27728.0	-26.9%
20%	€ 75900.0	€ 55372.0	-27.0%
30%	€ 113850.0	€ 82736.0	-27.3%

Hybrid-Speicher **deutlich teurer** als RSS bei Berücksichtigung der Modul-Kosten:

Zusätzliche Kapazität	Modul Kosten	Total	Anteil Modul	Total vs. RSS
10%	€ 259200.0	€ 286928.0	90.3%	656.1%
20%	€ 285120.0	€ 340492.0	83.7%	348.6%
30%	€ 313632.0	€ 396368.0	79.1%	248.1%

Hybrid PCM/Dampf-Speicher – Notwendige Entwicklung

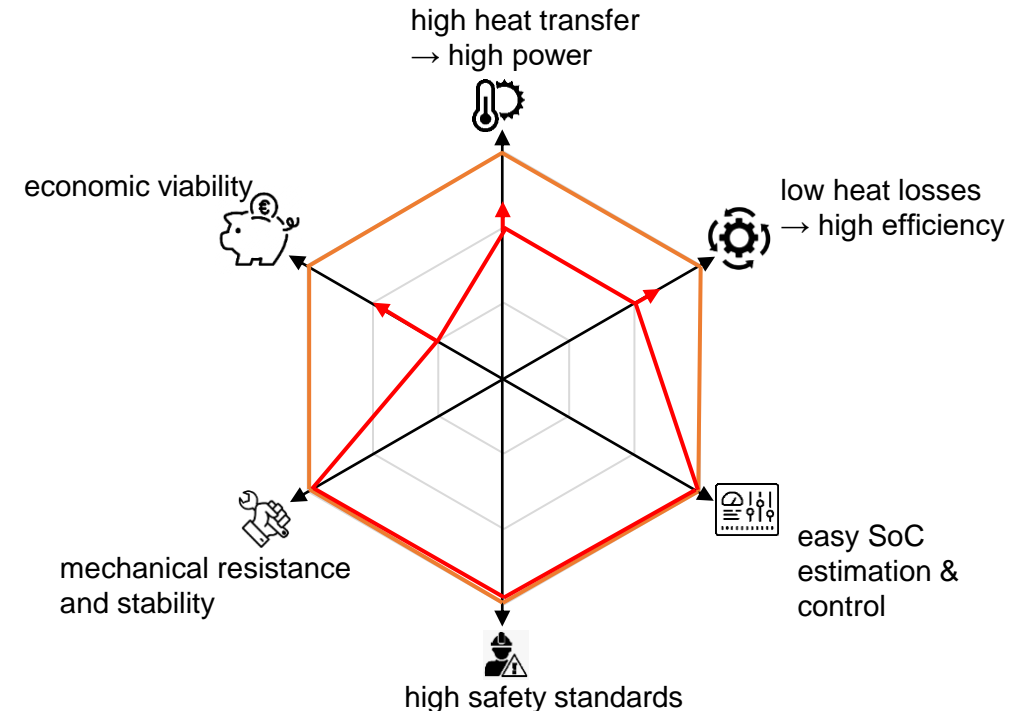
- **Reduktion der Modulkosten** (Ummantelung) um mehr als **90%**
 - Für die Massenproduktion ist ein neuer, deutlich **kostengünstigerer Ansatz** für die PCM-Ummantelung erforderlich
- Die **Wärmeübertragung** zwischen dem RSS und PCM-Modulen muss **erhöht** werden
- Der **Wärmeübergang innerhalb der PCM** Module muss weiter verbessert werden



— HyStEPs concept storage



— first lab-scale prototype



Teil 2: Festbettregeneratoren für Hochtemperatur-Anwendungen



FIGURE SOURCE: SCHWARZMAYR ET AL., STANDBY EFFICIENCY AND THERMOCLINE DEGRADATION OF A PACKED BED THERMAL ENERGY STORAGE: AN EXPERIMENTAL STUDY, APPLIED ENERGY, 337, 2023, 120917, ISSN 0306-2619, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APENERGY.2023.120917](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120917).

Laboraufbau:



FIGURE SOURCE: SCHWARZMAYR ET AL., STANDBY EFFICIENCY AND THERMOCLINE DEGRADATION OF A PACKED BED THERMAL ENERGY STORAGE: AN EXPERIMENTAL STUDY, APPLIED ENERGY, 337, 2023, 120917, ISSN 0306-2619, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APENERGY.2023.120917](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120917).

Prozessintegration:

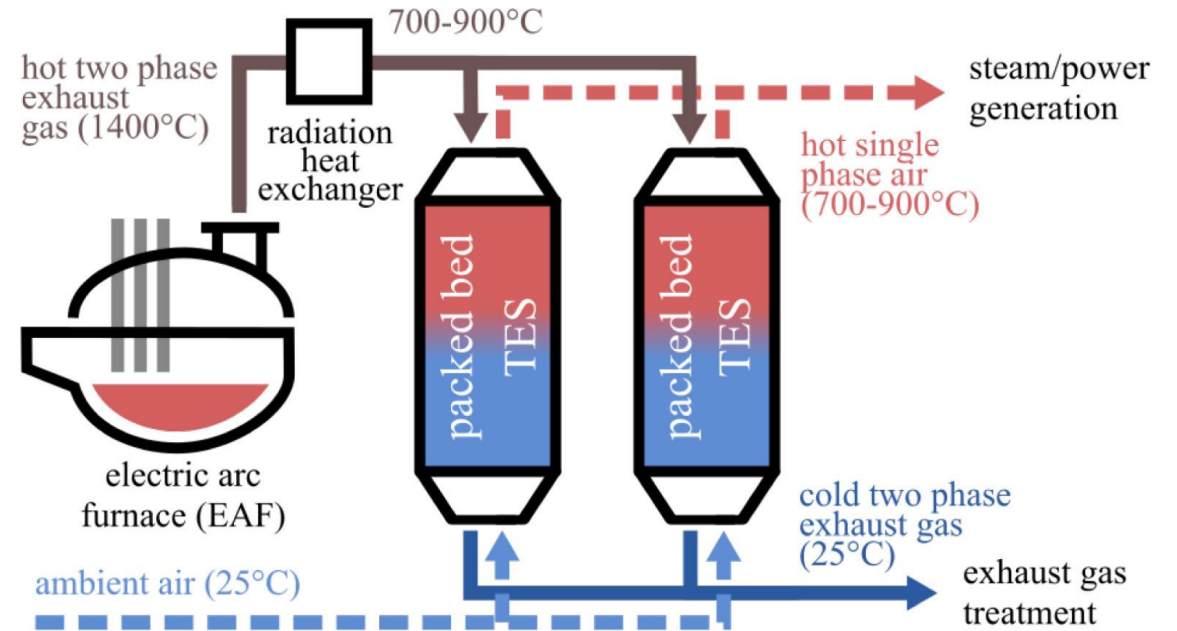
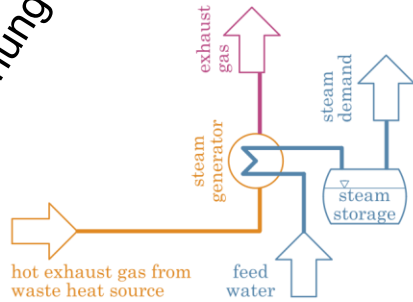


FIGURE SOURCE: SCHWARZMAYR ET AL., PACKED BED THERMAL ENERGY STORAGE FOR WASTE HEAT RECOVERY IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY: A COLD MODEL STUDY ON POWDER HOLD-UP AND PRESSURE DROP, JOURNAL OF ENERGY STORAGE, 75, 2024, 109735, ISSN 2352-152X, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.EST.2023.109735](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109735).

Herkömmliche Wärmerückgewinnung

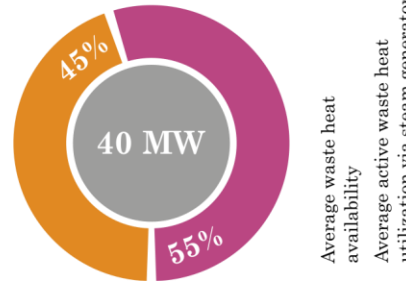
Waste heat recovery system



Advantages & disadvantages

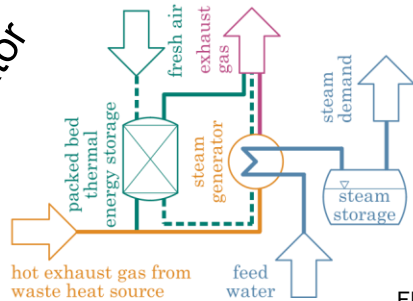
- Flexibility on the steam side
- NO flexibility on the exhaust gas side
- LOW waste heat utilization rate of <45% [6]

Waste heat utilization

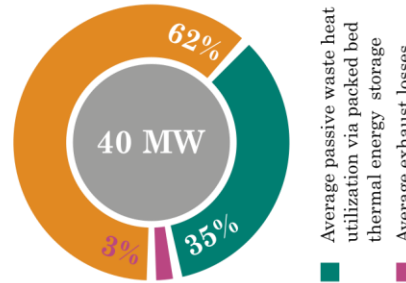


■ Average waste heat availability
■ Average active waste heat utilization via steam generator

Inkl. Festbettregenerator



- Flexibility on the steam side
- Flexibility on the exhaust gas side
- HIGH waste heat utilization rate of >95% [7]



■ Average passive waste heat utilization via packed bed thermal energy storage
■ Average exhaust losses
■ Average waste heat availability

FIGURE SOURCE: @TU WIEN, PAUL SCHWARZMAYR

Riesiges Potential für Wärmerückgewinnung in der Eisen- und Stahlindustrie

- Aktuelle Nutzungsgrade bei ca. 45%^[6]
- Gründe^[6]:
 - stark schwankende Verfügbarkeit von Abwärme in Kombination mit trägen Dampferzeugern
 - hohe Temperaturen
 - hoher Staubanteil

[6] JA'FAR ET AL., WASTE HEAT RECOVERY IN IRON AND STEEL INDUSTRY USING ORGANIC RANKINE CYCLES, CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL, 477, 2023, 146925, ISSN 1385-8947, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CEJ.2023.146925](https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.146925).

[7] ABSCHÄTZUNG MITTELS UNIT COMMITMENT MODELL. DATEN SOWIE MODELL DOKUMENTIERT IN: KASPER ET AL., A DIGITAL TWIN-BASED ADAPTIVE OPTIMIZATION APPROACH APPLIED TO WASTE HEAT RECOVERY IN GREEN STEEL PRODUCTION: DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION, APPLIED ENERGY, 353, PART B, 2024, 122192, ISSN 0306-2619, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APENERGY.2023.122192](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122192).

Effekte im Hinblick auf Nachhaltigkeit und Klimaneutralität am Beispiel voestapline Stahl Donawitz GmbH (VASD)

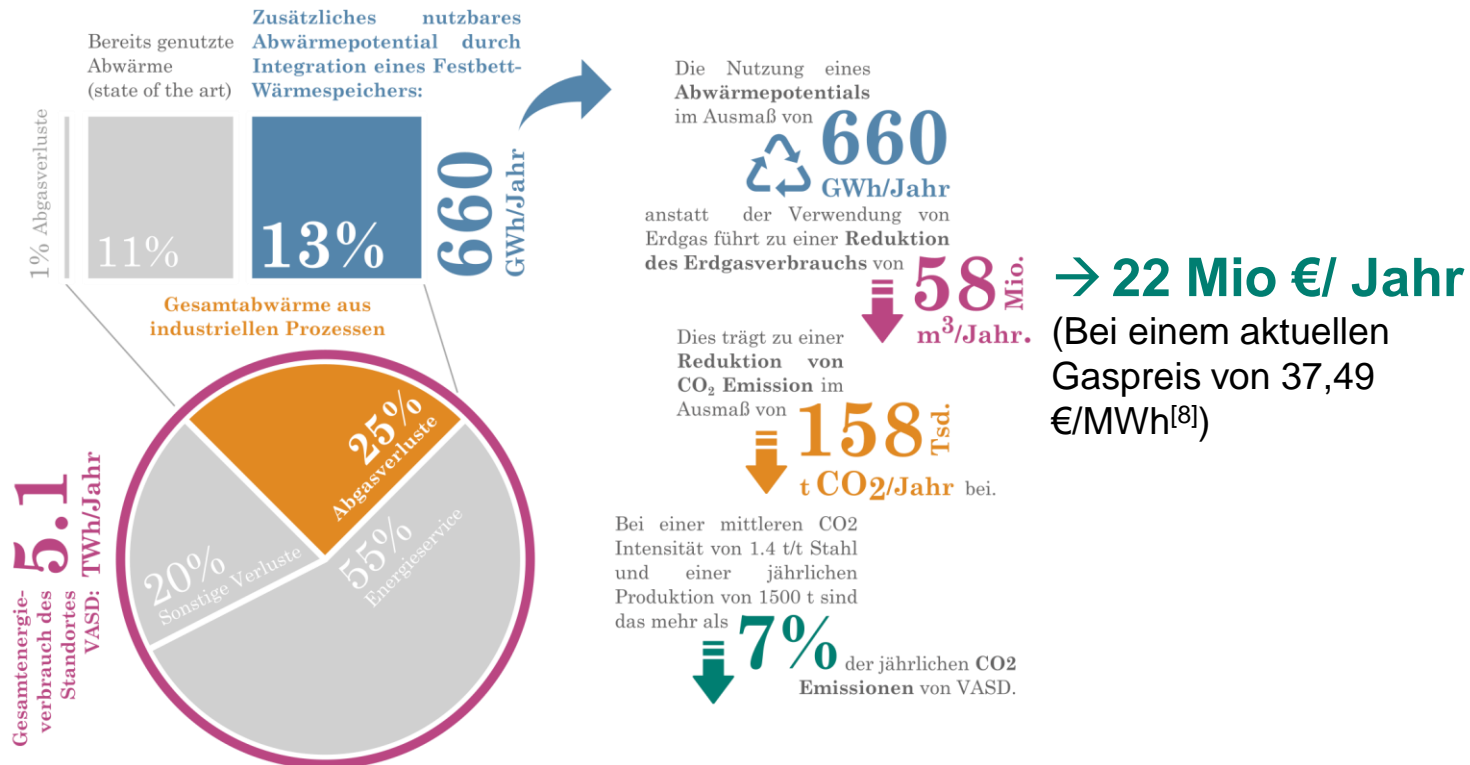


FIGURE SOURCE: @TU WIEN, PAUL SCHWARZMAYR

[8] ERDGASIMPORTPREIS GROSßHANDEL AUS DEM JÄNNER 2024, E-CONTROL, [HTTPS://WWW.E-CONTROL.AT/INDUSTRIE/GAS/GASPREIS/GROSSHANDELSPREISE](https://www.e-control.at/industrie/gas/gaspreis/grosshandelspreise).

Nutzen

Kosten

- Konkrete Investitionskosten hängen von vielen Parametern ab
- Realistische Obergrenze von **1,5 Mio €** ^[9]

[9] ABSCHÄTZUNG BASIEREND AUF VASD USE CASE (112,6 MWh) UND STUDIE: UNIT COMMITMENT MODELL. DATEN SOWIE MODELL DOKUMENTIERT IN: MARTI ET AL., CONSTRAINED MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF THERMOCLINE PACKED-BED THERMAL-ENERGY STORAGE, APPLIED ENERGY, 216, 2018, PAGES 694-708, ISSN 0306-2619, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.APENERGY.2017.12.072](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.12.072).

- Festbettregeneratoren sind **effizient, robust** und **günstig**
- **TRL Level 2-3** (im Anwendungsgebiet)
- Problem: Staubablagerung im Speicherbett
- Innovative Designs nötig um mit **Staubablagerung** bei gleichzeitiger **Exergie-Effizienz** umzugehen

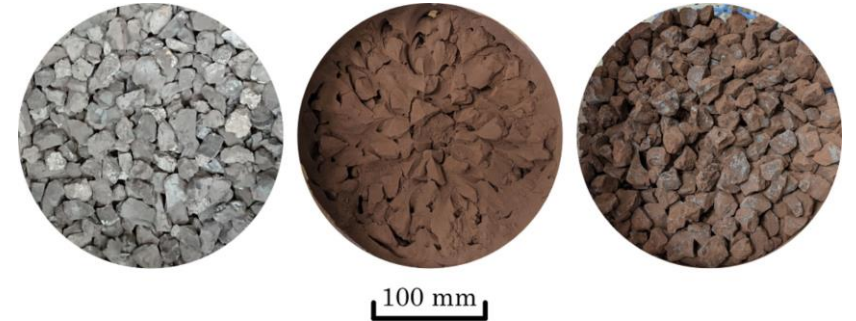


FIGURE SOURCE: SCHWARZMAYR ET AL., PACKED BED THERMAL ENERGY STORAGE FOR WASTE HEAT RECOVERY IN THE IRON AND STEEL INDUSTRY: A COLD MODEL STUDY ON POWDER HOLD-UP AND PRESSURE DROP, JOURNAL OF ENERGY STORAGE, 75, 2024, 109735, ISSN 2352-152X, [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.EST.2023.109735](https://doi.org/10.1016/j.est.2023.109735).


- Any questions?
 - Feel free to get in contact!




Lukas Kasper

Dr. | Post-Doc researcher

 lukas.kasper@tuwien.ac.at

 +43 1 58801 302319

 0000-0001-9474-3021

 [/in/lukaskasper/](https://www.linkedin.com/in/lukaskasper/)



- Interested in our projects?
 - Check out our website: “Research Unit Industrial Energy Systems”



<https://www.tuwien.at/en/mwbw/iet/e302-03-research-unit-of-industrial-energy-systems>



<https://www.youtube.com/channel/UC4NuEC16EbCieQciSz9KTkA>