

TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Aufbau und Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Hochtemperatur Sand-Wärmespeicherung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Markus Haider

und

Projektass. Dipl.-Ing. Peter Philipp Steiner

Institut für Energietechnik und Thermodynamik

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Julian Frauscher, BSc

0925458

Maria vom Siege 6/9
1150 Wien

Wien, am 11.07.2016

Kurzfassung

Diese Diplomarbeit beschäftigt sich mit dem finalen Aufbau und der Inbetriebnahme einer neu aufgebauten Versuchsanlage zur Wärmespeicherung im Hochtemperaturbereich. Als Speichermedium für die thermische Energiespeicherung (TES) wird Sand verwendet, woraus sich auch der Name der beschriebenen Anlage, sandTES, ableiten lässt. Beim Einspeichern wird thermische Energie vom Wärmeträgermedium Therminol VP-1 auf Stahlrohre übertragen, weiter auf das fluidisierte, pulverförmige Speichermedium. In umgekehrter Reihenfolge erfolgt die Wärmeübertragung beim Ausspeichervorgang. Die Pilotanlage ist auf $200 \text{ kW}_{\text{th}}$ ausgelegt.

Im Zuge der Arbeit wurde die Verrohrung der Thermoölanlage mit den einzelnen Versuchsanlagen geplant und durchgeführt. Ein Druckluftnetz für die gesamte Anlage sowie die Sensorik für die sandTES-Anlage wurde ausgelegt und aufgebaut. Weiters wurden die nötigen Ventilstellungen der Luftverrohrung und der Rückkühlung ausgearbeitet und eine Überdrucksicherung für einen Rekuperator konstruiert.

Die vorliegende Arbeit beinhaltet sowohl eine technische Beschreibung der Anlage mit allen zugehörigen Komponenten als auch eine Dokumentation der abgeschlossenen Tätigkeiten.

Abstract

This thesis deals with the final construction and the starting operations of a newly built test facility for heat storage at high temperatures. As storage medium for the thermal energy storage (TES) sand is used, from which the name of the described system, sandTES, can be derived. When storing the thermal energy from the heat transfer medium Therminol VP-1 is transferred to steel tubes, passed on to the fluidized powdery storage medium. In reverse order, the heat transfer occurs when unloading the heat. The pilot plant is designed for $200 \text{ kW}_{\text{th}}$.

In the course of this thesis, the piping of the thermal oil plant with the individual pilot plants was designed and built. A compressed air system for the entire plant, as well as the sensor system for the sandTES-plant was designed and constructed. Furthermore, the necessary valve positions of the air piping and re-cooling have been developed and constructed and an overpressure safety protection for a recuperator has been constructed.

The present work includes both a technical description of the plant with all its components as well as a documentation of the completed activities.

Danksagung

Ganz besonders danken möchte ich in erster Linie meinem Betreuer, Projektass. Dipl.-Ing. Peter Philipp Steiner, für seine kontinuierliche Unterstützung und die zahlreichen Hilfestellungen während meiner Diplomarbeit. Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Mitarbeitern dieses Projekts, sowohl die des Institutes als auch vor Ort an der Versuchsanlage bedanken, die mir immer hilfsbereit zur Seite standen und bei meinen Fragen weiterhalfen.

Ein besonderer Dank gilt auch Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Markus Haider, der mir die Möglichkeit gab, meine Diplomarbeit am Institut für Energietechnik und Thermodynamik zu verfassen und mit Rat und Tat zur Seite stand.

Ich möchte auch meinen zahlreichen Studienkollegen Danke sagen. Einerseits für Ihre moralische Unterstützung als auch für die stetige, gegenseitige Motivation. Genauso gilt mein Dank auch meinen Arbeitskolleginnen- und kollegen, mit denen ich in der Arbeit, der Freizeit und auch im Urlaub eine unvergessliche Zeit erlebt habe.

Nicht zuletzt gebührt auch meinen Eltern ein besonderer Dank, die mich über mein gesamtes Studium hinweg unterstützt und den Rücken gestärkt haben sowie mir diese Ausbildung ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Ziel der Arbeit	2
1.2. Aufbau der Arbeit.....	2
2. Theoretische Grundlagen.....	3
2.1. Thermodynamische Grundlagen	4
2.2. Sensible Wärmespeicherung.....	6
2.3. Latente Wärmespeicherung.....	7
2.4. Thermochemische Wärmespeicherung	9
2.5. Grundlagen der Wirbelschichttechnik.....	10
3. Technische Beschreibung der Anlage.....	12
3.1. Wärmetauscher	14
3.1.1. Aufbau und Beschreibung.....	15
3.1.2. Messkonfiguration der kalten Versuche [5].....	19
3.1.3. Prozessleitsystem	22
3.2. Thermoölanlage [6].....	23
3.2.1. Anlagenkomponenten	26
3.2.2. Sicherheitseinrichtungen.....	29
3.3. Förderstrang	30
3.3.1. Silo	33
3.3.2. Becherwerk [7]	33
3.3.3. Verteilerweiche [7].....	35
3.3.4. Schnecke [7]	35
3.3.5. Schieber [8].....	37

3.3.6. Wägezellen [9]	38
3.4. Luftverrohrung	39
3.4.1. Rekuperator	41
3.4.2. Gebläse [10].....	41
3.4.3. Absaug- und Filteranlage [11]	42
3.5. Sonstige Anlagenkomponenten.....	42
3.5.1. Prozessluftkompressor.....	42
4. Rechtliche Rahmenbedingungen	43
4.1. Druckgeräteverordnung [12]	43
5. Durchgeführte Arbeiten	50
5.1. Ölverrohrung.....	50
5.1.1. Stückliste.....	50
5.1.2. Übersichtszeichnungen.....	52
5.1.3. Rohrisometrien.....	53
5.1.4. Schweißarbeit und Dokumentation	54
5.1.5. Rohraufhängung	55
5.2. Druckluftnetz.....	56
5.2.1. R&I-Schema.....	56
5.2.2. Stückliste.....	58
5.2.3. Falschlufteinblasung	59
5.3. Sensorik.....	60
5.3.1. Messsonden.....	60
5.3.2. Drucksensoren.....	64
5.3.3. Temperatursensoren.....	66
5.4. Überdrucksicherung beim Rekuperator	69
5.5. Ventilstellungen	71

5.5.1. Luftverrohrung.....	71
5.5.2. Rückkühlkreislauf.....	73
6. Zusammenfassung.....	76
Literaturverzeichnis.....	79
Abbildungsverzeichnis	81
Formelverzeichnis.....	83
Tabellenverzeichnis	84
Anhang.....	85

Nomenklatur

Lateinische Formelzeichen

Symbol	Einheit	Bedeutung
A	m^2	Fläche/Querschnitt
$A(\text{solid, liquid})$	-	Komponente
$AB(\text{solid, liquid})$	-	Komponente
b	m	Breite
$B(\text{gasförmig})$	-	Gaskomponente
c_p	J/(kgK)	spezifische isobare Wärmekapazität
d	m	Dicke
d_0	m	Düsendurchmesser
d_{aus}	m	Rohraussendurchmesser
d_{in}	m	Rohrinnendurchmesser
d_p	m	Partikeldurchmesser
E	J	Energie
G	$kg/(m^2s)$	Strömung
g	m/s^2	Fallbeschleunigung
H	J	Enthalpie
h	m	Höhe
l	m	Länge
m	kg	Masse
\dot{m}	kg/s	Massenstrom
n	-	Anzahl
p	bar	Druck
Q	J	Wärme
\dot{Q}	W	Wärmestrom
S	J/K	Entropie
s_i	m	Schichtdicke
T	K	Temperatur
U	$W/(m^2K)$	Wärmedurchgangskoeffizient
V	ml	Volumen

Griechische Formelzeichen

Symbol	Einheit	Bedeutung
α	$W/(m^2K)$	Wärmeübergangskoeffizient
Δ	-	Differenz
ε	-	Emissionsgrad
λ	$W/(mK)$	Wärmeleitfähigkeit
ρ	kg/m^3	Dichte
σ	$W/(m^2K^4)$	Stefan-Boltzmann-Konstante
ψ	-	Porosität

Index tiefgestellt

Index	Bedeutung
1	Körper 1
2	Körper 2
a	Zählindex
aus	aussen
Düsenbox	Index für Düsenbox
Exergie	Exergieanteil
hor	horizontal
i	Zählindex
in	innen
Lat	latent
ls	Schmelze
Luft	Index für Luft
Luftkissen	Index für Luftkissen
max	maximal
Mischbox	Index für Mischbox
n	Zählindex
Öl	Index für Öl
RB	Rohrbündel
s	Speicher
Sand	Index für Sand
Sens	sensibel
sus	Index für Suspension
u	Umgebung
ver	vertikal
Verlust	Verlustanteil
Windbox	Index für Windbox

Abkürzungen

Abkürzung	Bedeutung
Anm	Anmerkung
bzw	beziehungsweise
d.h.	das heisst
etc	et cetera
z.B.	zum Beispiel

1. Einleitung

In den letzten Jahren hat die Klimaproblematik immer mehr Aufmerksamkeit in der breiten Bevölkerung gefunden. Eine immer höher werdende Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre und ein schwindender Bestand an fossilen Energieträgern tragen ihren Teil zu diesem öffentlichen Bewusstsein bei. 1992 wurde in Rio de Janeiro die Klimakonvention der Vereinten Nationen unterzeichnet. Die teilnehmenden Staaten haben sich zur Reduktion der Treibhausgase und zur Vorsorge gegen den Klimawandel verpflichtet. Im Jahr 1997 wurden diese Ziele durch das Kyoto-Protokoll präzisiert und für die teilnehmenden Industriestaaten verordnet. Das 2005 in Kraft getretene Abkommen legt erstmals völkerrechtlich verbindliche Zielwerte für den Ausstoß von Treibhausgasen in den Industrieländern fest, welche die hauptsächliche Ursache der globalen Erwärmung sind. Um diese Ziele zu erreichen ist es nötig, die vorhandenen Ressourcen möglichst optimal und energieeffizient zu nutzen. Es benötigt fortschrittliche und innovative Technologien um den hohen Anforderungen gerecht zu werden.

Erneuerbare Energieträger gelten als eine der wichtigsten Säulen einer nachhaltigen Energiepolitik. Der Ausbau solcher regenerativen Energieanlagen ist jedoch nur in Kombination mit der Speicherung von Energie möglich. Um die zeitliche Differenz zwischen Angebot und Nachfrage nach Energie ausgleichen zu können und somit eine hohe Versorgungssicherheit zu realisieren, sind Energiespeicher unabdingbar. Bei Energieüberschuss wird die Energie gespeichert und bei erhöhter Nachfrage bzw. Engpässen wieder abgegeben. Um das Energieangebot hinsichtlich Zeit und Leistung dem Bedarf anzupassen, ist eine Speicherung über einen Zeitraum von wenigen Stunden bis hin zu mehreren Monaten nötig. Sonneneinstrahlung ist ein typisches Beispiel für ein häufig wechselndes Angebot an Primärenergie. Ein zentraler Baustein für eine konstante Energieversorgung ist hier ein thermischer Energiespeicher. Mit thermischen Energiespeichern oder auch Wärmespeicher genannt, beschäftigt sich diese Arbeit.

1.1. Ziel der Arbeit

Im Rahmen der Diplomarbeit soll eine Versuchsanlage für einen Hochtemperatur Sand-Wärmespeicher in Betrieb genommen werden. Bis jetzt wurde die Theorie nur an einem maßstäblichen Modell in die Praxis umgesetzt. Nun soll der technische Prozess anhand dieser Pilotanlage dargestellt werden. Heiße und kalte Versuche an der Anlage sollen Aufschluss über Ein- und Ausspeicherzeit, den Wirkungsgrad und der Energiedichte geben. Ziel der Arbeit ist es, die abschließenden Arbeiten, die für die Inbetriebnahme nötig sind durchzuführen sowie die dazugehörige Sensorik und das Prozessleitsystem für die anstehenden Versuche final vorzubereiten.

1.2. Aufbau der Arbeit

Der Inhalt dieser Diplomarbeit teilt sich in folgende Abschnitte auf:

- Theoretische Grundlagen
- Technische Beschreibung der Anlage
- Rechtliche Rahmenbedingungen
- Durchgeführte Arbeiten

2. Theoretische Grundlagen

„Ein **Energiespeicher** ist eine technische Einrichtung, welche die drei folgenden Prozesse beinhaltet: **Einspeichern** (Laden), **Speichern** und **Ausspeichern** (Entladen).“ [1]

Neben elektrischen, elektrochemischen, chemischen, mechanischen gibt es thermische Speicher. In dieser Arbeit wird jedoch nur auf die thermischen Energiespeicher eingegangen. Bei diesen wird vor allem nach dem Temperaturbereich und zwischen Kurz-/Langzeitspeicher unterschieden. Hochtemperaturanwendungen finden im Bereich von 300°C bis 600°C statt. Im Gegensatz dazu wird von Klimatisieren und Kühlen bei einer Temperatur von 5°C bis 18°C gesprochen. Bei Kurzzeitspeichern liegt die Zeit zwischen dem Lade- und Entladevorgang im Bereich von wenigen Stunden bis hin zu ganzen Tagen. Bei Langzeitspeichern kann dieser Zeitintervall mehrere Wochen bis hin zu einem Jahr betragen. Weitere Unterscheidungen sind nach dem Standort bzw. nach stationären und mobilen Speichersystemen. Die verwendeten thermischen Energiespeicher lassen sich grundsätzlich in drei verschiedene Systeme unterteilen: der sensiblen, latenten und thermochemischen Speicherung. [1]

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die verschiedenen Technologien zur Wärmespeicherung.

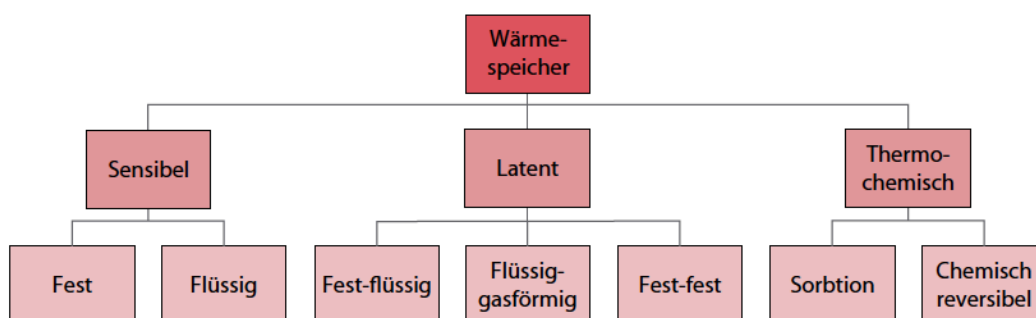


Abbildung 1: Übersicht über die verschiedenen thermischen Speichertechnologien [1]

2.1. Thermodynamische Grundlagen

Thermische Energiespeicher erhöhen durch Energiezufuhr ihren Energieinhalt, speichern diese Energie über einen gewissen Zeitraum und geben diese Energie bei Bedarf wieder ab. In nachfolgender Abbildung ist dieser Prozess visuell dargestellt.



Abbildung 2: Vorgänge bei der Energiespeicherung [1]

Exergie beschreibt den Anteil der Energie der unter Umgebungsbedingungen uneingeschränkt in eine andere Energieform umgewandelt werden kann. Der Begriff Anergie hingegen ist der Anteil an Energie, der an die Umgebung abgegeben wird. Je höher die Differenz von Speichertemperatur zur Umgebungstemperatur ist, desto höher ist der Exergiegehalt. Bei einem verlustbehafteten Wärmespeicherprozess erhöht sich der Anergieanteil und der Exergieanteil sinkt. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik bleibt die Summe aus Anergie und Exergie, die Energie, konstant. Formel 1 zeigt die Berechnung des Exergiegehaltes:

$$E_{Exergie} = Q \cdot \frac{T_S - T_U}{T_S} = Q \cdot \left(1 - \frac{T_U}{T_S}\right) \quad (1)$$

Formel 1: Exergiegehalt [1]

Wärmeübertragung

Bei der Wärmeübertragung wird grundsätzlich in Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Konvektion unterschieden:

- Wärmestrahlung – Austausch von Energie zwischen Körpern in Form von elektromagnetischer Strahlung
- Wärmeleitung – diffusiver Energietransport in Festkörpern und Fluiden
- Konvektion – Mitführen von Enthalpie in strömenden Flüssigkeiten oder Gasen

Die Wärmestrahlung ist nicht an Materie gebunden und hängt nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz von der Temperatur T , der Oberfläche A , dem Emissionsgrad ε sowie von der Stefan-Boltzmann-Konstante σ ($5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$) ab:

$$\dot{Q} = \frac{\partial Q}{\partial t} = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (2)$$

Formel 2: Stefan-Boltzmann-Gesetz [1]

Die Wärmeleitung beschreibt die Übertragung von kinetischer Energie zwischen Atomen oder Molekülen in Feststoffen oder Fluiden, ohne Materialtransport. Der Grund für den Wärmefluss ist ein Temperaturunterschied, sodass ein Wärmestrom vom warmen zum kalten Medium fließt. Der Wärmestrom ist abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen einer warmen Oberfläche T_2 und einer kalten Oberfläche T_1 , der Fläche A , der Dicke des Körpers d sowie der Wärmeleitfähigkeit λ :

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{d} A (T_2 - T_1) \quad (3)$$

Formel 3: Wärmestrom [1]

Wärmedämmung

Bei sensiblen Speichern spielt die Reduzierung thermischer Verluste eine große Rolle. Neben der Fläche A , der Speichertemperatur T_S und der Umgebungstemperatur T_U ist der Wärmedurchgangskoeffizient U der entscheidende Kennwert bei der Wärmedämmung:

$$Q_{\text{Verlust}} = U \cdot A \cdot (T_S - T_U) \quad (4)$$

Formel 4: Wärmeverlust [1]

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist abhängig von der Schichtdicke s_i , der Wärmeleitfähigkeit λ und der Wärmeübergangszahl α und wird für n Schichten mit folgender Gleichung beschrieben:

$$U = \alpha_i + \frac{\lambda_1}{s_1} + \frac{\lambda_2}{s_2} + \dots + \frac{\lambda_n}{s_n} + \alpha_a \quad (5)$$

Formel 5: Wärmedurchgangskoeffizient [1]

2.2. Sensible Wärmespeicherung

Als sensible Wärmespeicherung wird der Prozess verstanden, bei dem eine fühlbare Änderung der Temperatur erfolgt. Die Menge der gespeicherten Energie ist abhängig von der Stoffmasse m , der spezifischen Wärmekapazität c_p und der Temperaturdifferenz ΔT .

$$\dot{Q} = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (6)$$

Formel 6: Wärmemenge [1]

Eine hohe spezifische Wärmekapazität des Materials ist nötig, um die Konstruktion des Speichers klein zu halten, da dadurch nur eine geringe Menge des Speichermediums notwendig ist. Häufig wird Wasser verwendet, da es neben dieser Anforderung auch kostengünstig, umweltschonend und leicht verfügbar ist. [1]

Folgende Abbildung zeigt den Temperaturbereich, die Wärmekapazität, die Dichte und Anwendungsgebiete von verschiedenen Speichermedien.

Medium	Temperaturbereich	Spezifische Wärmekapazität	Volumetrische Wärmekapazität	Dichte	Anwendungen
Einheit	°C	kJ/(kg K)	kJ/(m ³ K)	kg/m ³	
Wasser	0–100	4,19	4175	998	Brauchwasser, Heizungsanlagen
Sand, Kies, Gestein	0–800	0,71	1278–1420	1800–2000	Erdreich-Wärmespeicher
Granit	0–800	0,75	2062	2750	Erdreich-Wärmespeicher
Beton	0–500	0,88	1672–2074	1900–2300	Thermisch aktive Bauteile
Ziegelstein	0–1000	0,84	1176–1596	1400–1900	
Eisen	0–800	0,47	3655	7860	Speichermaterial bei solaren Speichern
Kies-Wasser-Schüttung	0–100	1,32	2904	2200	Erdreich-Wärmespeicher
Salz-schmelze	150–450	1,3	1970–1725	2561–2243	Solarturmkraftwerken
Natrium	100–800	1,3	925–750	1203–975	Solarturmkraftwerken

Abbildung 3: Eigenschaften und Anwendungen verschiedener Materialien [1]

Bei der Auswahl der Speichermaterialien spielen vor allem die Betriebstemperatur, die Verfügbarkeit, der Preis und die Umweltverträglichkeit eine entscheidende Rolle. Sensible Speicher sind eine etablierte, weit entwickelte und kostengünstige Technologie um Energie zu speichern. [1]

2.3. Latente Wärmespeicherung

Latentwärmespeicher nutzen neben der sensiblen Wärme auch die Energie, die durch einen Phasenwechsel gespeichert wird. Somit lassen sich in kleinen Temperaturintervallen hohe Mengen an Energie speichern. Häufig genutzt, da technisch einfach realisierbar, ist der Phasenübergang von fest zu flüssig und umgekehrt. [1]

Durch die Erweiterung der sensiblen Wärmemenge um die Schmelzenthalpie lässt sich die gespeicherte Wärme errechnen:

$$\begin{aligned}
 Q_{Lat} &= \int_{T_1}^{T_2} c_p dT + \Delta H_{ls} = \bar{T} \Delta S_{12} + T_{ls} \Delta S_{ls} \\
 &\approx \bar{T} (\Delta S_{12} + \Delta S_{ls}) > Q_{sens} = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT
 \end{aligned} \tag{7}$$

Formel 7: Wärmeverlust [1]

Der große Vorteil ist, dass in einem vorgegebenen Temperaturbereich mehr thermische Energie als bei rein sensiblen Wärmespeichern erhalten werden kann. Weiters kann die Temperatur in der Zeit zwischen Ein- und Ausspeichern länger konstant gehalten werden. Allerdings ist die technische Umsetzung je nach eingesetztem Material komplexer als bei sensiblen Wärmespeichern und kann zu Volumensänderungen, Unterkühlung und anderen Problemen führen. [1]

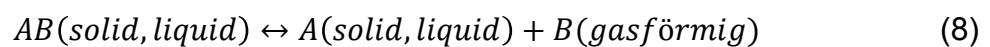
Abbildung 4 zeigt eine Übersicht von verschiedenen Phasenwechselmaterialien.

Material-klasse	Material	Summen-formel	Schmelz-temperatur [°C]	Schmelz-enthalpie [kJ/kg]	Wärmeleit-fähigkeit [W/m²K]	Dichte [kg/m³]
Eutektische Salzwasser-mischung	Wasser/Nat-riumchlorid	H ₂ O/NaCl	- 21	222	-	1165 (flüssig 20 °C)
Wasser	Wasser	H ₂ O	0	334	0,597 (flüs-sig, 20 °C)	998 (flüssig, 20 °C) 917 (fest)
Salzhydrate	Calcium-chlorid Hexahydrat	CaCl ₂ *6H ₂ O	29	171	0,54 (flüssig, 39 °C)	1562 (flüssig, 32 °C)
	Di-Natrium-hydrogen-phosphat Dodekahydrat	Na ₂ HPO ₄ *12H ₂ O	35-40	280	0,476 (flüs-sig)	1442 (flüssig)
	Natriumthio-sulfat Pent-hahydrat	Na ₂ S ₂ O ₃ *5H ₂ O	48	187	-	1670 (flüssig)
	Natriumacetat Trihydrat	Na(CH ₃ COO)*3H ₂ O	58	226	-	1280 (flüssig)
	Magnesi-umnitrat Hexahydrat	Mg(NO ₃) ₂ *6H ₂ O	89	149	0,49 (flüssig, 95 °C)	(flüssig)
	Magnesi-umchlorid Hexahydrat	MgCl ₂ *6H ₂ O	117	165	0,57 (flüssig, 120 °C)	(flüssig)
Salze	Natriumnitrat	NaNO ₃	307	172	0,51 (flüssig)	1900 (flüssig)
	Kaliumnitrat	KNO ₃	333	266	0,5 (flüssig)	1890 (flüssig)
Salzmischung	Natriumnitrat + Kaliumnitrat	KNO ₃ /NaNO ₃	222	100	-	1950 (flüssig)
Paraffin	Oktadekan	C ₁₈ H ₃₈	28	245	0,15 (fest)	777 (flüssig)
Fettsäure	Laurinsäure	CH ₃ (CH ₂) ₁₀ COOH	43	178	0,15 (flüssig, 50 °C)	870 (flüssig, 50 °C)
	Myristin-säure	CH ₃ (CH ₂) ₁₂ COOH	58	186	-	861 (flüssig, 55 °C)
Zuckeralkohol	Erythritol	C ₄ H ₅ (OH) ₆	120	340	0,32 (flüssig, 140 °C)	1300 (flüssig, 140 °C)
PEG	PEG 6000	HO-[CH ₂ -CH ₂ -O] _n -H	60	190		1085 (flüssig, 70 °C)

Abbildung 4: Eigenschaften verschiedener Phasenwechselmaterialien [1]

2.4. Thermochemische Wärmespeicherung

Bei den thermochemischen Wärmespeichern wird die Reaktionsenergie von chemisch reversiblen Prozessen oder von physikalischen Oberflächenreaktionen gespeichert. Sie zeichnen sich durch eine hohe Energiedichte aus. Wärme wird durch endotherme Reaktionen aufgenommen und durch exotherme Reaktionen wieder abgegeben. Da somit thermische Verluste wegfallen, ist im Vergleich zu sensiblen Speichern eine sehr lange Speicherdauer, bis zu mehreren Jahren, möglich. [1]



Formel 8: Reaktion bei der thermochemischen Energiespeicherung [1]

Da neben dem Wärmetausch auch ein Stoffaustausch stattfindet, ist die thermochemische Speicherung eine komplexe Angelegenheit. Bei den Bauformen wird prinzipiell zwischen geschlossenen und offenen System unterschieden. Abbildung 5 zeigt das Schema eines geschlossenen Systems. Nach dem Ladevorgang muss das gasförmige Reaktionsprodukt im System gespeichert werden. Zur Verringerung des Volumens kann es kondensiert werden und bei Bedarf wieder verdampft werden. [1]

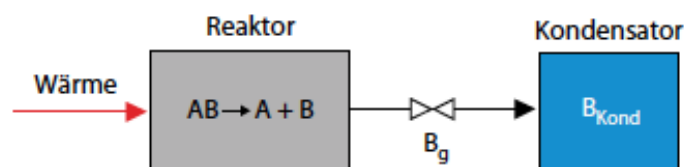


Abbildung 5: Geschlossenes System [1]

Bei offenen Systemen kann auf die Speicherung der Komponente B verzichtet werden. Ist diese in der Umgebung vorhanden, steigt die Energiespeicherdichte um den Anteil des wegfallenden Volumens zur Speicherung der Gaskomponente. (siehe Abbildung 6) [1]

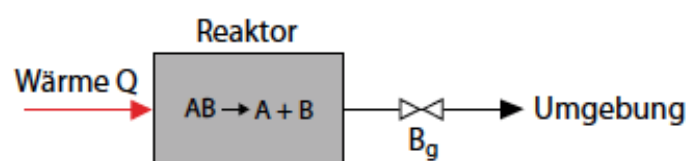


Abbildung 6: Offenes System [1]

2.5. Grundlagen der Wirbelschichttechnik

Wird eine Schüttung von Feststoffpartikeln durch ein aufwärts strömendes Fluid (Gas oder Flüssigkeit) gelockert und getragen, spricht man von einer Wirbelschicht oder einem Fließbett. Das flüssigkeitsähnliche Verhalten der Gas-Feststoffmischung bezeichnet man auch als „fluidisiert“.

In Abbildung 7 sind die verschiedenen Verhalten von Wirbelschichten dargestellt. Bei geringer Geschwindigkeit des Strömungsmittels wird die Schüttung nicht beeinflusst, es liegt ein sogenanntes Festbett vor (a). Wird die Fluidisierungsgeschwindigkeit erhöht, wird der Lockerungspunkt erreicht. Die Partikel sind in keinem permanenten Kontakt und im Fluid suspendiert. Es liegt der Zustand der Minimalfluidisation vor (b).

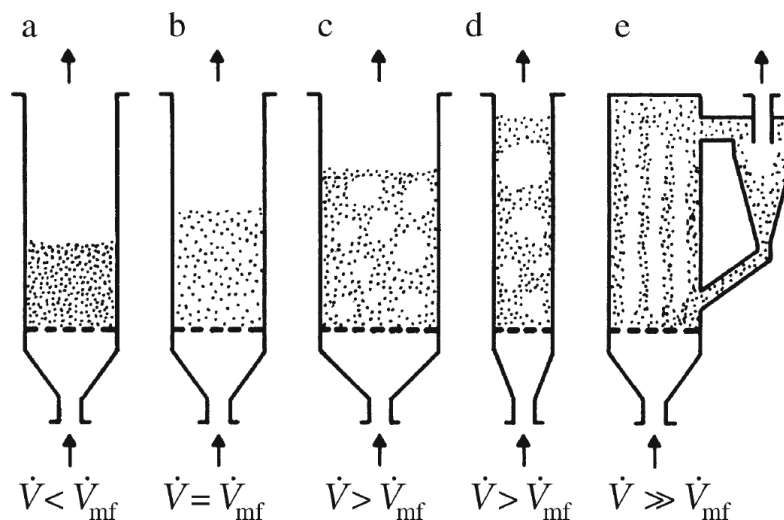


Abbildung 7: Wirbelschichtzustände [2]

Geht der Gasanteil über die Minimalfluidisation hinaus, wird die Feststoffschicht von Blasen durchsetzt (c). Die Gasblasen nehmen bei ausreichend schlanken und hohen Apparaturen den gesamten Querschnitt ein (d). Eine zirkulierende Wirbelschicht liegt vor, wenn die Fluidgeschwindigkeit die Sinkgeschwindigkeit der Feststoffpartikeln erreicht und die gesamte Schicht ausgetragen wird (e). [2]

Durch die Korngröße der Teilchen ergeben sich große Oberflächen (Ein Kubikmeter – 100 μm Teilchen = 30.000 m^2 Oberfläche) die sehr gute Wärme- und Stoffeigenschaften zur Folge haben. Aufgrund der Durchmischung besitzt die Wirbelschicht außerdem eine hohe effektive Wärmeleitfähigkeit in vertikaler Richtung. Das Bettmaterial besitzt eine hohe Wärmespeicherkapazität [3]

Sand bietet sich mit seinen Vorteilen (billig, unschädlich und nachhaltig) als ideales Speichermedium an. Fluidisierter Sand gewährleistet hohe Wärmeübergangszahlen und setzt mit einem Schmelzpunkt von über 1500 °C der möglichen Speichertemperatur keine Grenzen.

3. Technische Beschreibung der Anlage



Abbildung 8: Versuchsanlage Standort Arsenal

Die gesamte Anlage (Abbildung 8) ist am Science Center der Technischen Universität Wien am Arsenal in Wien aufgestellt. Der Wärmetauscher ist im Freien unter einem Flugdach aufgestellt. Zusätzliche Anlagenkomponenten wie Gebläse oder Rekuperator befinden sich daneben in Schiffscontainern. Die Steuerzentrale befindet sich in einem klimatisierten Container mit direkter Sicht auf die Anlage. Die Thermoölanlage befindet sich in einem eigens gebauten Gebäudekomplex, dem sogenannten Heizhaus.

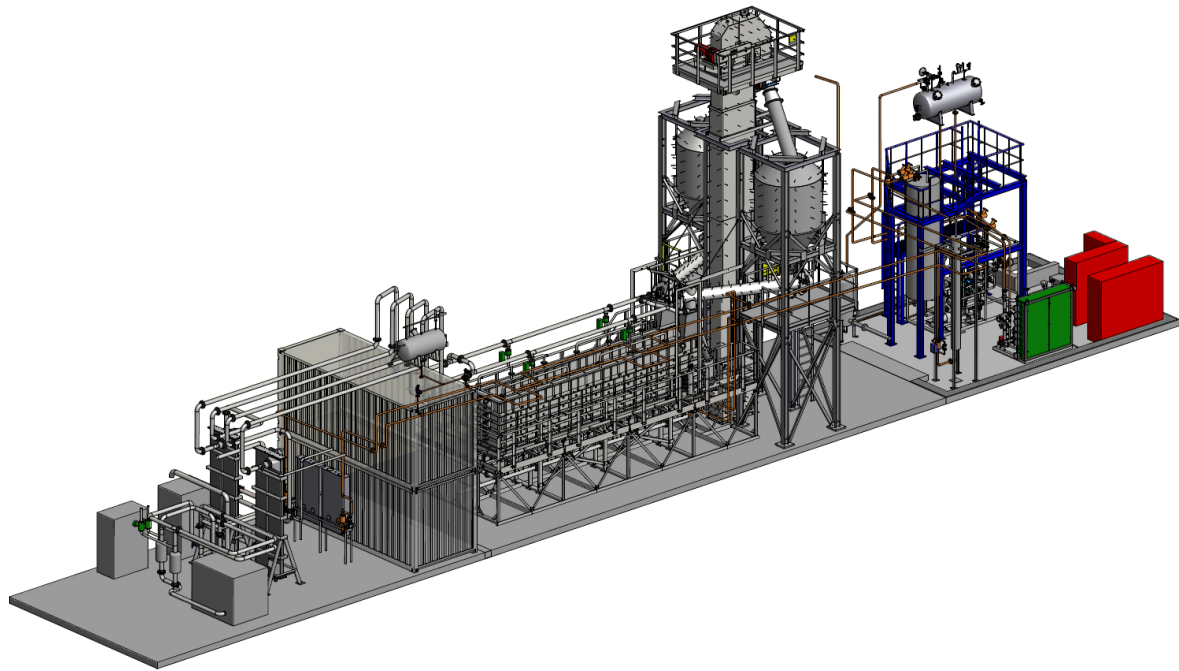


Abbildung 9: CAD-Modell der Gesamtanlage

In Abbildung 9 ist eine 3D-Zeichnung der Gesamtanlage dargestellt. Die sandTES-Pilotanlage besteht aus einem modularen Gegenstrom-Wärmetauscher zur Variierung des Querschnitts der Rohrbündel und des Strömungskanals. Zwei Silos dienen zur Bevorratung des Sands, zwei Schneckenförderer zum Transportieren des Speichermediums zum Wärmetauscher und einem Becherwerk, das den Sand, der den Wärmetauscher verlässt, nach oben zu einer Verteilweiche befördert, welche dann den Sand in eines der Silos lenkt. Ein Gebläse dient zur Bereitstellung der Fluidisierungsluft.

Das Design der Anlage ist so modular wie möglich gewählt, um eine hohe Flexibilität hinsichtlich der einzustellenden Parameter für die anstehenden Versuche zu gewährleisten. Besonders der Wärmetauscher ermöglicht durch austauschbare und anpassbare Module einen breiten Betriebsbereich. Der gesamte Förderstrang sowie die Fluidisierungsluft wurden ebenfalls für einen flexiblen Betriebsmodus ausgelegt.

Die Pilotanlage ist mit einer Thermoölanlage verbunden, die als Heizung und Kühlung dient. Mit einer Heizleistung von $280 \text{ kW}_{\text{th}}$ kann das Wärmeträgermedium auf bis zu 400 °C erhitzt werden. Die Kühlleistung der Thermoölanlage beträgt

200 kW_{th}. In nachfolgender Abbildung sind vereinfacht die wichtigsten Komponenten der Anlage dargestellt.

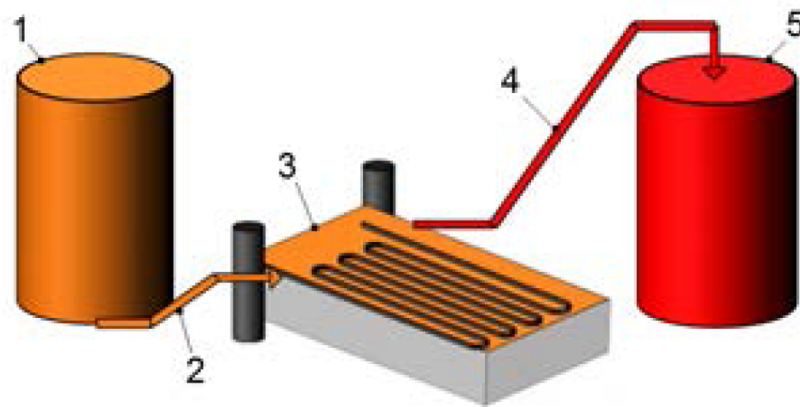


Abbildung 10: Schema der sandTES-Anlage [4]

Beim Einspeichern wird pulverförmiges Speichermedium aus dem kalten Silo (1) über die Schnecke (2) zum Wärmetauscher (3) gefördert. Der Sand fließt vom Eintritt Richtung Austritt, wird durch das heiße Öl, welches sich in den Rohren befindet, erhitzt und wird über das Becherwerk (4) in das heiße Silo (5) befördert. Beim Ausspeichern erfolgt eine Umkehrung der Strömungsrichtung des Speicher- und Wärmeträgermediums. [4]

3.1. Wärmetauscher

Der sandTES-Wärmetauscher überträgt Wärme zwischen einem Wärmeträgermedium (Therminol VP-1), das in einem Rohrbündel geführt wird und einem fluidisierten pulverförmigem Speichermedium (Quarzsand). Die Rohre sind in einem Fließbettbehälter platziert und werden vom fluidisierten Sand in der entgegengesetzten Richtung des in den Rohren fließenden Öls umströmt. Die Fließfähigkeit des Speichermediums ermöglicht das exergetisch effiziente Gegenstromverhalten des Wärmetauschers.

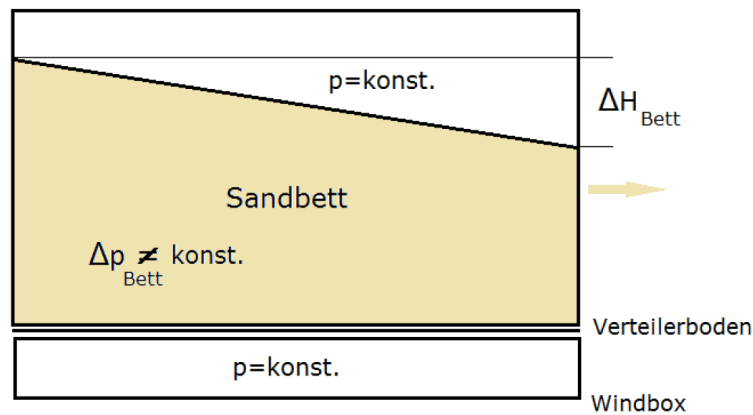


Abbildung 11: Gasverteilerboden [4]

Der Transport des fluidisierten Materials erfolgt durch die Differenz der Betthöhe zwischen dem Ein- und Austritt des Wirbelschichtbehälters. Der Eintritt liegt höher als der Austritt, wodurch sich ein statischer Druckgradient einstellt. Der Sand fließt in der vorgegebenen Richtung zum tiefer gelegenen Austritt (siehe Abbildung 11). [5]

3.1.1. Aufbau und Beschreibung

Windboxen

Insgesamt verfügt der Wärmetauscher über 13 Windboxen, durch die er mit Fluidisierungsluft versorgt wird. Die Luft kommt vom Gebläse und wird im Rekuperator vorgewärmt bevor sie schließlich in die Windboxen gelangt. Zwischen den Flanschen der Luftverrohrung und der Box sind Blenden eingebaut über die sich der Luftmassenstrom regeln lässt. Abbildung 12 zeigt ein CAD-Modell des Wärmetauschers.

Gas-Verteilerboden

Die Aufgabe des Verteilerbodens ist die homogene Fluidisierung der feinen Partikel. 4 Düsenkästen sind in einem Modul kombiniert und befinden sich in einer Windbox, d.h. insgesamt verfügt die Anlage über 52 Düsenkästen. Im Falle einer Beschädigung oder Verstopfung kann dieses Modul problemlos ausgetauscht werden. [5]

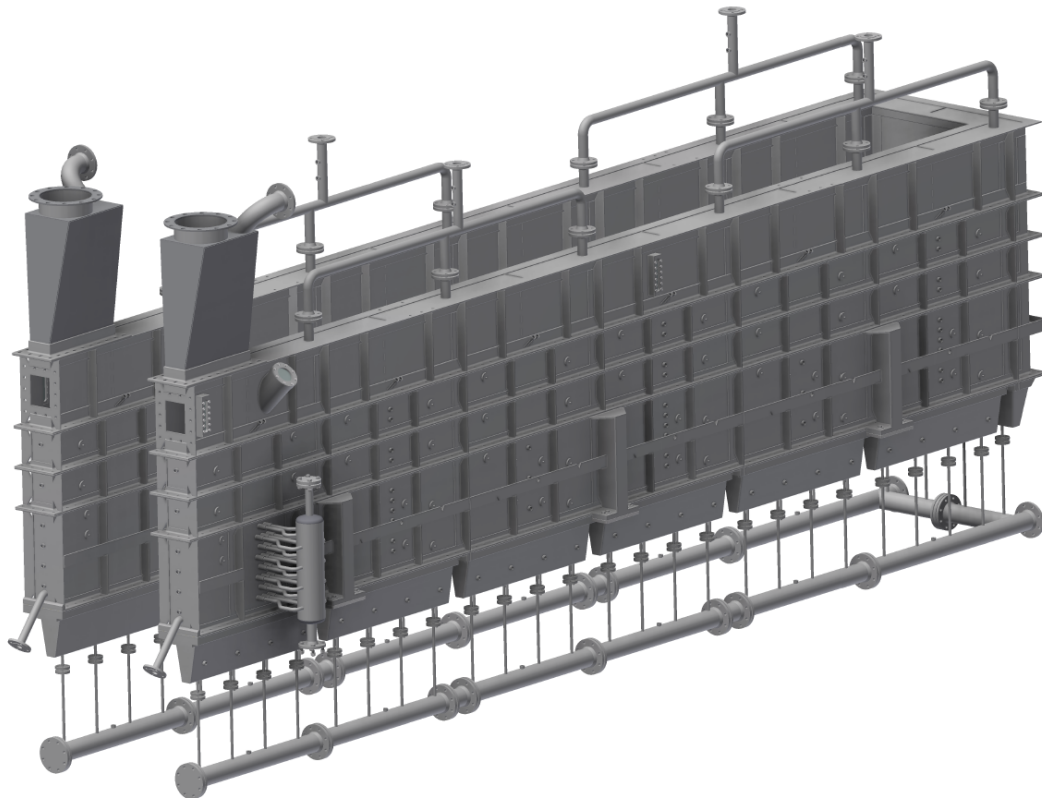


Abbildung 12: CAD-Modell des Wärmetauschers [5]

Rohrbündel

Der Rohrdurchmesser wurde aufgrund von Industriestandards wie auch Simulationen auf 25 mm festgelegt. Der horizontale Abstand zwischen den Rohren beträgt 50 mm, also der doppelte Rohrdurchmesser. Der vertikale Abstand zwischen den vertikalen Rohren beträgt 62,5 mm. Durch die versetzte Anordnung wird die Wirbelschicht durch die Fluidisierungsluft im Zick-Zack durch die Rohre geleitet. Die Strömung in den Rohren sollte turbulent sein. Der maximal mögliche Massenstrom in den Rohren wird durch die Thermoölanlage limitiert. [5]

Luftkissen

Die Aufgabe der Luftkissen kann als Kontrollmechanismus für die horizontale Strömung des Sandes gesehen werden. Der Überdruck in jedem Fach wird durch die pneumatischen Luftkissenventile gesteuert und wirkt als Antriebskraft für den horizontalen Partikelfluss. [5]

Gehäuse

Die Abmessungen des Gehäuses werden durch die Länge des Gasverteilerbodens, der Breite sowie der Höhe des Rohrbündels definiert. In Abbildung 13 ist der Wärmetauscher im Detail dargestellt.

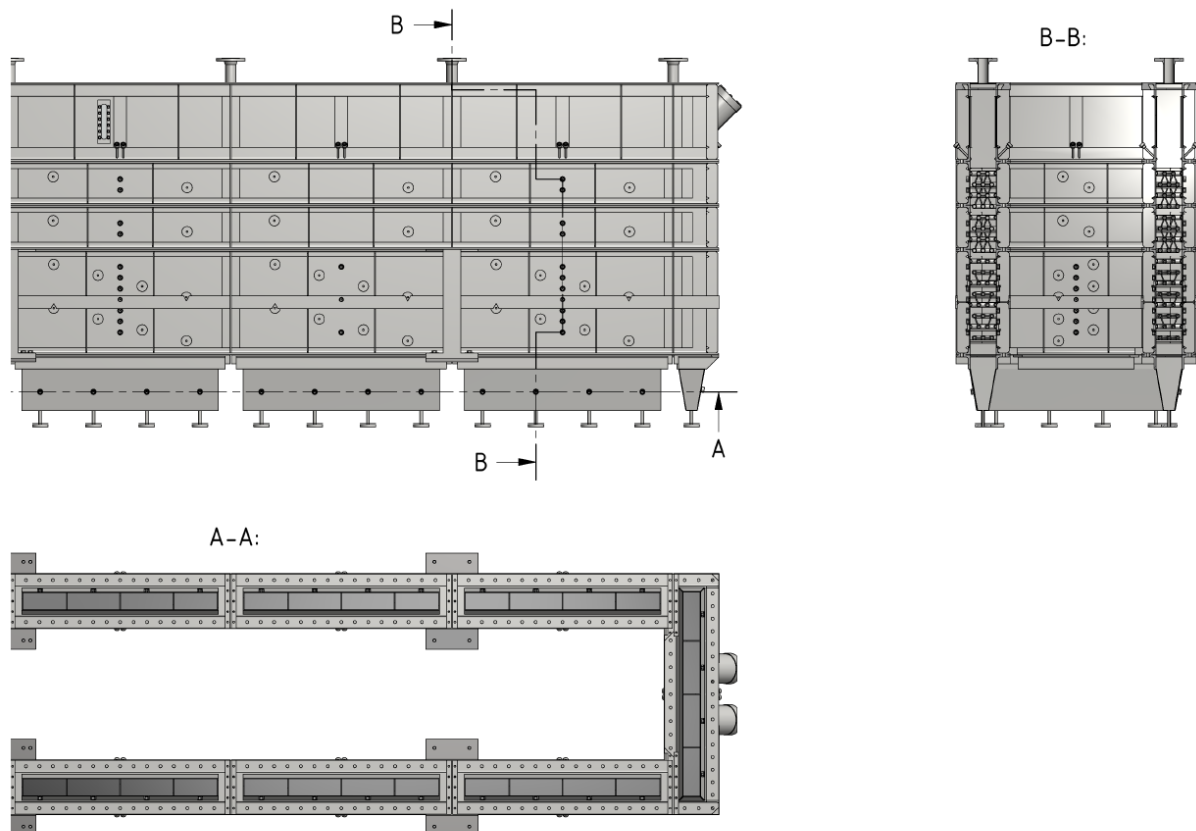


Abbildung 13: Detailansicht [5]

In Tabelle 1 sind die Abmessungen und Prozessgrößen des Wärmetauschers aufgelistet.

Abmessungen			Prozessgrößen		
Fließlänge			Strömungen		
l_{Sand}	16,58	m	G_{Sand}	0 - 100 (200)	kg/m ² s
l_{RB}	15,25	m	G_{Luft}	0 - 0,1 (0,2)	kg/m ² s
Rohrbündel			$G_{Öl}$	0 - 300	kg/m ² s
d_{aus}	0.025	m	Massenströme		
Abstand _{hor}	2*d		\dot{m}_{Sand}	0 - 10	kg/s
Abstand _{ver}	2.5*d		\dot{m}_{Luft}	0 - 0.225	kg/s
			$\dot{m}_{Öl}$	0 - 0,177	kg/s
			Betriebsbedingungen		
			p_{max}	1,3	bar
			$T_{Luft, Sand}$	0 - 400	°C
			$T_{Öl}$	15 - 400	°C

Abmessungen Kalte Versuche			Abmessungen Heiße Versuche		
A	0.057/0.086/0.115	m ²	Wärmetauscher		
A_O/l_{Sand}	2.866/4.228/5.554	m ² /m	A	23,96	m ²
b/h	0.250/0.166/0.125	-	n_{RB}	20	-

Speichermedium			Wärmeträgermedium		
Material	Quarzsand		Material	Fragol Therminol VP-1	
Chemische Formel	SiO ₂		Chemische Formel	26.5% _{wt} C ₁₂ H ₁₀ 73.5% _{wt} C ₁₂ H ₁₀ O	
d_p	80 - 100	µm			
ψ	0,42	-			

Düsenboden			Luftkissen		
Mögliche Aufteilung			Mögliche Aufteilung		
$n_{Windbox}$	1/2	-	$n_{Mischbox}$	1/2	-
$n_{Düsenbox}$	2x26/1x52 (2x13/1x26)	-	$n_{Luftkissen}$	2x2/1x4	
Verteiler			Ventile		
b	0,15	m	Typ	Samson 324	
l	0,3	m	Größe	1 DN50 PN16	
d	0.005	m			
Düsen					
d_0	0 - 0,01	m			

Tabelle 1: Kennwerte Wärmetauscher [5]

3.1.2. Messkonfiguration der kalten Versuche [5]

Da der Wärmetauscher aus Metall besteht muss der Partikelfluss durch indirekte Methoden beobachtet werden. Durch ein kleines Glasfenster kann nur die Betoberfläche direkt beobachtet werden.

Rundum das Gehäuse des Wärmetauschers sind mehrere Messkonsolen angebracht. Die Konsolen sind so verteilt, dass sie Beobachtungsebenen oder einen Querschnitt entlang des Strömungskanals ergeben. Außerdem sitzen die Konsolen bei weiteren wichtigen Stellen wie an den Enden des Luftkissens und entlang der Luftverrohrung.

In diese Konsolen werden Messsonden zur Drucküberwachung bzw. Thermosensoren eingesetzt. Ein Teil der vorgesehenen Sensoren wird fix montiert um das Gesamtsystem zu überwachen, ein anderer Teil wird an verschiedenen Stellen flexibel eingesetzt um diverse Effekte zu untersuchen.

Zusätzlich können die Konsolen zur Probenentnahme verwendet werden. In Abbildung 14 findet man verschiedene Ansichten des Wärmetauschers mit den eingezeichneten Messstellen.

Wärmetauscher Messstellen

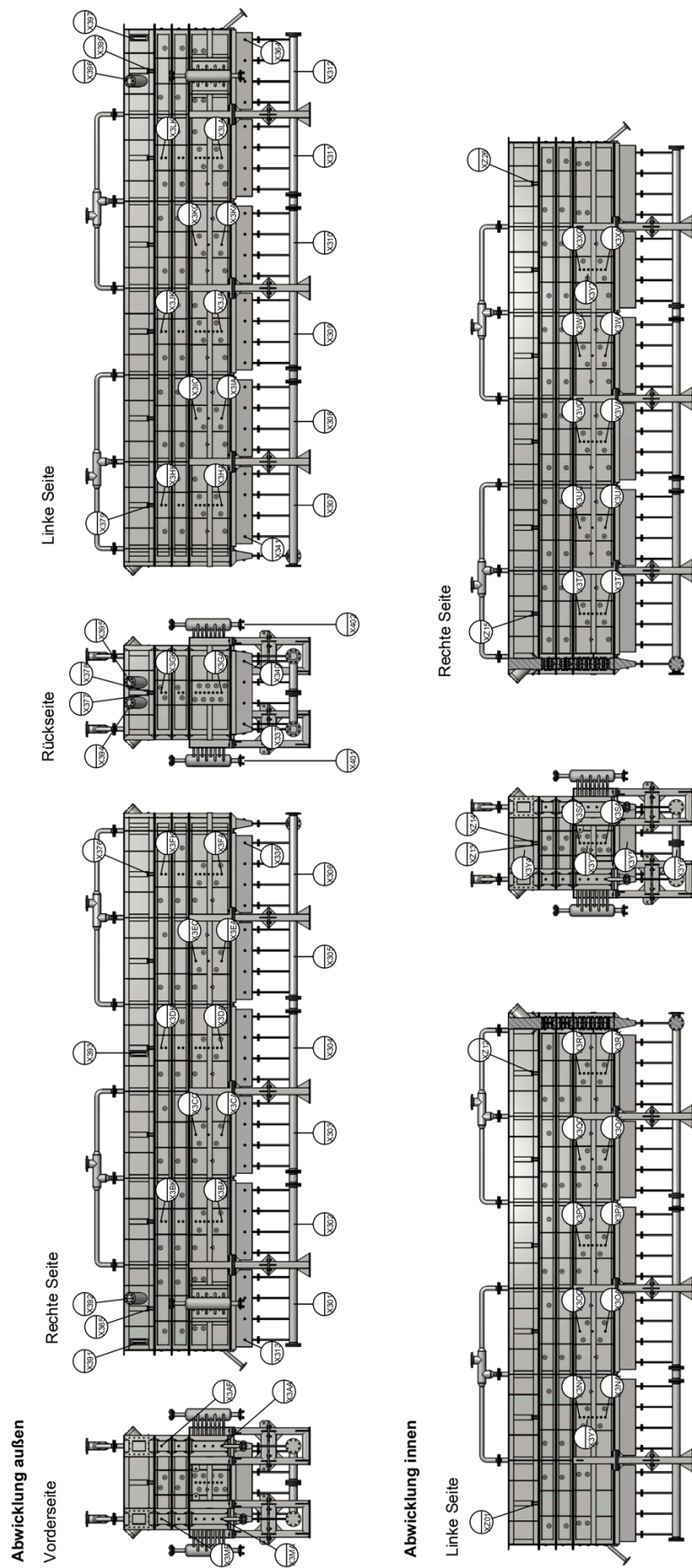


Abbildung 14: Messstellen am Wärmetauscher

Der Maximaldruck wird aufgrund Sicherheitsvorkehrungen dauernd überwacht. Der horizontale Druckgradient sowie das Bettniveau werden in allen Versuchen beobachtet. Nachfolgend sind die Effekte aufgelistet, die bei den kalten Versuchen überprüft werden:

- **Bettniveau**
die Druckdifferenz gemessen zwischen der Wirbelschicht und dem Luftauslass eines Luftkissens ist im Verhältnis zum Bettniveau
- **Bettporosität**
die gemessene Druckdifferenz einer bekannten Höhe eines fluidisierten Betts kann für die Bestimmung der Porosität herangezogen werden
- **Entmischung**
Stichprobenentnahmen unten und oben im Strömungskanal und Analyse der Partikelverteilung
- **Blasenbildung**
eine hohe Schwankung beim gemessenen Drucksignal deutet auf das Auftreten einer Blase hin und kann für die Bestimmung der Blasenhäufigkeit herangezogen werden
- **Verteilung der fluidisierten Luft**
durch die bekannte Kennlinie einer Düse kann der Massenstrom durch den Druckabfall über der Düse bestimmt werden; durch Messungen an verschiedenen Stellen ergibt sich die Strömungsverteilung
- **Laterale Strömungsverteilung des Gemisch**
die Konzentration von z.B. eingefärbten Partikeln kann aus Stichproben bestimmt werden; die zeitliche Entwicklung dieser Partikel bietet eine Einschätzung für die Strömungsverteilung

Diese Effekte geben Rückschluss auf den Rückstau und die Funktion des Luftkissen-Prinzips. Außerdem können damit die Stabilität und das Verhalten des

Gasverteilerbodens überprüft werden. Die Strömungsverteilung im System kann ebenfalls durch diese Messungen bestimmt werden.

Ausfälle oder Störungen der Anlage können nur mithilfe der Druck- und Temperatursensoren detektiert werden. Ein lokales Bett-Versagen würde z.B. einen unerwartet hohen Druckgradienten nach sich ziehen. Eine feine Diskretisierung von Druckgradienten ist von Vorteil für eine exakte Positionsbestimmung des Ausfalls.

3.1.3. Prozessleitsystem

Das Prozessleitsystem ist das Führungsinstrument der gesamten Anlage. Es dient der Ansteuerung aller Aktoren, der Aufzeichnung der Messwerte der Sensoren, sowie der Anlagenvisualisierung. Verwendet wird die Plattform APROL die auf der X20-Hardware der Firma B&R basiert. Für eine Kommunikation zwischen verschiedenen Plattformen werden standardisierte Bussysteme (Profibus und Modbus) verwendet. Abbildung 15 zeigt einen Screenshot des Programms CAE-Manager, mit dem am häufigsten in APROL gearbeitet wurde.

Typ / Name	Status	Markierung	Instanz	Versionskommentar / Beschreibung	Kompilierungszeit	Kompiliert von	A
SeLaTES_V0 (V0.1.0+)				APROL_System_SeLaTES			20
LaTES				Logik und Visualisierung der LaTES Anlage			09
LESY				Logik und Visualisierung der LESY-Anlage			09
Luft							20
Regenerator				Logik und Visualisierung des Regenerators			19
sandTES				Logik und Visualisierung der sandTES-Anlage			20
THERMOOELANLAGE				Logik und Visualisierung der HTT-Heizung			17
CFC_Main_SeLaTES			Instanz_CFC_Main_SeLaTES	CFC_Main_SeLaTES			09
Control_Computer_SeLaTES			Control_Computer_Instanz	APC-Konfiguration	25.05.2016 10:03:19 CEST	IET_Hirn	19
Konstanten_Main			AnlageMain	Definitionen von numerischen Konstanten	30.05.2016 12:22:26 CEST	IET_Urschitz	30
PG_SeLaTES_Anlage			SELATES	Uebersicht ueber alle PG	20.06.2016 15:48:11 CEST	IET_Haemmerle	20
SeLaTES_APROL_System (default)			Instanz_SeLaTES_APROL_System	Konfiguration APROL_System	25.05.2016 10:03:19 CEST	IET_Hirn	24
ST_Main_Task			Instanz_ST_Main_Task	ST-Hauptprogramm "Main" des SeLaTES-Projektes	20.06.2016 15:48:11 CEST	IET_Haemmerle	31
X20CP3586_SeLaTES			Instanz_X20CP3586_SeLaTES	CPU_Controller_SeLaTES	20.06.2016 15:48:05 CEST	IET_Haemmerle	20
Solutions (V0.1.0+)				Energy Monitoring			09
Test_GU (V0.1.0+)				Test von Georg			19
TEST_LU (V0.1.0+)				Blendenmessung			20

Abbildung 15: Screenshot CAE-Manager

3.2. Thermoölanlage [6]

Die Thermoölanlage vom Hersteller HTT ist nach DIN 4754 ausgeführt und besteht aus einem Primär- und einem Sekundärkreislauf und ist für eine kontinuierliche Beheizung oder Kühlung von Wärmeverbrauchern ausgelegt. Im Primärkreislauf wird das Wärmeträgermedium über elektrische Heizstäbe beheizt. Im Sekundärkreislauf kann das Thermo-Öl mittels Kühlwasser gekühlt werden, die Strömungsrichtung des Verbraucherkreislaufes (sandTES, LATES, LESY, Regenerator) umgekehrt werden bzw. der Öl-Massenstrom variiert werden. Abbildung 16 zeigt die wichtigsten Komponenten der Thermoölanlage im Heizhaus.

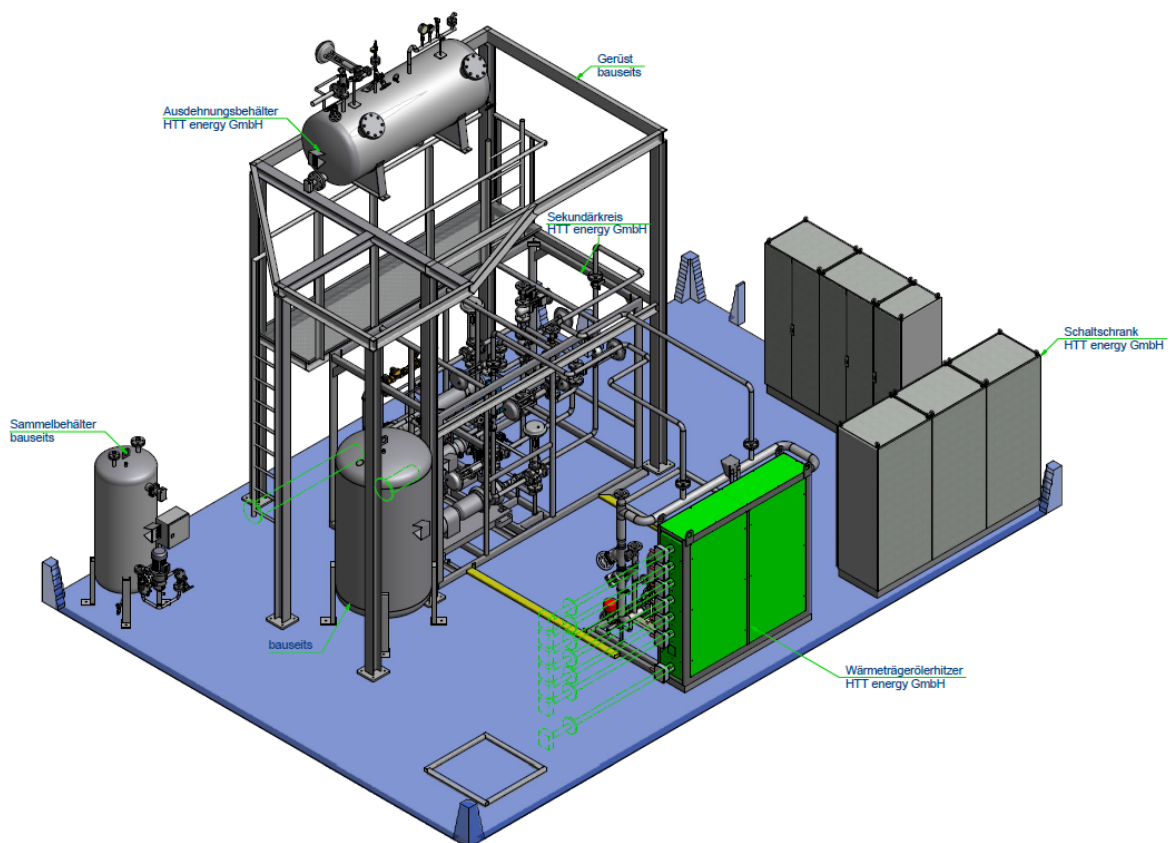


Abbildung 16: Thermoölanlage

Die Heizleistung der Thermoölanlage beträgt $280 \text{ kW}_{\text{th}}$ und ist für eine Vorlauftemperatur von 390 °C ausgelegt. Gekühlt wird durch ein $200 \text{ kW}_{\text{th}}$ – und ein 5 kW_{th} - Kühlaggregat. Die Anlage wird zum abwechselnden Heizen und Kühlen von verschiedenen Versuchsanlagen eingesetzt. Die Heiz-/Kühlleistungen reichen von

10 kW bis 280 kW, der Temperaturbereich von 30 °C bis 390 °C bei einer Zykluslänge von 10 min bis 600 min.

Im Kühlmodus kann der Primärkreislauf abgeschaltet und strömungstechnisch vom Sekundärkreislauf genommen werden. Laut Inbetriebnahmetechniker sollte ein schockartiges Erhitzen bzw. Abkühlen ($\Delta T > 200 \text{ °C}$) zwischen Primär- und Sekundärkreislauf vermieden werden, um die Rohrleitungen und Anlagenkomponenten nicht unnötig zu belasten. In Abbildung 17 ist das R&I-Schema der Ölleitung veranschaulicht.

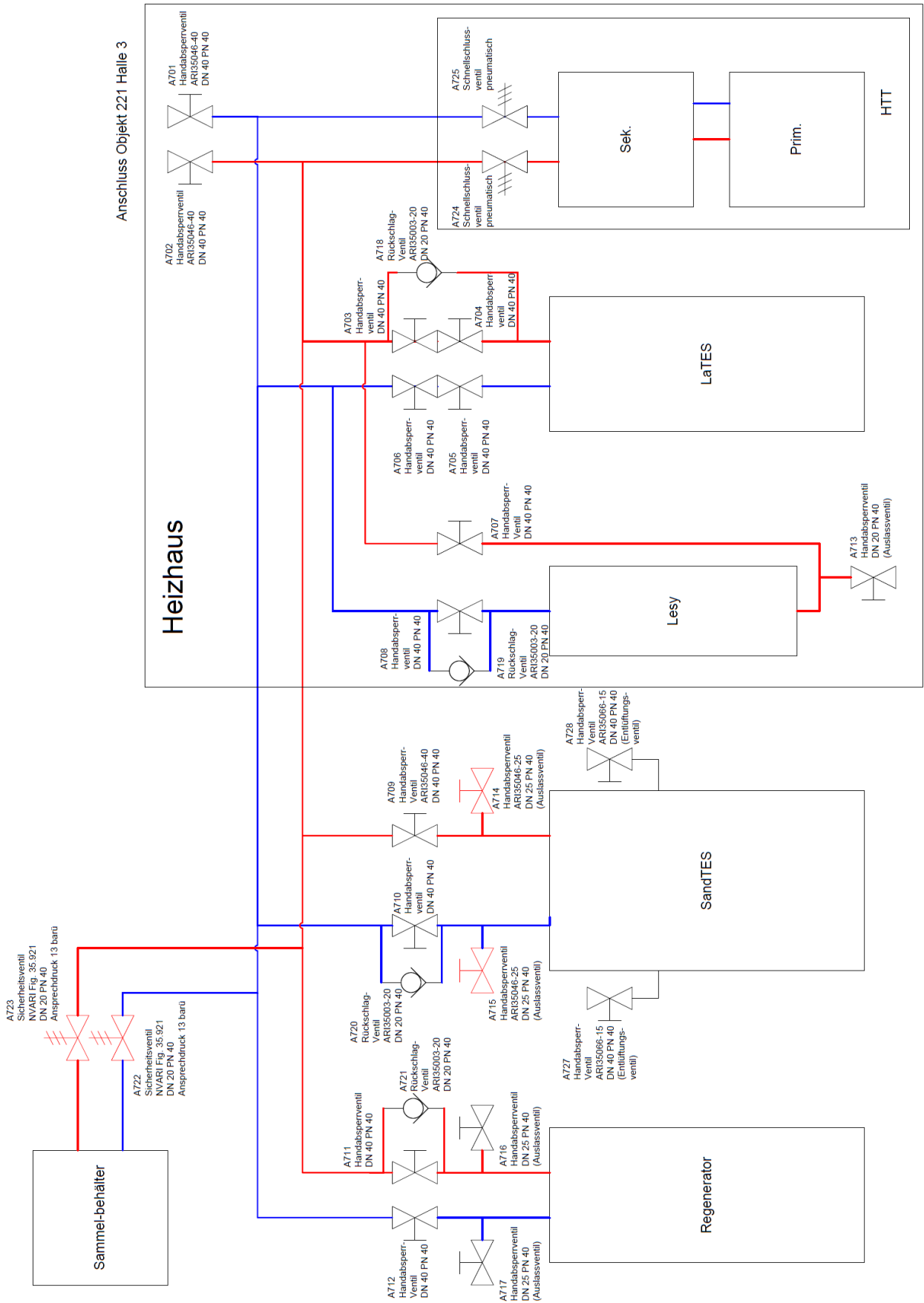


Abbildung 17: R&I-Fließschema der Ölleitungen

3.2.1. Anlagenkomponenten

Elektroerhitzer

Der Erhitzer mit einer Leistung von 280 kW besteht aus einem Druckbehältersystem mit eingebauten und auswechselbaren elektrischen Heizstäben. Das System besitzt 7 Heizstäbe mit einer Leistung von jeweils 40 kW. Die zulässige Betriebstemperatur beträgt 390 °C bei einem zulässigen Betriebsdruck von 21 bar. Um etwaigen Wärmeverlusten entgegenzuwirken ist das Aggregat mit einer Wärmedämmung ausgerüstet. In Abbildung 18 ist der Aufbau des Erhitzers dargestellt.

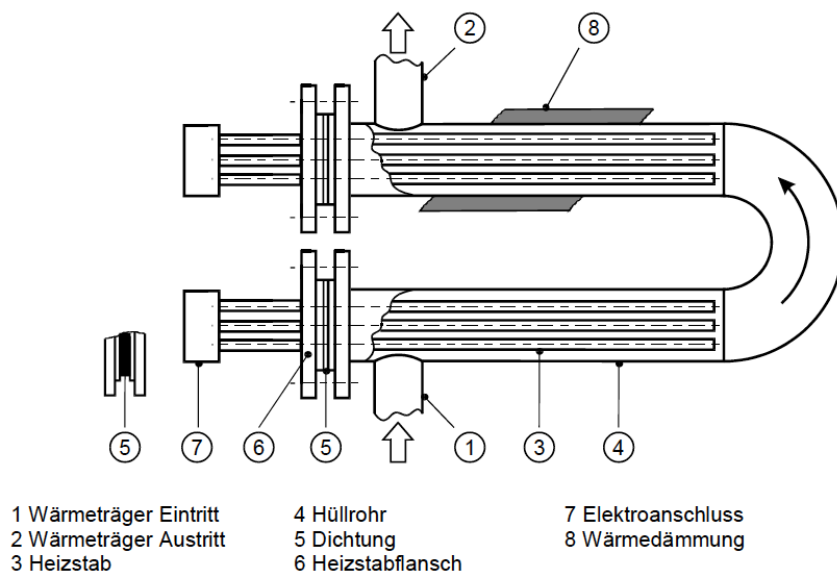
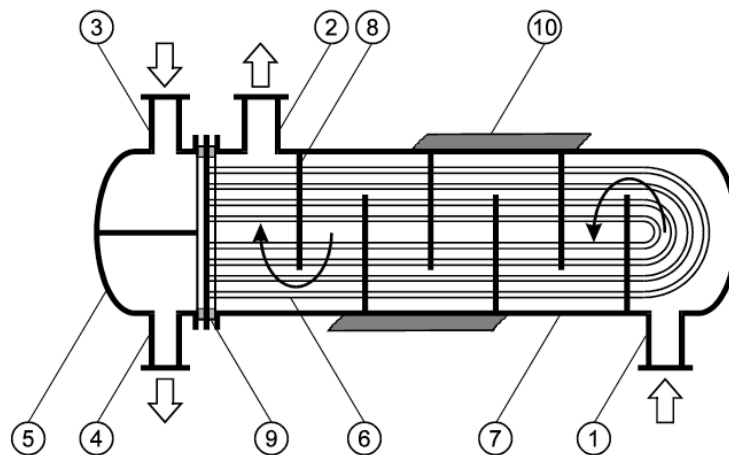


Abbildung 18: Prinzipskizze Elektroerhitzer [6]

Beim Eintritt (1) gelangt das Wärmeträgermedium in das Hüllrohr (4) und wird von den Heizstäben (3) erhitzt. Das Thermoöl fließt bei den Heizstäben vorbei Richtung Austritt (2). Der Elektroanschluss (7) für die Stäbe befindet sich außerhalb des Druckbehälters. Ausgelegt ist das Aggregat für einen Volumenstrom von 20 m³/h.

Kühler

Die beiden Wärmetauscher im Sekundärkreislauf besitzen 200 kW und 5 kW Kühlleistung. Sie bestehen aus einem U-Rohrbündel (6), das in einem Druckbehältersystem (7) verbaut ist und mit einer Wärmedämmung (10) ausgestattet ist. Abbildung 19 zeigt ein Schema eines Kühlers.



- | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----------------|
| 1 Wärmeträger Eintritt (mantelseitig) | 5 Vorkopf | 9 Dichtung |
| 2 Wärmeträger Austritt (mantelseitig) | 6 Rohrbündel | 10 Wärmedämmung |
| 3 Wärmeträger Eintritt (rohrseitig) | 7 Mantelrohr | |
| 4 Wärmeträger Austritt (rohrseitig) | 8 Trennblech | |

Abbildung 19: Prinzipskizze Wärmeübertrager [6]

Als Kühlmittel wird Kühlwasser verwendet, welches über einen Pumpenkreislauf mit zwei Rückkühlern am Dach des Heizhauses verbunden ist. Der Kühlmitteldurchsatz beträgt beim 200 kW Kühler 10 m³/h und beim 5 kW Kühler 1 m³/h. Der wasserseitige Druck beträgt 2-4 bar.

Umwälzpumpen

Die Thermoölanlage ist mit zwei Pumpen ausgestattet, die zur Förderung des Wärmeträgeröls verwendet werden. Eine im Primärkreis und die andere Pumpe inklusive einem Frequenzumrichter im Sekundärkreis. Die Pumpe des Primärkreises hat eine Motorleistung von 4 kW mit einer Fördermenge von 20 m³/h und einer Förderhöhe von 20 mFIS. Die Motorleistung der Pumpe im Sekundärkreis beläuft sich auf 5,5 kW mit einer Fördermenge von 2-6 m³/h und einer Förderhöhe von 7-55 mFIS.

Ausdehnungs- und Sammelbehälter

Die temperaturbedingte Volumenexpansion wird im Ausdehnungsbehälter ausgeglichen. Er steht am höchsten Punkt der Anlage. Mit einem Volumen von 1000 l ist er nach DIN 4754 so bemessen, dass er die 1,3-fache Volumenzunahme des Füllvolumens (665 l) zwischen der Fülltemperatur und der maximalen

Betriebstemperatur von 390 °C oberhalb des Mindestfüllstands aufnehmen kann. Der zulässige Betriebsüberdruck des Behälters liegt bei 16 bar.

Der Sammelbehälter fasst ein Volumen von 500 l bei einer zulässigen Betriebstemperatur von 390 °C und einem zulässigen Betriebsüberdruck von 0,5 bar.

Inertgasüberlagerung

Bei Anlagen, deren Temperatur über 70 °C im Ausdehnungsbehälter beträgt, kann das Wärmeträgermedium durch Zutritt von Sauerstoff oxidieren und geschädigt werden. Weiters kann es bei höheren Temperaturen zum Verdampfen des Öls kommen. Um dies zu unterbinden, wird mit Stickstoff überlagert und der Systemdruck gesteigert. Die nachfolgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus dem R&I Fließschema der Anlage und stellt die Inertgasüberlagerung dar.

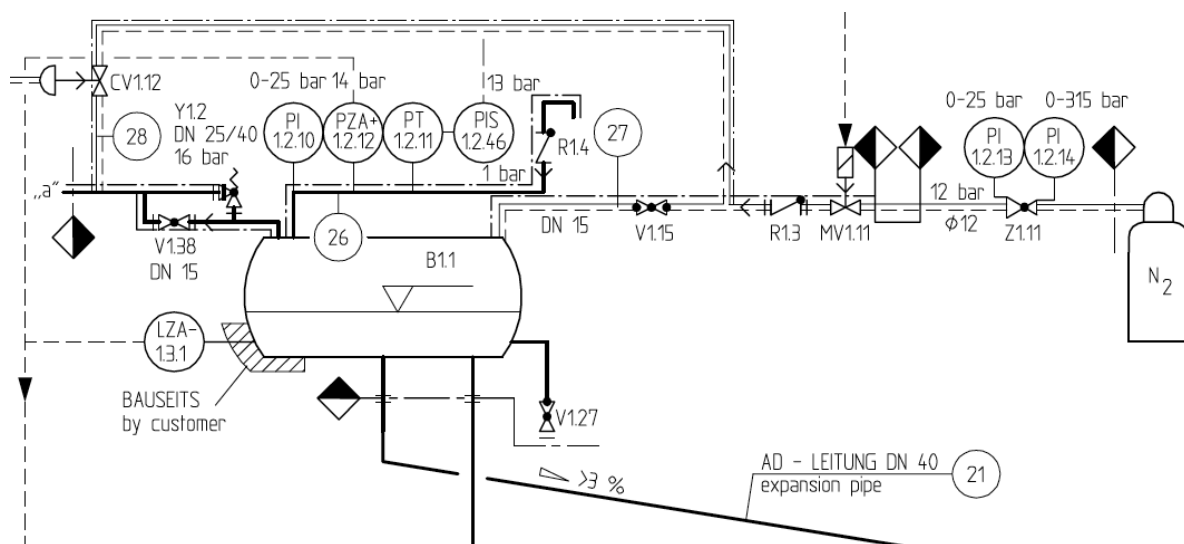


Abbildung 20: Inertgasüberlagerung in Wärmeträgerölanlagen ohne Sammelbehälter [6]

Wärmeträgermedium

Als Wärmeträgermedium kommt ein synthetisches Öl, **Therminol VP-1**, zum Einsatz. Die maximal zulässige Vorlauftemperatur des Öls beträgt 400 °C und der zulässige Betriebsdruck ist 21 bar. Bei Betriebstemperatur beträgt die Ausdehnung des Öls etwa 25%. Folgende Kennwerte charakterisieren das Fluid:

- *Pourpoint 12 °C*
- *Fließgrenze 15 °C*
- *Flammpunkt 121 °C*
- *Siedebeginn 257 °C*
- *Füll- und Anfahrttemperatur 20 °C*
- *Max. zulässige Filmtemperatur 430 °C*

Laut DIN 4754 muss das Öl jährlich im Labor analysiert werden.

3.2.2. Sicherheitseinrichtungen

Die wichtigsten Sicherheitseinrichtungen der Anlage sind:

- Strömungsüberwachung am Primärkreis
- Temperaturüberwachung am Primärkreis
- Niveauschalter am Ausdehnungsbehälter
- Sicherheitsventile

Die **Strömungsüberwachung** ist eine Differenzdrucküberwachung mit zwei einstellbaren Schaltepunkten: Soll-Wirkdruckdifferenz: 0,36 bar; Wirkdruckdifferenz bei Sicherheitsabschaltung: 0,28 bar; Nenn-Volumenstrom: 18 m³/h. Bei Unterschreitung des eingestellten Mindestvolumenstroms wird die Beheizung abgeschaltet und verriegelt. Beim Anfahren der Anlage darf die Überwachung kurzzeitig überbrückt werden um den Mindestvolumenstrom zu erreichen.

- Störmeldung: STRÖMUNGSSTÖRUNG
- Entriegelung: Direkt am Schaltschrank durch Betätigen folgender Tasten: RESET-Taster, ENTSPERRUNG und SICHERHEITSKETTE
- Funktionsprüfung: durch kontrolliertes Drosseln des pumpendruckseitigen Ventils

Ein elektronischer Sicherheitstemperaturbegrenzer (Pt 100) sorgt für die **Temperaturüberwachung**. Bei Überschreitung der maximal zulässigen Temperatur wird die Heizung abgeschaltet und verriegelt.

- Störmeldung: ÜBERTEMPERATUR

- Entriegelung: Direkt am Schaltschrank durch Betätigen folgender Tasten: RESET-Taster, ENTSPERRUNG und SICHERHEITSKETTE oder am Begrenzer durch Betätigen des Resetschalter
- Funktionsprüfung: durch kontrolliertes Aufheizen auf die eingestellte Temperatur oder mit einem Prüfgerät

Bei Unterschreiten eines Mindestniveaus im Ausdehnungsbehälter löst die **Niveauüberwachung** aus und schaltet die Beheizung ab und verriegelt sie.

- Störmeldung: ÖLMANGEL
- Entriegelung: Direkt am Schaltschrank durch Betätigen folgender Tasten: RESET-Taster, ENTSPERRUNG und SICHERHEITSKETTE
- Funktionsprüfung: durch Betätigen der Prüftaste am Niveauschalter

Im Falle des Versagens der elektronischen Überwachung sind **Sicherheitsventile** vorgesehen. Zwei mechanische Ventile befinden sich am Ende der Ölverrohrung oberhalb des Regenerator-Containers. Diese öffnen jeweils bei 13 bar Überdruck und leiten das Öl in den vorgesehenen Sammelbehälter ab. Ein weiteres mechanisches Sicherheitsventil befindet sich am Ausdehnungsbehälter. Dieses öffnet bei 16 bar und leitet das Öl durch die Ausblasleitung im Heizhaus an die Umgebung ab. Ein Magnetventil, das ebenfalls am Ausdehnungsbehälter sitzt, öffnet softwaregesteuert bei 13 bar und leitet das Öl ebenfalls durch die Ausblasleitung an die Umgebung ab.

3.3. Förderstrang

Die Fördertechnik besteht generell aus dem Ketten-Becherwerk, dem Rohr-Schneckenförderer und der Verteilerweiche. Abbildung 21 zeigt das R&I-Fließschema des gesamten Förderstranges. Der Quarzsand wird in den Silos gelagert und gelangt von dort mit Hilfe der verbauten Schnecken zum Wärmetauscher. Nachdem der Sand den Wärmetauscher passiert hat wird er durch das Becherwerk vertikal nach oben in das zweite Silo gefördert. Durch die Temperatur des Speichermediums unterliegen die einzelnen Komponenten einer Längenausdehnung, die durch Kompensatoren ausgeglichen werden. Folgende

Merkmale gelten für das zu fördernde Schüttgut um einen störungsfreien Betrieb zu gewährleisten:

- Körnung [μm]: 80
- Schüttgewicht [t/m^3]: 1,25
- Förderguttemperatur [$^{\circ}\text{C}$]: max. +400
- Umgebungstemperatur [$^{\circ}\text{C}$]: -10/+38

[7]

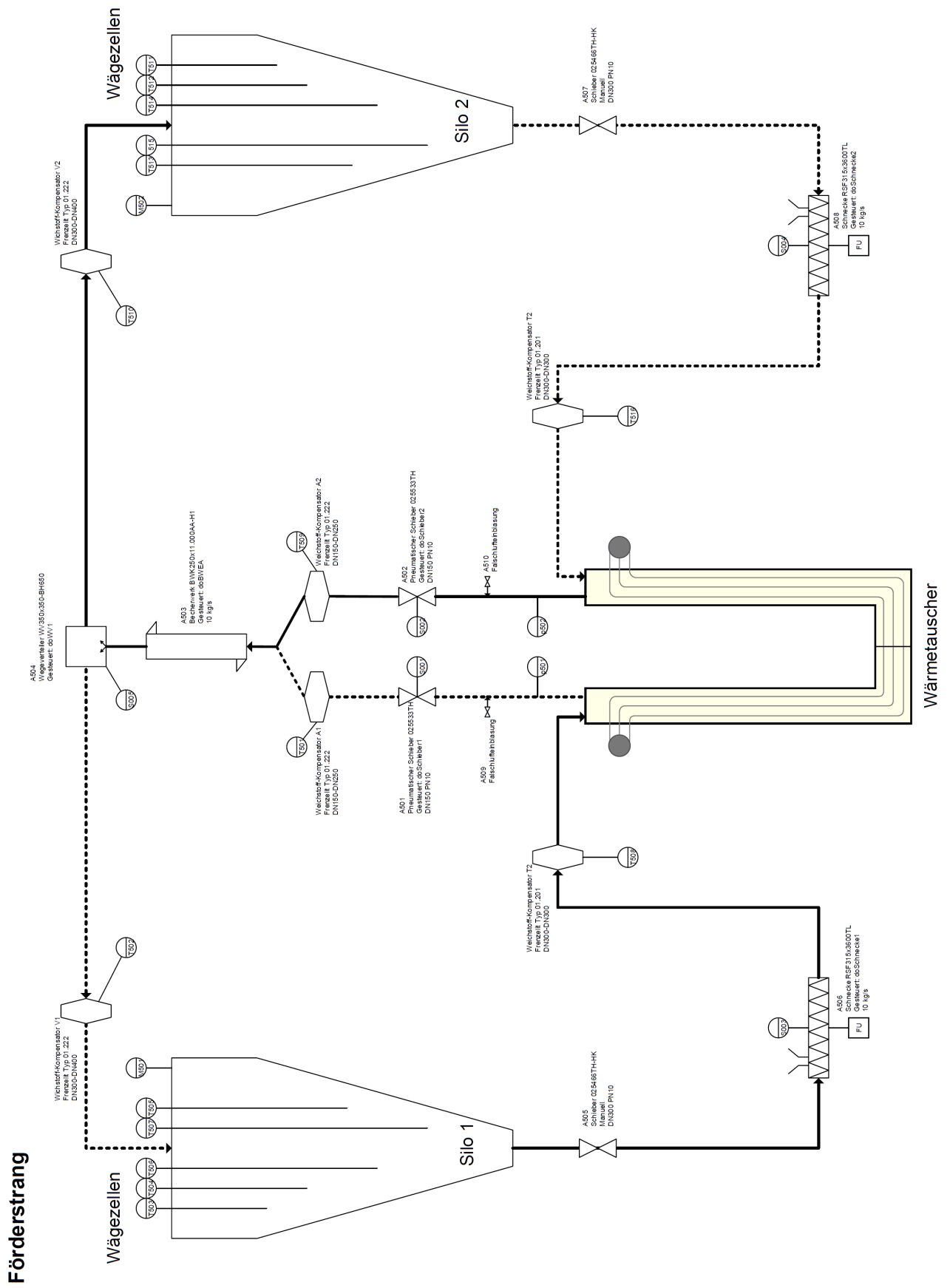


Abbildung 21: R&I-Fließschema Förderstrang

3.3.1. Silo

Aufgabe der Silos ist, den Sand aufzunehmen, zu speichern oder abzugeben. Durch die Funktion der sandTES-Anlage ergibt sich ein heißes und ein kaltes Silo. Die Silos werden wie der restlichen Komponenten der „heißen“ Anlage thermisch isoliert um Wärme- bzw. Speicherverlusten entgegenzuwirken. Über das Becherwerk und über die Verteilerweiche werden die Silos mit Sand beladen. Die Silos haben eine Kapazität von je 8 t. Die Entladung erfolgt über die Schwerkraft, wobei der Massenstrom über die nachgeschalteten Schnecken gesteuert wird.

3.3.2. Becherwerk [7]

Das Kettenbecherwerk von EMDE dient zur vertikalen Förderung von Sand vom Wärmetauscher zu den Silos. In Abbildung 22 sieht man den prinzipiellen Aufbau des Becherwerks. Das Gehäuse besteht aus dem Becherwerks-Fuß, den Becherwerks-Schloten und dem Becherwerks-Kopf. Am Fuß wird das Fördergut von den Bechern geschöpft, in den Schloten nach oben gefördert und im Kopf ausgeworfen. Die Förderhöhe des Becherwerks beträgt 10 m bei einer Förderleistung von 36 t/h. Die Fördergeschwindigkeit beträgt 1,25 m/s und das Fördervolumen 28,8 m³/h.

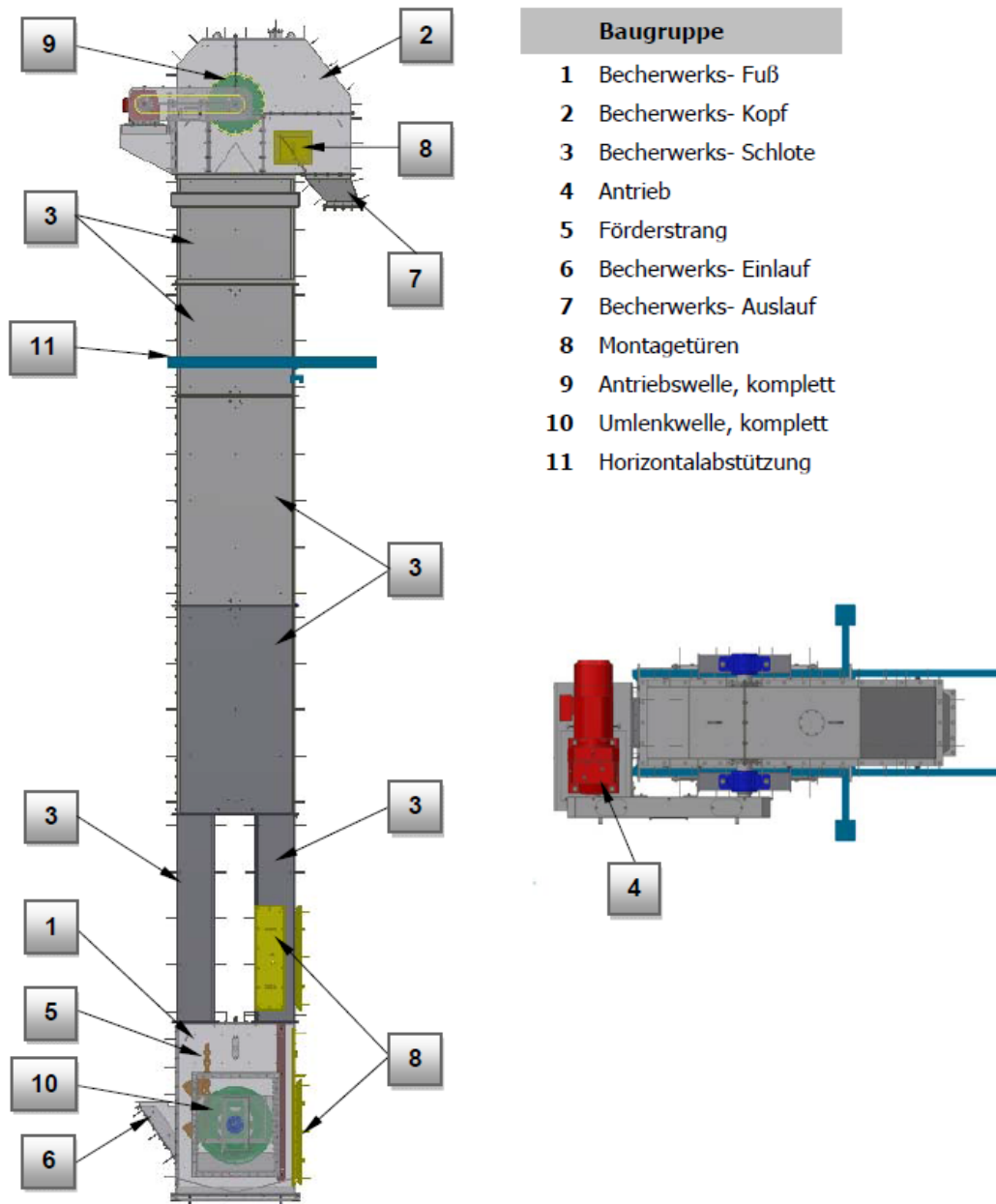


Abbildung 22: Aufbau Becherwerk [7]

Das Becherwerk wird mit Sternschaltung (690 V) angefahren, d.h. es steht nur 1/3 des Drehmomentes zur Verfügung. Damit es zu keiner Überhitzung bzw. Beschädigung des Antriebmotors kommt, sollte das Becherwerk nur leer angefahren werden.

3.3.3. Verteilerweiche [7]

Die Weiche (Abbildung 23) von EMDE dient der Verteilung des Quarzsandes vom Becherwerk in die Silos. Der Pneumatikzylinder von FESTO (Typ: DNC-63-200-PPV-A) hat einen Luftanschluss von G 3/8“ und einen Nenndruck von 6 bar. Das dazugehörige Magnetventil (FESTO, CPE18-M1H-5L-1/4) einen G 1/4“ Luftanschluss und eine Nennspannung von 24 V DC. Die Stellungsanzeige erfolgt über einen induktiven Sensor von IFM (Typ: G5790) mit einer Betriebsspannung von 10-36 V.

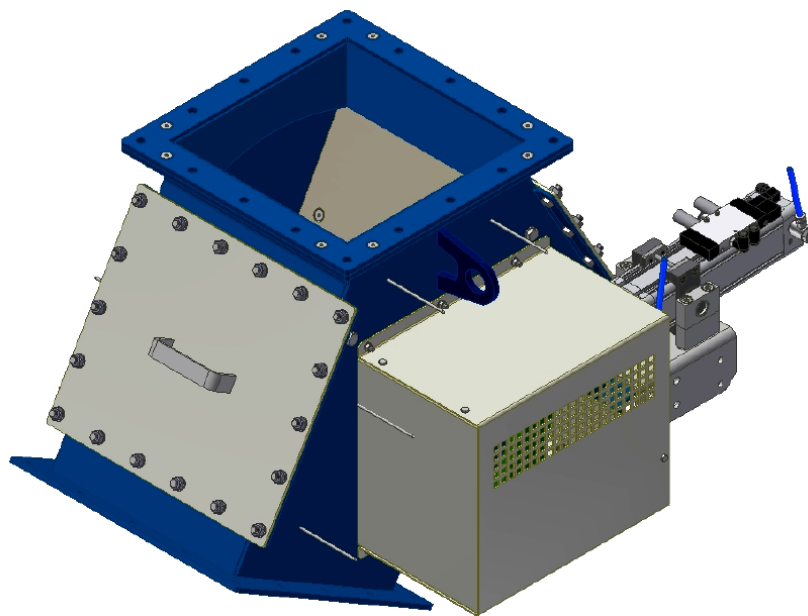


Abbildung 23: Verteilerweiche [7]

3.3.4. Schnecke [7]

Schneckenförderer transportieren das Fördergut von einer Zuführstelle zu einer Abgabestelle. Die Troglänge der verwendeten Schnecke beträgt 3600 mm und der Durchmesser 315 mm. In untenstehender Abbildung ist der Aufbau der Schnecke dargestellt.

- | | |
|------------------|----------------------------|
| 1 Rohrtrog | 8 Lagereinheit |
| 2 Antriebskonsol | 9 Getriebemotor |
| 3 Endkonsol | 10 Kettentrieb |
| 4 Schneckenwelle | 11 Inspektionsöffnung |
| 5 Einlauf | 12 Reinigungsöffnung |
| 6 Auslauf | 13 Drehüberwachung/ Sensor |
| 7 Stopfbuchse | 14 Abhängung |

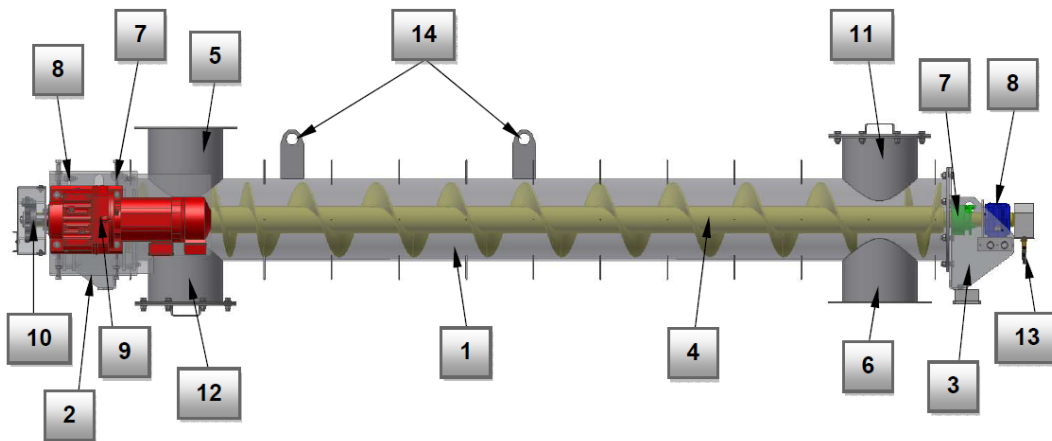


Abbildung 24: Aufbau Schneckenförderer [7]

Der Aufnehmer für die Drehüberwachung ist ein induktiver Sensor von IFM (Typ: G5790) mit einer Betriebsspannung von 10-36 V DC (siehe Abbildung 25). Um eine Überschüttung des Einlaufes zu vermeiden muss bei einem Stillstand des Schneckenförderers der manuelle Schieber nach dem Silo geschlossen werden.

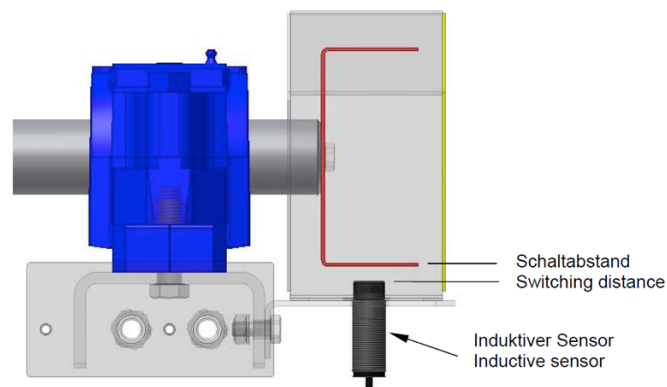


Abbildung 25: Drehüberwachung [7]

3.3.5. Schieber [8]

Rundschieber sind niedrig bauende Absperrgeräte und eignen sich für Fein- und Grobput. Die Schieberplatte bewegt sich im Rahmen, wobei die Durchführung mit einer Stopfpackung abgedichtet ist. Ein absolut druckdichter Abschluss ist nicht möglich. Bei der Pilotanlage werden zwei verschiedene Schieber im Förderstrang verwendet. Ein pneumatischer Schieber ist beim Auslass aus dem Wärmetauscher verbaut, wohingegen nach dem Silo ein manueller Schieber aufgrund von Platzmangel zum Einsatz kommt.

Rundschieber DN150 mit Druckluftzylinder (Abbildung 26)

Profilrohrzylinder max. 10 bar 1319.Ø.Hub.01 Betriebstemperatur -5 °C bis +150 °C (VITON Dichtung)

Elektrisch betätigtes Wegeventil 24 V/DC-3,8 Watt (Typ: 484.52.0.1.M11)

Magnetsensor REED Ausführung Typ: 1500.U bei einer Betriebsspannung von 12-48 V DC

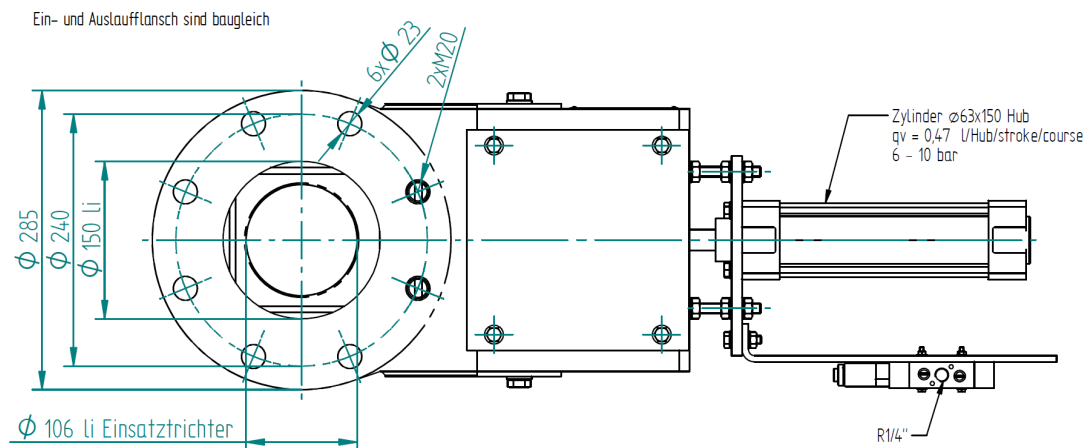


Abbildung 26: Rundschieber mit Druckluftzylinder [8]

Rundschieber DN300 mit Spindel (Abbildung 27)

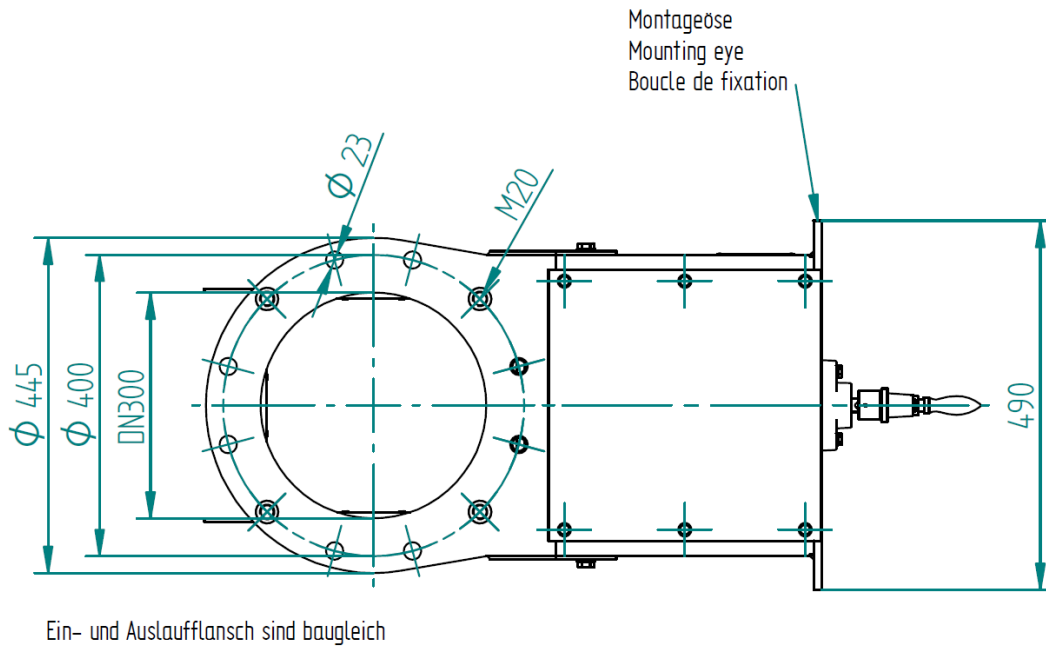


Abbildung 27: Rundschieber mit Spindel [8]

3.3.6. Wägezellen [9]

Die Wägezellen von BOSCHE (Typ: S21N) aus Edelstahl haben eine Nennlast von 5000 kg. Sie dienen der Gewichtsaufnahme am Silo. Die Zellen wurden speziell zur Messung von Zug- und Druckkräften konzipiert. Vorgesehen sind die Lastmesszellen für einen Einsatz im Temperaturbereich von -10 bis +40 °C.

In folgender Abbildung sind die Abmessungen der Wägezelle sowie dem elektrischen Anschluss dargestellt.

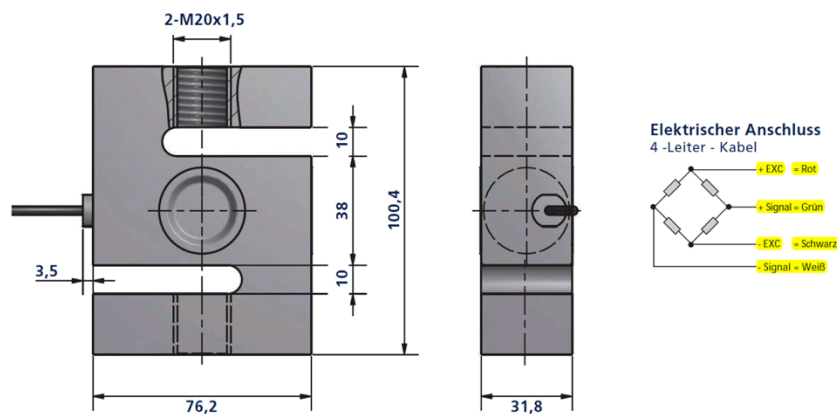


Abbildung 28: Wägezelle [9]

Durch die Kombination mit dem Wageindikator WTS der Fa. BOSCHE lassen sich 8 Wägezellen parallel auswerten. Das Gewicht kann über einen Analogausgang bzw. ber eine serielle Schnittstelle mit dem Prozessleitsystem ausgelesen werden.

3.4. Luftverrohrung

Die Luftverrohrung besteht generell aus dem Gebläse, dem Rekuperator und der Absaug- und Filteranlage. Abbildung 29 zeigt das R&I-Fließschema der Luftverschaltung. Gebläse 1 ist für beide Luftstrange in Betrieb, da Gebläse 2 nur ersatzweise angedacht war. Je nach Strang fließt die Luft durch Rekuperator 1 bzw. 2 in die Windboxen. Dort wird das Fließbett im Wärmetauscher fluidisiert und die erwärmte Luft gelangt durch die Luftkissen zurück durch die Rekuperatoren, bevor sie durch die Absaug- und Filteranlage ins Freie gelangt. Die möglichen Betriebsmodi werden in Kapitel 5.5.1 vorgestellt.

Luftverschaltung

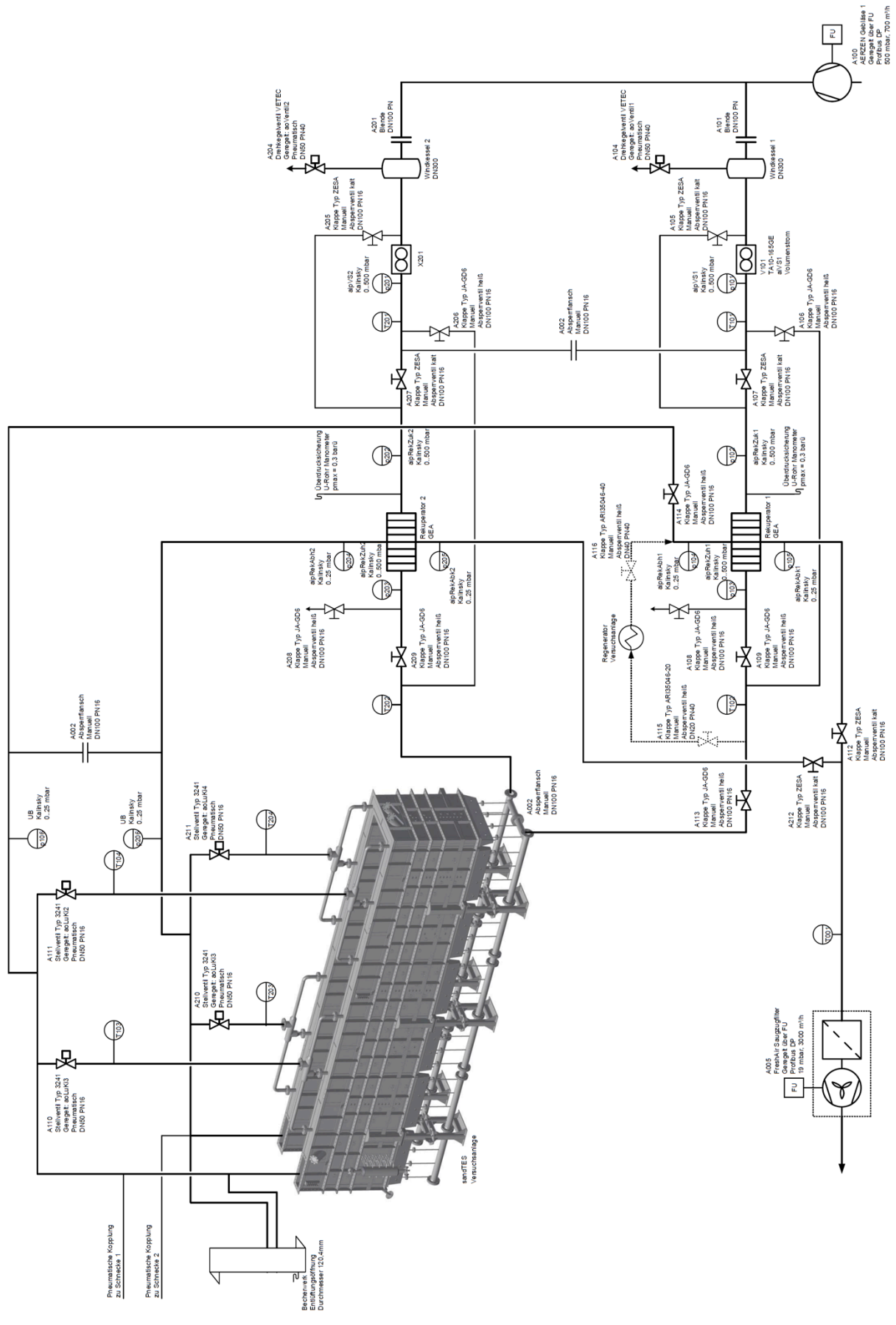


Abbildung 29: R&I-Fließschema der Luftverrohrung

3.4.1. Rekuperator

Für die Anlage stehen zwei Gas/Gas-Wärmetauscher zur Abwärmenutzung zur Verfügung. Die Medien im Plattenwärmetauscher werden im Gegenstrom geführt. Die Platten des Wärmetauschers sind 0,6 mm dick und bestehen aus rostfreiem Stahl (X5CrNi18-10). In Abbildung 30 ist eine technische Zeichnung eines Rekuperators mit den Hauptabmessungen dargestellt.

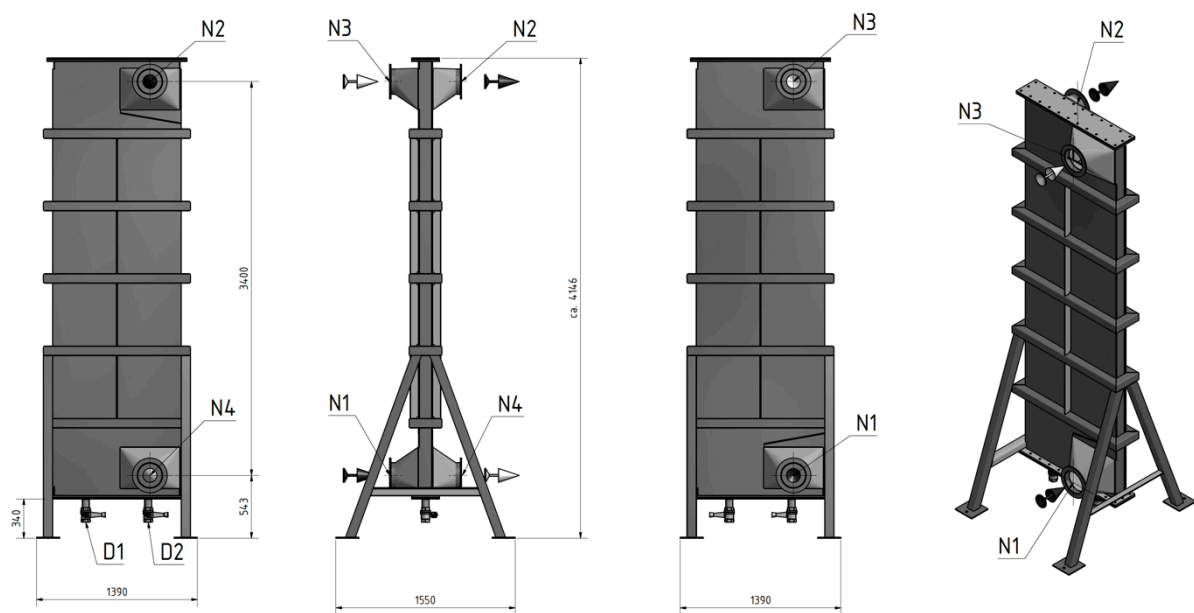


Abbildung 30: CAD-Modell Rekuperator

Die Fluidisierungsluft erwärmt sich bei der Durchströmung des Bettes auf die Sandtemperatur. Da diese Temperatur höher ist als die Umgebungsluft, wird die Abwärme genutzt um die Fluidisierungs-Zuluft zu erwärmen bevor sie den Windboxen zugeführt wird. Weiters wird die Fluidisierungsabluft auf eine Temperatur von unter 80 °C gekühlt bevor sie durch den Filter strömt, um diesen nicht zu beschädigen. Die Rekuperatoren können bei der Zuluft mittels Bypass umgangen werden. Die Betriebsmodi der Luftverschaltung findet man in Kapitel 5.5.1.

3.4.2. Gebläse [10]

Das Drehkolbengebläse vom Hersteller AERZEN ist eine zweiwellige Drehkolbenmaschine, deren Kolben sich gleichmäßig gegeneinander drehen. Die Förderrichtung des Gebläses wird durch die Drehrichtung bestimmt, .d.h. es gibt

einen druckseitigen- und einen saugseitigen Flansch. Der Ansaugvolumenstrom beträgt $672 \text{ m}^3/\text{h}$, der Massenstrom 810 kg/h . Der Eintrittsdruck beträgt $p_1=1,013 \text{ bar}$, der Austrittsdruck $p_2=1,513 \text{ bar}$, wodurch sich eine Druckdifferenz Δp von 500 mbar ergibt. Der eingebaute Elektromotor besitzt eine Leistung von $18,5 \text{ kW}$ bei einer Drehzahl von 2950 min^{-1} .

3.4.3. Absaug- und Filteranlage [11]

Die Anlage AirJET DF4 II von Air-Fresh-Service ist eine Kombination aus Filter und Saugzug. Der Patronenfilter besitzt eine vollautomatische Abreinigung durch Druckluft über einen Differenzdruck. Die maximale Luftmenge der Absaugung beträgt $3000 \text{ m}^3/\text{h}$ mit einer Filterfläche von 48 m^2 . Das Gerät ist für einen maximalen Temperatureingang von $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ausgelegt. Der Antriebsmotor besitzt eine Leistung von 3 kW und ist mit einem Frequenzumrichter und einer Anbindung für Profibus ausgestattet.

3.5. Sonstige Anlagenkomponenten

3.5.1. Prozessluftkompressor

Das Aggregat von KAESER hat ein Fördervolumen von $2 \text{ m}^3/\text{min}$ bei einem maximalen Überdruck von 8 bar . Die Nennleistung des Antriebsmotors beträgt 11 kW bei einer Drehzahl von 2960 min^{-1} . Der Kompressor dient einerseits der Versorgung der pneumatischen Stellventile der Anlage mit Druckluft, als auch als Spüllufteinblasung bei den Messstellen am Wärmetauscher bzw. der Falschlufteinblasung beim Ein-/Auslass des Wärmetauschers. Nähere Informationen findet man im Kapitel 5.2 Druckluftnetz.

4. Rechtliche Rahmenbedingungen

4.1. Druckgeräteverordnung [12]

Geltungsbereich

Diese Druckgeräteverordnung findet Anwendung auf Druckgeräte und Baugruppen mit einem maximal zulässigen Druck von über 0,5 bar. Folgende Gebiete werden dadurch geregelt:

- Werkstoffe
- Konstruktion und Bemessung
- Herstellung
- Prüfung und Konformitätsbewertung
- Bewertung und Überwachung von Herstellerbetrieben
- Kennzeichnung und Dokumentation

Druckgeräte und Baugruppen dürfen in Verkehr gebracht und in Betrieb genommen werden, wenn sie den Anforderungen dieser Verordnung entsprechen.

Begriffsbestimmungen

Druckgeräte im Sinne dieser Verordnung sind:

- **Behälter**, das sind geschlossene Bauteile, die zur Aufnahme von unter Druck stehenden Fluiden ausgelegt und gebaut sind, einschließlich der direkt angebrachten Teile bis hin zur Vorrichtung für den Anschluss an andere Geräte. Ein Behälter kann mehrere Druckräume aufweisen.
- **Rohrleitungen**, das sind zur Durchleitung von Fluiden bestimmte Leitungsbauteile, die für den Einbau in ein Drucksystem miteinander verbunden sind. Zu Rohrleitungen zählen insbesondere Rohre oder Rohrsysteme, Rohrformteile, Fittings, Ausdehnungsstücke, Schlauchleitungen oder gegebenenfalls andere druckhaltende Teile. Wärmetauscher aus Rohren zum Kühlen oder Erhitzen von Luft sind Rohrleitungen gleichgestellt.

- **Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion**, das sind Einrichtungen, die zum Schutz des Druckgerätes bei einem Überschreiten der zulässigen Grenzen bestimmt sind. Diese Einrichtungen umfassen Einrichtungen zur unmittelbaren Druckbegrenzung wie Sicherheitsventile, Berstscheibenabsicherungen, Knickstäbe, gesteuerte Sicherheitseinrichtungen und Begrenzungseinrichtungen, die entweder Korrekturvorrichtungen auslösen oder ein Abschalten oder Abschalten und Sperren bewirken, wie Druck-, Temperatur- oder Fluidniveauschalter sowie mess- und regeltechnische Schutzeinrichtungen
- **druckhaltende Ausrüstungsteile**, das sind Einrichtungen mit einer Betriebsfunktion, die ein druckbeaufschlagtes Gehäuse aufweisen

Druckgeräte umfassen auch alle gegebenenfalls an drucktragenden Teilen angebrachten Elemente, wie z.B. Flansche, Stutzen, Kupplungen, Trageelemente, Hebeösen, etc.

Baugruppen im Sinne dieser Verordnung sind mehrere Druckgeräte, die von einem Hersteller zu einer zusammenhängenden funktionalen Einheit verbunden werden.

Allgemeine Sicherheitsanforderungen

Druckgeräte und Baugruppen sind derart zu konstruieren, herzustellen und auszurüsten, dass sie bei ordnungsgemäßer Aufstellung bzw. Anbringung und Wartung sowie bei bestimmungsgemäßigem Betrieb die Sicherheit von Menschen sowie von Sachgütern nicht gefährden.

Technische Anforderungen an Druckgeräte

Druckgeräte müssen generell die grundlegenden Anforderungen in Anhang I der Druckgeräteverordnung erfüllen. Im Fall der Pilotanlage gilt das für Behälter und druckhaltende Ausrüstungsteile für Flüssigkeiten und Gase, deren Dampfdruck bei der zulässigen maximalen Temperatur um mehr als 0,5 bar über dem normalen Atmosphärendruck (1,013 bar) liegt. Bei Fluiden der Gruppe 1 wie z.B. bei entzündbaren Flüssigkeiten oder Gasen wenn das Volumen größer als ein Liter und das Produkt aus $PS \cdot V$ größer als 25 bar*Liter ist oder wenn der Druck PS größer als

200 bar ist, wird folgendes Diagramm zur Einstufung nach Ihrer Modulkategorie herangezogen:

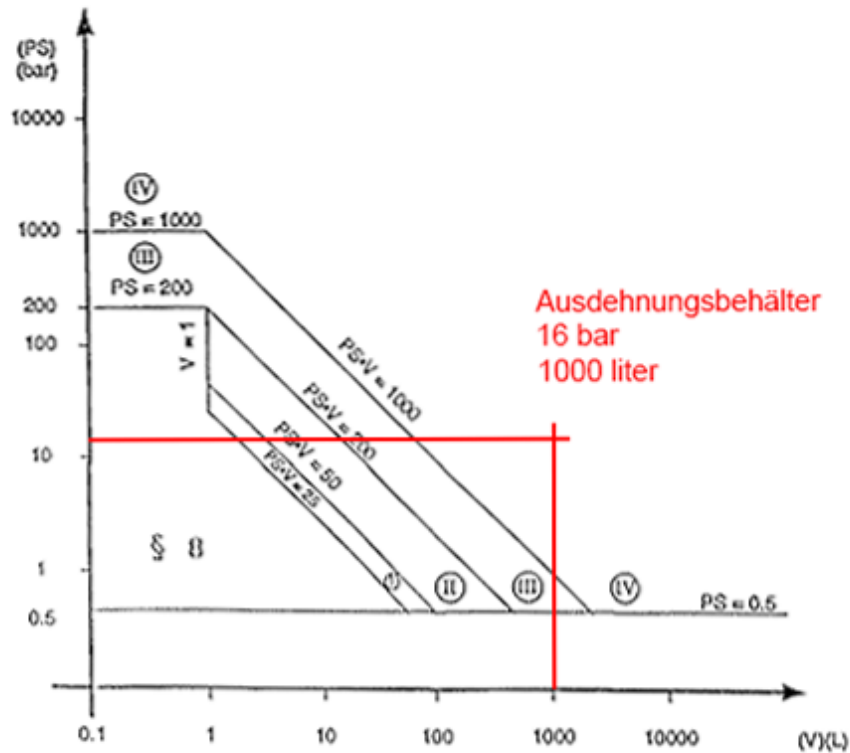


Abbildung 31: Konformitätsbewertungsdiagramm – Ausdehnungsbehälter

Das Konformitätsbewertungsdiagramm (Abbildung 31) zeigt die Einstufung für Fluide der Gruppe 1. Die Kategorisierung erfolgt nach Gefahrenpotential und reicht von Kategorie I bis Kategorie IV. Der Ausdehnungsbehälter mit einem Volumen von 1000 l und einem Maximaldruck bis 16 bar wird der Kategorie IV zugewiesen.

Ebenfalls für die Anlage zu beachten sind Rohrleitungen für Gase und Flüssigkeiten, deren Dampfdruck bei der zulässigen maximalen Temperatur um mehr als 0,5 bar über dem normalen Atmosphärendruck (1,013 bar) liegt.

Die Einstufung erfolgt auch hier wieder mithilfe eines Konformitätsbewertungsdiagramms. Bei Fluiden der Gruppe 1 (explosiv, entzündbar, etc.), deren DN größer als 25 ist, wird folgendes Diagramm verwendet:

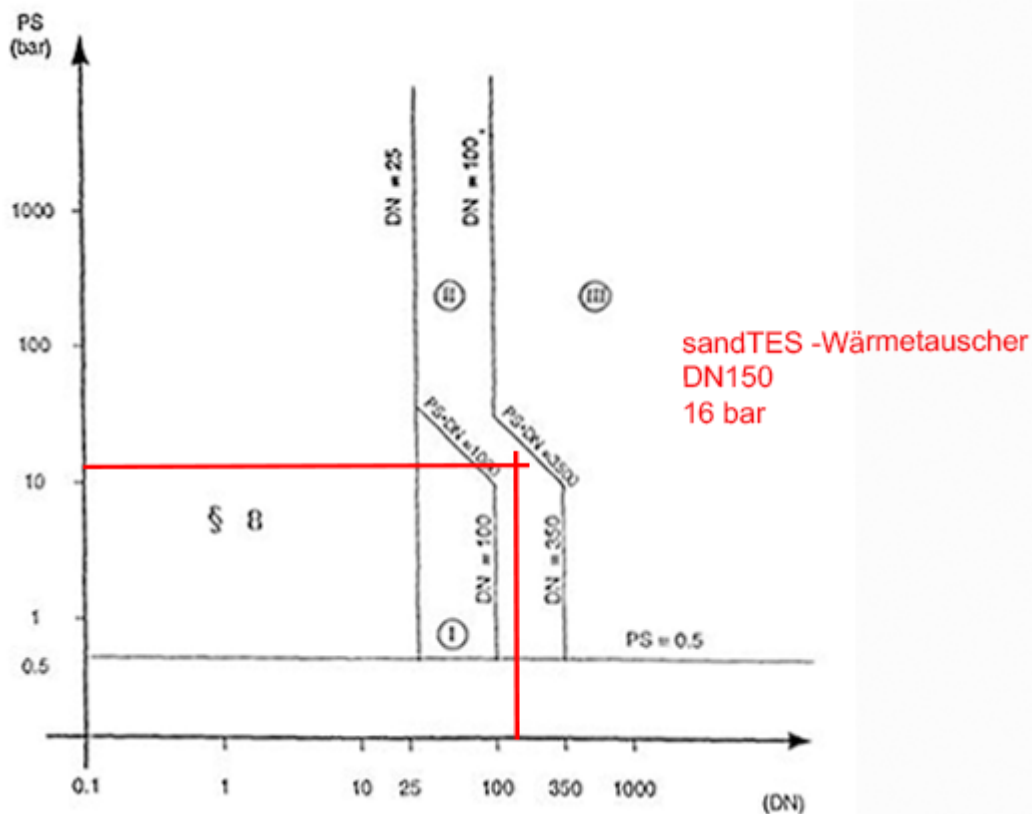


Abbildung 32: Konformitätsbewertungsdiagramm - sandTES

In Abbildung 32 ist die Rohrleitung des sandTES-Wärmetauschers mit einem DN von 150 und einem maximalen Druck von 16 bar dargestellt. Die Rohrleitung fällt mit ihren Werten in Kategorie II.

Zusätzlich müssen alle Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, die für Druckgeräte bestimmt sind, die Anforderungen in Anhang I der Druckgeräteverordnung erfüllen.

Einstufung von Druckgeräten

In Abbildung 33 ist die Kategorisierung der Pilotanlage mit den vier thermischen Energiespeichern und der Thermoölheizung abgebildet. Mithilfe der Konformitätsbewertungsdiagramme wurde die Anlage gemäß den Bestimmungen der Druckgeräteverordnung eingestuft. Der Ausdehnungsbehälter und infolgedessen die gesamte Baugruppe fällt in die Kategorie IV.

Gemäß den Modulen der Kategorie IV, muss der Entwurf und die Konstruktion der Baugruppe (bzw. der Ölverrohrung) geprüft und die Übereinstimmung mit den entsprechenden Anforderungen der Verordnung von einer dazu befugten Stelle wie z.B. dem TÜV bescheinigt werden.

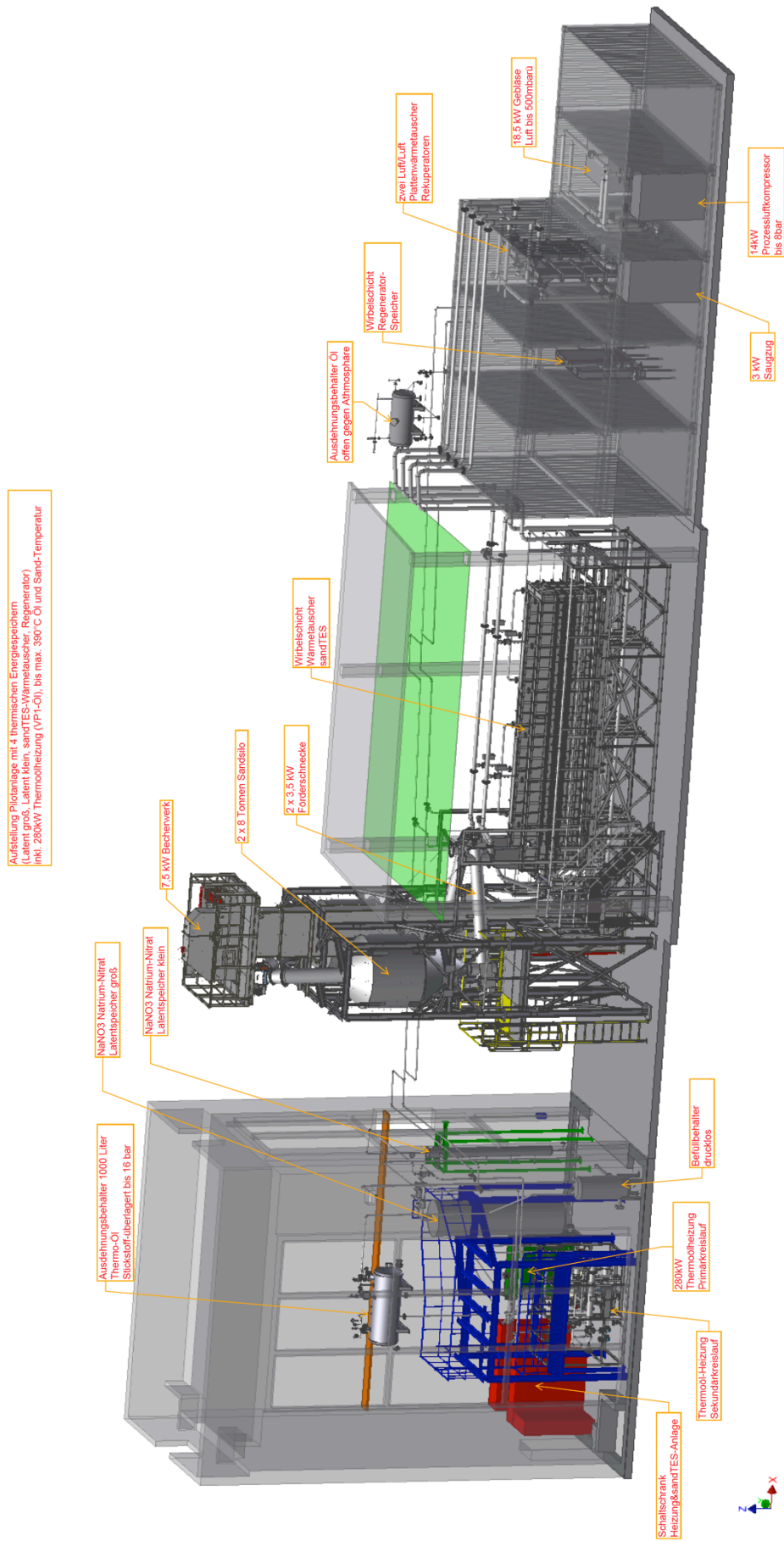


Abbildung 33: Kategorisierung der Gesamtanlage

Abnahme

Druckgeräte müssen der nachstehend beschriebenen Abnahme unterzogen werden:

- **Schlussprüfung:** Druckgeräte müssen einer Schlussprüfung unterzogen werden. Dabei wird durch eine Sichtprüfung und Kontrolle der zugehörigen Unterlagen überprüft, ob die Anforderungen dieser Verordnung erfüllt sind. Hierbei können Prüfungen, die während der Fertigung durchgeführt worden sind, berücksichtigt werden. Soweit von der Sicherheit her erforderlich, wird die Schlussprüfung innen und außen an allen Teilen des Gerätes, gegebenenfalls während des Fertigungsprozesses (z.B. falls bei der Schlussprüfung nicht mehr besichtigbar), durchgeführt.
- **Druckprüfung:** Die Abnahme der Druckgeräte muss eine Druckfestigkeitsprüfung einschließen, die normalerweise in Form eines hydrostatischen Druckversuchs durchgeführt wird. Der Prüfdruck muss dem höheren der folgenden Werte entsprechen:
 - dem 1,25-fachen Wert der Höchstbelastung des Druckgeräts im Betrieb unter Berücksichtigung des höchstzulässigen Drucks und der höchstzulässigen Temperatur oder
 - dem 1,43-fachen Wert des höchstzulässigen Drucks.

Für serienmäßig hergestellte Geräte der Kategorie I kann diese Prüfung auf statistischer Grundlage durchgeführt werden.

Ist der hydrostatische Druckversuch nachteilig oder nicht durchführbar, so können andere Prüfungen, die sich als wirksam erwiesen haben, durchgeführt werden. Für andere Prüfungen als den hydrostatischen Druckversuch müssen zuvor zusätzliche Maßnahmen, wie zerstörungsfreie Prüfungen oder andere gleichwertige Verfahren, angewandt werden.

- **Prüfung der Sicherheitseinrichtungen:** Bei Baugruppen umfasst die Abnahme auch eine Prüfung der Ausrüstungsteile mit Sicherheitsfunktion, bei der überprüft wird, dass folgende Anforderungen vollständig erfüllt sind:
 - In den Fällen, in denen unter nach vernünftigem Ermessen vorhersehbaren Bedingungen die zulässigen Grenzen überschritten werden könnten, ist das Druckgerät mit geeigneten

Schutzvorrichtungen auszustatten bzw. für eine entsprechende Ausstattung vorzubereiten, sofern das Gerät nicht als Teil einer Baugruppe durch andere Schutzvorrichtungen geschützt wird. Die geeignete Schutzvorrichtung bzw. die Kombination geeigneter Schutzvorrichtungen ist in Abhängigkeit von dem jeweiligen Gerät bzw. der jeweiligen Baugruppe und den jeweiligen Betriebsbedingungen zu bestimmen.

5. Durchgeführte Arbeiten

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Arbeiten an der Pilotanlage vorgestellt. Es wurde die Verrohrung der Thermoölanlage mit den einzelnen Versuchsanlagen der Gesamtanlage geplant und durchgeführt. Ein Druckluftnetz für die gesamte Anlage, sowie die Sensorik für die sandTES-Anlage wurde ausgelegt und aufgebaut. Ebenso finden sich in diesem Kapitel die nötigen Ventilstellungen der Luftverrohrung und der Rückkühlung, sowie eine Berechnung und die Konstruktion für eine Überdrucksicherung für den Rekuperator.

5.1. Ölverrohrung

5.1.1. Stückliste

Der erste Schritt war das Erstellen einer Stückliste anhand des vorhandenen CAD-Modells der Anlage. Die Rohrabschnitte wurden abgemessen und nach den Dimensionen gruppiert, sowie die benötigten Teile (T-Stücke, Flansche, Ventile,...) abgezählt. Mit der finalen Stückliste (Tabelle 2) wurde eine Bestandsaufnahme mit den bereits vorhandenen Teilen durchgeführt. Die fehlenden Teile wurden inklusive der notwendigen Atteste der Druckprüfung bei der Firma Stein Eisen bestellt.

Benötigte Menge	Einheit	Bezeichnung
38,84	lfm	nahtl. Kesselrohre 26,9x2,3mm EN 10220/10216
146,52	lfm	nahtl. Kesselrohre 48,3x2,6mm EN 10220/10216
6,35	lfm	nahtl. Kesselrohre 60,3x2,9mm EN 10220/10216
32,00	Stk	nahtl. Rohrbögen 26,9x2,3mm P235GH EN 10253
59,00	Stk	nahtl. Rohrbögen 48,3x2,6mm P235GH EN 10253
1,00	Stk	nahtl. Rohrbögen 60,3x2,9mm P235GH EN 10253
2,00	Stk	nahtl. Rohrbögen 48,3x2,6mm P235GH EN 10253 45°
4,00	Stk	nahtl. T-Stücke 26,9x2,3mm EN 10253 P235GH
18,00	Stk	nahtl. T-Stücke 48,3x2,6mm EN 10253 P235GH
10,00	Stk	nahtl. T-Stücke red. 48,3x2,6 - 26,9x2,3mm P235GH EN10253
2,00	Stk	nahtl. Konzentr.Reduktion 48,3x2,6 - 33,7x2,6mm
3,00	Stk	nahtl. Konzentr.Reduktion 48,3x2,6 - 26,9x2,3mm
36,00	Stk	V-Flansch 26,9x2,3mm DN 20 PN40 EN 1092-1/11/B1
2,00	Stk	V-Flansch 33,7x2,6mm DN 25 PN40 EN 1092-1/11/B1
64,00	Stk	V-Flansch 48,3x2,6mm DN 40 PN40 EN 1092-1/11/B1
1,00	Stk	V-Flansch 60,3x2,9mm DN 50 PN40 EN 1092-1/11/B1
3,00	Stk	Blindflansche 26,9x2,3mm DN 20 PN40 EN 1092 P235 GH
2,00	Stk	Blindflansche 33,7x2,6mm DN 25 PN40 EN 1092 P235 GH
2,00	Stk	Blindflansche 48,3x2,6mm DN 40 PN40 EN 1092 P235 GH
12,00	Stk	Absperrventil DN 40
2,00	Stk	Auslassventil DN 25
2,00	Stk	Sicherheitsventil DN 20
4,00	Stk	Rückschlagventil DN 20
29,00	Stk	Dichtungen - Flansch 26,9mm DN 20
4,00	Stk	Dichtungen - Flansch 33,7mm DN 25
53,00	Stk	Dichtungen - Flansch 48,3mm DN 40
1,00	Stk	Dichtungen - Flansch 60,3mm DN 50

Tabelle 2: Stückliste Ölverrohrung

5.1.2. Übersichtszeichnungen

Vor Ort wurden an der Anlage die Hauptabmessungen genommen. Der Bezugspunkt für die Abmessungen, die mit einem Lasermessgerät durchgeführt wurden, ist das Tor des Heizhauses (siehe Abbildung 34).

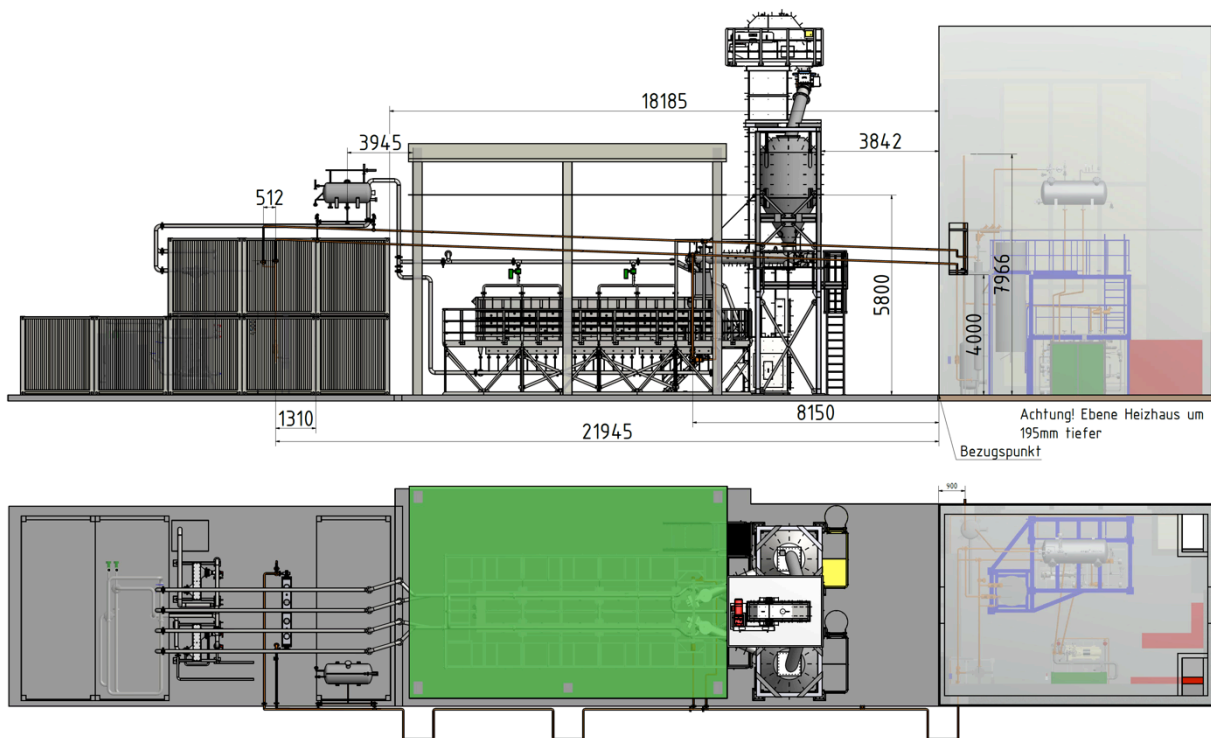


Abbildung 34: Hauptabmessungen

Um eine Übersicht über die zu fertigenden Baugruppen zu haben, wurden Zeichnungen vom Heizhaus, der sandTES-Anlage und dem Regenerator angefertigt (Abbildung 35). Die Zeichnungen beinhalten neben den Rohrnummern auch wichtige Details wie die Anschlüsse mit den Absperr- und Entlüftungsventilen. Alle drei CAD-Zeichnungen befinden sich im Anhang.

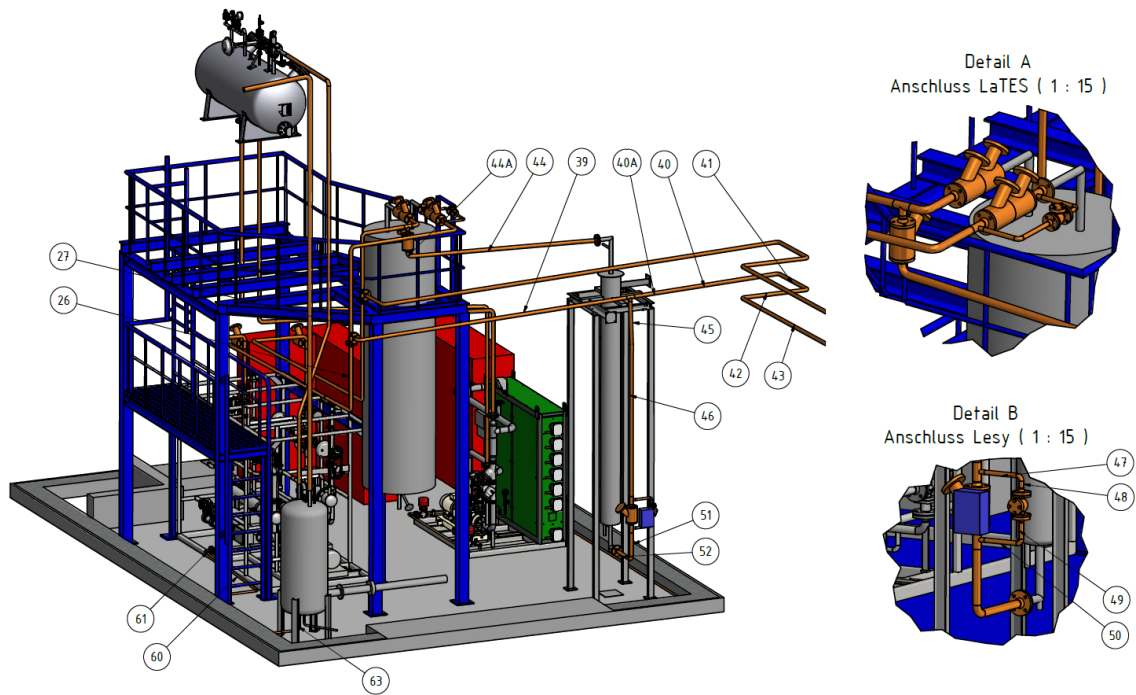


Abbildung 35: Übersicht Heizhaus

5.1.3. Rohrisometrien

Im Vorfeld der Schweißarbeiten wurden Ableitungen von Rohrisometrien angefertigt, um eine Basis für die zu schweißenden Baugruppen bzw. der verpflichtenden Schweißdokumentation zu schaffen. Um eine bestmögliche Anschaulichkeit zu erzielen, wurde die gesamte Anlage in einzelne Abschnitte (Heizhaus, sandTES, Regenerator) gegliedert. Die Abbildung 36 zeigt ein Beispiel, in der die Zu- und Ableitungen inklusive der dazugehörigen Teilenummern des sandTES-Wärmetauschers dargestellt sind.

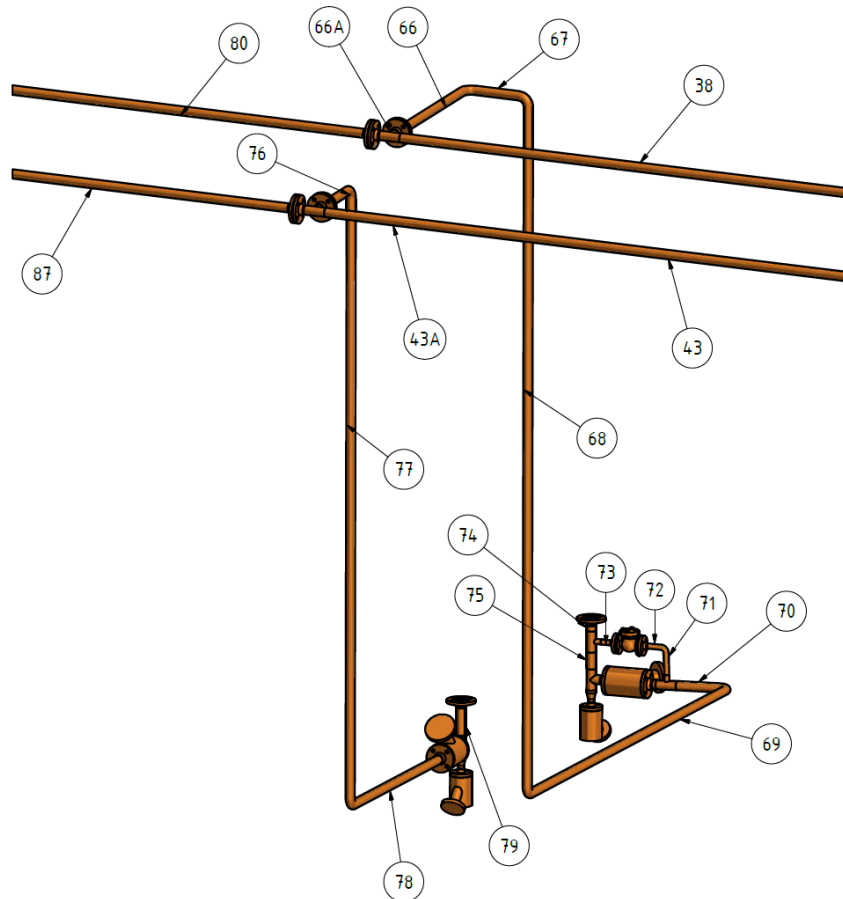


Abbildung 36: Rohrisometrie sandTES

5.1.4. Schweißarbeit und Dokumentation

Die Schweißarbeiten wurden komplett von einem zertifizierten Schweißer der Firma Integral durchgeführt. Handskizzen von Baugruppen mit der Dimension und Länge des Rohrs dienten als Vorlage für den Schweißer. Die Rohre bzw. die Formstücke wurden im Vorfeld innen und außen mit Schleifgeräten bearbeitet und zum Schweißen vorbereitet. Die Rohrlänge wurde entweder vor Ort ausgemessen bzw. anhand des CAD-Modells bestimmt. Bei zugeschnittenen Rohren ohne Bezeichnungstempel wurden die Werkstoffbezeichnung und die Chargennummern nachträglich eingraviert und in der Schnittliste protokolliert. Die Befüllleitung ist drucklos und eine DN20 Dimension. Die druckbeaufschlagten Rohre sind bis auf den Auslass vom Sammelbehälter DN40.

Die Schweißdokumentation, wurde wie die Schweißarbeiten, von der Firma Integral durchgeführt. Dazu wurde neben den Rohrisometrien eine Schnittliste erstellt, in der

alle Rohre mit deren Teilenummern, Chargennummern, Dimension, Lieferant und Werkstoff zu finden sind.

5.1.5. Rohraufhängung

Die Rohraufhängungen wurden einerseits mit Rohrschellen und angeschweißten Gewindestangen, die einen Abstand von 550 mm von Rohrachse der Zuleitung zur Rohrachse der Ableitung, andererseits mit Eigenkonstruktionen aus I-Trägern und Schellen, die als Fest- bzw. Loslager ausgeführt sind, gelöst. Rohre, die entlang von Wänden verlaufen, wurden ebenfalls mit Rohrschellen befestigt. Eine Festlageraufhängung befindet sich beim Durchtritt zum Heizhaus. Beide Rohre wurden fest mit der Aufhängung verschweißt. In nachfolgender Abbildung ist die Konstruktion mit den Hauptabmessungen sowie die fertige und lackierte Aufhängung zu sehen.

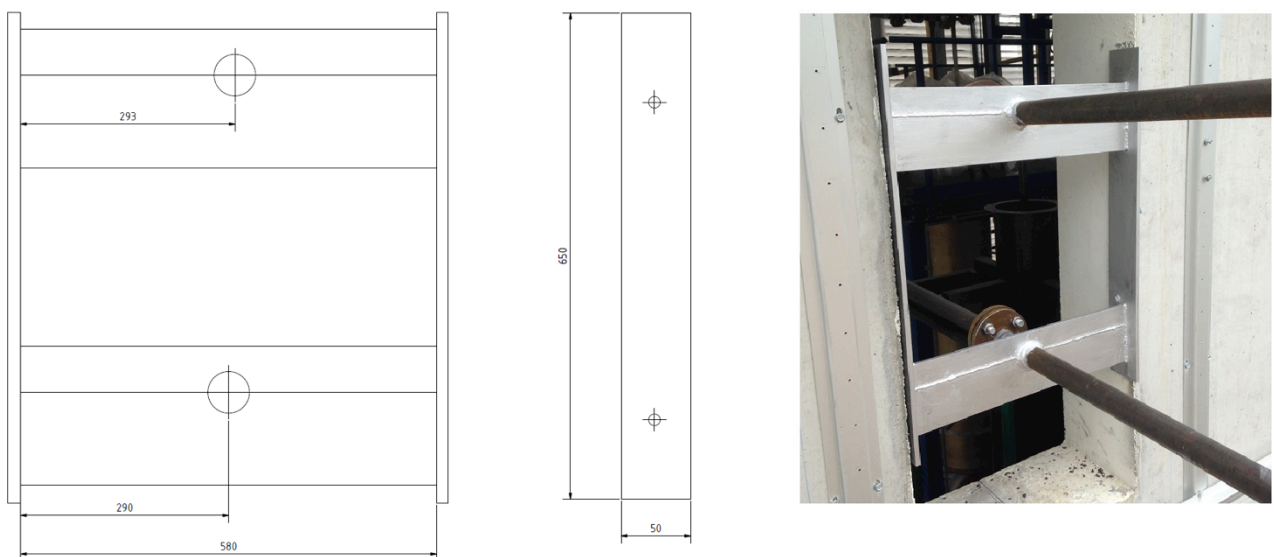


Abbildung 37: Konstruktion (links) und Foto (rechts) der Rohraufhängung beim Durchtritt zum Heizhaus

Abbildung 38 zeigt eine Loslager-Aufhängung. Bei erhöhter Temperatur der Rohre durch das heiße Öl kann sich das Rohr im Gleitschuh bewegen und die Längenausdehnung ausgleichen.



Abbildung 38: Rohraufhängung mittels Gleitschuh

5.2. Druckluftnetz

Das Druckluftnetz für den Wärmetauscher dient zur Versorgung:

- der Messsonden für die Druckmessung mit Spülluft,
- der Schieber beim Auslass des Wärmetauschers,
- der Verteilerweiche
- der Luftkissenventile beim Wärmetauscher
- und zur Falschlufteinblasung.

Zusätzlich wurden Anschlüsse mit Schnellschlusskupplungen für etwaiges Druckluftwerkzeug gelegt. Außerdem wurden zwei Extraleitungen verlegt um zukünftige, kleinere Versuchsstände mit Druckluft zu versorgen.

5.2.1. R&I-Schema

In Abbildung 39 ist das R&I-Schema der Druckluftverschaltung rund um die sandTES-Anlage dargestellt. Der verwendete Luftkompressor besitzt ein Fördervolumen von $2 \text{ m}^3/\text{min}$ bei einem maximalen Überdruck von 8 bar. (Details siehe Kapitel 3.5.1 bzw. Anhang)

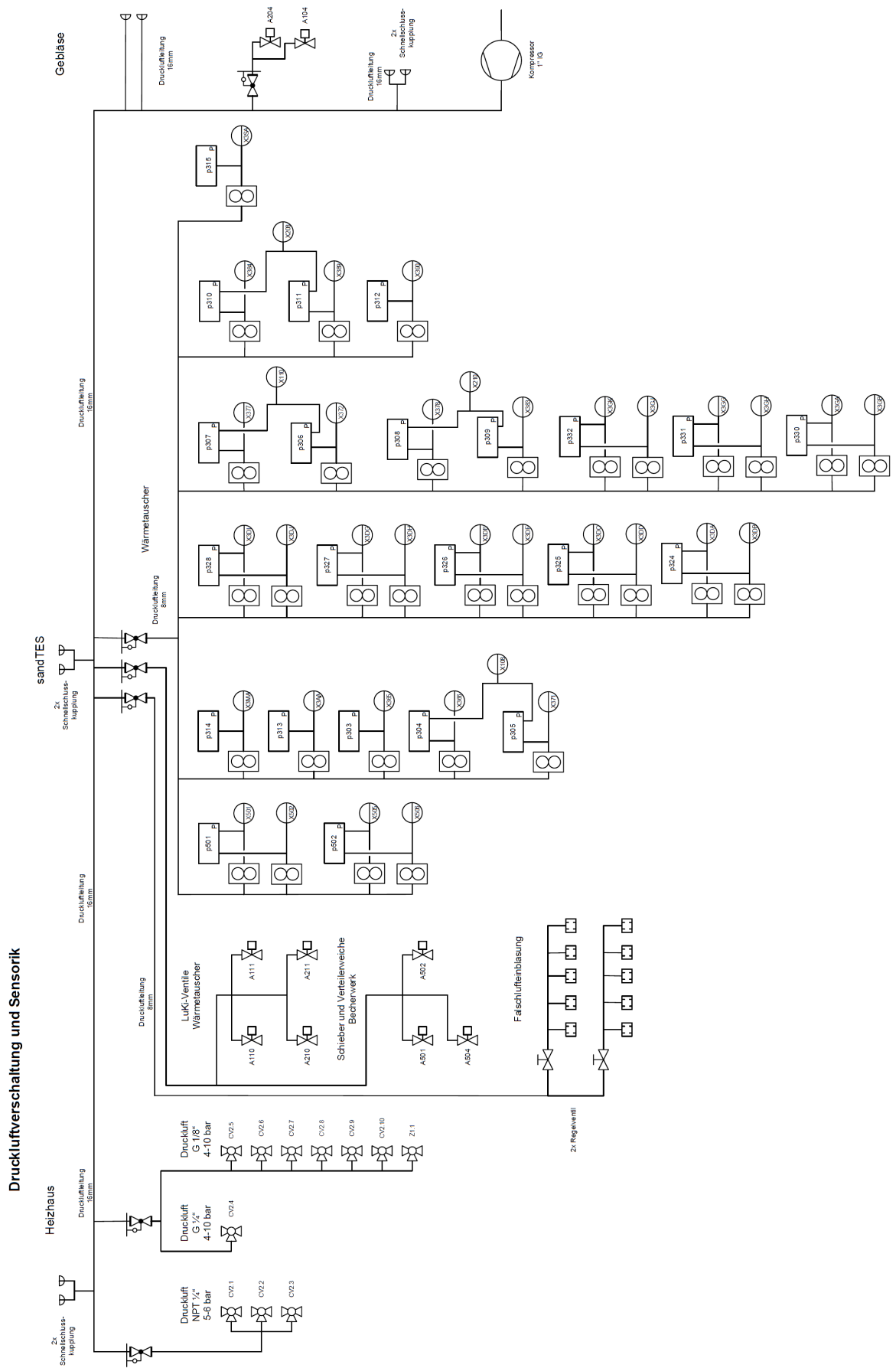


Abbildung 39: R&I-Fließschema der Druckluftversorgung und Sensorik am Wärmetauscher

5.2.2. Stückliste

Die Stückliste wurde anhand des R&I-Schemas erstellt. Tabelle 3 enthält die für den Aufbau des Druckluftnetzes notwendigen Teile. Diese wurden allesamt bei der Fa. Riegler Drucklufttechnik bzw. SMC bestellt.

Anzahl	Bezeichnung	Sonstige Informationen
Riegler Drucklufttechnik		
1 Stk	Winkelstück, 90°, G1"	max. 10 bar, max. 90 °C, Messing blank.
1 Stk	Verteilerstück 4 Abgänge, Eingang 2 x 1"	Ausgang 4 x Innengewinde G1/2", Messing
1 Stk	Verschlusschraube	Außensechskant und Bund, G 1", SW 27, Messing
50 lfm	Druckluftschlauch 16x12mm, PA	-40 °C bis 100 °C, PN bei 20 °C max. 23 bar, schwarz
3 Stk	Gerade Steckverschraubung R1/2" AG 16mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
1 Stk	Gerade Steckverschraubung R1/2" AG 12mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
3 Stk	Gerade Steckverschraubung G3/8" AG 16mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
3 Stk	Gerade Steckverschraubung G3/8" AG 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
3 Stk	Gerade Steckverschraubung R1/4" AG 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
76 Stk	Gerade Steckverschraubung G1/8" AG 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
8 Stk	Gerade Steckverschraubung G1/2" IG 16mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
2 Stk	T-Mehrfachverteiler - 4 Ausgänge, 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Kunststoff
2 Stk	Verschlussstecker	Arbeitsdruck max. 15 bar, Kunststoff
9 Stk	T-Steckverbindung 16mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Kunststoff
90 Stk	T-Steckverbindung 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Kunststoff
4 Stk	Y-Steckverbindung 16mm	Arbeitsdruck max. 10 bar, Kunststoff
1 Stk	X-Steckverbindung 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Kunststoff
8 Stk	Schnellverschlusskupplung G 1/2" AG	NW 7,2, Messing blank, 0 - 35 bar, -20 °C bis 100 °C
2 Stk	Proportional-Regelventil	24 V DC, NC, G 1/8, DN 1,2; Betriebsdruckdifferenz max. 5,0 bar
6 Stk	L-Steckverbindung 16mm	Arbeitsdruck max. 10 bar, Kunststoff
70 Stk	Gerade Steckverbindung 8mm	Arbeitsdruck max. 10 bar, Kunststoff
SMC		
3 Stk	Druckluftregler SMC AR 30-F03 BG-A	G 3/8" IG, Typenschild und Manometer in MPa

Tabelle 3: Stückliste Druckluftnetz

5.2.3. Falschlufteinblasung

Da die verwendeten Schieber beim Ein- bzw. Auslass des Wärmetauschers nicht absolut luftdicht sind, wurde eine Lösung mittels Falschlufteinblasung gefunden. Die Falschlufft dient dem Ausgleich des Druckverlustes, der durch die Schieber entsteht. Die heiße Luft, die verloren geht, wird durch diese Lufteinblasung substituiert. In untenstehender Abbildung ist diese Einblasung dargestellt. Die Volumenstromregelung erfolgt elektronisch mithilfe von zwei Regelventilen. Die Einblasdüsen sind ringförmig um das Rohr angeordnet, wobei pro Rohr fünf Düsen verwendet werden.

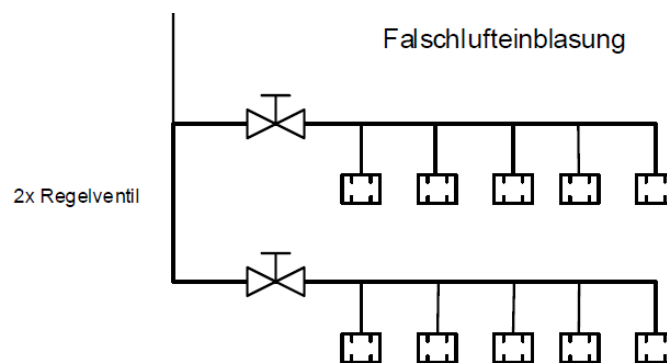


Abbildung 40: Schema Falschlufteinblasung

Abbildung 41 zeigt eine Zeichnung der verwendeten Einblasdüsen. Ein Schalldämpfer aus Sinterbronze dient zur Verteilung der Luft. Das ¼“-Gewinderohr wurde gewählt, damit die Düsen durch die bereits vorhandenen Konsolen hindurchpassen. Ein weiterer Vorteil des Rohres ist die Variabilität hinsichtlich der einragenden Länge des Schalldämpfers. Luftdicht abgedichtet wird das Gewinde bei den Steckverschraubungen, beim Schalldämpfer und beim Reduziernippel mit Loctite SI 5399. Tabelle 4 zeigt eine vollständige Übersicht der verwendeten Teile für die Einblasdüse.

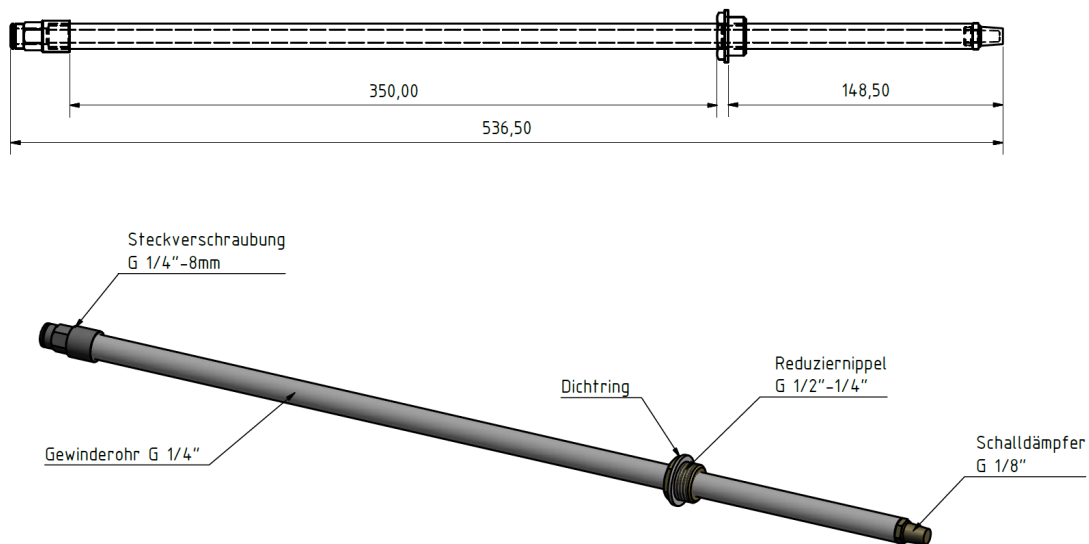


Abbildung 41: Einblasdüse

Anzahl	Bezeichnung	Sonstige Informationen
Leuchtenbau24		
5 lfm	Gewinderohr G1/4"	durchgängiges Gewinde
Riegler Drucklufttechnik		
10 Stk	Gerade Steckverschraubung G1/4" - 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
10 Stk	Reduziernippel, G1/2" - G1/4"	SW 22, Messing
10 Stk	Schalldämpfer, Sinterbronze, G1/8"	SW 12 mm, Betriebsdruck 0 - 8 bar
10 Stk	Dichtring für G1/2"	Dichtring aus Kupfer
Baumarkt		
1 lfm	Kupferrohr	Ø10x1mm
1 Stk	Loctite SI 5399	Einsatztemperaturbereich: +300 °C

Tabelle 4: Stückliste Einblasdüse

5.3. Sensorik

5.3.1. Messsonden

Die Messsonden dienen zur Druckmessung in der Wirbelschicht des Wärmetauschers und zur Druckmessung in der Luftverrohrung. Folgende Anforderungen an die Messsonden sind nötig, um eine fehlerfreie Druckmessung zu ermöglichen:

- Es darf kein Sand in die Messsonde bzw. in den Drucksensor gelangen, damit nichts verstopft wird und somit der Druck akkurat gemessen werden kann

- Die Druckschwankungen im Wirbelbett sollen gut aufgelöst werden, so dass Blasen, welche die Sonde passieren, detektiert werden können
- Es soll möglichst wenig Luft über die Sonde in die Wirbelschicht gelangen, damit diese nicht beeinträchtigt wird

Laut der Bachelorarbeit von Stephan Gruber und Stefan Müllner (Anm.: *Versuche zur Messung von Druck und Viskosität einer Wirbelschicht*) ist es unumgänglich, eine Sonde mit Filter zu verwenden. Die durch das Ein- und Ausschalten entstehenden Druckschwankungen sorgen dafür, dass der Sand in die Sonden und in die Schläuche gelangt, sofern kein Filter verwendet wird. Problematisch wäre dies, wenn sich der Sand in den Sonden absetzt und somit Messergebnisse unbemerkt verfälschen würde. [13]

Es wurden zwei verschiedene Designs gewählt. Eine lange Messsonde (Abbildung 42) für die Druckmessung in der Wirbelschicht und eine kurze Messsonde für die Luftverrohrung (Abbildung 43). Die Verschlusskappe wurde bei beiden Sonden mit 7 mm aufgebohrt, was einer Querschnittsfläche von $38,485 \text{ mm}^2$ entspricht. Dadurch wird der Druckabfall möglichst gering gehalten. Der Filter der Fa. IBS ist aus einem Edelstahl-Drahtgewebe mit einer Maschenweite von $42 \text{ }\mu\text{m}$. Der Reduziernippel lässt sich direkt in die vorhandenen Messkonsolen einschrauben. Durch die Verwendung eines Gewinderohrs lässt sich auch die tatsächlich einragende Sondenlänge variieren. Die Abdichtung bei den Gewinden erfolgt mit einem 1K-Silikon-Klebstoff von Loctite (Typ: SI 5399). Die Länge zwischen dem Schlauchanschluss und dem Reduzierstück wurde aufgrund der zukünftigen Isolierung (200 mm) der Anlagenkomponenten gewählt.

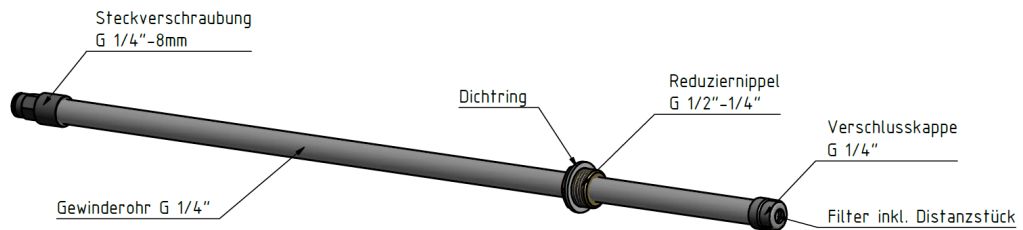
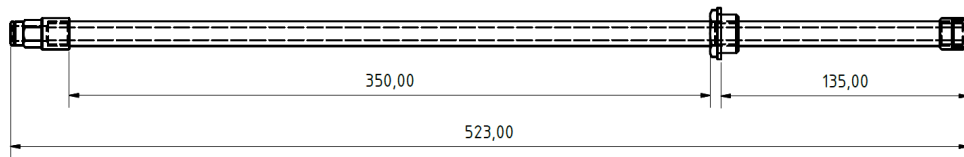


Abbildung 42: Messsonde lang

Die kurze Messsonde wird für die Druckmessung in der Luftverrohrung verwendet. Die Verschlusskappe mit dem Filter ist direkt nach dem Reduzierstück angebracht und ragt somit nur minimal in die Messstelle ein.

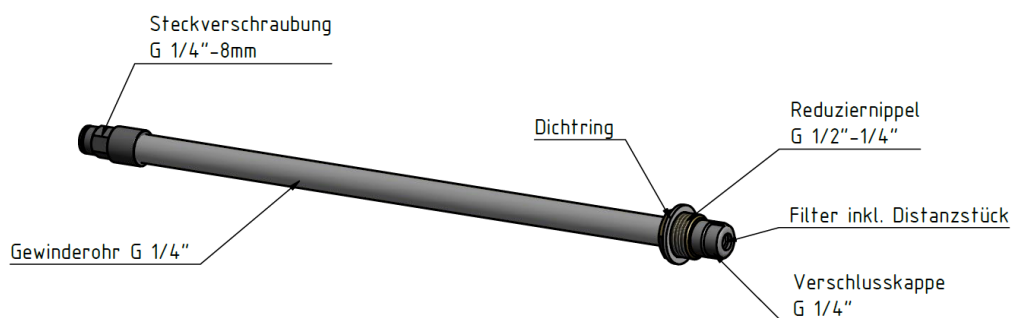
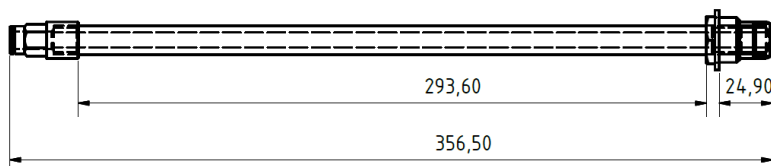


Abbildung 43: Messsonde kurz

Die Stückliste für die beiden Sonden (23 Messsonden lang, 23 Messsonden kurz) ist in Tabelle 5 aufgeführt.

Anzahl	Bezeichnung	Sonstige Informationen
Leuchtenbau24		
18 lfm	Gewinderohr G1/4"	durchgängiges Gewinde
Riegler Drucklufttechnik		
43 Stk	Gerade Steckverschraubung G1/4" - 8mm	Arbeitsdruck max. 15 bar, Messing vernickelt
43 Stk	Reduziernippel, G1/2" - G1/4"	SW 22, Messing
43 Stk	Verschlusskappe rund G1/4"	Arbeitsdruck max. 20 bar, Edelstahl
43 Stk	Dichtring für G1/2"	Dichtring aus Kupfer
IBS		
1 m ²	Drahtgewebe Edelstahl	Maschenweite 0,042 mm
Baumarkt		
1 lfm	Kupferrohr	Ø10x1mm
1 Stk	Loctite SI 5399	Einsatztemperaturbereich: +300 °C

Tabelle 5: Stückliste Messsonden

In den folgenden Abbildungen sind die Messsonden nach der Fertigung abgebildet.



Abbildung 44: Messsonden



Abbildung 45: Messsonde mit Blick auf den Filter

5.3.2. Drucksensoren

Die Drucksensoren der Firma Kalinsky messen Differenz-, Über- und Unterdruck oder Volumenstrom in Luft und nicht aggressiven Gasen. Die verwendete Baureihe DS2-420 gibt den Messwert als 4-20 mA - Signal aus. Die Versorgungsspannung beträgt 15-30 VDC. [14] Für den pneumatischen Anschluss wurde ein flexibler Polyurethan-Schlauch mit einem Innendurchmesser von 6 mm verwendet. Abbildung 46 zeigt ein Foto und die Abmessungen des Drucksensors.

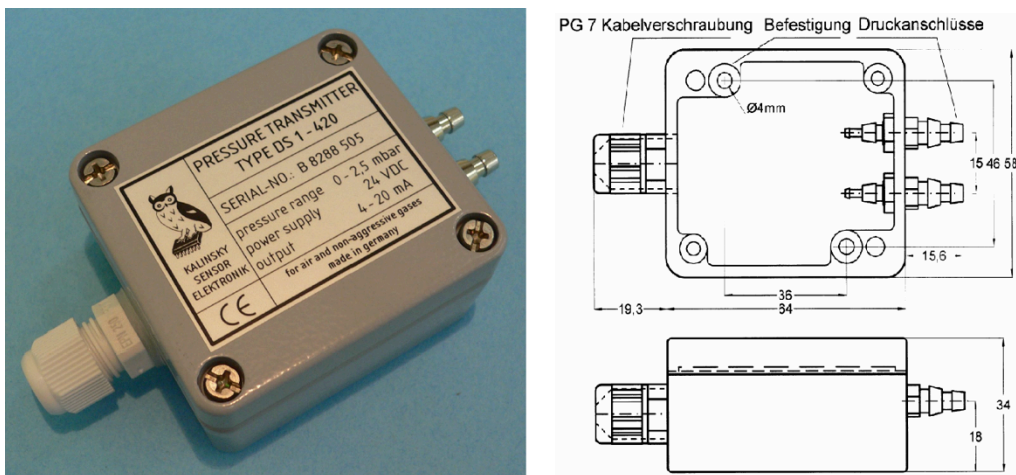


Abbildung 46: Drucksensor (links), Abmessungen (rechts) [14]

In Tabelle 6 sind die Sensornummern der Drucksensoren mit ihrer zugehörigen Position und dem Druckbereich in mbar aufgelistet. Die Auflistung korreliert mit Abbildung 14, bei der die Messstellen am Wärmetauscher markiert sind.

Sensor- nummer	Pos. A	Pos. B	Ausgang	Druckbereich [mbar]	Sensor- nummer	Pos. A	Pos. B	Ausgang	Druckbereich [mbar]
p101	X102		4..20 mA	0..500	p311	X389	X208	4..20 mA	0..25
p102	X104	(X114)	4..20 mA	0..500	p312	X390		4..20 mA	0..100
p103	X105		4..20 mA	0..500	p313	X3AA		4..20 mA	0..250
p104	X113		4..20 mA	0..25	p314	X3MA		4..20 mA	0..250
p105	X114		4..20 mA	0..25	p315	X3SA		4..20 mA	0..250
p106	X111		4..20 mA	0..25	p316	X313	X304	4..20 mA	0..250
p201	X202		4..20 mA	0..500	p317	X326	X304	4..20 mA	0..250
p202	X204	(X214)	4..20 mA	0..500	p318	X335	X304	4..20 mA	0..250
p203	X205		4..20 mA	0..500	p319	X338	X304	4..20 mA	0..250
p204	X213		4..20 mA	0..25	p320	X339	X310	4..20 mA	0..250
p205	X214		4..20 mA	0..25	p321	X342	X310	4..20 mA	0..250
p206	X211		4..20 mA	0..25	p322	X351	X310	4..20 mA	0..250
p501	X501	X502	4..20 mA	-5..+5	p323	X364	X310	4..20 mA	0..250
p502	X505	X506	4..20 mA	-5..+5	p324	X3DA	X3DB	4..20 mA	0..10
p303	X365		4..20 mA	0..100	p325	X3DC	X3DD	4..20 mA	0..10
p304	X366	X108	4..20 mA	0..25	p326	X3DE	X3DF	4..20 mA	0..10
p305	X371	X108	4..20 mA	0..25	p327	X3DG	X3DH	4..20 mA	0..10
p306	X372	X110	4..20 mA	0..25	p328	X3DI	X3DJ	4..20 mA	0..10
p307	X377	X110	4..20 mA	0..25	p330	X3GA	X3GB	4..20 mA	0..10
p308	X378	X210	4..20 mA	0..25	p331	X3GG	X3GH	4..20 mA	0..10
p309	X383	X210	4..20 mA	0..25	p332	X3GK	X3GJ	4..20 mA	0..10
p310	X384	X208	4..20 mA	0..25					

Tabelle 6: Positionsnummern und Druckbereich der Drucksensoren

Eine Zusammenfassung der verwendeten Drucksensoren nach Ihrem Druckbereich ergibt folgende Aufstellung:

Anzahl	Druckbereich
6 Stk	0...500 mbar
11 Stk	0...250 mbar
2 Stk	0...100 mbar
14 Stk	0...50 mbar
8 Stk	0...10 mbar
2 Stk	-5...+5 mbar

Tabelle 7: Zusammenfassung der Drucksensoren

Die Drucksensoren, deren Messstellen sich am und in unmittelbarer Umgebung des Wärmetauschers befinden, wurden in Schaltschränke verbaut. Damit kein Sand in die Sensoren gelangt, werden die Messsonden mit Spülluft versorgt. Vor den

Messsonden wird mittels eines Schwebekörper-Durchflussmessers der Volumenstrom der Luft geregelt. Der Durchflussmesser von omega hat einen Einstellbereich von 1 bis 10 l/min Volumenstrom.

Der Aufbau der Drucksensoren (33 Stk) und Durchflussmesser (33 Stk) erfolgte in einem Schaltschrank. Da erst bei der Verschlauchung der Sensoren festgestellt wurde, dass zu wenig Platz für einen ordentlichen pneumatischen und elektrischen Anschluss vorhanden ist, wurde auf einen zusätzlichen, zweiten Schaltschrank ausgewichen. Ein Schaltschrank mit fertiger Verkabelung und Verschlauchung ist in Abbildung 47 zu sehen.

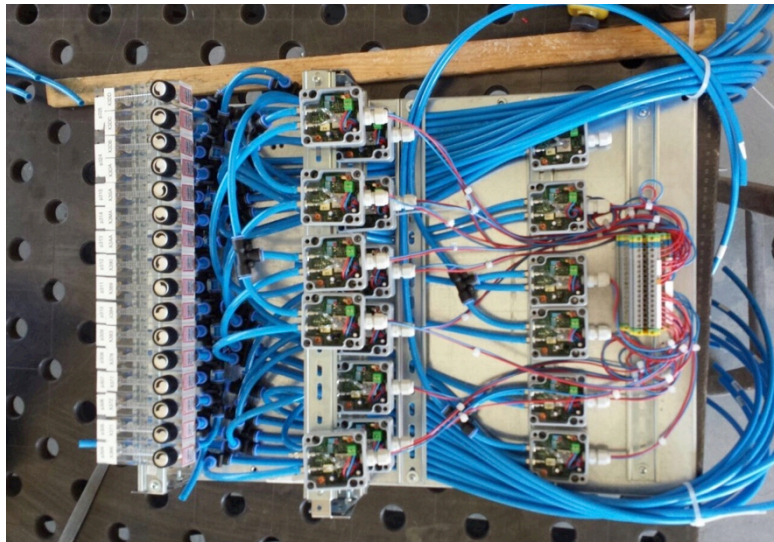


Abbildung 47: Schaltschrank mit Rotametern und Drucksensoren

5.3.3. Temperatursensoren

Die Pt100 - Sensoren wurden nach verschiedenen Gesichtspunkten ausgewählt. Bei direktem Kontakt mit Sand oder Öl wurde ein Kabelsensor, der in eine eingeschraubte Tauchhülse eingesetzt wird, verwendet. Die Hülse mit einer Einbaulänge von 50 mm dient als Schutz gegen Beschädigung des Sensors. In Abbildung 48 ist der Kabelsensor und die Tauchhülse mit den Abmessungen dargestellt.

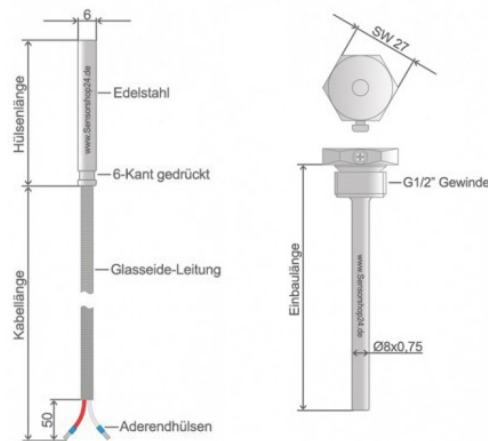


Abbildung 48: Kabelsensor (links) und Tauchhülse (rechts) [15]

Für Anwendungen, wo der Sensor nur mit Luft in Berührung kommt, wurde ein normaler Einschraubsensor (G1/2“) mit einer Einbaulänge von 50 mm verwendet. Bei den Kompensatoren wurden Oberflächenfühler, die mittels Schrauben oder Kleben befestigt werden können, ausgewählt. Bei der Luftverrohrung kommt ein Rohranlegefühler zum Einsatz, der mittels Spannband befestigt wird. Abbildung 49 zeigt die drei verschiedenen Typen von Temperaturfühlern.

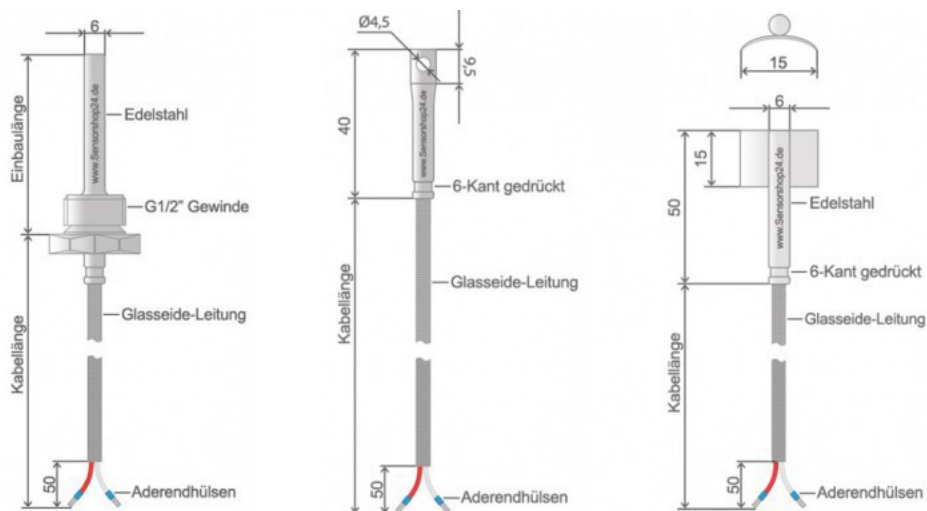


Abbildung 49: Einschraubsensor (links), Oberflächensensor (mittig), Rohranlegefühler (rechts) [15]

Alle Temperaturfühler haben einen Einsatzbereich von -50 bis 400 °C und sind schaltungstechnisch als 4-Leiter ausgeführt. In Tabelle 8 ist eine Übersicht mit Kennwerten und Abmessungen der Temperatursensoren zu finden.

Sensor-nr.	Pos. A	Messgr.	Lieferant	Bezeichnung	Prinzip	Ausgang	Anschluss	Einbaulänge	Inkl. Tauchhülse	Zweck
T101	X106	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Mischtemperatur
T102	X107	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Luftkissen
T103	X109	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Luftkissen
T201	X206	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Mischtemperatur
T202	X207	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Luftkissen
T203	X209	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Luftkissen
T001	X002	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Saugzug
T501	X503	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Auslass-Kompensator
T502	X510	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Verteiler-Kompensator
T508	X522	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Turm-Kompensator
T509	X507	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Auslass-Kompensator
T510	X523	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Verteiler-Kompensator
T516	X535	T	sensorshop24	Oberflächensensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Turm-Kompensator
T301	X303	T	sensorshop24	Rohranlegefühler	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Windbox
T302	X309	T	sensorshop24	Rohranlegefühler	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG			Windbox
T303	X3AD	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Sand-Ein-/Auslass
T304	X3MD	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Sand-Ein-/Auslass
T305	X3NE	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stationarität
T306	X3SE	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stationarität
T307	X3XE	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stationarität
T308	X3Y1	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stahltemperatur
T309	X3Y2	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stahltemperatur
T310	X3Y3	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stahltemperatur
T311	X3Y4	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Stahltemperatur
T312	X3Y5	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Stahltemperatur
T313	X3Y6	T	sensorshop24	Einschraubsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm		Stahltemperatur
T401	X401	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Vor-/Rücklauf
T402	X402	T	sensorshop24	Kabelsensor	Pt100	4..20 mA	4L, 10 m, G1/2" IG	50mm	x	Vor-/Rücklauf



Tabelle 8: Sensorliste

5.4. Überdrucksicherung beim Rekuperator

Um mechanische Beschädigungen der Platten zu vermeiden, darf der Überdruck im Rekuperator 300 mbar nicht übersteigen. Weil es kostengünstig ist und einfach zu fertigen, wurde eine Überdrucksicherung mittels einer Gegendruckwassersäule verwendet. In Abbildung 50 ist ein Schema für die Überdrucksicherung vom Rekuperator abgebildet. Es muss unterschieden werden zwischen der Füllmenge zum Erreichen der nötigen Wassersäule und der Füllmenge die dazu nötig ist, dass die Luft nicht an der unteren Umlenkung durch das Wasser entweicht. In der Skizze sieht man, dass die ganze Umlenkung mit Flüssigkeit bis zum untersten Ende des Plexiglas-Steigrohres gefüllt sein muss. Erst wenn diese Füllhöhe erreicht ist, muss dann zusätzlich der eine Liter Flüssigkeit zugefüllt werden, um 300 mbar Gegendruck zu erreichen. Zwei dieser Gegendruckwassersäulen werden benötigt, d.h. eine pro Rekuperator.

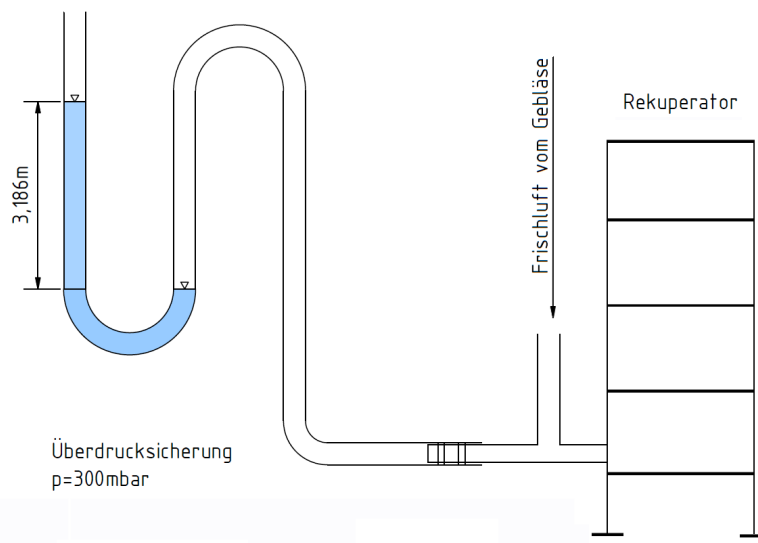


Abbildung 50: Überdrucksicherung beim Rekuperator

Der hydrostatische Druck errechnet sich nach dem Pascal'schen Gesetz nach folgender Formel:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (9)$$

Formel 9: Hydrostatischer Druck

Es wird eine Wasser/Glykol-Mischung mit einer Dichte von 960 kg/m^3 und ein Acrylrohr mit einem Innendurchmesser von 20 mm verwendet. Das benötigte Volumen ergibt sich durch folgende Rechnung:

Dichte $\rho = 960 \text{ kg/m}^3$

Geforderter Überdruck $\Delta p = 300 \text{ mbar}$

Rohrinnendurchmesser $d_{in} = 20 \text{ mm}$

$$\Delta h = \frac{\Delta p}{\rho \cdot g} = \frac{300 \cdot 10^2 \text{ Pa}}{960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$
$$\Delta h = 3,1855 \text{ m}$$

Die Höhendifferenz Δh ergibt sich nach Umformung von Formel 9 und beträgt bei den vorgegebenen Werten $3,1855 \text{ m}$.

$$A = \frac{d_{in}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0,020 \text{ m}^2 \cdot \pi}{4}$$
$$A = 0,00031416 \text{ m}^2$$

Der Querschnitt A ist abhängig vom Rohrinnendurchmesser d_{in} und beläuft sich auf $0,00031416 \text{ m}^2$.

$$V = \Delta h \cdot A = 3,1855 \text{ m} \cdot 0,00031416 \text{ m}^2$$

$$\mathbf{V = 1000,762186 \text{ ml}}$$

Das benötigte Volumen ist das Produkt aus der Höhendifferenz Δh und dem Querschnitt A und beträgt ca. 1 Liter .

5.5. Ventilstellungen

5.5.1. Luftverrohrung

In Tabelle 9 ist der Ventilstellungsplan für die Luftverrohrung dargestellt. In Abbildung 29 im Kapitel 3.4 ist das R&I-Schema der Luftverrohrung dargestellt, welches als Basis für diese Tabelle dient. Es stehen je nach Ventilstellung unterschiedliche Betriebsmodi zur Verfügung. Die Luft kann über Strang 1, Strang 2 bzw. beide Stränge parallel geführt werden. Zusätzlich kann der Rekuperator über einen Bypass umgangen werden. Bei den Ventilen steht die Bezeichnung „OPEN“ für ein geöffnetes Ventil, „CLOSE“ für geschlossen und bei „-“ ist die Ventilstellung ohne Belang aufgrund vorhergehender Absperrungen.

Betriebsmodus	Ventile																									
	(0=beide; 1=über Strang 1; 2=über Strang 2)	Windbox	Mischbox	Rekuperator	Bypass	A001	A002	A003	A004	A105	A106	A107	A108	A109	A112	A113	A114	A115	A116	A205	A206	A207	A208	A209	A212	
Anlage																										
sandTES		0	0	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		0	0	1	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		0	2	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	0	0	nein	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	1	0	nein	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	2	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	0	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	1	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	2	0	nein	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		0	0	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		0	1	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		0	2	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	0	0	ja	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	1	0	ja	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		1	2	0	ja	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	0	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	1	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
sandTES		2	2	0	ja	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
Regenerator		1	1	1	nein	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE
Regenerator		1	1	1	ja	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE	CLOSE

Tabelle 9: Betriebsmodi - Luftverschaltung

5.5.2. Rückkühlkreislauf

Beim Kühlkreislauf (Abbildung 51) stehen zwei Rückkühler sowie zwei Thermoölkühler mit 200 kW bzw. 5 kW Leistung zur Verfügung. Die beiden Pumpen, welche die Glykol-Wasser Mischung im Kreislauf befördern, besitzen jeweils ein Fördervolumen von 110 m³/h. Die verschiedenen Betriebsmodi umfassen entweder die Hallenlast alleine, die Thermoölanlage alleine oder beide zusammen in Betrieb. Je nach Ventilstellung werden unterschiedliche Anlagenkomponenten angefahren. Dies kann eine Pumpe und einen Rückkühler betreffen, aber auch alle Komponenten parallel. „0“ steht hier für keinen Betrieb und „1“ für Betrieb. Wie auch bei der Luftverschaltung steht die Bezeichnung „OPEN“ für ein geöffnetes Ventil, „CLOSE“ für geschlossen und bei „-“ ist die Ventilstellung ohne Belang aufgrund vorhergehender Absperrungen. Die gesamten Ventilstellungen finden sich in Tabelle 10.

Prozessschaltbild Rückkühlanlagen

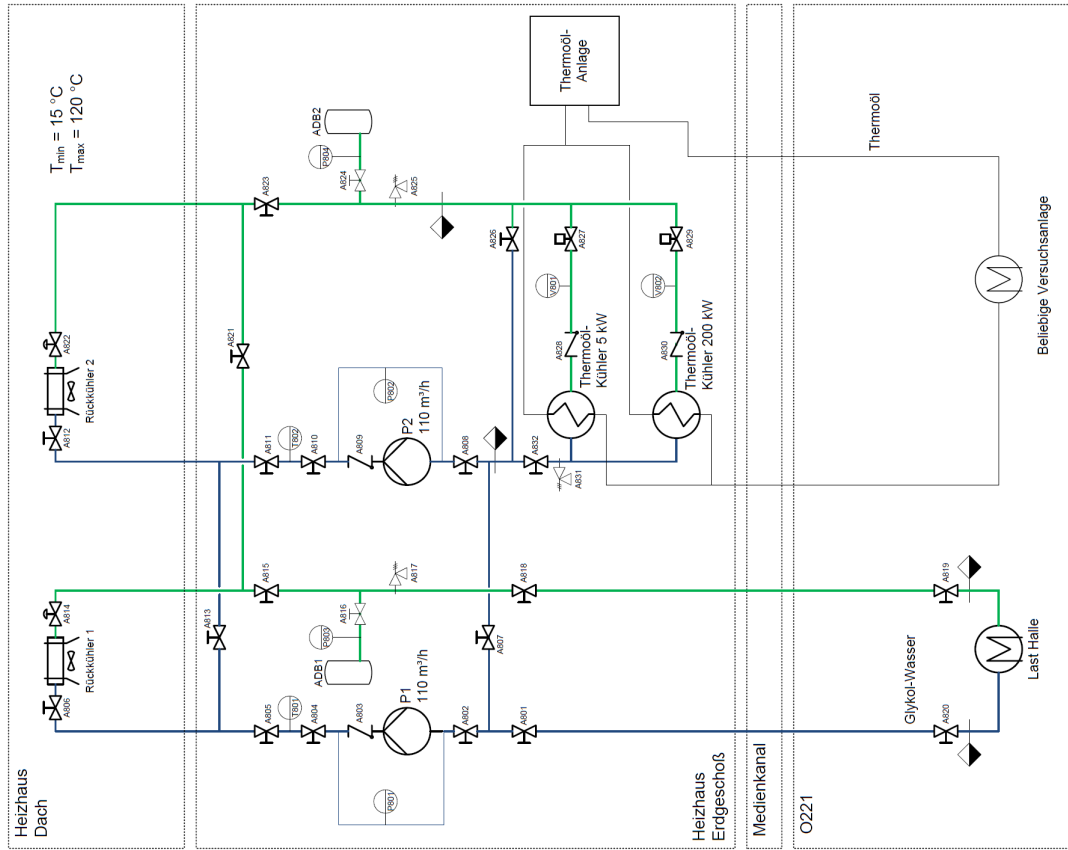
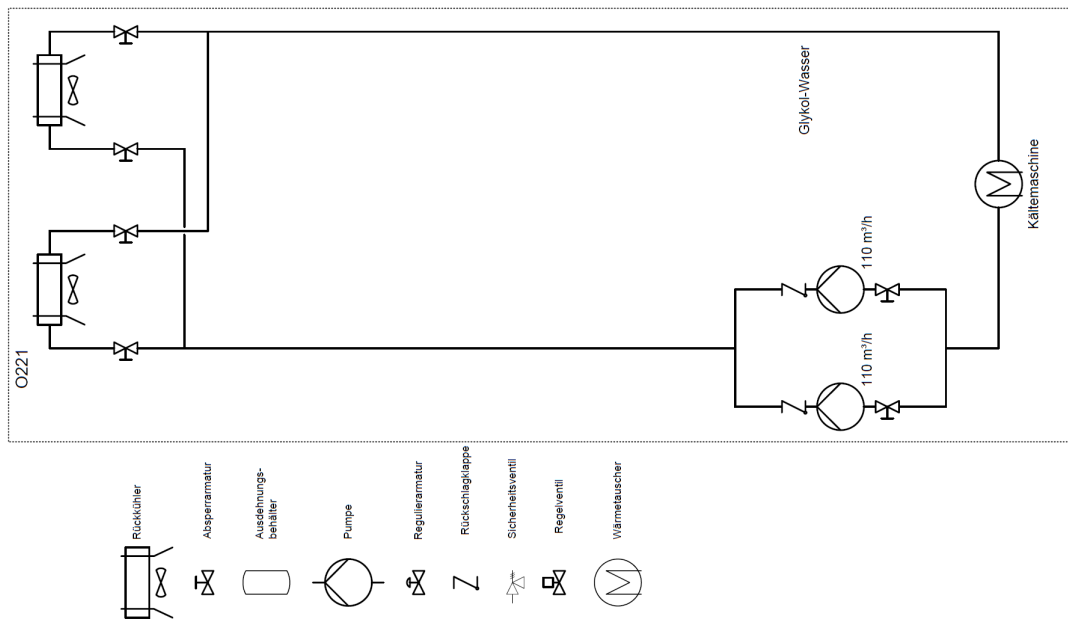


Abbildung 51: R&I-Fließschema des Kühlkreislaufes

Betriebsmodus	Betrieb 1=ja; 0=nein										Ventile																	
	Rückkühler 1	Rückkühler 2	Pumpe 1	Pumpe 2	A801	A802	A804	A805	A806	A807	A808	A810	A811	A812	A813	A814	A815	A816	A818	A819	A820	A821	A822	A823	A824	A826	A832	
Hallenlast alleine	1	0	1	0	0	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	-	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	-	-	-
Hallenlast alleine	1	0	0	1	0	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	-	-	-
Hallenlast alleine	0	1	1	0	0	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	-	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Hallenlast alleine	0	1	0	1	0	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Hallenlast alleine	1	1	1	0	0	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Hallenlast alleine	1	1	1	1	1	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Thermoanlage alleine	1	0	1	0	0	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Thermoanlage alleine	1	0	0	1	0	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	-	-	-	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Thermoanlage alleine	0	1	1	0	1	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Thermoanlage alleine	1	1	1	0	0	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
Thermoanlage alleine	1	1	0	1	0	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
TÖA und Hallenlast parallel getrennter Kühlkreislauf	1	1	1	0	1	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	CLOSE	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN
TÖA und Hallenlast parallel verbundener Kühlkreislauf	1	1	1	1	1	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN	OPEN

Tabelle 10: Ventilstellungen bei der Rückkühlung

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurden an einem großen Projekt Beiträge zum finalen Aufbau und der Inbetriebnahme einer Versuchsanlage zur Wärmespeicherung im Hochtemperaturbereich geleistet. Das Hauptaugenmerk lag vor allem an der Fertigung und Montage von Komponenten wie der Ölverrohrung oder den Messsonden, aber auch auf der Mess- und Leittechnik. Das ursprüngliche Ziel waren erste Versuche im kalten Betrieb durchzuführen und Messkurven aufzunehmen. Aufgrund von Zeitverzögerungen durch verspätete Liefertermine bzw. Fertigungsverzug bei der Ölverrohrung, konnte mit der Inbetriebnahme erst wenige Wochen nach Abgabe der Diplomarbeit begonnen werden.

Kapitel 2 schafft einen groben Überblick über die thermodynamischen Grundlagen, den Arten der thermischen Wärmespeicherung und der Wirbelschichttechnik. Die technische Beschreibung der Anlage mit allen notwendigen Komponenten findet man in Kapitel 3. Hier wird die Funktion des Wärmetauschers, der Thermoölanlage, des gesamten Förderstrangs, der Luftverrohrung und von sonstigen Anlagenkomponenten näher beleuchtet. Kapitel 4 zeigt anhand der Druckgeräteverordnung die rechtlichen Rahmenbedingungen bei diesem Projekt auf. Dabei wird unter anderem auf die Einstufung und technischen Anforderungen von Druckgeräten sowie auf die Abnahme von den betroffenen Baugruppen eingegangen. Die durchgeführten Arbeiten werden in Kapitel 5 dokumentiert. Hier wird die Ölverrohrung, das Druckluftnetz, die Sensorik, die Überdrucksicherung beim Rekuperator sowie die Ventilstellungen für die Luftverrohrung bzw. der Rückkühlung beschrieben.

Die Anlage wurde mittlerweile erfolgreich in Betrieb genommen. Beim ersten Versuch wurde eine ganze Silofüllung Sand durch den Wärmetauscher gefördert und mit der Aufzeichnung erster Messkurven begonnen. Die Abbildungen auf den folgenden Seiten zeigen die ersten Aufzeichnungen des Massenstroms, des Bettdrucks, der Betthöhendifferenzen und der Düsendruckverluste.

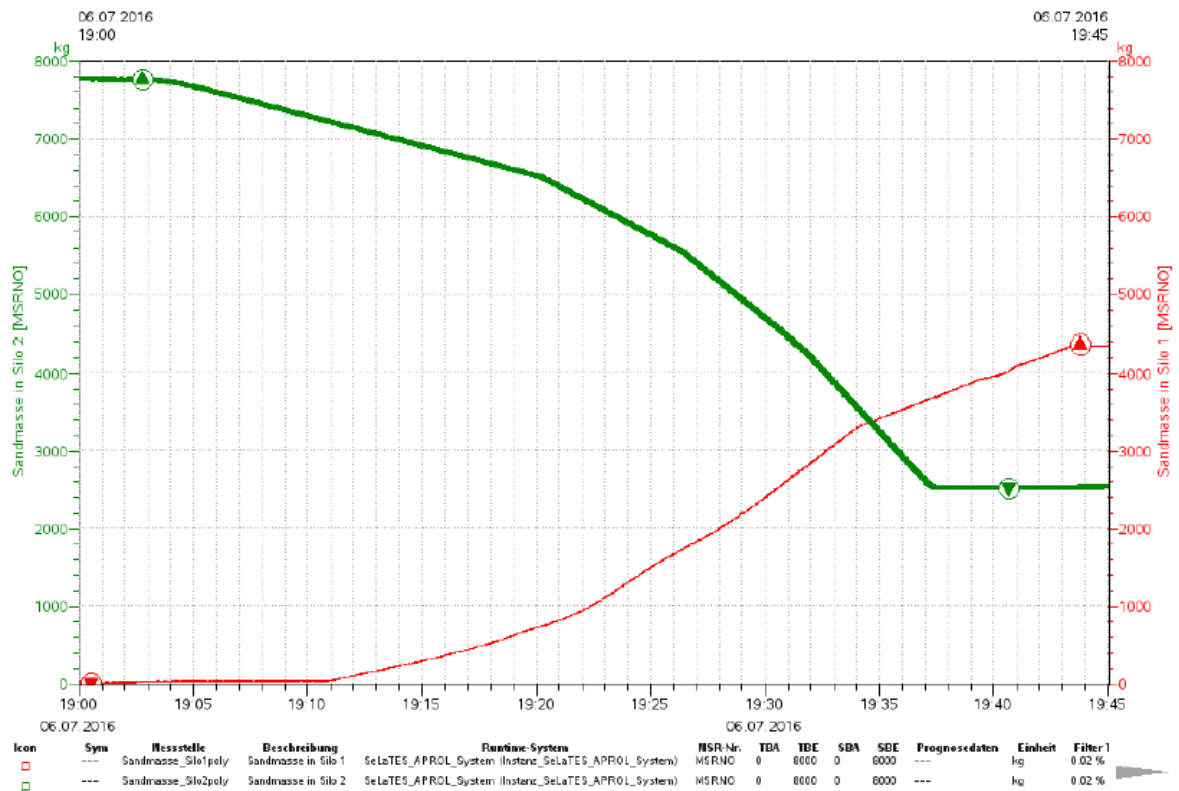


Abbildung 52: Massenstrom

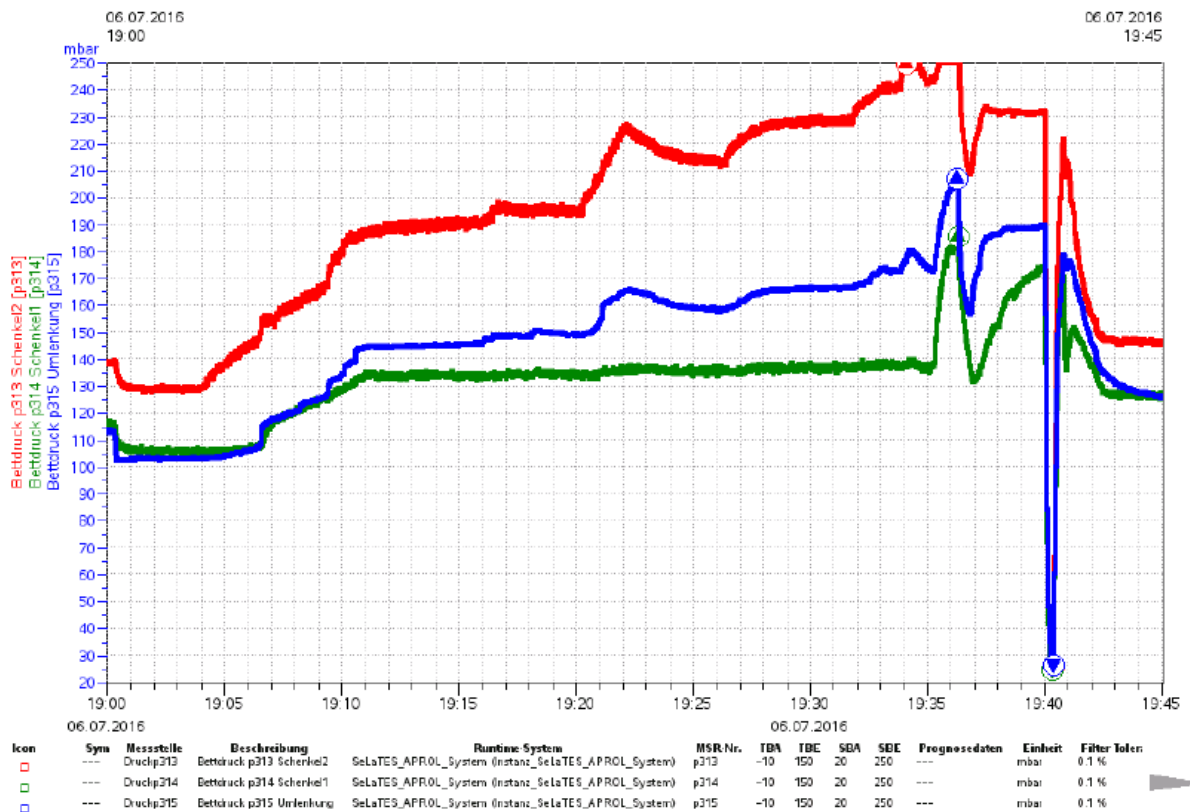


Abbildung 53: Bettdruck

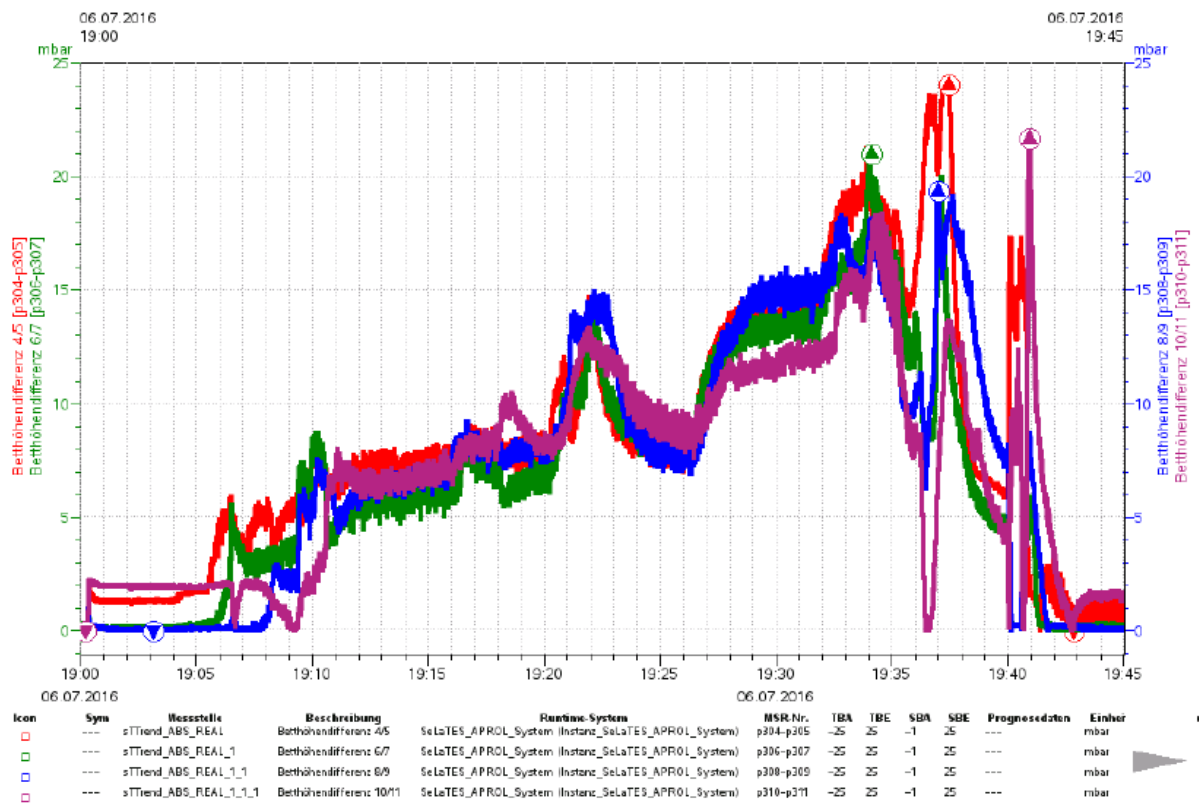


Abbildung 54: Betthöhendifferenzen

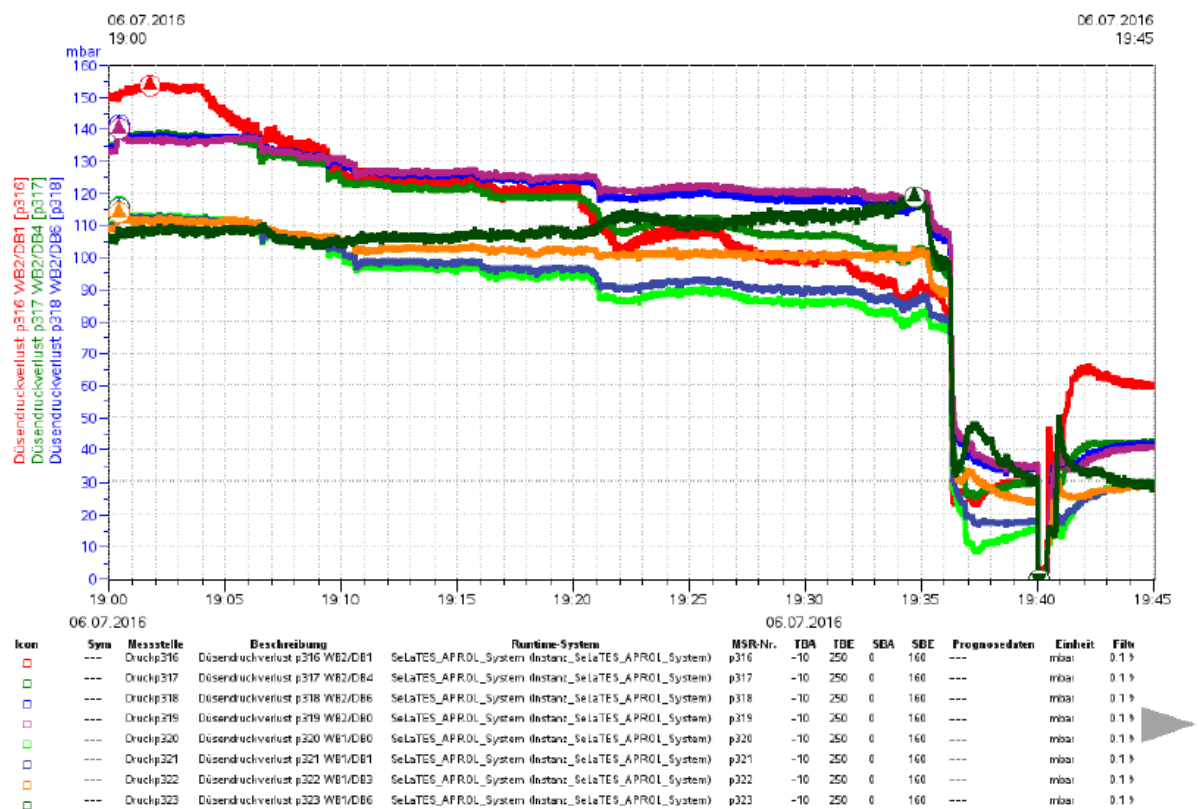


Abbildung 55: Düsendruckverluste

Literaturverzeichnis

- [1] Sterner M., Stadler I., *Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration*, 1. Auflage, Berlin Heidelberg New York: Springer Vieweg, 2014.
- [2] Verein Deutscher Ingenieure, *VDI-Wärmeatlas*, 11. Auflage, Berlin-Heidelberg, Deutschland: Springer Vieweg, 2013.
- [3] Hofbauer H., *Unterlagen zur Vorlesung Wirbelschichttechnik*, 4. Auflage, Wien, Österreich: Technische Universität Wien.
- [4] Hämmerle M., Schwaiger K., Haider M., *Anwendungsmöglichkeiten der Hochtemperatur Sand-Wärmespeicherung zur Flexibilisierung des Strommarktes*, 2014.
- [5] Schwaiger K., *Development of a novel Particle Reactor/Heat-Exchanger Technology for Thermal Energy Storages*, 2016, Dissertation.
- [6] HTT energy GmbH, *Betriebs-/Montageanleitung*, 2015.
- [7] EMDE Industrie-Technik GmbH, *Handbuch Montage & Inbetriebnahme/Betrieb*, 2015.
- [8] SCHÄFFER Verfahrenstechnik GmbH, *Betriebsanleitung für Flach-/Rundschieber*, 2014.
- [9] BOSCHE GmbH & Co KG, *Datenblatt Wägezelle*, 2016.
- [10] Aerezener Maschinenfabrik GmbH, *Bedienungs- und Aufstellungsanleitung für Drehkolben-Gebläse-Aggregat*, Mai 2012.
- [11] Air Fresh Service Industriefilter GmbH, *Datenblatt*, 2015.

[12] https://www.ris.bka.gv.at/Dokumente/BgblAuth/BGBLA_2016_II_59/BGBLA_2016_II_59.html (Zugriff am 17. Mai 2016)

[13] Gruber S., Müllner S., *Versuche zur Messung von Druck und Viskosität einer Wirbelschicht*, Oktober 30, 2015, Bachelorarbeit.

[14] Kalinsky Sensor Elektronik GmbH & Co. KG, *Datenblatt*, 2016.

[15] <https://www.sensorshop24.de/temperaturfuehler/> (Zugriff am 28. Mai 2016)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht über die verschiedenen thermischen Speichertechnologien [1]	3
Abbildung 2: Vorgänge bei der Energiespeicherung [1]	4
Abbildung 3: Eigenschaften und Anwendungen verschiedener Materialien [1]	6
Abbildung 4: Eigenschaften verschiedener Phasenwechselmaterialien [1]	8
Abbildung 5: Geschlossenes System [1]	9
Abbildung 6: Offenes System [1]	9
Abbildung 7: Wirbelschichtzustände [2]	10
Abbildung 8: Versuchsanlage Standort Arsenal	12
Abbildung 9: CAD-Modell der Gesamtanlage	13
Abbildung 10: Schema der sandTES-Anlage [4]	14
Abbildung 11: Gasverteilerboden [4]	15
Abbildung 12: CAD-Modell des Wärmetauschers [5]	16
Abbildung 13: Detailansicht [5]	17
Abbildung 14: Messstellen am Wärmetauscher	20
Abbildung 15: Screenshot CAE-Manager	22
Abbildung 16: Thermoölanlage	23
Abbildung 17: R&I-Fließschema der Ölleitungen	25
Abbildung 18: Prinzipskizze Elektroerhitzer [6]	26
Abbildung 19: Prinzipskizze Wärmeübertrager [6]	27
Abbildung 20: Inertgasüberlagerung in Wärmeträgerölanlagen ohne Sammelbehälter [6]	28
Abbildung 21: R&I-Fließschema Förderstrang	32
Abbildung 22: Aufbau Becherwerk [7]	34
Abbildung 23: Verteilerweiche [7]	35
Abbildung 24: Aufbau Schneckenförderer [7]	36
Abbildung 25: Drehüberwachung [7]	36
Abbildung 26: Rundschieber mit Druckluftzylinder [8]	37
Abbildung 27: Rundschieber mit Spindel [8]	38
Abbildung 28: Wägezelle [9]	38
Abbildung 29: R&I-Fließschema der Luftverrohrung	40

Abbildung 30: CAD-Modell Rekuperator	41
Abbildung 31: Konformitätsbewertungsdiagramm – Ausdehnungsbehälter	45
Abbildung 32: Konformitätsbewertungsdiagramm - sandTES	46
Abbildung 33: Kategorisierung der Gesamtanlage	47
Abbildung 34: Hauptabmessungen.....	52
Abbildung 35: Übersicht Heizhaus.....	53
Abbildung 36: Rohrisometrie sandTES.....	54
Abbildung 37: Konstruktion (links) und Foto (rechts) der Rohraufhängung beim Durchtritt zum Heizhaus.....	55
Abbildung 38: Rohraufhängung mittels Gleitschuh.....	56
Abbildung 39: R&I-Fließschema der Druckluftversorgung und Sensorik am Wärmetauscher.....	57
Abbildung 40: Schema Falschlufteinblasung.....	59
Abbildung 41: Einblasdüse	60
Abbildung 42: Messsonde lang.....	62
Abbildung 43: Messsonde kurz.....	62
Abbildung 44: Messsonden.....	63
Abbildung 45: Messsonde mit Blick auf den Filter	64
Abbildung 46: Drucksensor (links), Abmessungen (rechts) [14]	64
Abbildung 47: Schaltschrank mit Rotametern und Drucksensoren.....	66
Abbildung 48: Kabelsensor (links) und Tauchhülse (rechts) [15].....	67
Abbildung 49: Einschraubsensor (links), Oberflächensensor (mittig), Rohranlegefühler (rechts) [15]	67
Abbildung 50: Überdrucksicherung beim Rekuperator	69
Abbildung 51: R&I-Fließschema des Kühlkreislaufes	74
Abbildung 52: Massenstrom	77
Abbildung 53: Bettdruck.....	77
Abbildung 54: Betthöhendifferenzen.....	78
Abbildung 55: Düsendruckverluste	78

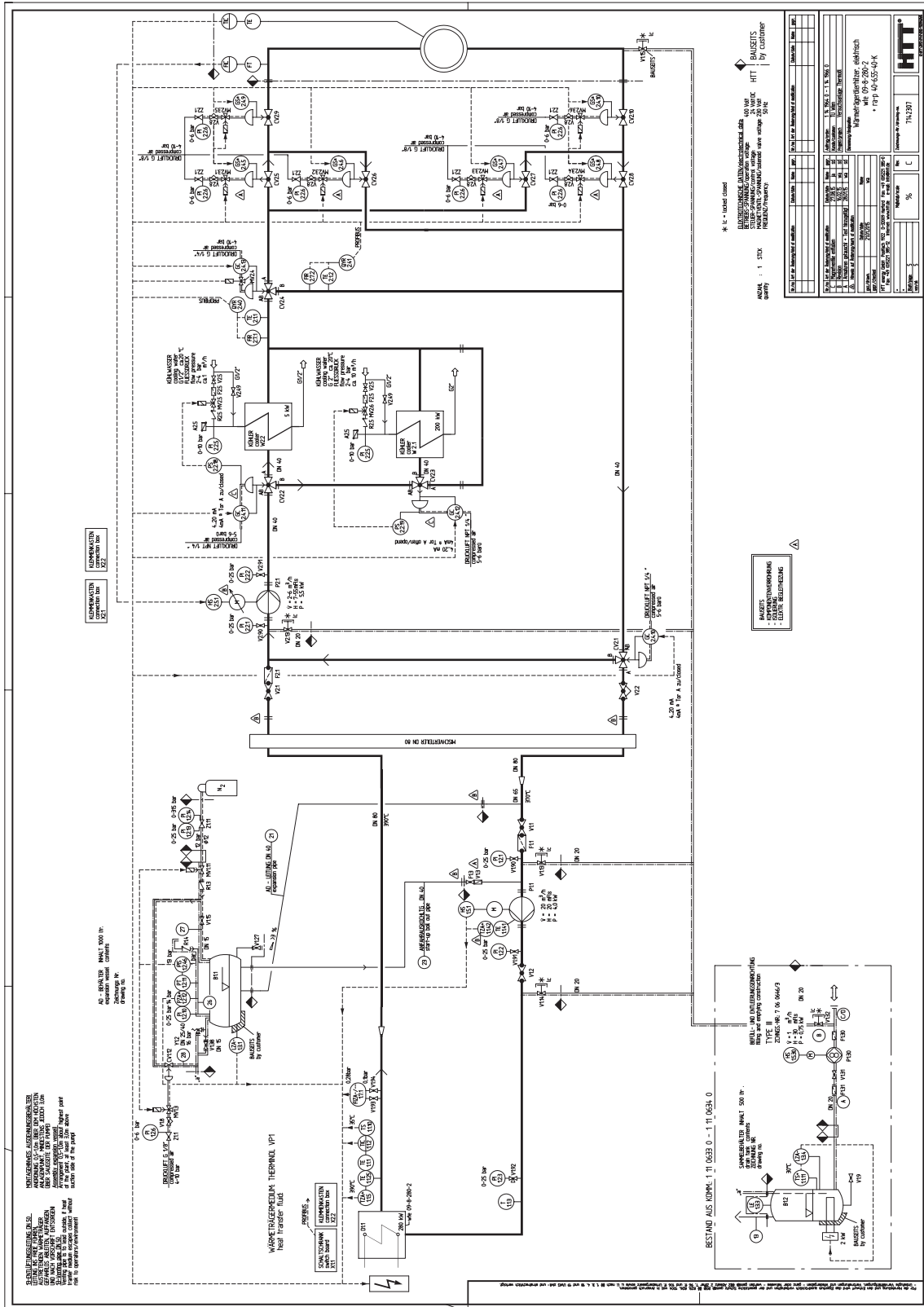
Formelverzeichnis

Formel 1: Exergiegehalt [1].....	4
Formel 2: Stefan-Boltzmann-Gesetz [1].....	5
Formel 3: Wärmestrom [1]	5
Formel 4: Wärmeverlust [1].....	5
Formel 5: Wärmedurchgangskoeffizient [1]	5
Formel 6: Wärmemenge [1]	6
Formel 7: Wärmeverlust [1].....	7
Formel 8: Reaktion bei der thermochemischen Energiespeicherung [1]	9
Formel 9: Hydrostatischer Druck	69

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kennwerte Wärmetauscher [5].....	18
Tabelle 2: Stückliste Ölverrohrung.....	51
Tabelle 3: Stückliste Druckluftnetz.....	58
Tabelle 4: Stückliste Einblasdüse	60
Tabelle 5: Stückliste Messsonden	63
Tabelle 6: Positionsnummern und Druckbereich der Drucksensoren.....	65
Tabelle 7: Zusammenfassung der Drucksensoren	65
Tabelle 8: Sensorliste	68
Tabelle 9: Betriebsmodi - Luftverschaltung.....	72
Tabelle 10: Ventilstellungen bei der Rückkühlung	75

R&I - Thermoölanlage



Datenblatt - Thermoölanlage



Wir machen mehr aus Energie!

1.3 TECHNISCHE DATEN

1.3.1 WÄRMETRÄGERÖLERHITZER 1, ELEKTRISCH BEHEIZT

TYP	:	wte 09-8-280-2	
ALLGEMEINE DATEN			
Heizleistung	:	280 kW	
Heizmittel	:	Elektroenergie	
Vorlauftemperatur	:	390 °C	
Volumenstrom	:	20 m ³ /h	
Wärmeträgermedium	:	Wärmeträgeröl	
	:	Therminol VP1	
zul. Betriebstemperatur	:	390 °C	
zul. Betriebsüberdruck	:	21 bar	
Ausführung	:	DIN 4754	
Abmessungen u. Gewichte	:	s. Maßzeichnung	
Anzahl	:	1 Stück	
ERHITZERANSCHLUSS			
Vorlauf	:	DN 65	PN 16
Rücklauf	:	DN 65	PN 16
UMWÄLZPUMPE			
Fördermenge	:	20 m ³ /h	
Förderhöhe	:	20 mFIS	
Motorleistung	:	4 kW	
BYPASS			
vorhanden	:	nein	
AUSDEHNUNGSBEHÄLTER			
vorhanden	:	ja	
Inhalt	:	1000 ltr.	
zul. Betriebstemperatur	:	390 °C	
zul. Betriebsüberdruck	:	16 bar	
SAMMELBEHÄLTER			
vorhanden	:	ja	
Inhalt	:	500 ltr.	
zul. Betriebstemperatur	:	390 °C	
zul. Betriebsüberdruck	:	0,5 bar	



Wir machen mehr aus Energie!

BEFÜLLPUMPE

vorhanden	:	ja	
Typ	:	III	
Fördermenge	:	1	m ³ /h
Förderhöhe	:	30	mFIS
Motorleistung	:	0,75	kW

INERTGASÜBERLAGERUNG

vorhanden	:	ja	
-----------	---	----	--

ELEKTROANSCHLUSS

Leistungsspannung	:	400	Volt	
Steuerspannung	:	230	Volt	
Magnetventilspannung	:	230	Volt	DC
Frequenz	:	50	Hz	
Gesamtanschlußleistung, ca.	:	285	kW	
Explosions- Schutzklasse	:	-		

EINSTELLWERTE

Anzahl der Stufen	:	stufenlos	
Heizen	:	stufenlos	
Temperaturregler	:		
TIC1.1.2	:	70 - 390	°C
Vorlauf- Sicherheitstemperatur- begrenzer	:		
TZA+1.1.5	:	390	°C
Thermostat	:		
TS+1.1.10	:	70	°C
Strömungsüberwachung	:		
FIZA-1.7.1	:		
Kaltstartvolumenstrom	:	0,1	bar (Differenzdruck)
Mindestvolumenstrom	:	0,28	bar (Differenzdruck)
Sollvolumenstrom	:	0,36	bar (Differenzdruck)
Inertgasdruckschalter	:		
PS 1.2.9	:		
Inertgas Zuluft	:	1	bar
Inertgas Abluft	:	13	bar
Inertgassicherheitsdruckbegrenzer	:		
PZA+ 1.2.9	:	14	bar
Sicherheitsventil	:		
Y 1.1	:	4	bar
Sicherheitsventil	:		
Y 1.2	:	16	bar



Wir machen mehr aus Energie!

FÜLLMENGEN

Aggregat (Geräteanteil), ca.	:	55 Liter
Ausdehnungsbehälter (Mindestfüllmenge), ca.	:	54 Liter

1.3.2 SEKUNDÄRKREISLAUF 1

TYP	:	RA-P 40-6.55-40-K
------------	---	-------------------

ALLGEMEINE DATEN

Kühlleistung	:	200 / 5 kW
Heizmittel	:	Wärmeträgeröl
Kühlmittel	:	Kühlwasser
Vorlauftemperatur	:	390 °C
Volumenstrom	:	10 m ³ /h
Volumenstrom	:	1 m ³ /h
Wärmeträgermedium	:	Wärmeträgeröl Therminol VP1
zul. Betriebstemperatur	:	390 °C
zul. Betriebsüberdruck	:	21 bar
Ausführung	:	DIN 4754
Abmessungen u. Gewichte	:	s. Maßzeichnung
Anzahl	:	1 Stück

SEKUNDÄRKREISANSCHLUSS

Primärkreis- Vorlauf	:	DN 40	PN 16
Primärkreis- Rücklauf	:	DN 40	PN 16
Sekundärkreis- Vorlauf	:	DN 40	PN 16
Sekundärkreis- Rücklauf	:	DN 40	PN 16

KÜHLMITTELANSCHLUSS

Kühlmedium	:	Kühlwasser	
Eintritt	:	20 °C	
Austritt	:	38 / 27 °C (kurzzeitig >100 °C)	
zul. Betriebsüberdruck	:	21 bar	
Kühlmittel-Durchsatz, ca.	:	10 / 1 m ³ /h	
Fließdruck, ca.	:	2-4 bar	
Eintritt	:	G 2" / 1/2"	PN 10
Austritt	:	G 2" / 1/2"	PN 10



Wir machen mehr aus Energie!

WÄRMEÜBERTRAGER KÜHLEN

vorhanden	:	ja	
rohrseitig			
Medium	:	Kühlwasser	
zul. Betriebstemperatur	:	110 °C	
zul. Betriebsüberdruck	:	10 bar	
mantelseitig			
Medium	:	Wärmeträgeröl	
zul. Betriebstemperatur	:	390 °C	
zul. Betriebsüberdruck	:	21 bar	
Leistung	:	200 / 5 kW	

UMWÄLZPUMPE

Fördermenge	:	2-6 m ³ /h	
Förderhöhe	:	7-55 mFIS	
Motorleistung	:	5,5 kW	

BYPASS

vorhanden	:	ja	
Anordnung	:	extern	

ELEKTROANSCHLUSS

Leistungsspannung	:	400 Volt	
Steuerspannung	:	230 Volt	
Magnetventilspannung	:	230 Volt	DC
Frequenz	:	50 Hz	
Gesamtanschlußleistung, ca.	:	5,5 kW	
Explosions- Schutzklasse	:	-	

EINSTELLWERTE

Anzahl der Stufen			
Kühlen	:	stufenlos	

FÜLLMENGEN

Aggregat (Geräteanteil), ca.	:	60 Liter	
------------------------------	---	----------	--

2 Beschreibung der Maschine

2.1 Technische Daten

2.1.1 Maschinendaten

Becherbreite	:	250 mm
Achsabstand	:	11.000 mm
Förderhöhe	:	10.000 mm
Becherform	:	C250x224-4C-WuS106-5,8L
Becherinhalt	:	5,8 l
Becherabstand	:	448 mm
Gewicht, (ca.)	:	5035 kg

2.1.2 Antrieb

Art	:	Stirnradgetriebemotor mit Rücklauf Sperre
Fabrikat	:	SEW
Typ	:	R97 DRN132M4/RS/TF
Drehrichtung	:	rechts
Leistung	:	7,5 kW
Abtriebsdrehmoment	:	1810 Nm
Antriebsdrehzahl	:	40 U/min
Anschlussspannung	:	400/690 V
Frequenz	:	50 Hz
Internat. efficiency class	:	IE3
Schutzart	:	IP 55
ISO – Klasse	:	ISO F
Motorschutz	:	TF = Temperaturfühler PTC
Bauform	:	M1 KKL180°
Zusatz	:	Kettentrieb

2.2 Werkstoff

Gehäuse	:	1.5415
Schleißbleche	:	1.5415
Packungsringe	:	Graphit 1420
Dichtungen	:	E- Glas 6001
Verbindungsteile	:	A2

2 Beschreibung der Maschine

2.1 Technische Daten

2.1.1 Maschinendaten

Einlauf (LW)	:	350x350 mm
Auslauf (LW)	:	2x 350x350 mm
Bauhöhe	:	650 mm
Gewicht (ca.)	:	128 kg

2.1.2 Pneumatikzylinder

Fabrikat	:	FESTO
Typ	:	DNC-63-200-PPV-A
Luftanschlüsse	:	G 3/8"
P Nenn	:	6 bar
Vorlaufkraft (bei 6 bar)	:	1870 N
Rücklaufkraft (bei 6 bar)	:	1682 N
Luftverbrauch- Vorlauf	:	4,4 l (bei 6 bar)
Luftverbrauch- Rücklauf	:	4,0 l (bei 6 bar)
Gabelkopf	:	SG-M16x1,5

2.1.3 Magnetventil

Fabrikat	:	FESTO
Modell	:	5/2-Wege-Magnetventil
Typ	:	CPE18-M1H-5L-1/4
Nennspannung	:	24 V DC
Luftanschlüsse	:	G 1/4"
Normalnenndurchfluss	:	1500 l/min (bei 6 bar)

2.1.4 Stellungsanzeige

Typ	:	Induktiver Sensor
Hersteller	:	IFM
Modell	:	IG5790
Betriebsspannung	:	10 ... 36 V DC
Schaltabstand	:	5 mm [b= bündig einbaubar]
Schutzart	:	IP 65

2 Beschreibung der Maschine

2.1 Technische Daten

2.1.1 Maschinendaten

Troglänge	:	3600 mm
Schnecken- ø	:	315 mm
Flügelsteigung	:	315/ 320 mm
Einbaulage	:	0°
Gewicht (ca.)	:	710 kg

2.1.2 Antrieb

Art	:	Stirnradgetriebemotor
Fabrikat	:	SEW
Typ	:	R87 DRE100LC4/TF/V
Leistung	:	3,0kW
Abtriebsdrehmoment	:	940 Nm
Antriebsdrehzahl	:	31 U/min
Anschlussspannung	:	400 V
Frequenz	:	50 Hz
Schutzart	:	IP 55
ISO – Klasse	:	ISO F
Motorschutz	:	TF= Temperaturfühler PTC
Internat. efficiency class	:	IE2
Bauform	:	M5 KKL0°
Fremdlüfter	:	Fördermenge Luft 210 m³/h
Kettentrieb	:	1:1
Bemerkung	:	für bauseitigen Umrichter ausgelegt

Daten am Umrichter:

80 Hz =	49 U/min =	29 m³/h
50 Hz =	31 U/min =	18,6 m³/h
5 Hz =	3,1 U/min =	1,9 m³/h

2.1.3 Sensor für Drehüberwachung

Art	:	Induktiver Sensor
Hersteller	:	IFM
Typ	:	IG5790
Betriebsspannung	:	10 ... 36 V DC
Schaltabstand	:	5 mm [b= bündig einbaubar]
Schutzart	:	IP65

► **DRUCK- UND ZUGKRAFT WÄGEZELLE S21S**

S-förmige Wägezelle für Zug- und Druckbelastung

Die S-förmige Lastmesszelle S21S wurde speziell zur Messung von Zug- und Druckkräften konzipiert.

Ein zentrisches Gewinde im oberen und unteren Teil der Wägezelle sorgt für optimale Kräfteinleitung in Zug- oder Druckrichtung. Die S-Kraftaufnehmer sind aus vernickeltem hochlegiertem Werkzeugstahl oder Edelstahl gefertigt und zeichnen sich durch hohe Genauigkeit und Linearität aus.

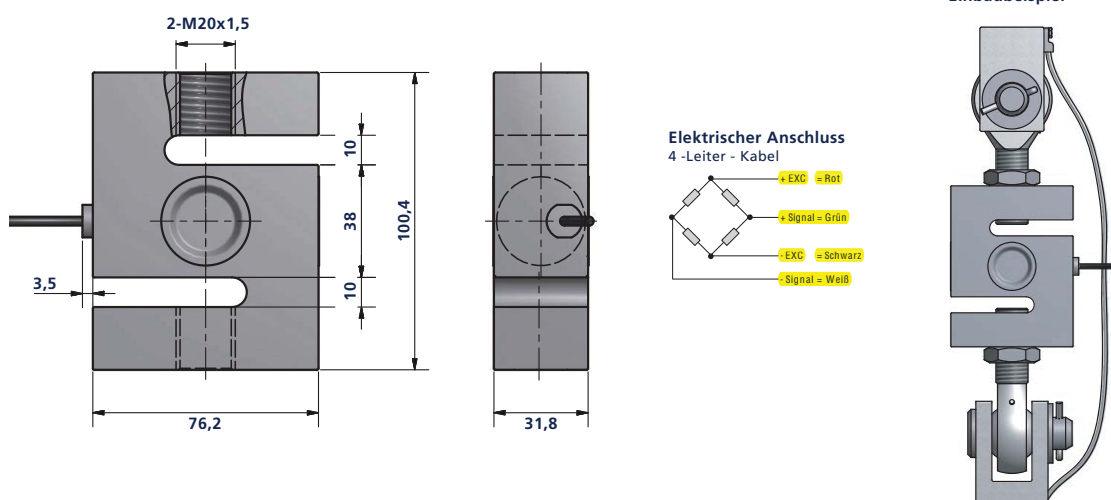
Die Messzellen liefern auch im Langzeiteinsatz in rauer Industrieumgebung äußerst präzise und reproduzierbare Messergebnisse. Die Wägezellen sind laserverschweißt und erfüllen die Anforderungen der Schutzklasse IP68.

Durch einfache Integrationsmöglichkeiten und ein gutes dynamisches Verhalten werden diese Wägezellen oft als Kraftaufnehmer angeboten und in Newton kalibriert.

► **TECHNISCHE DETAILS**

Genauigkeitsklasse nach OIML R60		0,03
Nennlast (E_{max})	kg	2.000, 5.000
Nennkennwert (C_n) / Kennwerttoleranz	mV/V	$2,0 \pm 0,003$
Mindestvorlast (E_{min})		0
Grenzlast (E_L) Bruchlast (E_B)	% von E_{max}	120 150
Empfohlene Speisespannung (U_{ref}) Maximal zulässige Speisespannung (B_U)	V	10-12 15
Nullabgleich	% v. C_n	3 %
Eingangswiderstand (R_{iD}) bei Referenztemperatur Ausgangswiderstand (R_{oD}) bei Referenztemperatur	Ω	400 ± 10 352 ± 2
Isolationswiderstand	M Ω	> 5 000
Nenntemperaturbereich (B_T)	°C	- 10 ... + 40
Schutzart nach (DIN 40.050 / EN 60529)		IP 68
Kabellänge	m	5m, \varnothing 5 mm
Werkstoff		Legierter Stahl vernickelt

► **TECHNISCHE ZEICHNUNGEN**



Alle Angaben in mm | Technische Änderungen vorbehalten

Datenblatt – Gebläse



Seite 1

Angebots-Nr.: SQ-15-000111-1 /
OJ0235-OJ00

Datum: 06.03.2015

Aerzen Austria, Tresdorf

AERZEN Drehkolbengebläse GM 10 S

Delta Blower

Anordnung: **Delta Blower G5**

Leistungsdaten:

Frequenzumrichterbetrieb

Medium		Luft	NORM	MIN	MAX
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /min	11,2	3,5	11,7
Ansaugvolumenstrom	Q ₁	m ³ /h	672	210	700
Volumen im Normzustand bezogen auf T ₁ =273K, p ₁ =1,013 bar, r _F =0%	Q _N	Nm ³ /h	626	196	652
Massenstrom	m	kg/h	810	253	843
Dichte im Ansaugzustand	Rho ₁	kg/m ³	1,204	1,204	1,204
Eintrittsdruck (abs.)	p ₁	bar	1,013	1,013	1,013
Austrittsdruck (abs.)	p ₂	bar	1,513	1,513	1,513
Druckdifferenz	Δp	mbar	500	500	500
Eintrittstemperatur	t ₁	°C	20	20	20
Austrittstemperatur	t ₂	°C	68	82	68
Hauptrotordrehzahl	n _{HR}	min ⁻¹	4638	1888	4800
Kupplungsleistung	P _k	kW	12,9	4,79	13,5
Motordrehzahl	n _M	min ⁻¹	2950	1180	3000
Motorleistung	P _{Mot}	kW	18,5		
Motorfrequenz	f	Hz	50	20	51

Bautoleranzen

für Ansaugvolumenstrom	%	+5 / -5
für Kupplungsleistung	%	+5 / -5

Maschinengeräusch je Aggregat

Schalldruckpegel ohne Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	93
Schalldruckpegel mit Haube ca.	L _p (A)	dB(A)	70

gemessen im Freifeld in 1 m Abstand vom Umriss des Aggregates ohne Abstrahlgeräusche der Rohrleitung. (Toleranz ± 2 dB(A)). Geräuschmessung nach DIN EN ISO 2151. Zur Schallentwicklung am Aufstellort siehe TN01184 (bei Bedarf bitte anfordern).

Anschlussnennweite

Druckseite DN 100, ISO 114,3 mm Ø

Basiszeichnung

ZG-00812 KL-00013

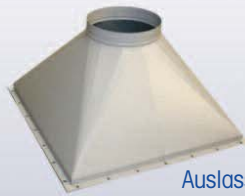
Aerzen Austria, Tresdorf

Motordatenblatt

Typ:	W22
Hersteller	Aerzen
Baugröße:	160 L
Leistung:	18,5 kW
Drehzahl:	2950 min ⁻¹
Spannung:	400 V, ± 10 %
Frequenz:	50 Hz
Schutzart:	IP 55
Bauform:	B3
Isolierstoffklasse:	F
Gewicht:	140 kg
Nennstrom:	33,3 A
Anzugsstrom:	8,4-fache des Nennstroms bei direktem Anlauf
Wirkungsgrad:	93,2 %
Wirkungsgradklasse	IE3
Leistungsfaktor:	0,86
Trägheitsmoment:	0,05554 kgm ²
Wellendurchmesser:	42 mm
Anlauf:	Frequenzumrichter
Motorschutz:	mit 3 eingebauten Thermistoren
Antriebsart:	fliegend über Schmalkeilriemen
Lastmoment:	konstant, über den gesamten Regelbereich

Datenblatt – Saugzug

Zubehör und Optionen



Auslassstutzen



Ansaugstutzen



Steuerungen

Löschsysteme



Schalldämmhaube mit Gitter



Schalldämmhaube mit Aktivkohle

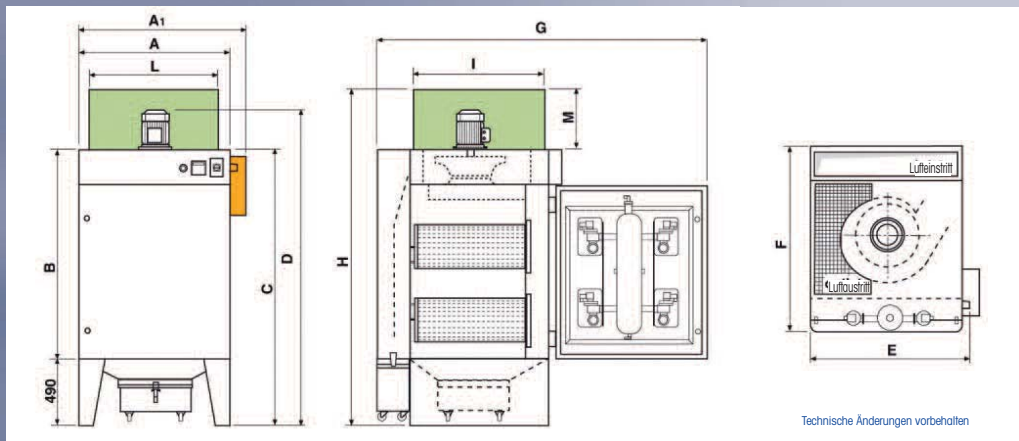


Schalldämmhaube mit HEPA-Filter



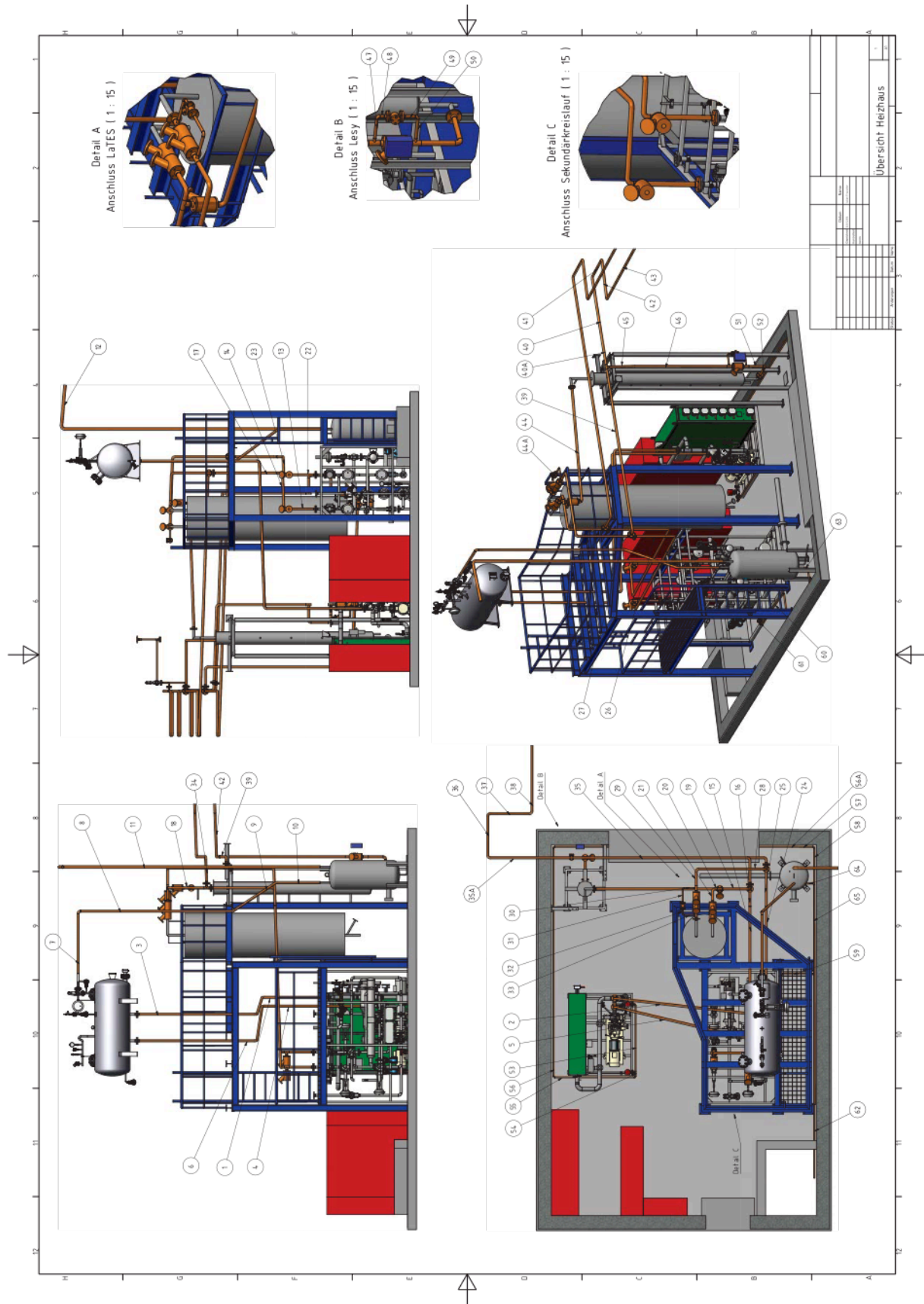
Technische Daten

Produkt	Luftmenge m³/h 2.350 Pa	Filterfläche m²	Patronen- anzahl	Leistung kW	Anschluss- spannung	Lautstärke dB(A)	Gewicht/ kg
Air Jet DF4 I / DF4 R I	2.200	37	4 x IFA/BGIA M*	2,2	400V / 50 Hz	78	380
Air Jet DF4 II / DF4 R II	3.000	48	4 x IFA/BGIA M*	3	400V / 50 Hz	78	385
Air Jet DF6	4.000	72	6 x IFA/BGIA M*	4	400V / 50 Hz	81	470
Air Jet DF9	6.500	108	9 x IFA/BGIA M*	7,5	400V / 50 Hz	81	670
Air Jet DF Max I	8.000	189	9 x IFA/BGIA M*	11	400V / 50 Hz	79	1.450
Air Jet DF Max II	12.000	189	9 x IFA/BGIA M*	15	400V / 50 Hz	79	1.500

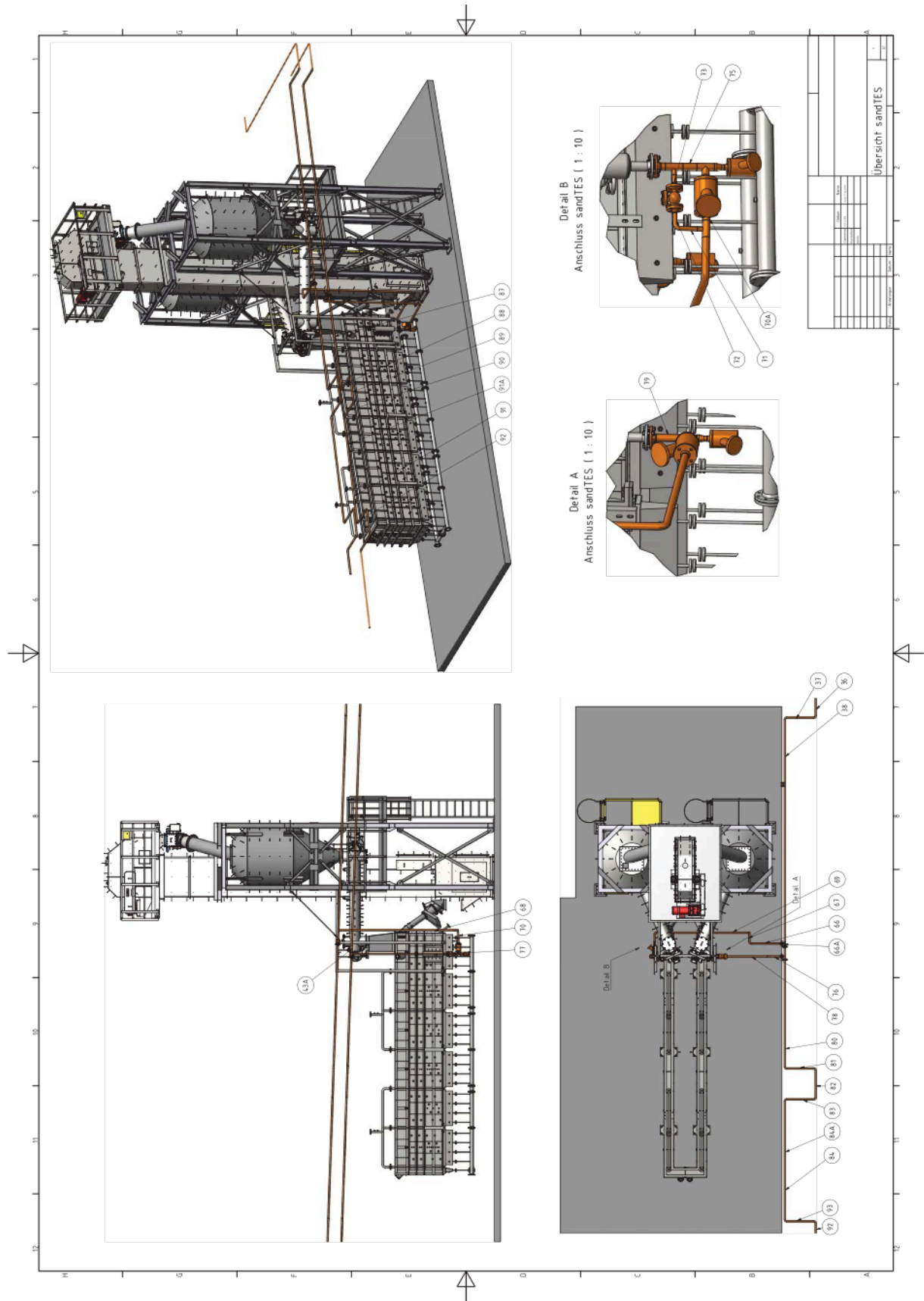


Produkt	A	A1	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M
Air Jet DF4 I / DF4 R I	930		1.210	1.610	1.915	1.015	1.210	2.085	2.043	866	838	433
Air Jet DF4 II / DF4 R II	930		1.210	1.610	1.915	1.015	1.210	2.085	2.043	866	838	433
Air Jet DF6		1.100	1.315	1.805	2.130	1.190	1.210	2.260	2.353	1.038	840	553
Air Jet DF9		1.500	1.495	1.979	2.354		1.293	2.540	2.532	1.293	980	553
Air Jet DF Max I	1.506		1.273	1.756		1.506	1.920	3.100	3.101	1.920	1.506	1.345
Air Jet DF Max II	1.506		1.273	1.756		1.506	1.920	3.100	3.101	1.920	1.506	1.345

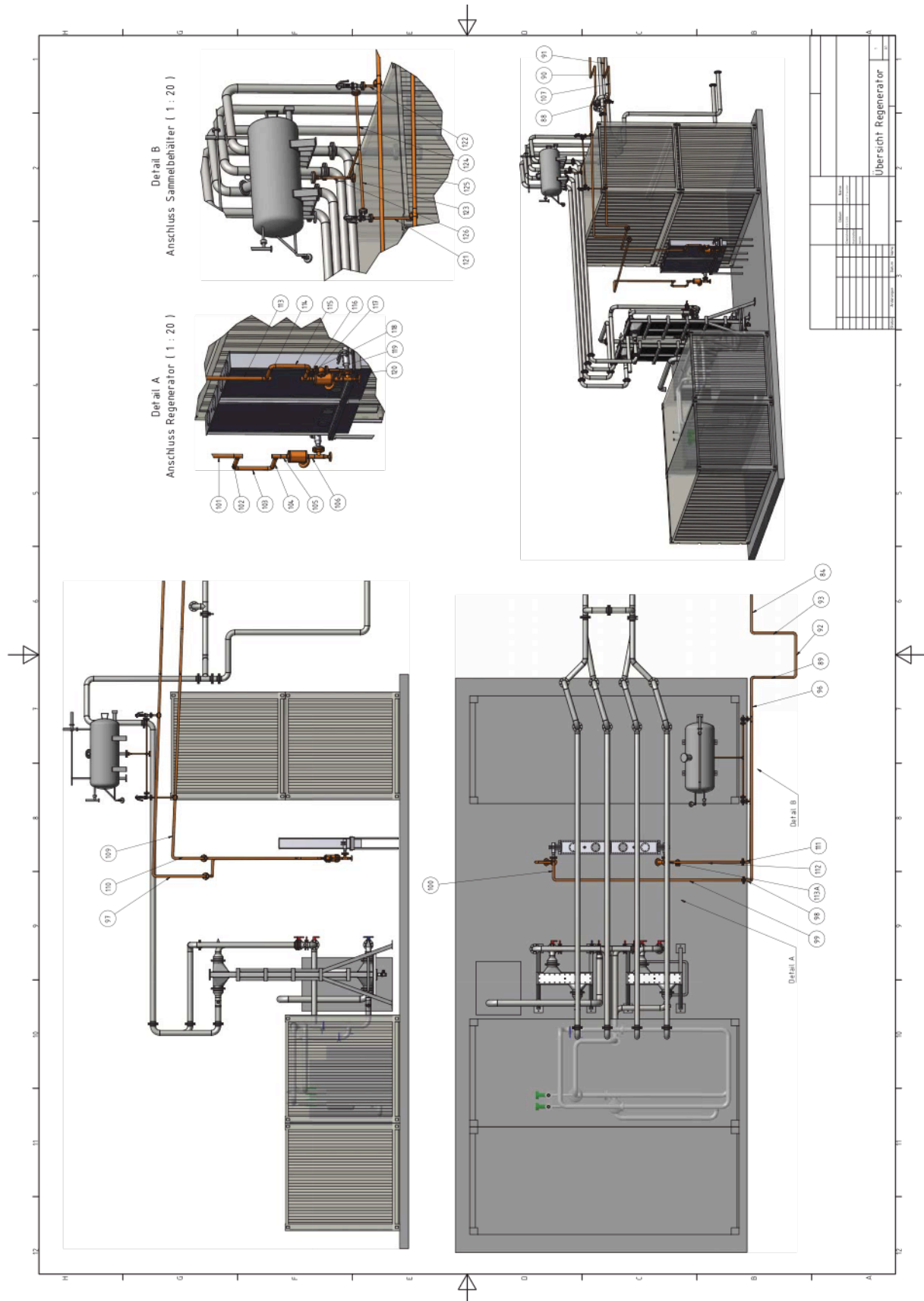
Übersicht - Heizhaus



Übersicht - sandTES



Übersicht - Regenerator



ACRYLIC FLOWMETERS

FL-2000 Series



- ✓ Easy-to-Read English or Metric Scales
- ✓ Water Ranges from 4 CCM to 20 GPM, Air Ranges from 40 CCM to 4000 LPM
- ✓ Threaded Brass Inserts for Quick Installation
- ✓ Easy Disassembly and Assembly for Maintenance
- ✓ Durable One-Piece Clear Acrylic Construction
- ✓ Stable, Easy-to-Read Float
- ✓ Superior Quality

APPLICATIONS

- ✓ Air Sampling Equipment
- ✓ Aquaculture
- ✓ Desalination Equipment
- ✓ Gas Analyzers
- ✓ Medical Systems
- ✓ Photo Processing Equipment
- ✓ Water Treatment and Distribution Systems

The FL-2000 Series offers a wide variety of precision flowmeters for use in medical, industrial, chemical, and laboratory applications at an economical price. Units are available with or without valves.



FL-2013 Air, shown smaller than actual size.



FL-2066-NV Water, shown smaller than actual size.

SPECIFICATIONS

Accuracy:

Models FL-2001–FL-2025: $\pm 5\%$ F.S.

Models FL-2031–FL-2069: $\pm 3\%$ F.S.

Models FL-2071–FL-2128: $\pm 2\%$ F.S.

Float: Black glass stainless steel

Body: Clear acrylic

Seals: Buna "O" Rings with brass or PVC fittings FKM "O"-Rings with stainless steel fittings

Pressure: 100 psig max @ 21°C (70°F)

Temperature: 65°C (150°F) max @ 0 psig

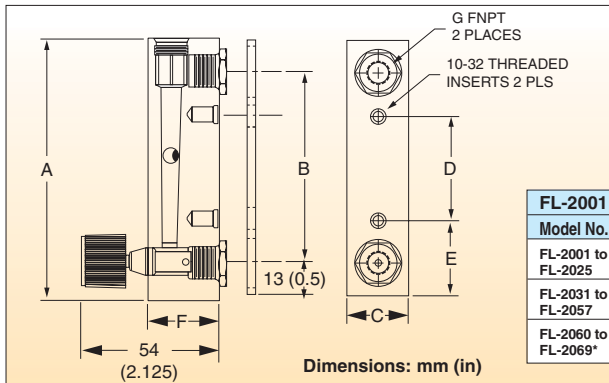
Fittings: Brass std; stainless steel optional except for FL-2071 through FL-2128, which have 1 NPT PVC fittings only

Valves: Models FL-2001 through FL-2069: brass standard; stainless steel cartridge type (optional)

FL-2071 through FL-2128: Optional plastic in-line gate

B-15a

B



FL-2001 through FL-2069 Dimensions mm (inch)							
Model No.	A	B	C	D	E	F	G
FL-2001 to FL-2025	102.0 (4.0)	76.2 (3.0)	25.4 (1)	41.3 (1.6)	30.2 (1.2)	28.6 (1.1)	1/8
FL-2031 to FL-2057	165.0 (6.5)	140.0 (5.5)	34.9 (1.4)	88.9 (3.5)	38.1 (1.5)	28.6 (1.1)	1/8
FL-2060 to FL-2069*	168.0 (6.6)	140.0 (5.5)	28.6 (1.1)	88.9 (3.5)	38.1 (1.5)	34.9 (1.4)	1/4

*All in this range do not include a 1/8" back plate

Accuracy: ±5% Full Scale Panel Mount

To Order	
Model No.	Range SCFH of Air
FL-2001	0.1 to 1.0
FL-2002	0.2 to 2.0
FL-2003	0.4 to 5.0
FL-2004	0.5 to 10.0
FL-2005	2.0 to 20.0
FL-2006	3.0 to 30.0
FL-2007	4.0 to 50.0
FL-2008	10.0 to 100.0
FL-2009	20.0 to 200.0
Range LPM of Air	
FL-2010	0.04 to 0.5
FL-2011	0.1 to 1.0
FL-2012	0.2 to 2.5
FL-2013	0.4 to 5.0
FL-2014	1.0 to 10.0
FL-2015	2.0 to 25.0
FL-2016	4.0 to 50.0
FL-2017	10.0 to 100.0
Range SCCM of Water	
FL-2018	5 to 50
FL-2019	10 to 100
FL-2020	20 to 240
Range GPH of Water	
FL-2021	0.2 to 2.0
FL-2022	0.4 to 5.0
FL-2023	1.0 to 10.0
FL-2024	2.0 to 20.0
FL-2025	4.0 to 40.0

Units come standard with brass valves and operator's manual.
 To order with stainless steel valves, add suffix "-SS" to model number for additional cost.
 To order without a valve, add suffix "-NV" to model number and subtract from cost.
 For optional 10-point NIST certificate add suffix, "-NIST" to the model number, for additional cost and two weeks to the standard lead time.
Ordering Examples: FL-2005, economical rotameter with brass valve, 2 to 20 SCFH air.
 FL-2005-NV, economical rotameter without valve, 2 to 20 SCFH air.



FL-2021-NV, Water, shown larger than actual size.

B-15d

Datenblatt – Drucksensor



Kalinsky Sensor Elektronik GmbH & Co. KG

Drucksensortechnik

Mittelhäuser Strasse 87 D-99089 Erfurt

Telefon: 0361 / 7451311

Fax: 0361 / 7917813

E-Mail: dietrich.kalinsky@t-online.de

Internet: www.drucksensorkik.de

Datenblatt Drucksensor DS2

Beschreibung:

Die Baureihe DS2 wird für Anwendungen mit Druckbereichen zwischen 2,5 mbar und 1 bar angeboten. Die Drucksensoren der Reihe DS2 messen Differenz-, Über- und Unterdruck oder Volumenstrom in Luft und nicht aggressiven Gasen. Die Messwerte werden als 0-10 V oder 4-20 mA-Signal ausgegeben. Piezoresistive Messelemente sichern eine hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit. Das robuste Aluminium-Druckgussgehäuse garantiert eine hohe mechanische Stabilität und gute EMV-Eigenschaften.



Anwendung:

- Ansteuerung von Gebläsen
- Überwachung von Luftfiltern
- Maschinen- und Anlagenbau
- Umwelttechnik
- Niveaüberwachung von Flüssigkeiten
- Überwachung von Luftströmungen

Bestellschlüssel:

- DS2-010 0-10 V-Ausgang
- DS2-420 4-20 mA-Ausgang

Technische Daten für Typ DS 2-010 und DS 2-420 (Differenzdruck):

Druckbereich [mbar]	Druckbereich [kPa]	Überlastbarkeit [mbar]	Linearitätsfehler max. [± % v. EW]	Temperaturfehler max. [± % v. EW] 0-50 °C	Langzeitstabilität [% v. EW /Jahr]	Wiederholgenauigkeit [% v. EW]	Ansprechzeit [ms] ohne Dämpfung
0 - 2.5	0 - 0.25	350	1.0	3.5	2	0.3	50
0 - 5	0 - 0.5	350	1.0	2.5	2	0.3	50
0 - 10	0 - 1	350	1.0	1	0.5	0.2	50
0 - 25	0 - 2.5	350	0.8	1	0.5	0.1	50
0 - 50	0 - 5	350	0.8	1	0.5	0.1	50
0 - 100	0 - 10	350	0.8	1	0.5	0.1	50
0 - 250	0 - 25	4-fach	0.5	1	0.1	0.1	50
0 - 500	0 - 50	4-fach	0.5	1	0.1	0.1	50
0 - 1000	0 - 100	2-fach	0.5	1	0.1	0.1	50

Technische Daten DS 2 mit elektron. Korrektur des Linearitätsfehlers (Differenzdruck):

0 - 100	0 - 10	350	0.2	1	0.1	0.1	50
0 - 250	0 - 25	4-fach	0.2	1	0.1	0.1	50
0 - 500	0 - 50	4-fach	0.2	1	0.1	0.1	50
0 - 1000	0 - 100	2-fach	0.2	1	0.1	0.1	50

Für Sonderbereiche erbitten wir Ihre Anfrage

Rev.01-09



Kalinsky Sensor Elektronik GmbH & Co. KG

Drucksensortechnik

Mittelhäuser Strasse 87 D-99089 Erfurt

Telefon: 0361 / 7451311

Fax: 0361 / 7917813

E-Mail: dietrich.kalinsky@t-online.de

Internet: www.drucksensorik.de

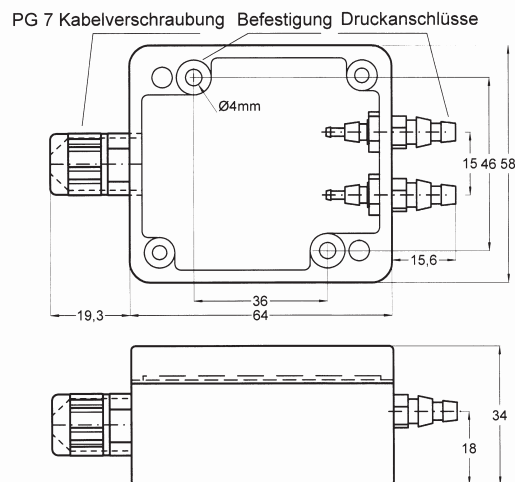
Datenblatt Drucksensor DS2

Betriebstemperaturbereich:	-20 bis +50 °C		
Hysterese:	0.1%		
Medium:	Luft, alle nicht aggressiven Gase		
Ausgangssignale und Versorgungsspannungen:			
DS 2-010:	0-10 V	$R_L \geq 2 \text{ k}\Omega$	24 VDC/AC +/-10%
DS 2-420:	4-20 mA	$R_b \leq 400 \Omega$	15-30 VDC
Anschlüsse:			
Elektrisch:	Schraubklemmen für 0.14-1.5 mm ²		
Pneumatisch:	2 Anschlüsse für Schlauch mit 6 mm oder 4 mm Innendurchmesser		
Kabelverschraubung:	PG7		
Anschlussbelegung DS 2-010:	Printklemme:	1 : + 24 VDC/AC 2 : Output 0 - 10 V 3 : GND	
Anschlussbelegung DS 2- 420:	Printklemme:	1 : + 24 VDC * 2 : output 4-20 mA *	

* Durch eine spezielle Zusatzschaltung kann es nicht zur Beschädigung des Sensors durch falsche Anschlussbelegung kommen. Die beiden Anschlüsse sind daher vertauschbar. Zwischen Anschluss 2 und dem Masseanschluss der Spannungsversorgung muss bei einer Spannung von + 24 V DC ein Bürdenwiderstand $R_b \leq 400 \Omega$ geschaltet werden.

Gewicht: ca. 170 g

Schutzart: IP65



Rev.01-09