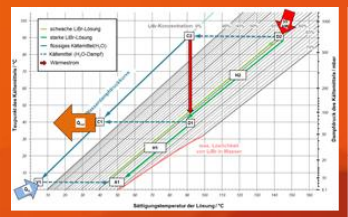
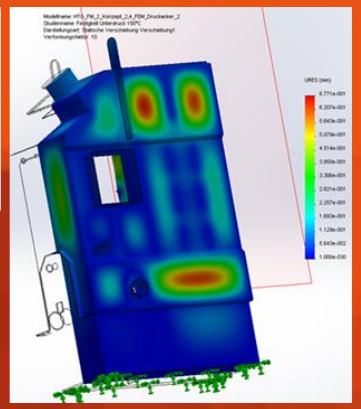
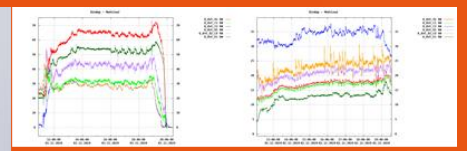






ZAE BAYERN

HDG Komfortabel heizen. Mit Holz!

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

ENERGIE. ZUKUNFT. ZAE.

Holzpelletbetriebene Absorptionskälteanlage – Kälte *direkt* aus Holz!

Manuel KAUSCHE, Martin HELM, Manuel RIEPL, Wolfgang AICH

ZAE BAYERN

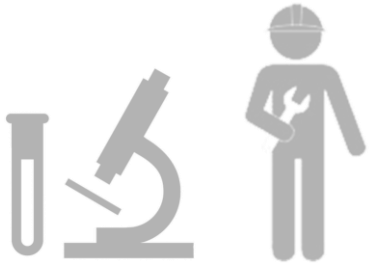
© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Ergebnisse des abgeschlossenen Verbundvorhabens „BioWap“.

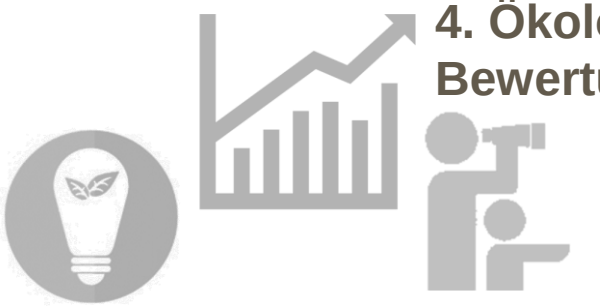
ZAE BAYERN

1. Forschungsansatz, Arbeitsprinzip, Funktionsweise

2. Anlagenauslegung, Konstruktion, Fertigung



3. Laborversuche, Betriebs- und Messergebnisse



4. Ökologische & ökonomische Bewertung, Ausblick

© ZAE Bayern

Vorteile eines Heiz- und Kühlsystems mit direkt biomasse-befeuertem Antrieb

ZAE BAYERN

- Potenzial holzartiger Biomasse ist hoch, aber endlich, *Holznutzungskaskade:* ***"Gebäude zuerst!"***
- Wärme & Kälte aus **Biomasse entlastet el. Netze und ermöglicht regionale Restholznutzung**
- ***speicherbarer*** Standardbrennstoff & ausgereifte Verbrennungstechnologie: z.B. **Holzhackschnitzel & Pellets**
- **Mehrstufigkeit = Flexibilität** → bei Betriebsmodi → Temperaturen → Anwendungen!

„höhere Effizienz = weniger Erderwärmung!" *(und: Kältemittel beachten..!)*

Arbeitsstoffpaar: Lithiumbromide & Wasser

	Biomassekessel & AWP single effect (SE)	Biomasse direkt befeuerte AWP double effect (DE)
BUE_c	0,65	1,1

"DE, 1 MW? Ist am Markt verfügbar!"

"DE, 55 kW??! Gab es nicht, bisher…"

$$\frac{\text{Kälte}}{\text{Brennstoffenergie}} = BUE_c = \textbf{B}\text{iomass}\textbf{U}\text{tilization}\textbf{E}\text{fficiency}$$ "cool"

© ZAE Bayern

Effizienzvorsprung – konventionelle Systeme vs. BioWap:

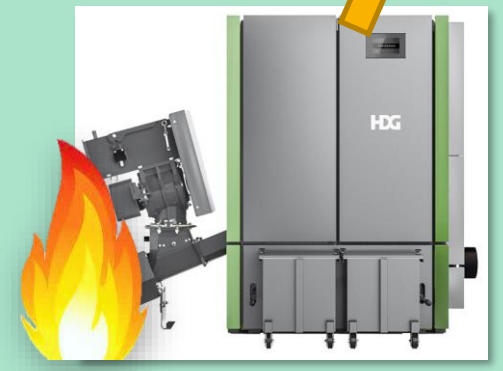
ZAE BAYERN

Konventionell:

$$BUE_c = \frac{\dot{Q}_{V1}}{H_i \cdot \dot{m}_B} \approx 0{,}65$$

$$\eta_K = \frac{\dot{Q}_{D1}}{H_i \cdot \dot{m}_B} \approx 0{,}91$$

$$\zeta_{SE,cold} = \frac{\dot{Q}_{V1}}{\dot{Q}_{D1}} \approx 0{,}72$$



heiß

Heiz-
wasser

kalt

Pelletkessel

AKM

BioWap:

$$BUE_c = \frac{\dot{Q}_{V1}}{H_i \cdot \dot{m}_B} \approx 1{,}08$$

$$\eta_{HTD} = \frac{\dot{Q}_{D2}}{H_i \cdot \dot{m}_B} \approx 0{,}88$$

$$\zeta_{DE,cold} = \frac{\dot{Q}_{V1}}{\dot{Q}_{D2}} \approx 1{,}23$$

stark

LiBr-
Lösung

schwach

Hochtemperaturdesorber (HTD)

AKM

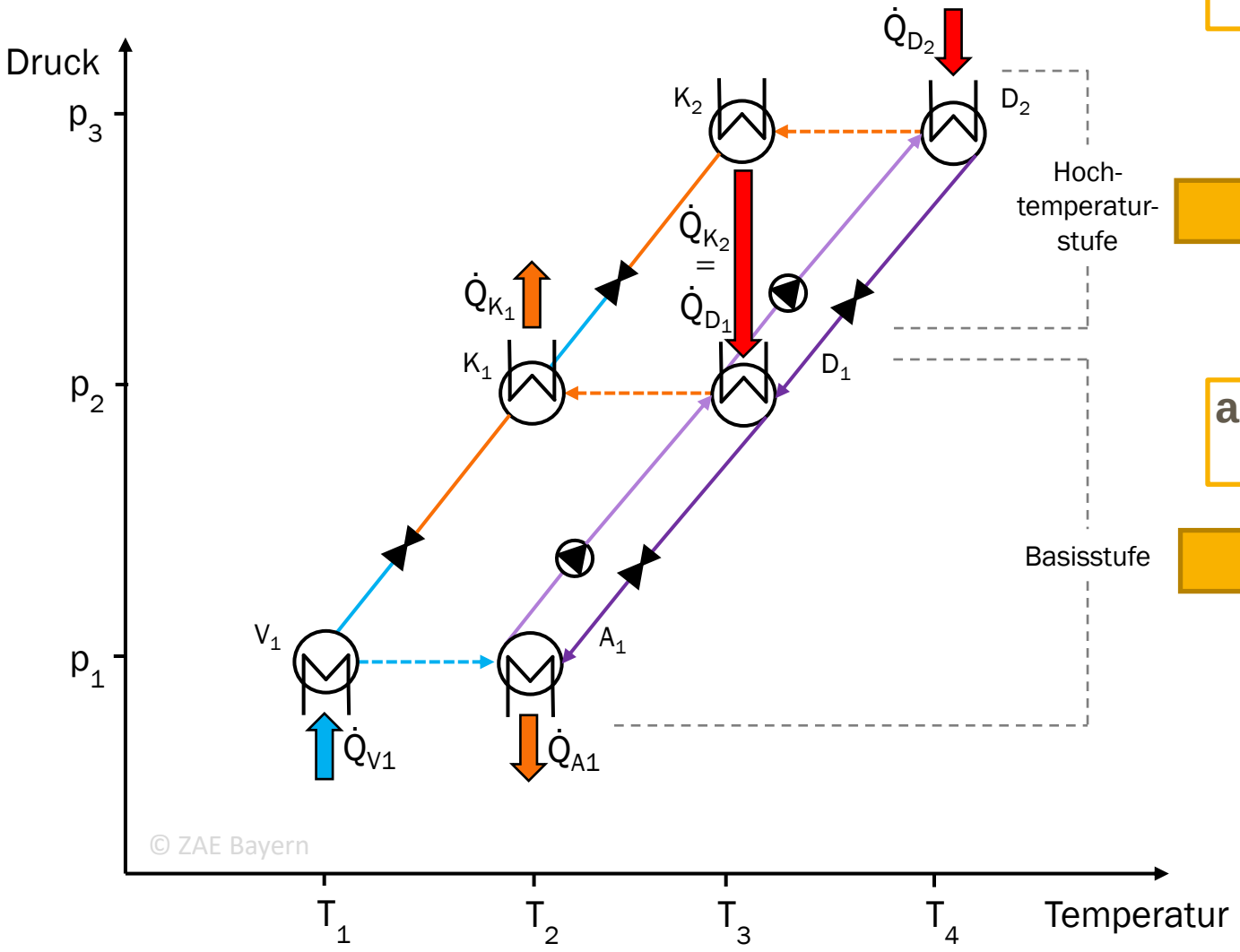
© ZAE Bayern

Forschungsansatz im Projekt BioWap

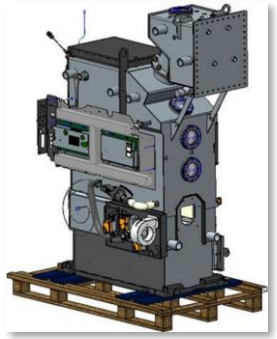
ZAE BAYERN

© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Hocheffizienter, zweistufiger Absorptionswärmepumpenprozess im schematischen p-T-Diagramm



Hochtemperaturdesorber (HTD)



als Rohrbündel ausgeführte, einstufige „Absorptionswärmepumpe“ (AWP)

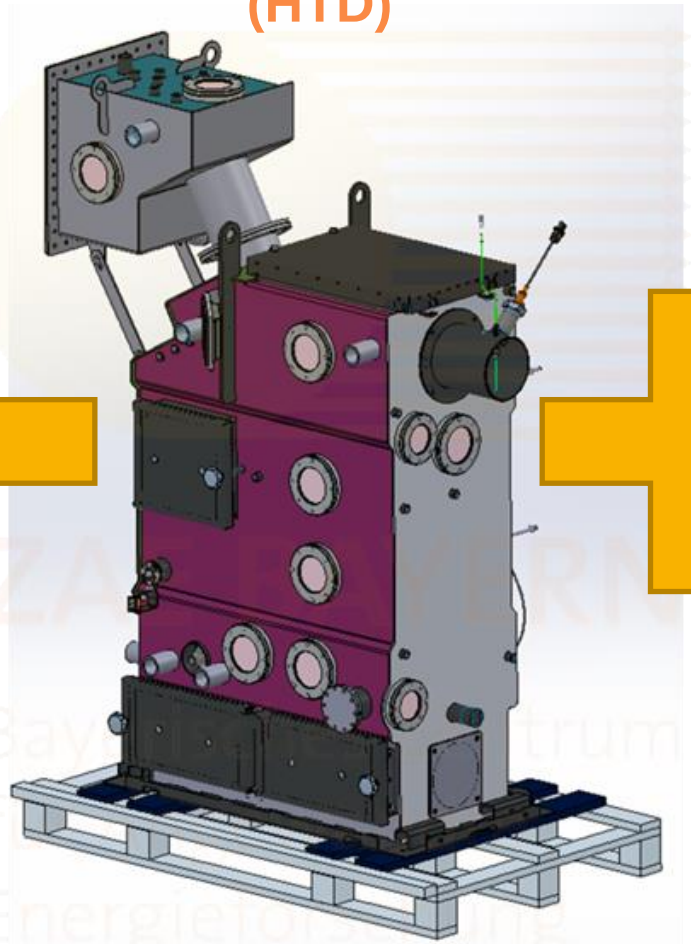
$$\zeta_{DE,cold} = \frac{\dot{Q}_{V1}}{\dot{Q}_{D2}} \leq 1{,}4$$

Das Heiz- und Kühlsystem „bioSHC“ besteht aus 3 Hauptkomponenten:

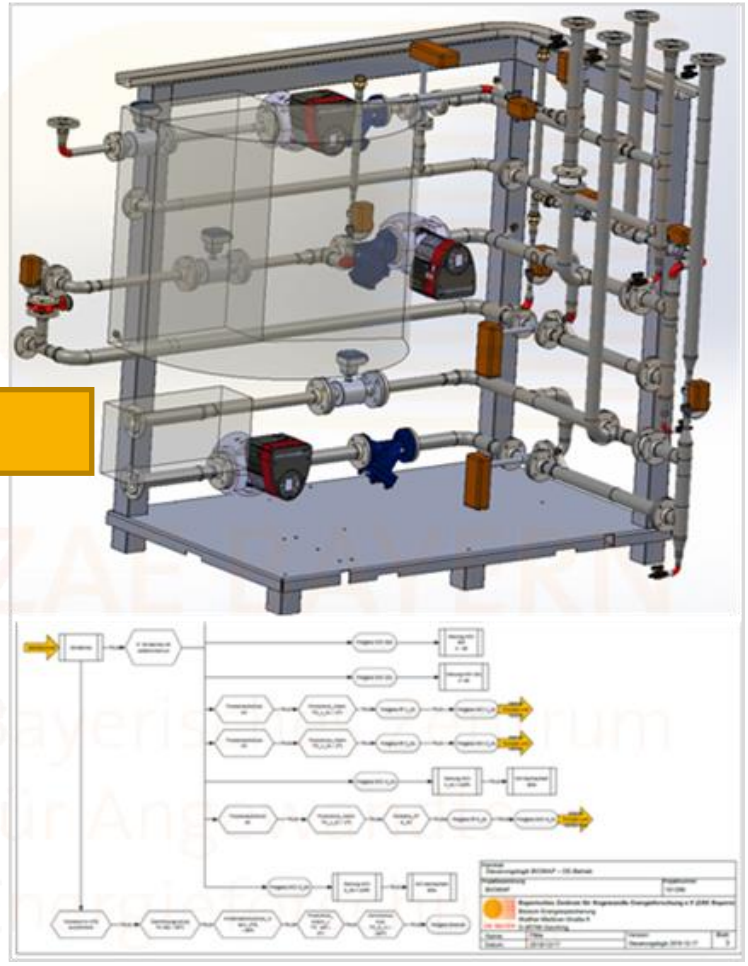
ZAE BAYERN

Absorptionskälteanlage (AKM)

Hochtemperaturdesorber (HTD)



Hydraulik & Steuerungslogik



© ZAE Bayern

Konzeption, Auslegung, Konstruktion und Bau der Anlagenkomponenten

ZAE BAYERN

© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Konzeption und Auslegung des Systems – wichtige Randbedingungen:

ZAE BAYERN

Leitlinien in der Entwicklung

- Kostengünstig und verlässlich, *Leistungsklasse: "100 kW Wärme, 60 kW Kälte"*
- Herstellbar mit den konventionellen Produktionsmethoden und Materialien von Kesselherstellern
- Quaderförmiges "Europaletten"-Design der Hauptkomponenten

„dominierende" Auslegungstemperaturen

- Ausgewählt für die Anwendung als **Double-Effect Wärmepumpe**
  - ✓ Umweltwärmequelle **4|8 °C** (Grundwasser, Abwasser, Erdwärmesonden, Rauchgaskondensation...)
  - ✓ Wärmebereitstellung für Neubaustandards **41|31 °C** (z.B. Fußbodenheizung)

Umfangreiche stationäre Simulationsstudien im *Engineering Equation Solver* (EES)

modularer Systemaufbau

- Bauart und Plug&Play-Hydrauliksystem ermöglicht
  - ✓ Leichte Einbringung sowie fehlerfreie Installation und Integration in Gebäude oder Quartiere
  - ✓ Einkoppeln z.B. von Solarthermie oder sonstiger Abwärme zur Kältebereitstellung (Sommer!), aber auch Wärmepumpenantrieb (Winter!)
  - ✓ Brunnen für UWQ sowie Geothermie ermöglichen zusätzliche, brennstofffreie Kühlung

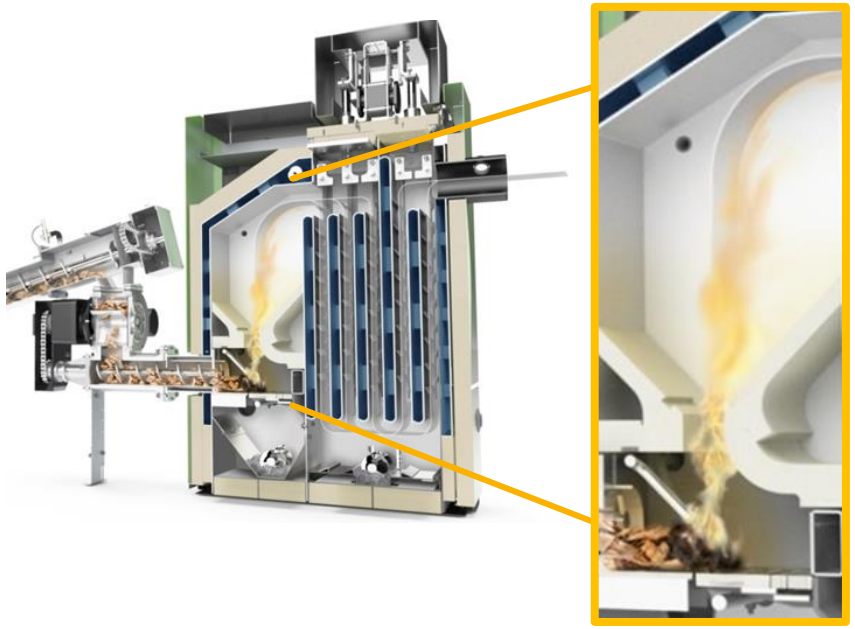
© ZAE Bayern

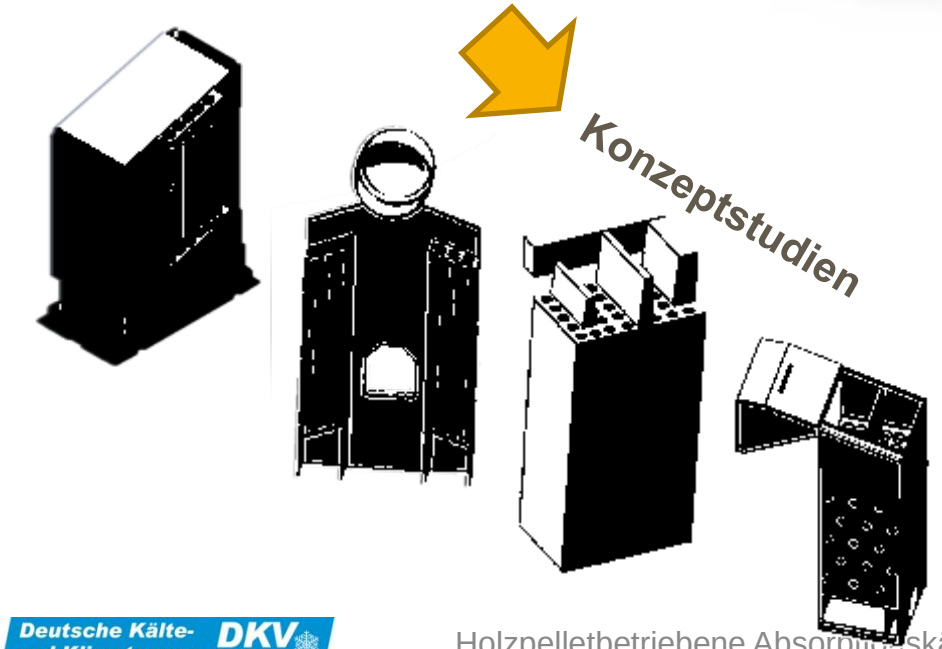
Kernstück der Anlage: Hochtemperaturdesorber (HTD) basiert auf bestehenden Brennraum des Herstellers HDG Bavaria.

ZAE BAYERN

Fa.	Anforderung	W/F
ZAE	Kondensator(-auslass) oberhalb Lösungsspiegel (Kristallisationsschutz!)	F
ZAE	So wenig Lösung wie möglich (min. mögl.:(WT-Fläche + 10 mm benetzt) x 3)	F
ZAE	Ausdehnungsvolumen von ca. 15% oberhalb des Lösungsspiegels	F
ZAE	Naturumlauf: Keine Zwangskonvektion im Kessel voraussetzen!	F
ZAE	„Toträume" sind zu vermeiden (Kristallisationsgefahr) oder mittels Einströmungsrichtung der zugegebenen Lösung zu eliminieren	F
ZAE	Der Dampf muss am höchsten Punkt der Lösung möglichst leicht abströmen können von der Erzeugungsstelle (z.B. Rauchrohr)	F
ZAE	Siederohrbauart (statt Pooldesorber) ist wünschenswert, da Vergleichswerte und ähnliche Anlagen mit Gasfeuerung am ZAE gebaut und untersucht wurden; Siederohrbauart bedingt außerdem tendenziell geringeres Lösungsvolumen und geringere Wärmetauscherfläche	W
ZAE	Nutzen der Strahlungswärme im Brennraum zur Übertragung auf die Lösung (Effizienzmaßnahme!), anstatt auf Heißwasser	W
ZAE	Ausgetriebenen Dampf möglichst nicht mehr überhitzen, als durch Lsg.temp. nötig	W
HDG/ ZAE	Sicherheitswärmetauscher gegen Kesselüberhitzung (z.B. Nachbrand bei Stromausfall) notwendig, außer Berstscheibe ermöglicht sicheren Betrieb, ggf. Sicherheitskondensator einplanen!	W
HDG	Abreinigung der Asche in den Wärmeübertragern ist zwingend notwendig	F
HDG	Wartungsklappe **oben** für Ausbau der Reinigungsfedern (Biegeradius der Turbulatoren kann ggf. leichte Überdeckung ermöglichen; Mehrteilige Reinigungselemente sind denkbar)	F
HDG	Runde Reinigungsgeometrie (z.B. Rauchrohre), KEINE Taschen	F
HDG	Rauchrohre müssen senkrecht stehen (Abaschung durch Schwerkraft Maximale Anstellung 20° bzw.80° zur Horizontalen)	F
HDG ZAE	Sehr heiße Wärmeübertragerflächen / Rohre müssen von Flüssigkeit umspült sein (z.B. Lösung, Warmwasser)	F
HDG	Abreinigungssystem: Federn (keine Druckluft, keine Rotation…)	F
HDG	Brennraumkühlung: Lösung kann auch kühlen, muss aber der Kühlung bei 95°C entsprechen	F
HDG	Kompakte Bauweise (Grundgeometrie geringfügig größer als HDG Compact 50): **Einbauhöhe** ca. max.: 2 m (ABER: anderer Anwendungsfall/Kunde bei thermischer Leistung ca. 100 kW!) Transport**breite** (über alles): 1,00 m (*ohne* Gebläse, Aschekasten etc.) Transport**länge** (über alles): 1,90 m („Flansch zu Flansch")	F/W
HDG	Abgasstutzen unten/oben, senkrecht/schräg etc. möglich; unten wünschenswert für ggf. Anschluss Staubabscheider/Filter	W

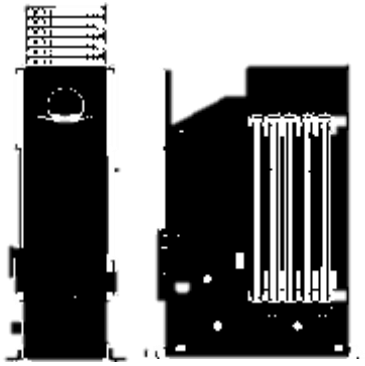
Anforderungen

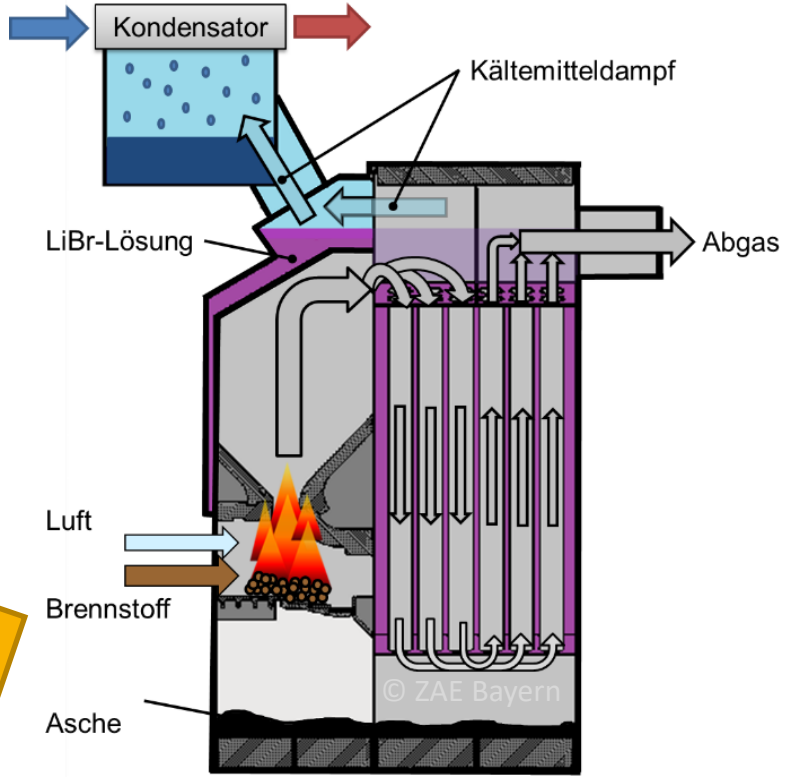




Konzeptstudien

Finale Variante

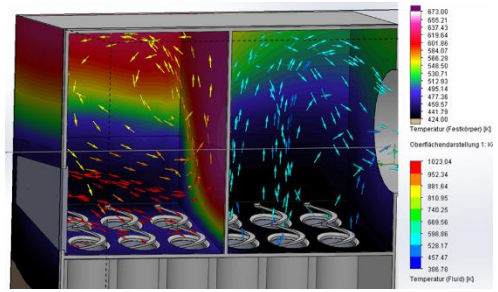


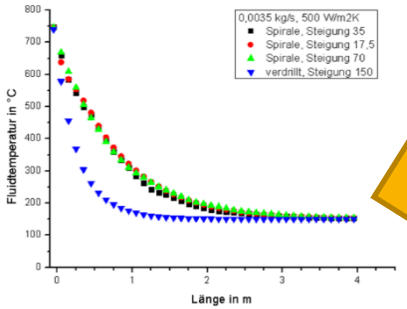


Passgenaue Auslegung, Konstruktion und Fertigung des HTD‘s.

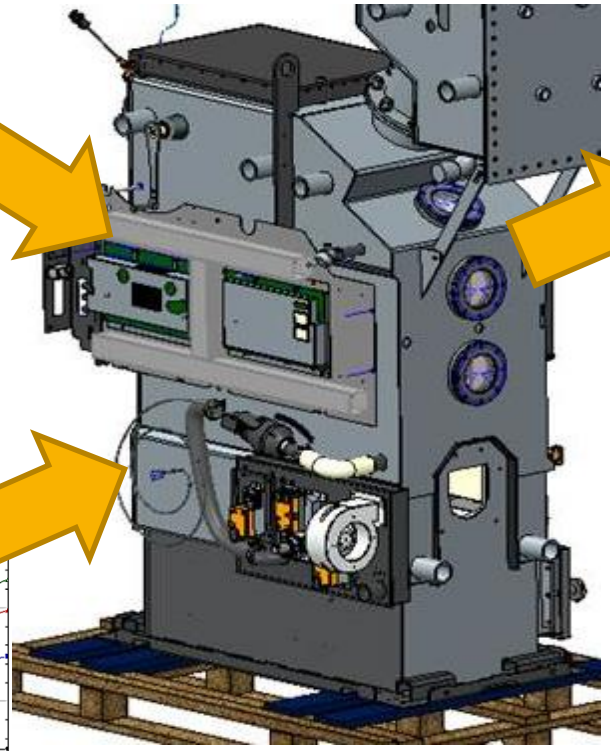
ZAE BAYERN

Wärmeübergang rauchgasseitig

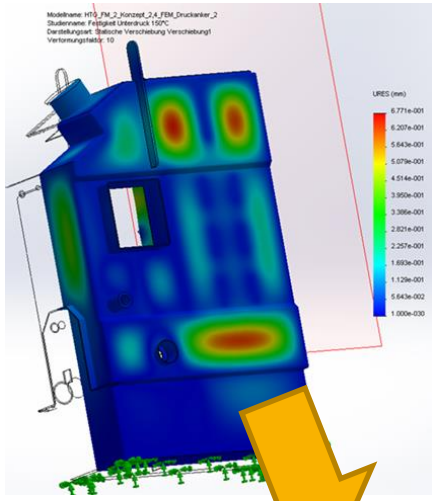




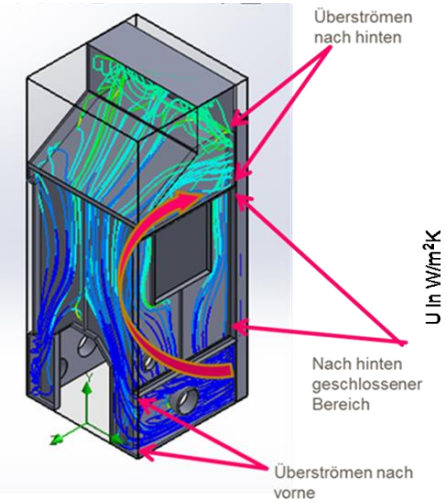
Konstruktion

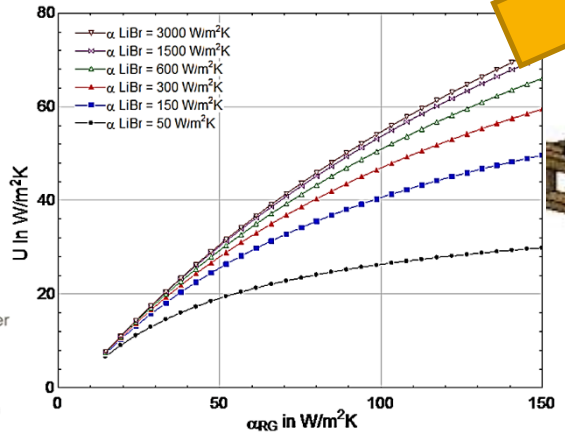


Festigkeitsanalyse



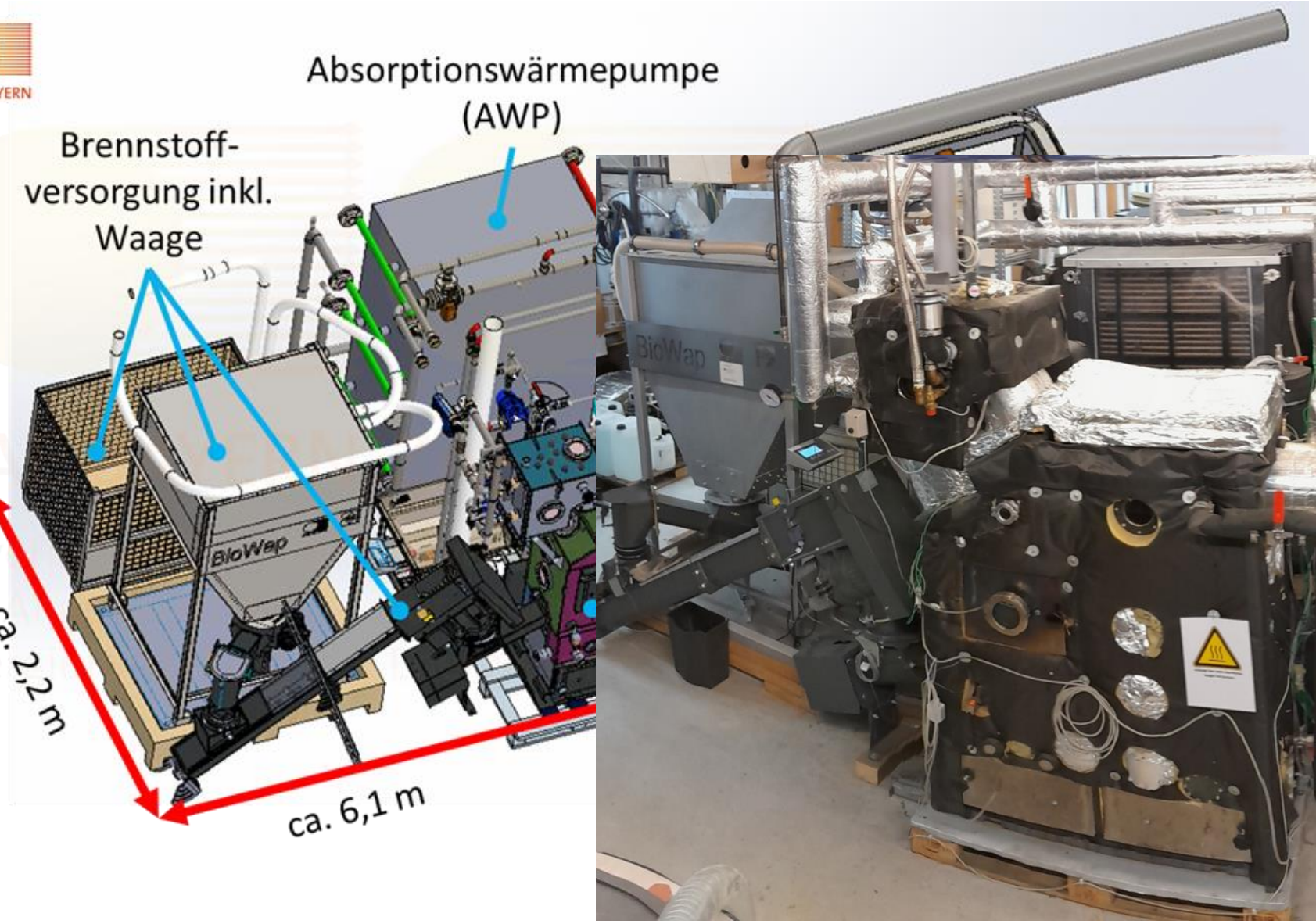
Naturumlauf & Wärmeübergang lösungsseitig

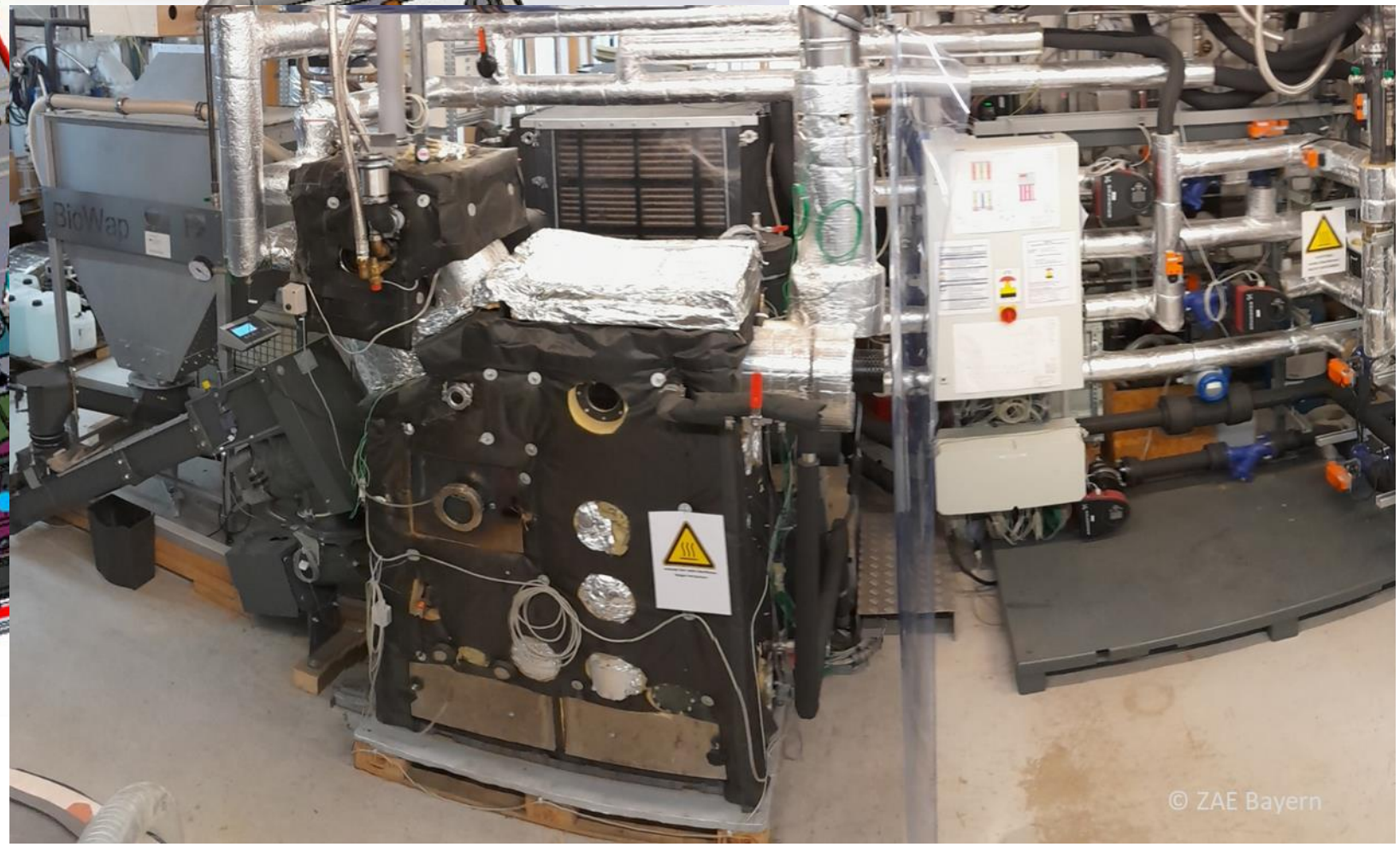


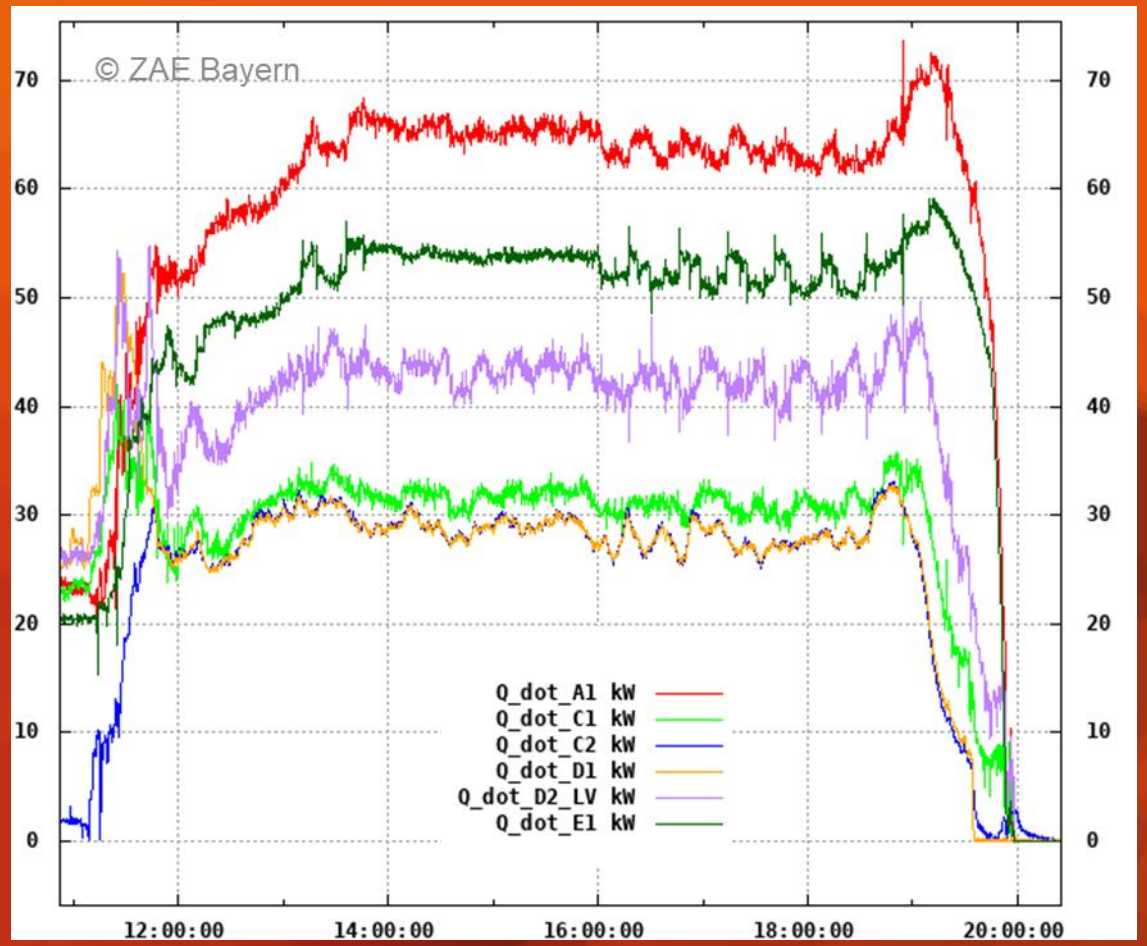


Fertigung

Messtechnik erfordert das 3-fache des technisch nötigen Platzbedarfs …





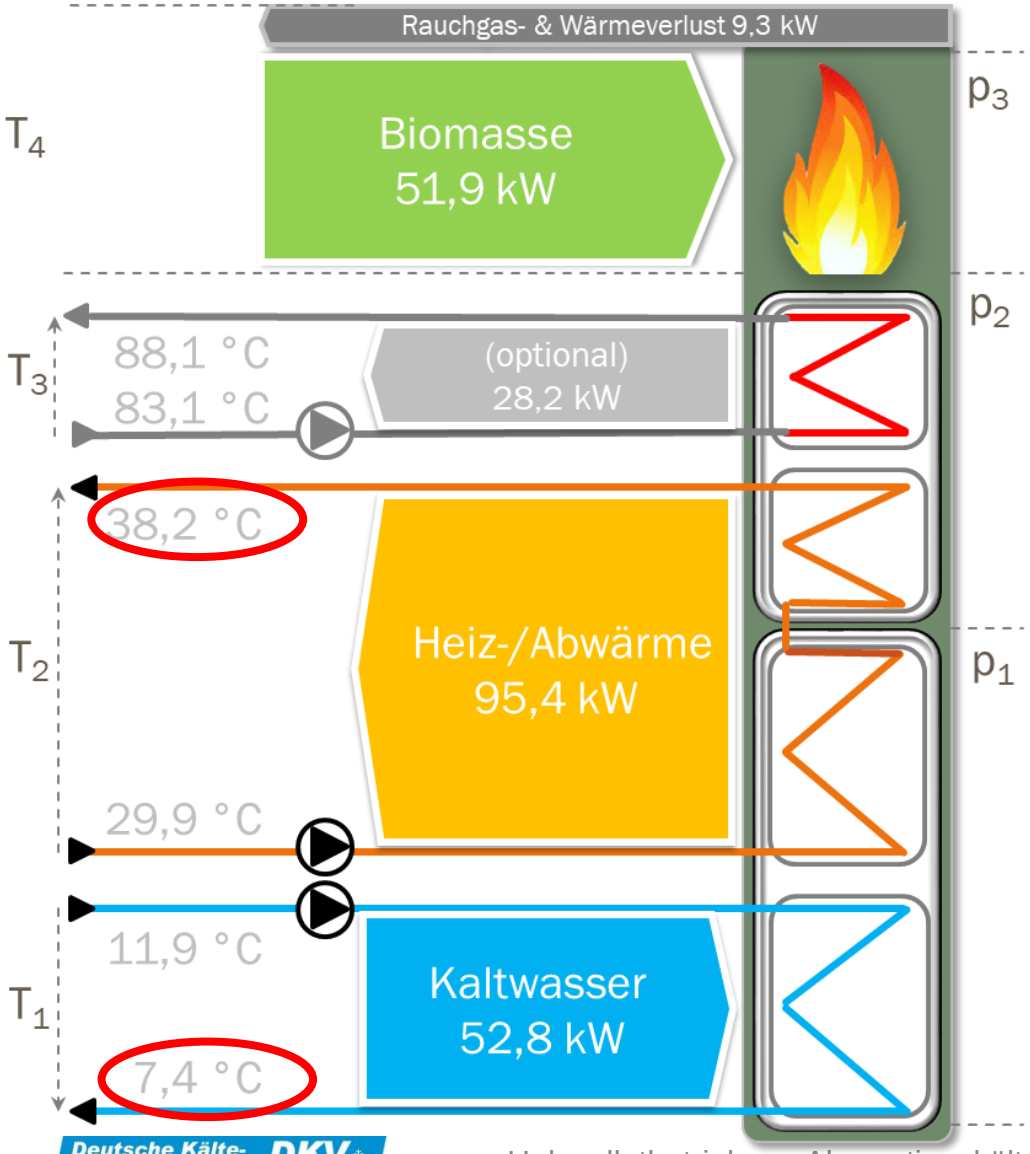


Ergebnisse der Laborversuche

ZAE BAYERN

© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Messergebnisse aus dem abgeschlossenen Projekt „BioWap“ – Kühlen im DE-Modus:



Brennstoffeffizienz:

Biomass**U**tilization**E**fficiency **C**old

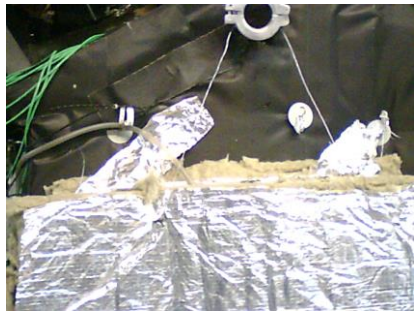
$$BUE_C = 1{,}0 \qquad \frac{\text{Nutzkälte}}{\text{Brennstoffenergie}}$$

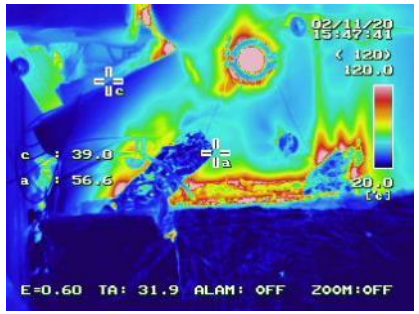
$$BUE_{HC} = 2{,}9 \qquad \frac{\text{Nutzwärme} + \text{Nutzkälte}}{\text{Brennstoffenergie}}$$

© ZAE Bayern
© ZAE Bayern

Der Vergleich mit stationärer Simulation zeigt: Verringern der Wärme- und Rauchgasverluste führt zur gewünschten Leistungsfähigkeit.

ZAE BAYERN





- Thermische Verluste aufgrund messtechnischer Einbauten für Laborbetrieb verringern Q_{HTD} und damit BUE sowie η_{HTD}.

$$\zeta_{cold} = 1{,}2 \qquad \frac{\text{Nutzkälte}}{\text{Antriebswärme}}$$

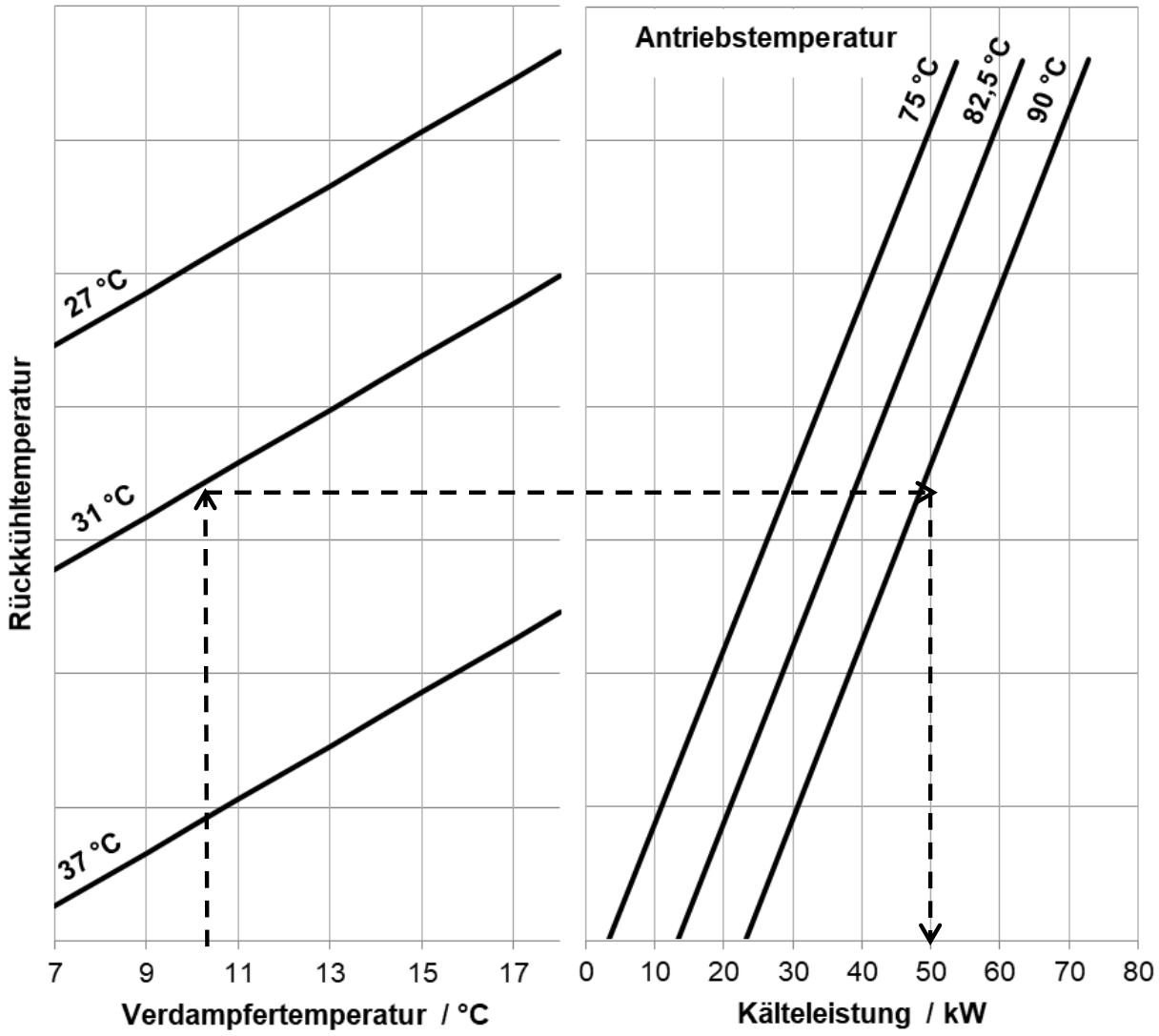
$$\eta_{HTD} = 77\ \% \qquad \frac{\text{Antriebswärme}}{\text{Brennstoffenergie}}$$

$$BUE_c = 0{,}9 \qquad \frac{\text{Nutzwärme}}{\text{Brennstoffenergie}}$$

	Auslegung bzw. Simulation	Messung am Labor-Funktionsmuster	Messunsicherheit u
$T_{Kälte}$ (Vorlauf)	4 °C	5,6 °C	±0,10 K
$T_{Kälte}$ (Rücklauf)	8 °C	9,0 °C	±0,09 K
$T_{Wärme}$ (Vorlauf)	41 °C	39,9 °C	±0,17 K
$T_{Wärme}$ (Rücklauf)	31 °C	31,3 °C	±0,19 K
T_{Hub}	37 K	34,4 K	±0,19 K
$\dot{Q}_{E1}$	61,5 kW	52,3 kW	±2,10 kW
$\dot{Q}_{A1}$	77 kW	64,1 kW	±2,86 kW
$\dot{Q}_{C1}$	34,1 kW	31,6 kW	±2,65 kW
$\dot{Q}_{D1}$	33,6 kW	29,9 kW	±2,21 kW
$\dot{Q}_{C2}$	33,6 kW	29,9 kW	±2,58 kW
$\dot{Q}_{R}$	111,1 kW	95,7 kW	±3,90 kW
$\dot{Q}_{HTD}$	50 kW	43,4	±3,32 kW
ζ_{cool}	1,23	1,21	±0,01
ζ_{heat}	2,22	2,21	±0,12
$\dot{Q}_{B}$	56,8 kW	56,3	±0,30 kW
T_{AG}	-	189,8 °C	±4,19 K
η_{HTD}	88 %	77 %	±6,2 %
EER		33,4	±2,89
COP		152,4	±4,83
BUE_h	1,96	1,70	±0,07
BUE_c	1,08	0,93	±0,04

© ZAE Bayern

Die *einstufige AKM* ist nahe der Produktreife. Zusätzlich ist sie sehr gut kompatibel mit Hochtemperaturdesorbern.



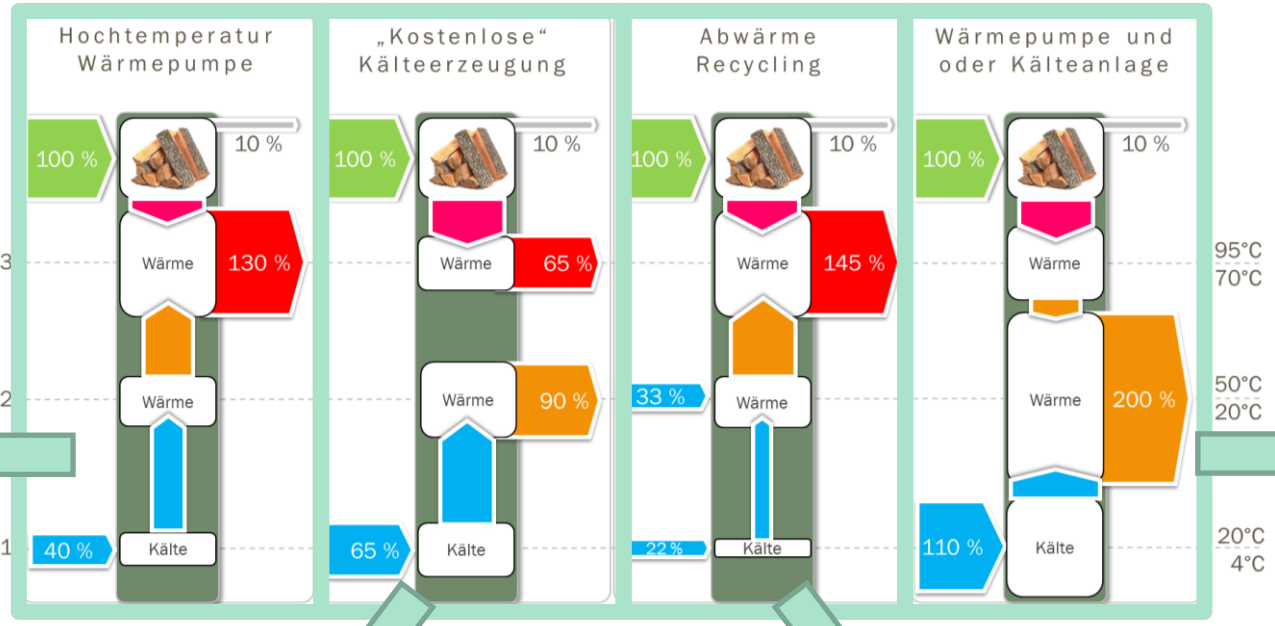
Ökologische und ökonomische Bewertung, Marktchancen?!

ZAE BAYERN

© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Mehrstufigkeit & Flexibiltät der Systemkonfigurationen = zahlreiche Anwender & Zielmärkte

ZAE BAYERN



- Altbauten
- (Kunststoff-) Industrie
- Molkerei
- Fernwärme

- Rest- und „Alt“-Holzverwertung in KMU-Fertigungen
- Lebensmittelverarbeitung

- Industrielle (Trocknungs-) Prozesse
- Hocheffiziente Grundlasterversorgung durch RG-Kondensation bei Mehrkesselanlagen
- Wellnesthermen

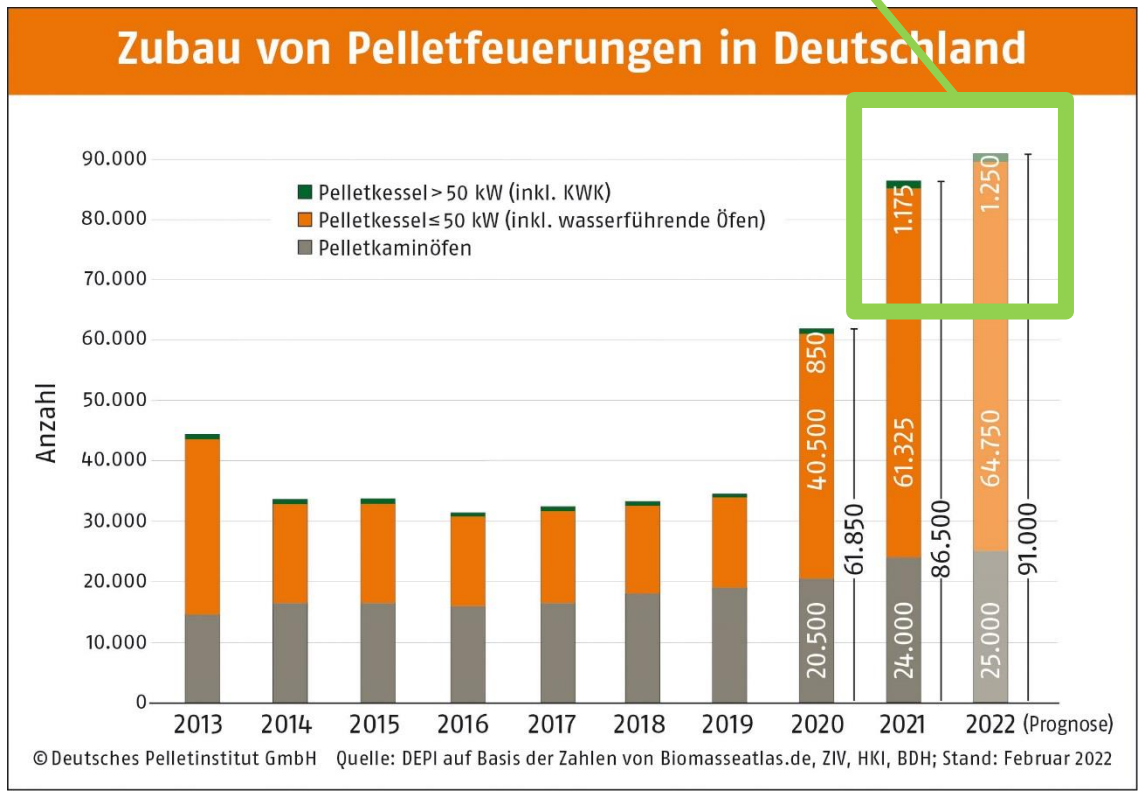
- Neubau-Quartiere
- Kommunale Bauten
- Büro- und Gewerbebauten
- „wärmere“ kalte Fernwärme
- Landwirtschaft („Stallkühlung“)
- Hotels

© ZAE Bayern

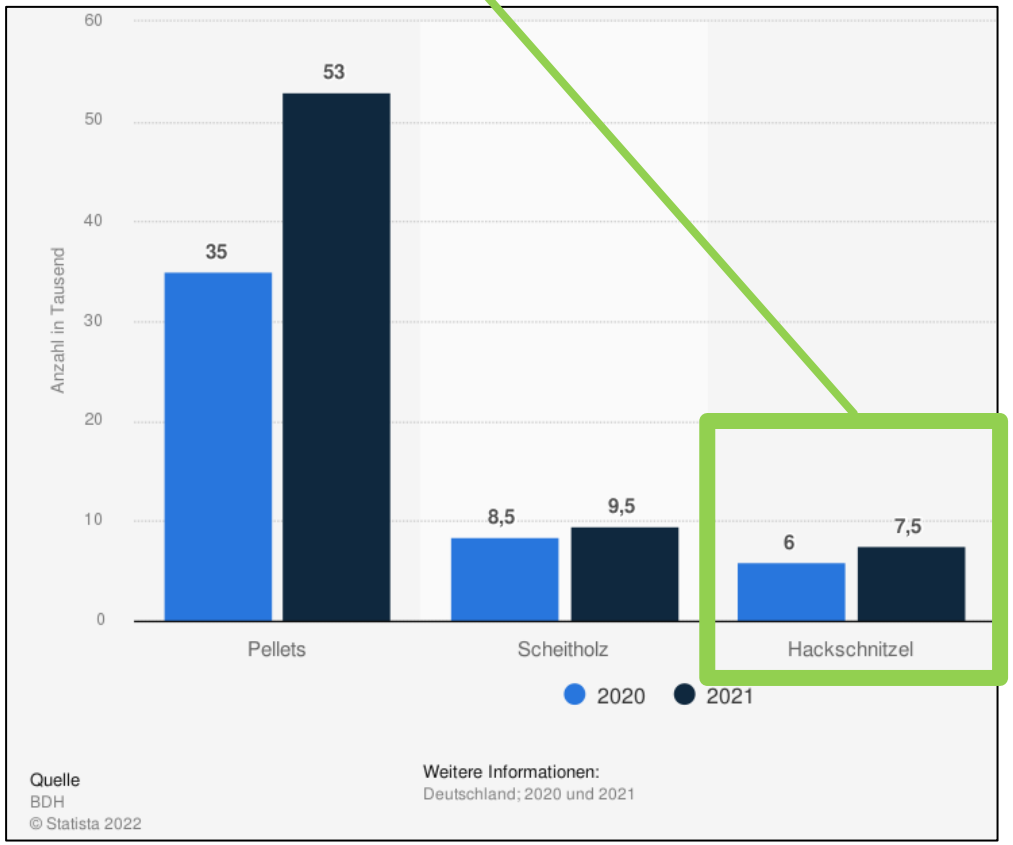
Marktpotenzial schwer definierbar, da allein Brennstoffart und Leistungsklasse Überlappung von „Kundentypen“ erzeugen.

ZAE BAYERN

Absatz von Pelletkessel ~ 50 kWth



Absatz von Hackschnitzelkessel ≥ 50 kWth



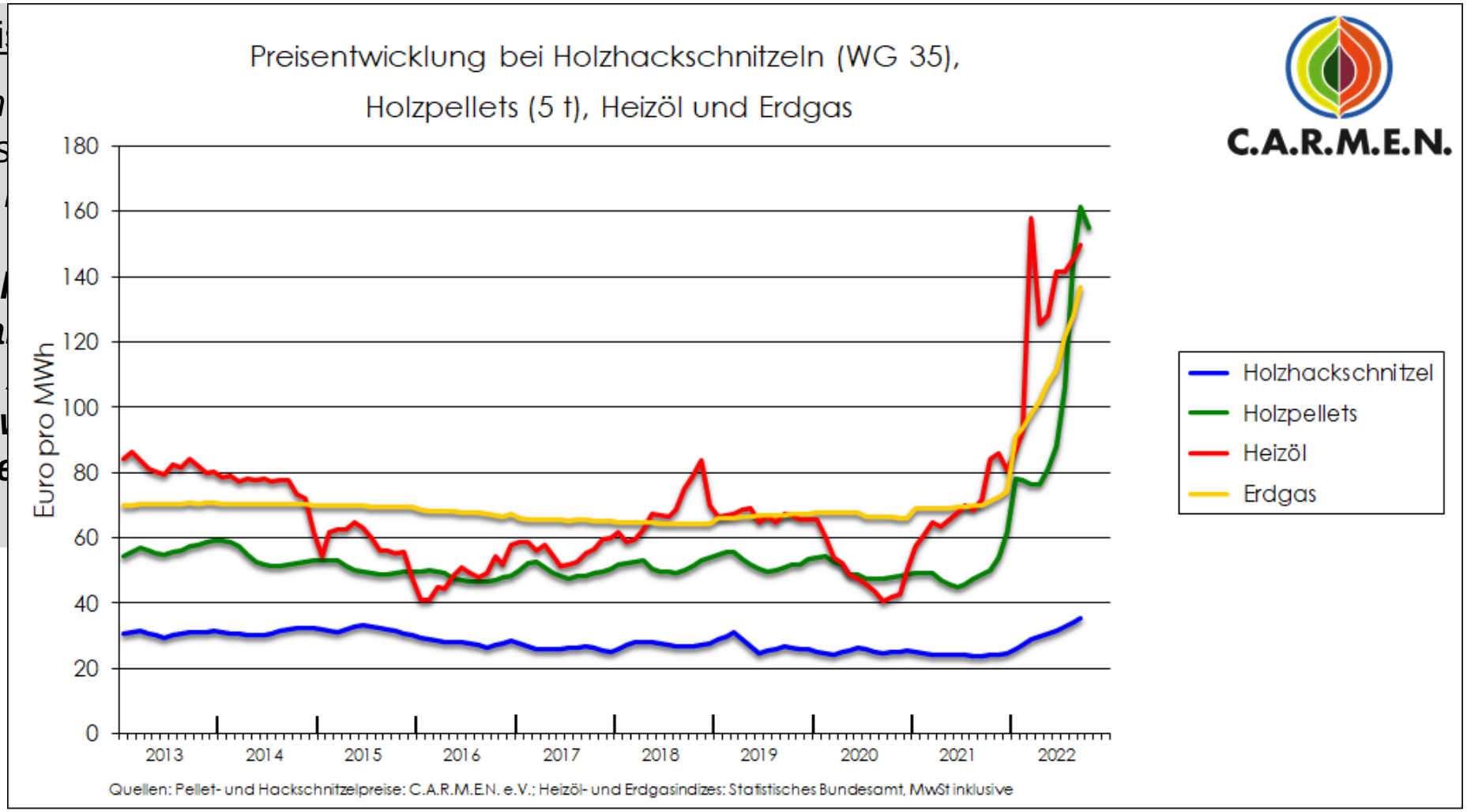
Würden sich Kunden im Grenzbereich Heizleistung ~100 kW für Pellets oder Hackschnitzel entscheiden?! (Absatzpotential zwischen 1000 und 4000 Stk./a)

Quo Vadis Holzmarkt?! Was passiert, wenn der Energiepreis für holzartige Biomasse steigt?!

ZAE BAYERN

HOLZMARKTBERICHT Bayri

„Durch das Überangebot im
und im Industrieholzsektor s
Energieholzsortimente unter
Waldhackschnitzeln war eine
beobachten. ***In den Hauptsc***
Waldhackschnitzel außerha
schwer vermarktet werden.
konnte über den Winter hinu
werden, das Preisniveau ble
unbefriedigend...“



© ZAE Bayern

Fazit & Ausblick

ZAE BAYERN

© Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Alle Rechte vorbehalten, auch bezüglich jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung und Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtanmeldungen.

Im Forschungsprojekt „BioWap“ erzielte Ergebnisse:

ZAE BAYERN

- **direkt befeuertes Heiz- und Kühlsystem, Leistungsklasse ~100 // 60 kW im Labor umgesetzt**
- **Klimafreundliches Kältemittel „Wasser“**
- **Stromnetzentlastung durch thermischen Direkt-Antrieb**
- **Kernkomponenten mit üblichen Fertigungsverfahren und Materialien kostengünstig herstellbar**
- **Durch „*Europaletten-Design*“: kompakt aufstellbar**
- **Heizen: halbierte Emissionen, da *Wärme:Brennstoff = 2:1* !**
- **Kühlen: direkte Verbrennung ermöglicht *Kälte:Brennstoff = 1:1* !**
- ***Bereits in dieser Entwicklungsstufe: Ökonomische Relevanz!***

© ZAE Bayern

BioWap in auf einen Blick:

- **Brennerleistung** **~ 55 kW (Hackschnitzel, Pellets)**
- **Heizleistung** **~ 111 kW**
- **Kälteleistung** **~ 62 kW**
- **Temperaturen** **~ 4/8 & 31/41 °C** *(bis 95°C)*
- ***Effizienz:*** **ζ_{cold} = 1,2 || BUEc = 1,1**

Projekt BioWap

Manuel Kausche

ZAE Bayern
Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V.
Bereich: Energiespeicherung

Walther-Meißner-Straße 6
85748 Garching

ZAE BAYERN

HDG Komfortabel heizen. Mit Holz!

FKZ **03KB127**

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

biowap@zae-bayern.de
http://www.zae-bayern.de

Gefördert durch
Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie

Bayerische Klima-Allianz

BVES Bundesverband Energiespeicher

FVEE ForschungsVerbund Erneuerbare Energien
Renewable Energy Research Association

ZUSE-GEMEINSCHAFT

ZAE BAYERN